

## 草地における放射性物質対策のためのカリ施肥



岩手県農業研究センター畜産研究所  
宮城県畜産試験場  
福島県農業総合センター畜産研究所  
栃木県畜産酪農研究センター  
農研機構畜産研究部門

2019年3月

## <はじめに>

東京電力福島第一原発事故の後、除染済み草地において生産された牧草の放射性セシウム濃度が暫定許容値を超過する事例や、一旦、暫定許容値を下回っても不適切な施肥管理である場合は、再超過が起ることが確認されています。そして、牧草への放射性セシウムの移行を抑制するため、カリ増施による肥培管理が行われています。しかしながら、一部の農家においては一律的なカリ施用により、牧草のカリウム含量が高まり、家畜にグラスステタニーや乳熱等の疾病を引き起こす恐れが大きくなったことが課題となっています。

この手引きでは、採草地における放射性セシウム吸収抑制のための肥培管理について得られた成果の、特にカリ施肥に関する概要を紹介します。

また、飼料作物(飼料用トウモロコシ)も含め、除染後草地での放射性セシウム吸収抑制対策を行った実証試験での検証結果についても紹介します。

この手引きが、行政機関や普及所、JA等の団体において、畜産農家向け講習会等での参考資料として活用していただけることを期待しております。

本冊子の内容は、巻末の研究課題のほか、文部科学省 科学技術戦略推進費、農林水産省 実用技術開発事業、同 委託プロジェクト、JRA事業の成果も含まれます

# 目次

## I .カリ施肥が牧草の放射性セシウム吸収抑制に重要 … 1

- 1)適切な土壌の交換性カリ含量の維持により吸収抑制
- 2)土壌の交換性カリ含量が30-40mgK<sub>2</sub>O/100gで牧草の放射性セシウム吸収が抑制される
- 3)土壌の交換性カリ含量が低下すると牧草の放射性セシウム濃度が上昇する
- 4)土壌の交換性カリ含量を維持するためのカリ施肥量
- 5)土壌の交換性カリ含量が高まりにくい草地があることに注意を
- 6)堆肥の活用もカリ施肥効果がある
- 7)牧草の放射性セシウム濃度に対する苦土石灰の影響
- 8)苦土石灰施用による牧草のテタニー比の改善
- 9)牧草の放射性セシウム濃度が暫定許容値を超えてしまった場合
- 10)カリ増施の継続は重要だが、過剰なカリ施肥は避ける

## II .カリ対策実施草地における牧草の利用上の注意 … 11

- 1)カリ増施は牧草のカリウム含量を高める
- 2)高カリウム飼料で問題となる家畜の疾病
- 3)飼料のカリウム含量のコントロール方法

## III .土壌診断に基づく施肥設計を … 14

- 1)土壌診断から得られること
- 2)土壌の交換性カリ含量の単位
- 3)カリ施用量の計算方法
- 4)堆肥施用の考え方

## IV. 土壌の交換性カリ含量の簡易測定法の紹介 … 18

- 1) 簡易測定法の手順
- 2) 土壌の交換性カリレベル簡易測定法の利用法
- 3) 土壌の交換性カリ含量が低い草地をスクリーニングする方法
- 4) 現地向け風乾土壌作成法

## V. 除染後草地での放射性セシウム移行抑制対策の検証

… 22

- 1) 牧草の放射性セシウム濃度の推移
- 2) 土壌の交換性カリ濃度の推移
- 3) 牧草のカリウム濃度の推移
- 4) 飼料用トウモロコシの放射性セシウム濃度



# I. カリ施肥が牧草の放射性セシウム吸収抑制に重要

## ポイント！

除染として草地更新を行った草地を調査したところ、土壌の交換性カリ含量が高く維持(0~15cm深：30~40mg-K<sub>2</sub>O/100g乾土)されていると、牧草の放射性セシウム吸収が抑制されている草地が多いことがわかりました。

また、除染により利用再開した採草地は、利用再開後も適切なカリ施肥の継続が必要です。カリ施肥を怠り、土壌の交換性カリ含量が大きく低下すると、牧草の放射性セシウム濃度は再び暫定許容値を超えることがあります。

## 1) 適切な土壌の交換性カリ含量の維持により吸収抑制

土壌のカリウムは、セシウムと化学的に似た挙動を示します。土壌が一定程度の交換性カリ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吸収を抑制することができます。

そのため、作物に対するカリウム供給力が高い状態の土壌であれば、牧草の放射性セシウム吸収を抑制する効果が大きいと考えられます。



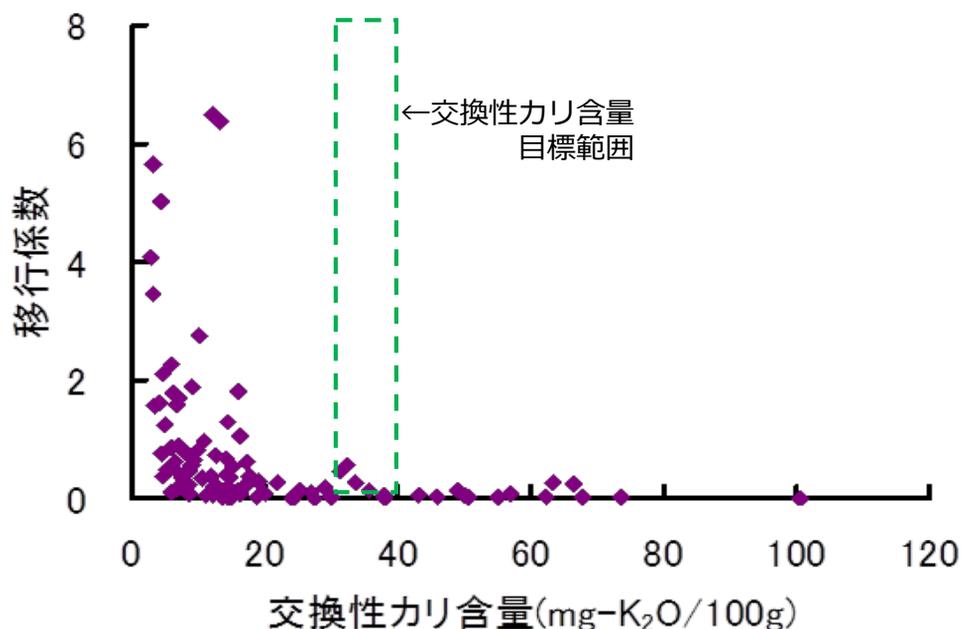
### ・土壌交換性カリ

土壌粒子の表面は静電的に負(マイナス)に荷電している部分が多く、そこに土壌溶液中の陽イオンを静電的に吸着・保持します。この陽イオンは他の陽イオンと交換可能であり、交換性陽イオンと呼ばれます。その一つが交換性カリで、K<sub>2</sub>Oの量として示します。

### ・カリとカリウム

肥料成分として示す場合は「カリ(K<sub>2</sub>O)」、イオンとして示す場合は「カリウム(K)」と使い分けることが一般的です。かつての肥料成分測定では、酸化物でカリウムの定量を行っていたため、肥料成分ではカリ(K<sub>2</sub>O)として取り扱われています。

## 2) 土壌の交換性カリ含量が30-40mgK<sub>2</sub>O/100gで牧草の放射性セシウム吸収が抑制される



更新草地における牧草への放射性セシウムの移行係数と土壌(0-15cm深)の交換性カリ含量との関係(2013)

放射性セシウム吸収抑制に効果のあるカリウムですが、作物毎で効果的な土壌の交換性カリ含量が異なります。

牧草の場合、草地更新による除染開始当初のデータ(2012年調査)から、土壌(0-15cm深)の交換性カリ含量が20mgK<sub>2</sub>O/100g乾土より低くなると、牧草への放射性セシウムの移行が極めて大きい場合のあることが認められました。それよりも高い土壌の交換性カリ含量では移行係数が低くなっていました(上図)。

土壌の交換性カリ含量が高い場合、牧草のカリウム含量も高まり、牧草のミネラルバランスの悪化が懸念されます。そこで、除染としての草地更新では、土壌(0-15cm深)の交換性カリ含量の目標値を30~40mgK<sub>2</sub>O/100g乾土としています。

### ・ 移行係数

土壌の放射性セシウムを植物が吸収する割合を示す指標で、植物の放射性セシウム濃度を土壌の放射性セシウム濃度で除した値です。上図の値は以下で求めています。

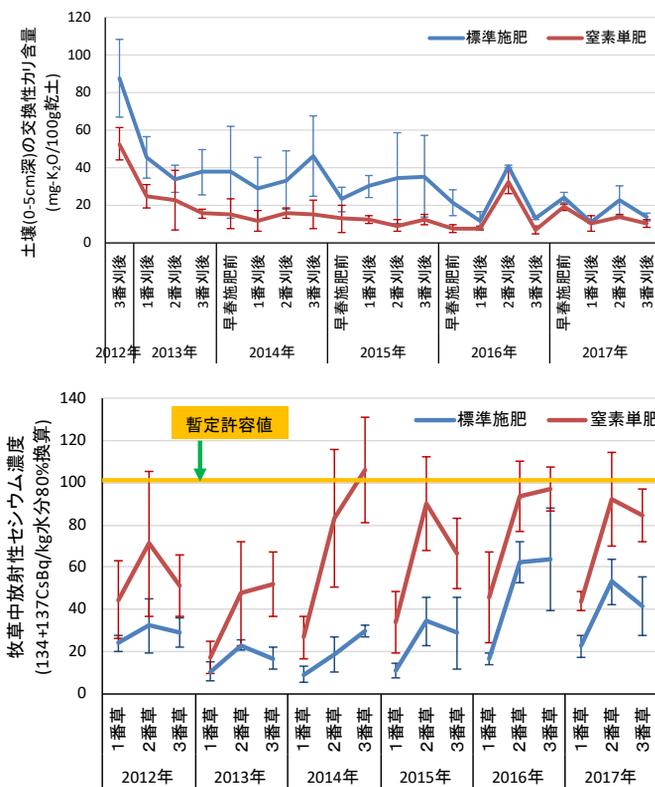
$$\text{移行係数} = \frac{\text{牧草の放射性セシウム濃度(Bq/kg-水分80\%換算)}}{\text{土壌の放射性セシウム濃度(Bq/kg乾土)}}$$

### 3) 土壌の交換性カリ含量が低下すると、牧草の放射性セシウム濃度が上昇する

通常、イネ科牧草は家畜要求量の4~5倍ものカリウムを含みます。カリウムの過剰摂取は家畜疾病の一因となるため、飼料生産では施肥標準よりもカリ施用量を抑制したり、極端な場合、窒素肥料のみで肥培管理を行う事例も散見されていました。

草地の採草利用では、草地から牧草収穫によるカリウムの持ち出しがありますので、カリ施用をしないと、どのようなことが起きるのでしょうか？

2011年秋に草地更新した採草地で、窒素単肥または事故前の標準的な肥培管理(施肥標準は各県で異なります。この事例では、目標乾物収量:1t/10a、窒素施用量とカリ施用量は同量としています)を行い、土壌(0-5cm深)の交換性カリ含量と牧草の放射性セシウム濃度の推移を調べました。



窒素単肥区では標準施肥区と比べて、利用1年目で土壌の交換性カリ含量が大きく低下し、2年目以降も標準施肥区より低い状態になっていました(左上図)。

また、窒素単肥区の牧草の放射性セシウム濃度は標準施肥区と比べて、高く推移する傾向を示し、利用2年目までは暫定許容値を下回ったため、利用できました。しかし、3年後に急激に上昇し、再び暫定許容値を超過しました(左下図)。

このことから、**除染により利用再開された草地でも、土壌の交換性カリ含量が低下するような管理を行うと、再び牧草の放射性セシウム濃度が暫定許容値を超える恐れのあることが示されました。**

肥培管理方法別の土壌(0-5cm深)の交換性カリ含量(上)と牧草の放射性セシウム濃度(下)の推移

※追肥(早春・1番・2番刈後毎)

標準施肥区:N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=各5kg/10a

窒素(尿素)単肥区:N=5kg/10a

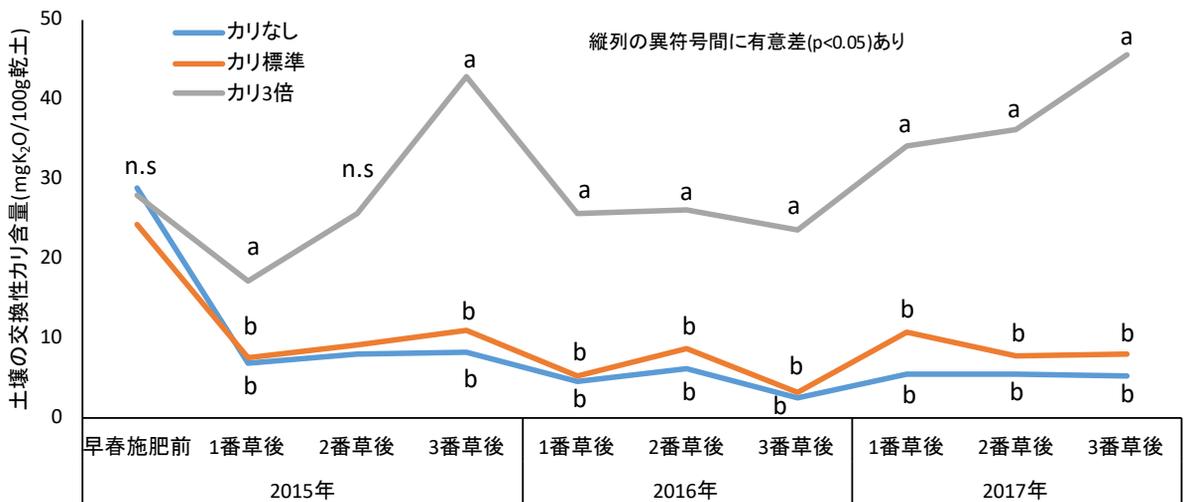
## 4) 土壌の交換性カリ含量を維持するためのカリ施肥量

肥培管理方法別の平均カリ(K<sub>2</sub>O)収支(2012~2014年)

施肥処理	カリ収支(kg/10a/年)			カリ施肥量 (kg/10a/年)	カリ持出量(kg/10a/年)		
	2012年	2013年	2014年		2012年	2013年	2014年
標準施肥	-13	-22	-21	15	28	37	36
窒素単肥	-26	-28	-24	0	26	28	24

※追肥(早春・1番・2番刈後毎) 標準施肥:N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=各5kg/10a 窒素単肥:N=5kg/10a

上の表は、前ページのカリ収支(カリ施用量 - カリ持出量)を示したものです。カリ収支は標準施肥区、窒素単肥区ともに、各年次で全てマイナスの値となりました。これは、牧草が施用量以上のカリを土壌から吸収し、刈取によりカリが草地外へ持ち出されているためです。その結果、前ページのように土壌の交換性カリ含量が低下したと考えられます。そこで、持出カリ量に相当するカリ施用(この事例では標準施肥区の2~3倍量程度)により、土壌の交換性カリ含量を維持し、牧草の放射性セシウム濃度上昇のリスクを低減することができます。



肥培管理の異なる更新草地における土壌(0-15cm深)の交換性カリ含量の推移

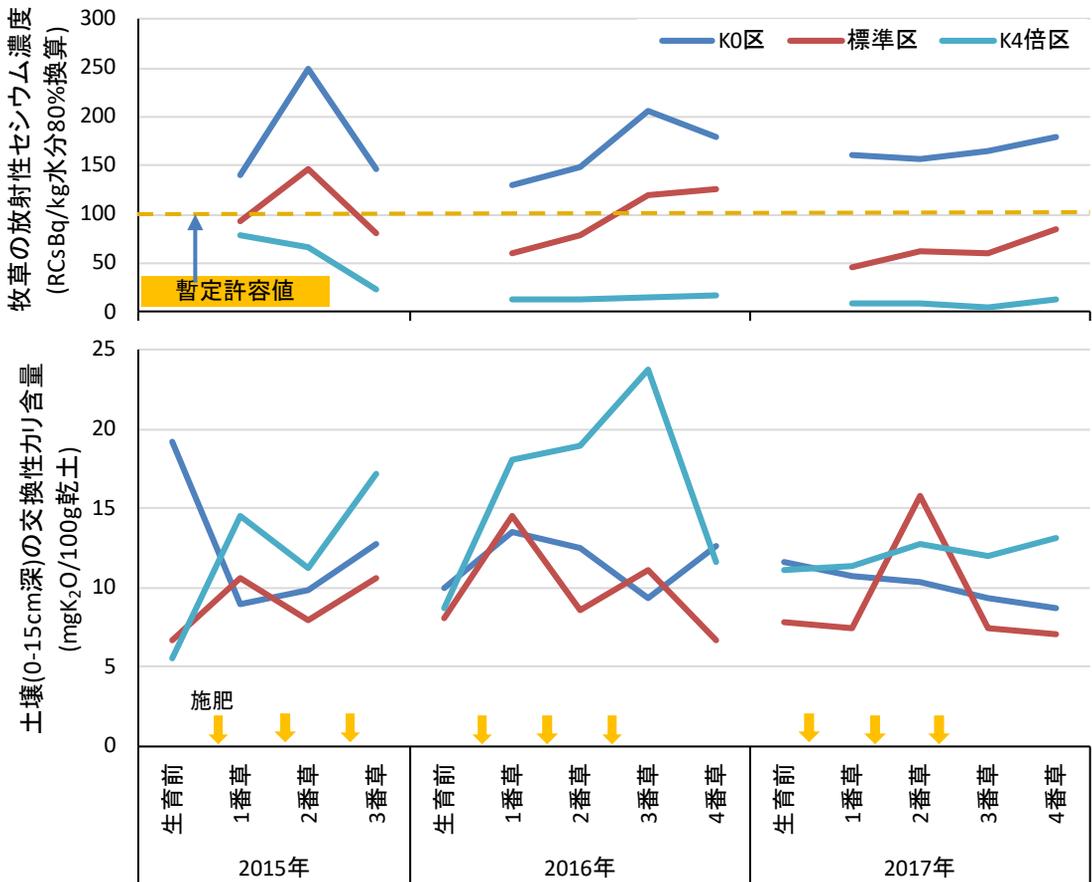
※施肥(早春・1番・2番刈後毎) カリ標準区:N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=5kg/10a/回、カリなし区:N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=5-5-0kg/10a/回、カリ3倍区: N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=5-5-15kg/10a/回

福島県の牧草に対する放射性セシウム吸収抑制対策では、カリ施用量を施肥基準(標準施肥)の3倍量、年間10a当たり45kgK<sub>2</sub>Oとしています。

この施用量で30~40mgK<sub>2</sub>O/100g乾土程度の交換性カリ含量を維持できることが示されています(上図)。

以上の結果から、土壌の交換性カリ含量を維持するには、牧草の持出カリ量相当のカリ施用が必要です。なお、各県で施肥標準は異なるため、単純に「施肥標準の3倍量のカリ施肥を行う」といった対策は採らず、各農業指導機関等に相談の上、カリ施用量を決定してください。

## 5) 土壌の交換性カリ含量が高まりにくい草地があることに注意を



カリが高まりにくい更新草地における牧草の放射性セシウム濃度と土壌の交換性カリ含量の推移

※施肥(早春・1番・2番刈後毎) K0区:N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=5-5-0kg/10a  
 標準区:N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=5-5-5kg/10a  
 K4倍区:N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=5-5-20kg/10a

※土壌交換性カリ含量は各試験区間の値に有意差無し

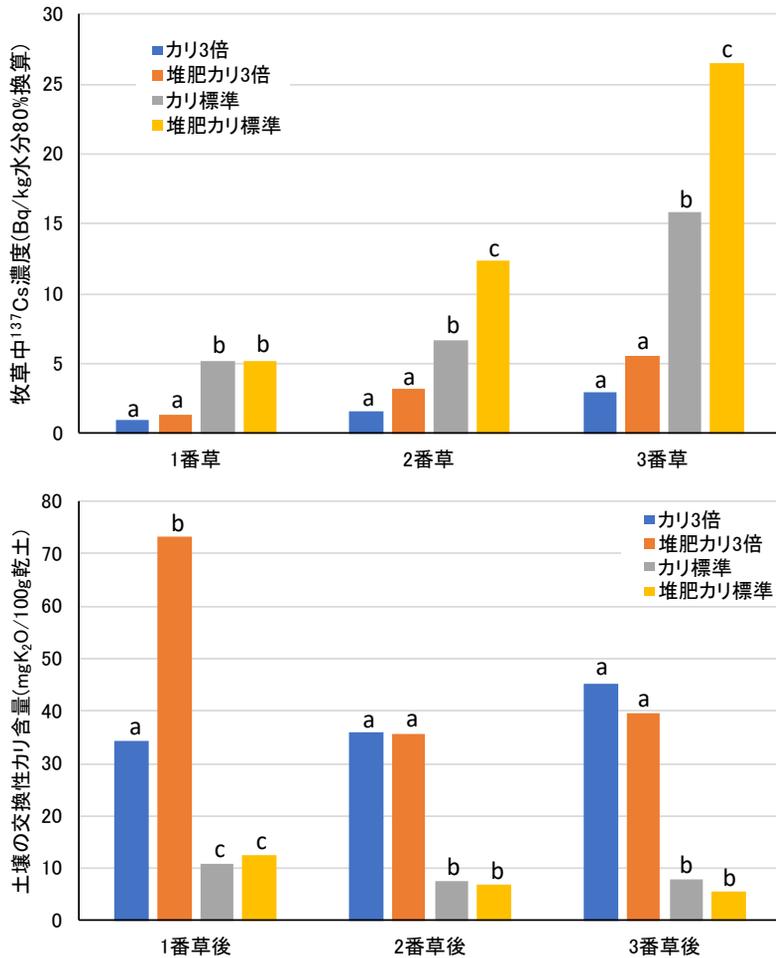
カリ施肥を行っても、牧草への放射性セシウム移行抑制のための土壌交換性カリ含量目標値にまで、高まりにくい草地もあります。

この事例では、交換性カリ含量目標値(30~40mgK<sub>2</sub>O/100g乾土)の維持が、標準区の4倍量のカリ施用(K4倍区)でも困難でした。

しかし、カリ増施により、牧草の放射性セシウム濃度を低減することができました。

このような草地では、カリ増施を継続することが重要です。また、具体的な施肥管理方法については、各農業指導機関等に相談の上、実施してください。

## 6) 堆肥の活用もカリ施肥効果がある



塩化カリ及び堆肥施用別牧草の放射性セシウム濃度と土壌(0-15cm深)の交換性カリ含量の推移(上:牧草の放射性セシウム濃度、下:土壌の交換性カリ含量)

※追肥(早春、1番草刈後、2番草刈後) 標準:N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=各5kg/10a

カリ3倍:N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=5-5-15kg/10a

「堆肥」:早春施肥前に施用 堆肥中各成分の肥効率はN30%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>60%、K<sub>2</sub>O90%として計算  
 カリ成分全量と他成分の一部を堆肥含有成分で置換、不足分の分量を追肥時に均等に分施  
 堆肥(乾物)中カリ(K<sub>2</sub>O)含量:5.07% 異文字間に有意差(p<0.05)有

放射性セシウム吸収抑制のための年間カリ増施量を、堆肥に含まれるカリで代替した試験結果です。

カリ増施量に見合った量の堆肥を施用した堆肥カリ3倍区では、化学肥料でカリ増施を行ったカリ3倍区と同様、土壌の交換性カリ含量が高まり、牧草の放射性セシウム濃度は低く抑えられました。

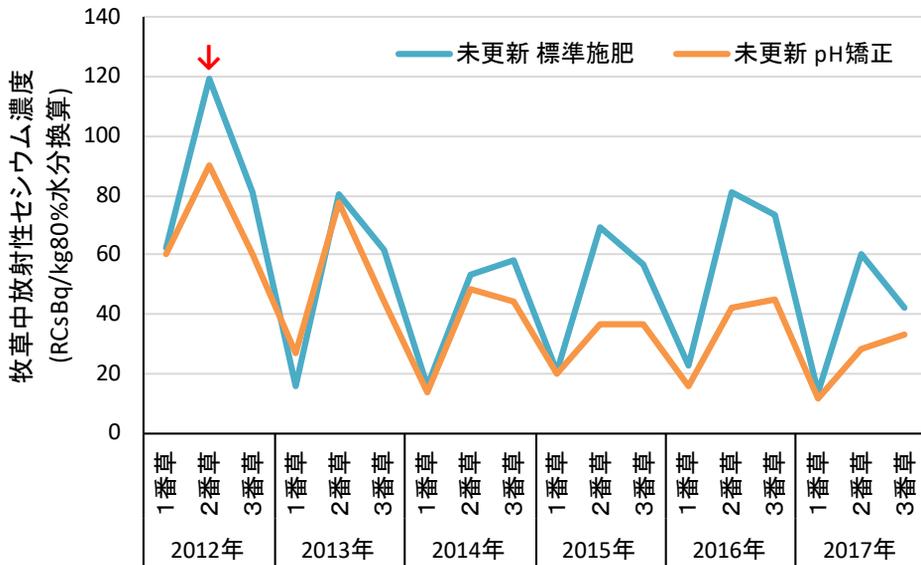
カリ標準区やカリ標準区と同量のカリ施肥量となるよう堆肥を施用した堆肥カリ標準区では、土壌の交換性カリ含量が低い状態となり、経時的に牧草の放射性セシウム濃度が上昇しました。

このように、堆肥の持つカリ成分をうまく利用することで、牧草の放射性セシウム濃度を低く抑えることができます。

## 7) 牧草の放射性セシウム濃度に対する苦土石灰の影響

チェルノブイリ原発事故の際に実施された、作物への放射性セシウム移行低減対策の1つに、土壌pHの中性域への矯正があります(Present and future environmental impact of the Chernobyl accident, IAEA(2001))。

そこで、2011～2017年の間、未除染採草地(未更新)において、土壌(0-5cm深)pH矯正目標を6.5として苦土石灰を施用し、牧草の放射性セシウム濃度について調べました。



2012～2017年までの牧草の放射性セシウム濃度の推移

↓ : 標準-pH矯正区で有意差( $p < 0.05$ )があった箇所

※追肥(早春・1番・2番刈後毎)

標準施肥区: N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=各5kg/10a/回

pH矯正区: 標準施肥区と同じ施肥量

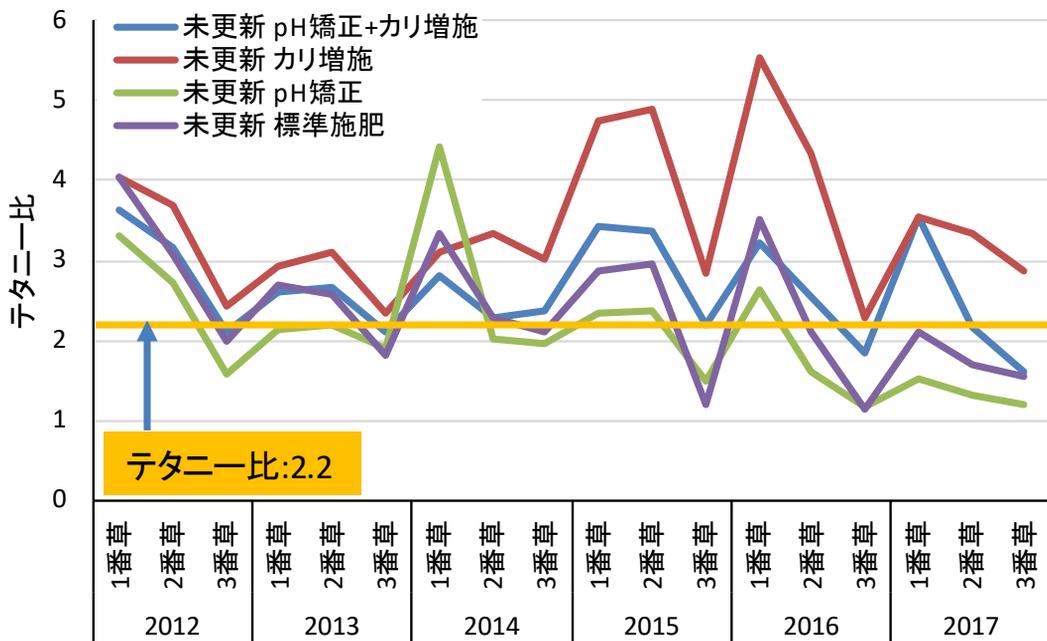
土壌(0-5cm深)のpH矯正目標を6.5として、苦土石灰を施用

事故からの経過時間を経るに従って、牧草の放射性セシウム濃度は低下傾向を各試験区とも示しました。pH矯正区は標準施肥区に比べて牧草の放射性セシウム濃度は低く推移していますが、調査期間を通じて、標準施肥区とpH矯正区間に安定した有意差は認められませんでした。

そのため、土壌pH矯正による牧草の放射性セシウム濃度の低減効果の有無については判然としませんでした。

一方、苦土石灰の施用により、牧草のミネラルバランスの改善に好影響が現れることが知られています。そこで、牧草のミネラル含量の指標となるテタニー比についても検討しました。(次ページ)

## 8) 苦土石灰施用による牧草のテタニー比の改善



2012~2017年の牧草のテタニー比の推移

※追肥(早春・1番・2番刈後毎)

標準施肥区:N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=5-5-5kg/10a/回

pH矯正区:標準施肥区と同じ施肥量

土壌(0-5cm深)のpH矯正目標を6.5として苦土石灰を施用

カリ増施肥区:N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=5-5-10kg/10a/回

pH矯正+カリ増施肥区:カリ増施肥区と同じ施肥量

土壌(0-5cm深)のpH矯正目標を6.5として苦土石灰を施用

テタニー比は、カリ増施により上昇しましたが、pH矯正と組み合わせることで、改善が認められました。

このことから、カリ増施による牧草のミネラルバランス悪化の改善に、土壌pHの中性域への矯正は有効であると考えられます。

※テタニー比：飼料のK/(Ca+Mg)当量比。2.2を超えると給与家畜の低マグネシウム血症(グラステタニー)発症率が高くなる。飼料乾物中のミネラル含量を当量に換算して計算する。

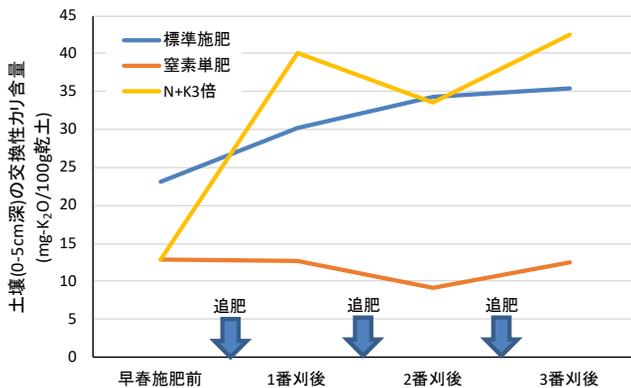
例 飼料中のミネラル含量が、カリウム(K)3.50%、カルシウム(Ca)0.80%、マグネシウム(Mg)0.20%の場合

K 当量	$3.50 \times 25.6 = 89.6 \text{mEq}$
Ca 当量	$0.80 \times 49.9 = 39.9 \text{mEq}$
Mg 当量	$0.20 \times 82.3 = 16.5 \text{mEq}$

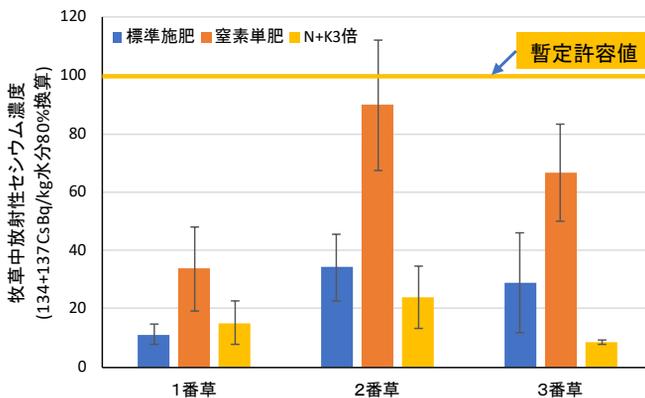
$$\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})\text{当量比} = 89.6 / (39.9 + 16.5) = 1.59$$

## 9) 牧草の放射性セシウム濃度が暫定許容値を超えてしまった場合

除染により利用再開された草地でも、土壌の交換性カリ含量が低下するような管理を行うと、再び牧草の放射性セシウム濃度が暫定許容値を超える恐れのあることを示しましたが、超えてしまった場合の緊急的な対応についても検討しました。



肥培管理方法別の土壌(0-5cm深)の交換性カリ含量の推移



肥培管理方法別の牧草の放射性セシウム濃度の推移

### 肥培管理方法別の平均カリ(K<sub>2</sub>O)収支

施肥処理	カリ収支 (kg/10a/年)	カリ施肥量 (kg/10a/年)	カリ持出量 (kg/10a/年)
標準施肥	-13	15	28
窒素単肥	-17	0	17
N+K3倍	14	45	31

※追肥(早春・1番・2番刈後毎)

標準施肥区:N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=各5kg/10a

窒素単肥区:N=5kg/10a

N+K3倍区:N-K<sub>2</sub>O=各5-15kg/10a

暫定許容値を超えた窒素単肥管理草地へ、超過翌年(2015)に標準施肥区の3倍量となるカリを施用(N+K3倍区)しました。

その後、土壌の交換性カリ含量は標準施肥区と同等のレベルとなり(上図)、牧草の放射性セシウム濃度は大きく低下しました(下図)。

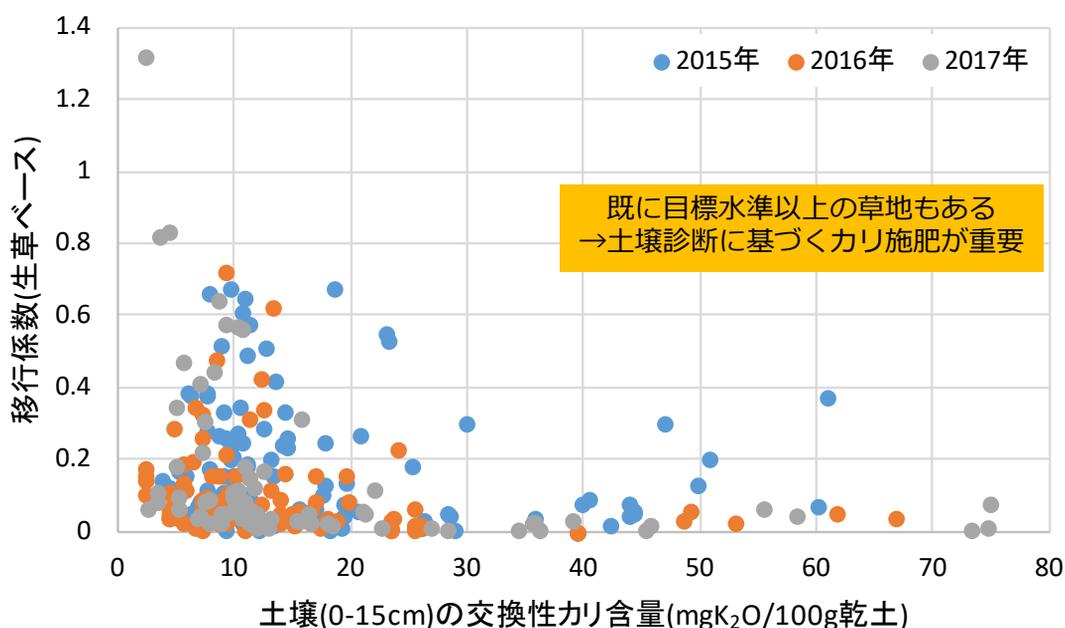
カリ収支(カリ施肥量-カリ持出量)を見ると(表)、2015年のN+K3倍区はプラスに転じ(緑字)、持出量以上のカリが施用されたことを示していました。

このように、牧草の放射性セシウム濃度が上昇した場合は、適切な土壌の交換性カリ含量となるよう、カリ増施を行うことで吸収抑制が可能です。

しかしながら、こうした事態になった場合、利用再開後の草地の状態や肥培管理に不具合があったことが一因と考えられます。

対策を打つにあたっては、各農業指導機関等に相談し、原因を把握した上で、対応してください。

## 10) カリ増施の継続は重要だが、過剰なカリ施肥は避ける



更新草地(岩手、宮城、福島、栃木)における牧草への放射性セシウムの移行係数と土壌の交換性カリ含量との関係

移行係数：

牧草の放射性セシウム濃度(水分80%換算値)÷土壌の放射性セシウム濃度(0-15cm深)

土壌の放射性セシウムが牧草へ移行する割合(移行係数)は、除染開始当初である2012年の調査(2ページを参照)に比べて大幅に低下していました。

しかしながら、2015～2017年の調査でも、土壌の交換性カリ含量が30mgK<sub>2</sub>O/100g乾土を下回ると、移行係数が高くなる傾向が見られました。

そのため、現在設定されている土壌の交換性カリ含量の目標値については、当面の間、維持することが必要です。

しかし、目標値を超えるカリ増施をする必要はありません。

調査地点の中には、土壌の交換性カリ含量が20mgK<sub>2</sub>O/100g乾土を下回る草地がある一方、50mgK<sub>2</sub>O/100g乾土以上の草地もありました。

については、適正なカリ水準を維持するためにも、全ての草地において、土壌の交換性カリ含量を把握した上での施肥管理を行うことが重要です。

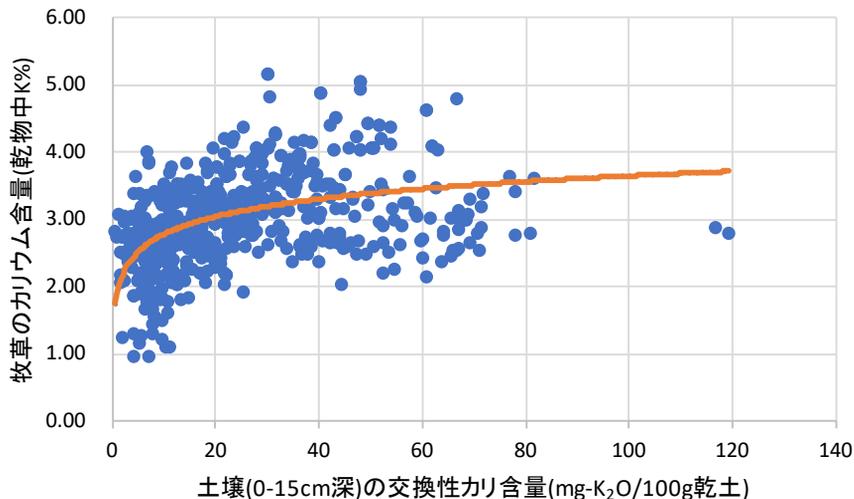
## Ⅱ. カリ対策実施草地における牧草の利用上の注意

### ポイント！

放射性セシウム対策としての土壌の交換性カリ含量の維持目標は、原発事故前の管理目標値よりも高いため、牧草のカリウム含量が上がり、牧草のミネラルバランスが崩れやすい状況です。そのため、適切な土壌の交換性カリ含量の水準を保つ必要があります。

また、高カリウム含量の牧草をそのまま家畜へ給与すると、家畜体内のミネラルバランスが崩れ、グラスステタニーや乳熱といった疾病を招きやすくなります。このような牧草の利用には、カリウム含量の低い飼料との混合給与やミネラル剤の添加により、家畜の要求量にあった飼料給与を行います。

### 1) カリ増施は牧草のカリウム含量を高める



土壌の交換性カリ含量と牧草のカリウム含量の関係

土壌の交換性カリ(K<sub>2</sub>O)含量が高まると牧草のカリウム(K)含量は高くなる傾向があります。いわゆる「ぜいたく吸収」の状態が起きるためです。

#### ・ぜいたく吸収

植物はその生育に必要な量の養分を吸収しますが、土壌の養分が多い場合には生理的に必要な量以上に吸収することがあり、これを「ぜいたく吸収」と呼んでいます。ぜいたく吸収は幼植物段階で起こることがよく知られており、なかでもカリウムと窒素で著しい傾向があります。また牧草はカリウムをよく吸う作物種に入ります。

## 2) 高カリウム飼料で問題となる家畜の疾病

家畜のカリウム要求量は乳牛:0.65~0.80%、肉用牛:0.65%(飼料乾物中%、日本飼養標準2006年版)であり、通常、イネ科牧草はこの要求量の4~5倍ものカリウムを含みます。

カリウム過剰摂取による疾病予防のための飼養管理は、カリウム摂取量の低減を図ることが非常に重要ですが、放射性セシウム対策として、事故前よりもカリウム施用量を増やさざるを得ない状況にあるため、牧草のカリウム含量は高まった状態にあります。

牛の種類やステージにより、カリウム要求量や過剰摂取によるリスクが異なるので、飼料分析の実施、制限給与、使い分けなどの対応、ハイリスク牛への高カリウム飼料の給与は避けましょう。

### 飼養形態別カリウムの指標

		飼養形態	カリウム要求量(乾物中%)	カリウム等ミネラルの給与指標(乾物)	家畜への影響	疾病	リスク
乳用牛	育成期	放牧	0.65%	テタニー比 [K/(Ca+Mg)]2.2以下	マグネシウム欠乏	グラステタニー	高
		舎飼	0.65%	給与飼料全体のカリウム濃度は3.0%以下	カルシウム欠乏	乳熱等	低
	乾乳期	舎飼	0.65%	粗飼料中のカリウム濃度は2.0%以下	カルシウム欠乏	乳熱等	高
	泌乳期	舎飼	0.80%	給与飼料全体のカリウム濃度は3.0%以下	カルシウム欠乏	乳熱等	中
肉用牛	育成期	放牧	0.65%	テタニー比 [K/(Ca+Mg)]2.2以下	マグネシウム欠乏	グラステタニー	高
		舎飼	0.65%	給与飼料全体のカリウム濃度は3.0%以下	マグネシウム欠乏	グラステタニー	低
	繁殖牛	放牧	0.65%	テタニー比 [K/(Ca+Mg)]2.2以下	マグネシウム欠乏	グラステタニー	高
		舎飼	0.65%	給与飼料全体のカリウム濃度は3.0%以下	マグネシウム欠乏	グラステタニー	低
	肥育牛	舎飼	0.65%	—	—	—	—

「農作物の放射性セシウム対策に係る除染及び技術対策の指針」第3版(平成26年4月25日福島県農林水産部)より引用、一部改変

#### ・低カルシウム血症(乳熱、起立不能症等)

食欲減退、異常な興奮、起立不能等の症状を呈します。乳生産によるカルシウム要求量の急激な上昇に対し、消化管からの吸収、骨からのカルシウム供給不足の状態が発生します。発生しやすい条件としては、分娩直後(泌乳初期)、泌乳量高、5歳以上、過肥が挙げられます。飼料構成割合の工夫(分娩前:カリウム含量2%以下の粗飼料を利用、カルシウム含量を調整し、過剰摂取を避ける、分娩直後:カルシウムの大量給与実施)、飼料中のカチオン・アニオンバランスの調整といった対策で回避します。

### 3) 飼料のカリウム含量のコントロール方法

濃厚飼料の組み合わせによる泌乳牛給与飼料のカリウム濃度と利用の可否

(○：利用可、×：利用不可)

乾物中カリウム濃度が**4%及び2%の牧草を半分ずつ**給与した場合

	濃厚飼料中の カリウム濃度	粗飼料：濃厚飼料				
		40:60	50:50	60:40	70:30	80:20
利用の採否	1.00%	○(1.8%)	○(2.0%)	○(2.2%)	○(2.4%)	○(2.6%)
(飼料全体のカリウム濃度%)	1.50%	○(2.1%)	○(2.3%)	○(2.4%)	○(2.6%)	○(2.7%)

乾物中カリウム濃度が**4%の牧草**を給与した場合

	濃厚飼料中の カリウム濃度	粗飼料：濃厚飼料				
		40:60	50:50	60:40	70:30	80:20
利用の採否	1.00%	○(2.2%)	○(2.5%)	○(2.8%)	×(3.1%)	×(3.4%)
(飼料全体のカリウム濃度%)	1.50%	○(2.5%)	○(2.8%)	○(3.0%)	×(3.3%)	×(3.5%)

乾物中カリウム濃度が**6%の牧草**を給与した場合

	濃厚飼料中の カリウム濃度	粗飼料：濃厚飼料				
		40:60	50:50	60:40	70:30	80:20
利用の採否	1.00%	○(3.0%)	×(3.5%)	×(4.0%)	×(4.5%)	×(5.0%)
(飼料全体のカリウム濃度%)	1.50%	×(3.3%)	×(3.8%)	×(4.2%)	×(4.7%)	×(5.1%)

「農作物の放射性セシウム対策に係る除染及び技術対策の指針」第3版(平成26年4月25日福島県農林水産部)より引用、一部改変

カリウム含量の多い粗飼料(牧草)はカリウム含量の少ない濃厚飼料との組み合わせで、家畜が摂取するカリウム量を抑制することが出来ます。

上の表は泌乳牛に対する福島県の指導例で、ここでは給与飼料のカリウム含量を3%以下とするための例が示されています。

なお、乾乳期に与える給与飼料のカリウム含量については特に注意が必要です。乾乳期(特に前期：乾乳開始から分娩3週間前)は牧草中心の飼料(給与飼料の80～85%を粗飼料)とし、給与粗飼料のカリウム含量を2%以下にする必要があります。そのため、乾乳期に与える粗飼料については、可能な限り良質な、カリウム含量の少ないものの確保に努めてください。

他に、低マグネシウム血症(グラステタニー)対策ではマグネシウム剤を補給する、低カルシウム血症(乳熱)対策ではカチオンアニオンバランスの調整等を行う対応方法もあり、これに対応した調整剤や配合飼料も販売されています。

#### ・低マグネシウム血症(グラステタニー)

異常な興奮やけいれん等の神経症状を呈します。過剰摂取されたカリウムが消化管におけるマグネシウム吸収を阻害の上、乳へのマグネシウム分泌が高い、骨からのマグネシウム供給が低い家畜の状態で起こるとされます。発生しやすい条件としては放牧、人工草地、3歳以上の子付き母牛、早春と晩秋の冷涼時期が挙げられます。マグネシウム剤給与、放牧馴致、苦土石灰施用といった対策で、発生しやすい条件を回避します。

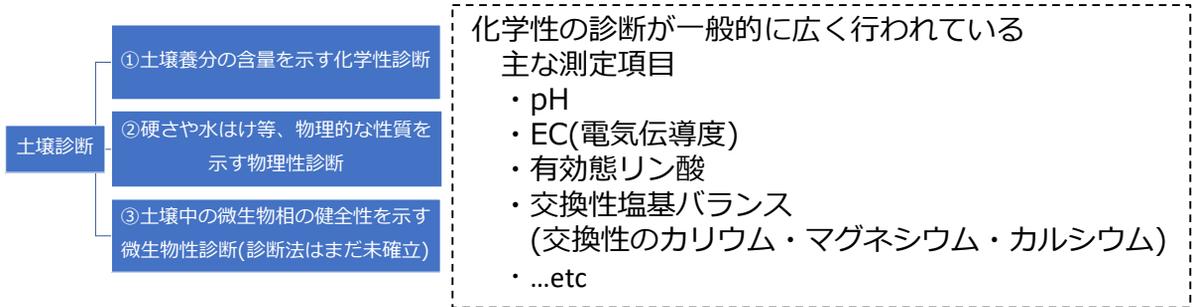
## Ⅲ. 土壌診断に基づく施肥設計を

### ポイント！

放射性セシウム対策と良質な自給飼料生産の両立のために、土壌診断に基づく施肥設計を行いましょ。土壌診断に基づき、土壌のカリの過不足を判断し、不足であれば、必要なカリ量を施用します。土壌のカリ含量を高めるための資材としては、塩化カリなどの化学肥料以外に、家畜ふん堆肥も有効な資材ですので活用しましょ。

牧草のミネラルバランス改善のために、土壌のミネラルバランスにも注意します。

### 1) 土壌診断から得られること



牧草の放射性セシウム吸収抑制には、適切な土壌の交換性カリ含量の維持が重要で、そのためには、土壌診断を活用することが有用です。一般的に、土壌診断は化学性の診断(他に物理性、微生物性があります)を指しており、交換性カリ含量以外にも、いろいろな情報が得られます。

土壌において、カリウム・マグネシウム・カルシウムは総称して塩基類と呼ばれ、窒素やリンと同じく植物に必要な多量要素です。ここで示されたカリウムの値が土壌の交換性カリ含量を示しています。

土壌pHは酸性度の目安です。中性域(pH6~7)の範囲で作物生産に必須となる養分の有効性が高くなります。そのため、中性域の土壌pHを保つことが、作物の生育が旺盛になる一つの要因となります。

中性域を保つには石灰質(カルシウム)資材を施用します。酸性域にあって、交換性マグネシウム(苦土)が不足の状態と判断された場合は、苦土石灰を施用します。

資材の施用量は塩基バランスを考慮して判断します。このことにより、生産性向上、牧草のミネラルバランスの改善、グラステタニー防止に役立ちます。

## 2) 土壌の交換性カリ含量の単位

土壌診断結果では、いくつかの単位が使用されています。一般に、乾土、もしくは風乾土100gあたりの数値で示されます。風乾土とは土壌を自然に乾燥させた状態、乾土は水分を0とした状態です。土壌の交換性カリ含量を示すために使われる単位は、土壌の養分量を示す、mg/100g乾土(または風乾土)で、 $\bigcirc\bigcirc\text{mgK}_2\text{O}/100\text{g乾土}$ のように示します。また、土壌の交換性カリ含量の分析結果の表示において、Kとして「cmol/kg乾土」で表記される場合があります。これをmgK<sub>2</sub>O/100g乾土に変換するには、0.471を乗じてください。

## 3) カリ施用量の計算方法

### 必要施用成分量の計算方法

$$\text{成分施用量 (kg/10a)} = (\text{改良目標値} - \text{分析値}) \times \text{仮比重} \times \frac{\text{作土深さ (cm)}}{10}$$

### 計算例

土壌(0 ~15cm深)の交換性カリ(K<sub>2</sub>O)含量 : 10mg/100g乾土

改良目標値 : 30mg/100g乾土

圃場10a当たり15cmの深さを改良に、カリウム成分の必要量は?

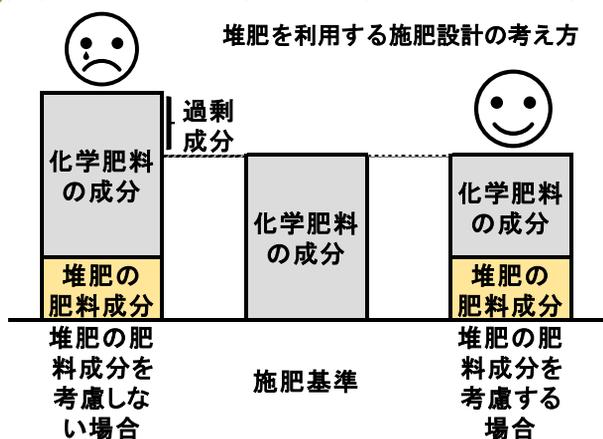
土壌の仮比重(風乾土重)は、0.8g/cm<sup>3</sup>とする

$$\begin{aligned} \text{成分(K}_2\text{O)施用量 (kg/10a)} &= (30 - 10) \times 0.8 \times \frac{15}{10} \\ &= \mathbf{24\text{kg/10a}} \end{aligned}$$

・仮比重 = 固相(乾物)の重さ(g) ÷ 全体の容積(cm<sup>3</sup>)

容積のわかっている容器に耕起前ほ場の土壌を採取、容器ごと105℃で1昼夜乾燥後、乾燥した土壌の重さを測る

## 4) 堆肥施用の考え方 - 1



家畜ふん堆肥成分の肥効率(%)(例)

	窒素	リン酸	カリ
牛 堆肥	30	60	90
液状きゅう肥	55	60	95
豚 堆肥	50	60	90
鶏 乾燥ふん	70	70	90

昭和58年度家畜ふん尿処理利用研究会資料  
(農林水産省草地試験場)

堆肥の種類と肥料成分含有率(例)

堆肥の種類	水分 (%)	堆肥中の成分含有率(乾物あたり%)			堆肥 1t中に含まれる養分量(kg)		
		窒素 (N)	リン酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	カリ (K <sub>2</sub> O)	窒素 (N)	リン酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	カリ (K <sub>2</sub> O)
牛ふん堆肥	49.9	2.2	2.9	2.9	11.0	14.5	14.5
牛ふんオガクズ堆肥	57.8	1.9	2.3	2.6	8.0	9.7	11.0
牛ふん籾殻堆肥	57.0	2.3	3.4	2.5	9.9	14.6	10.8
豚ふん堆肥	29.0	3.8	7.1	3.0	27.0	50.4	21.3
豚ふんオガクズ堆肥	43.8	2.5	5.4	2.6	14.1	30.3	14.6
豚ふん籾殻堆肥	52.7	2.7	4.8	1.9	12.8	22.7	9.0
鶏ふん堆肥	19.7	3.5	7.3	3.9	28.1	58.6	31.3

家畜ふん尿処理・利用の手引き(畜産環境整備機構、1998)より引用、一部改変

家畜ふん堆肥は給与飼料の質や飼養形態、堆肥化副資材等の影響で、堆肥中の成分は安定しません。使用する堆肥毎の成分量を把握した上で、施用量を決めるべきですが、成分が測定できない場合は、上表のような成分表を目安としてください。

### ・硝酸塩中毒

急性中毒は、硝酸塩濃度が高い粗飼料を大量に摂取することで起こりやすいことが知られています。第一胃内の微生物が硝酸塩を亜硝酸塩に変換、亜硝酸塩は血液中に吸収されてヘモグロビンと結合、体内の酸素運搬を阻害します。すると、牛が酸欠になり、血液凝固不全、チョコレート色化といった特徴的な血液状態を呈します。乳頭・目・唇・外陰部の変色(青紫)、歩行のふらつき・震え等の症状が発生、重症時は窒息死に至ります。

慢性中毒は、硝酸塩が比較的多く含まれた飼料の長期摂取により起こります。症状は、流産や胎子の異常、乳量や発育への影響、乳房炎、食欲不振、下痢、肝機能障害等です。

## 4) 堆肥施用の考え方 - 2

以下、牛ふん堆肥(N:0.8,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:1.0,K<sub>2</sub>O:1.1%,現物)、施用量2t/10a/年(現物)、肥効率は前ページの表のとおり、連年施用の場合を考えます。

施用堆肥からの肥料成分量を求める式は以下のようになります。連年施用の場合、経過年数分の肥料成分量を合算します。

$$\begin{aligned} \text{施用年の堆肥からの肥料成分量} &= \text{施用量} \times \text{成分割合} \times \text{肥効率} \\ \text{n年前施用堆肥からの肥料成分量} &= (\text{施用量} \times \text{成分割合}) \times (1 - \text{肥効率})^n \times \text{肥効率} \end{aligned}$$

参考文献 環境にやさしい家畜ふん尿処理利用の手引き(千葉県,2003)、福島県施肥基準(平成18年3月)

カリ成分は肥効率から見て、ほぼ全量が施用当年に利用されると考えられ、カリ供給量は約20kgK<sub>2</sub>O/10a/年となります。そこで、放射性セシウム移行抑制のためのカリ施用基準、土壌の交換性カリ含量となるよう、不足分は化学肥料で補います。

窒素成分の初年目の供給量は4.8、2年目は4.8+3.4=8.2kg/10aとなり、連用8年目以降は15kg/10a程度の窒素供給量が見込めます。

リン酸成分についても、同様に計算すると、初年目は12、2年目は12+4.8=16.8kg/10a、連用7年目以降は20kg/10a程度のリン酸供給量が見込めます。

なお、各県の栽培標準に照らして、不足分の各肥料成分は、3番草まで収穫体系であれば、早春、1番刈後、2番刈後に均等に分施してください。

また、堆肥連用により、徐々に土壌に養分蓄積が起こるため、定期的な土壌診断を行い、過剰状態ならば、堆肥施用量の削減をします。

施用量の決定では、土壌診断結果を踏まえた堆肥施用量計算ソフトが畜産環境整備機構や各県等で開発されており、その活用もお勧めできます。

実際の肥培管理にあたっては、各農業指導機関等に相談し、除染後草地の土壌条件に応じて行ってください。

### 注意!

国では、堆肥も含む、肥料・土壌改良資材・培土中の放射性セシウムの暫定許容値を400Bq/kg(現物)としています。堆肥の利用にあたっては、各農業指導機関等に相談し、放射性セシウム濃度を確認の上、使用してください。

## IV. 土壌の交換性カリ含量の簡易測定法の紹介

### 概要

市販のカリメータを使って、現地で簡易に土壌の交換性カリ含量を測定する方法を検討しました。正確な値の推定は難しいですが、この方法を用いて、土壌の交換性カリ含量が低い、もしくは過剰となった草地を迅速にスクリーニングすることが出来ます。

### 1) 簡易測定法の手順

本法は既に普及が始まっている福島県農業総合センター開発による簡易カリ測定法を原報(農耕と園藝2015年1月号,p57,誠文堂新光社、日本土壌肥料学雑誌第89巻第4号,2018年8月,p311)とし、現地での草地土壌の交換性カリ含量測定が迅速に行えるよう、検討を加えたものです。

#### 草地土壌向け交換性カリ含量の現地簡易測定の手順

- 1) 0.1M酢酸アンモニウム(以下、酢安)抽出液のみでカリメータで測定(空白値)  
↓
- 2) 試料土壌 10g + 0.1M酢安抽出液 20ml  
↓
- 3) ポリびんに入れ、1分間、手で振とう:1秒に2回程度振る  
↓
- 4) 懸濁程度の少ない抽出液部をメンブレンフィルター装着したシリンジでろ過  
↓
- 5) ろ液をカリメータで測定し、空白値を差し引いた値をカリメータ読値(測定値)とする

※使用カリメータ：堀場製作所製コンパクトカリウムイオンメータ B-731  
※連続測定の際は、1)~5)の手順を繰り返す

土と酢安液を  
1分、手で振る



シリンジに液  
を入れる



ろ液を測定

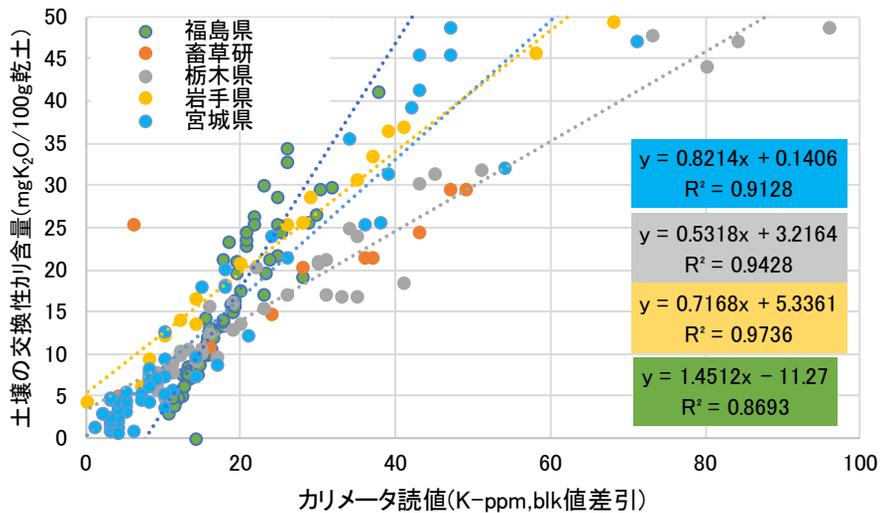


## 2) 土壌の交換性カリレベル簡易測定法の利用法

それぞれの機関で所有している土壌試料に対して、同型のカリメータを用い、前記した方法で、各機関毎にカリメータ読値の測定を実施しました。酢安抽出液は各機関毎に調製しています。

そして、その値と通常法による土壌の交換性カリ含量測定値との関係について検討を行いました。

全ての測定値に対して一次近似式による関係の検討を行ったところ、決定係数が0.8となりましたが、各機関毎の測定値別に検討を行うと、決定係数は改善され、精度が高まりました(下図)。



「土壌の交換性カリ含量が30mgK<sub>2</sub>O/100g乾土以上となった草地では、カリ増施しない」事例を想定し、各機関別に作成した一次近似式を使用して、対応が必要な箇所をスクリーニングしてみました。

交換性カリ含量を過大評価(カリメータ読値による推定交換性カリ含量が実際の交換性カリ含量より高いと判断)した点数は、岩手・栃木両県では0点、宮城県で2点、福島県で4点でした。

これは宮城県測定数の約3%、福島県測定数の約5%ですが、該当地点における実際の交換性カリ含量は24.6~29.8mgK<sub>2</sub>O/100g乾土で、早急にカリ施肥対策が必要な草地を見落とす可能性は低いと考えられます。

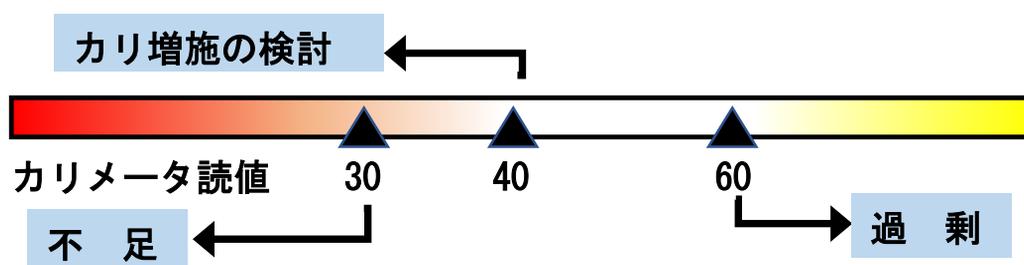
仮に福島県の一次近似式を他県に適用した場合、岩手・宮城両県で2点ずつ、栃木県で8点が過大評価されることに該当しました。

これは土壌試料の性質、各機関の有する個々のカリメータの状態や測定環境による影響と考えられました。

以上から、広範囲にわたって適用する一次近似式の作成は避け、機関毎に式を求めた方がよいと思われます。

### 3) 土壌の交換性カリ含量が低い草地をスクリーニングする方法

- ①交換性カリ含量が既知の風乾土を本法で測定し、読値と交換性カリ含量間の一次近似式を作成する。使用する土壌の交換性カリ含量の幅は広い方が良いが、0～50mgK<sub>2</sub>O/100g乾土程度を目安とする。
- ②目標とする交換性カリ含量を設定し、求めた一次近似式から基準となるカリメータ読値を決定する。
- ③この値よりも、高ければカリ過剰の状態、低ければカリ増施が必要であると判定する。
- ④カリ増施が必要と判断された草地は土壌試料を持ち帰り、正確な土壌交換性カリ含量を求めて、カリ追肥量を算出する。



#### ※実施例

目標水準を30mgK<sub>2</sub>O/100gとした場合で、作成した検量線において、カリメータの読値(ブランク値差引済)40のところのが該当するとします。

この時、カリメータの読値40以下の土壌をカリ増施の必要がある草地として、土壌分析を行います。また、読値30以下の場合、放射性セシウム上昇リスクが高いカリ増施が必要が高い草地と判断されます。

一方、読値60以上の草地はカリ過剰な草地であり、過剰な堆肥の施用がないかなど、カリ施肥の見直しを行うとともに、カリウム含量が高い牧草が生産されている可能性があるため、家畜の疾病を警戒します。

本手法で判断基準値に近い測定値が得られた試料は持ち帰り、通常法での測定の実施することが望ましいです。本法はあくまで簡易法です。正確な土壌交換性カリ含量を求める場合は、通常法で測定してください。

測定値に水分係数(100÷乾土率)を乗じることで、生土による測定もできますが、上述した誤差について考慮すると、事前に現地へ風乾土を用意するよう要請するとよいでしょう。

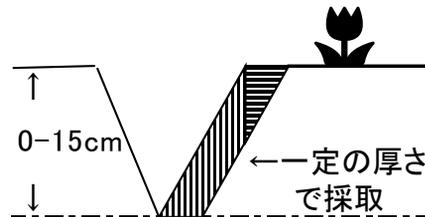
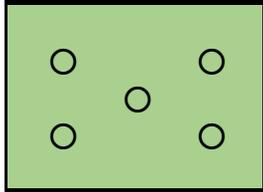
## 4) 現地向け風乾土壌作成法

事前に現地へ風乾土の用意を要請する場合に、参考にしてください。

1.スコップ等で15cm深までの草地土壌を採取する。採取は5点採取法で行う。

参考文献:日本土壌協会：土壌、水質及び植物体分析法(平成13年3月)

上から見たところ



2.ホームセンター等で市販の網ふるい(500~1000円程度、たいてい10,5,2ミリ目の3枚の網が付属)の粗目の網を使用して、採取土壌をふるい、石や根等を除去する。



土壌がほぐれにくかったり、網目の金属線が細く、ゆがんだりした場合は、バーベキュー・魚焼き用の網(たいてい10ミリ目)を適当なサイズのバケツに載せ、その上に採取土壌を置き、ほぐしながら手で押しつけて、ふるうとよい。(写真は一例)

3.ふるった土壌をよく混ぜて、分析に十分な量をカレンダー等の厚手の紙(新聞紙を重ねたものでもよい)に広げ、日陰で自然乾燥する。

ここでの測定対象成分はカリなので、時間がなければ、直射日光にあててもよい。



4.乾いた土壌を分析に供する。

分析に使用する土壌は、牧草根や石の混入をできるだけ避け、細かく砕けたところを使用する。

## V. 除染後草地での放射性セシウム移行抑制対策の検証

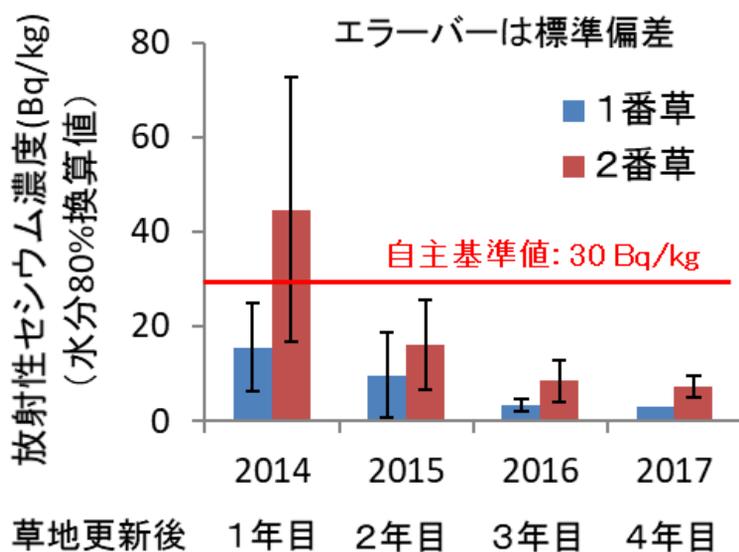
### 概要

福島県内の永年草地（オーチャードグラス）16筆5.6haを対象に、除染として草地更新を行った（2013年9月実施）。その後、カリ施肥による牧草の放射性セシウムの移行抑制効果について検証した結果、除染から3年目で牧草が30Bq/kg(水分80%換算)を超過するほ場はみられなくなりました。

### 1) 牧草の放射性セシウム濃度の推移

<塩化カリの施用条件>	2014	2015	2016	2017
牛ふん堆肥、t/10a (K <sub>2</sub> O kg/10a)	2 (16)			
塩化カリ、K <sub>2</sub> O kg/10a	15	45	9	12

※ 塩化カリは2015年度を除き年1回施用。2015年度は各番草収穫後毎に15kg/10aを施用



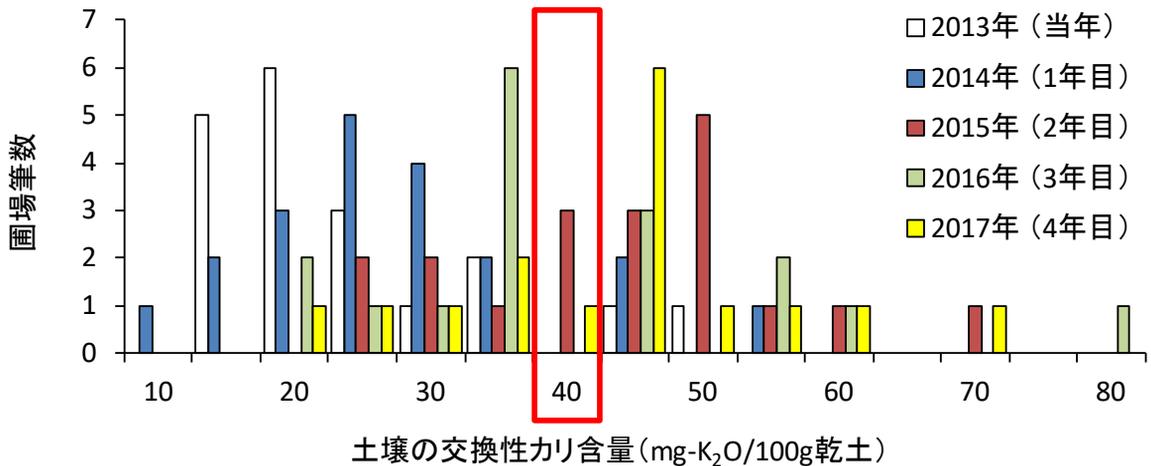
### 牧草の放射性セシウム濃度の推移

カリ施用量は牧草の放射性セシウム濃度や土壌の交換性カリ含量から、上の表のように毎年見直して施用しました。

草地更新後初年目(2014年)の2番草では、牧草の放射性セシウム濃度の目標値（福島県団体の自主基準：30Bq/kg）を超過した牧草は9点に達しました。

しかし、カリ施肥の継続により、牧草の放射性セシウム濃度は年々減少し、草地更新から3年目の2016年以降は30Bq/kgを超過するほ場はみられなくなりました。

## 2) 土壌の交換性カリ含量の推移



交換性カリ含量で区分した調査圃場の頻度分布(凡例のカッコ内は草地更新後の年数)

土壌(0-15cm深)の交換性カリ含量は、堆肥と塩化カリの施用により2015年まで年々上昇し、特に施用量が多かった2015年は顕著に高まりました。それまでに目標値の40mg/100g乾土を超えるほ場が多くなったため、2016年以降は牧草の生育に必要な施肥基準に準じた施用量に留めた結果、調査ほ場土壌の交換性カリ含量の平均値はほぼ40mg/100g乾土に落ち着きました。

ただし、土壌の交換性カリ含量は2017年でも低いほ場から高いほ場まで幅広く分布していることから、土壌診断に基づくほ場ごとの施肥管理の継続が必要です。

### 調査したほ場はどんな土壌？

16筆のほ場のうち、1筆を除きすべてのほ場のリン酸吸収係数は1500mg/100g以上であったことから、調査対象としたほ場の大半は黒ボク土であったと考えられます。

土壌の放射性セシウム濃度は調査開始の2013年の測定で567 Bq/kg乾土(316~964Bq/kg乾土)でしたが、2017年の測定で398 Bq/kg乾土(162~674Bq/kg乾土)にまで下がっていました。

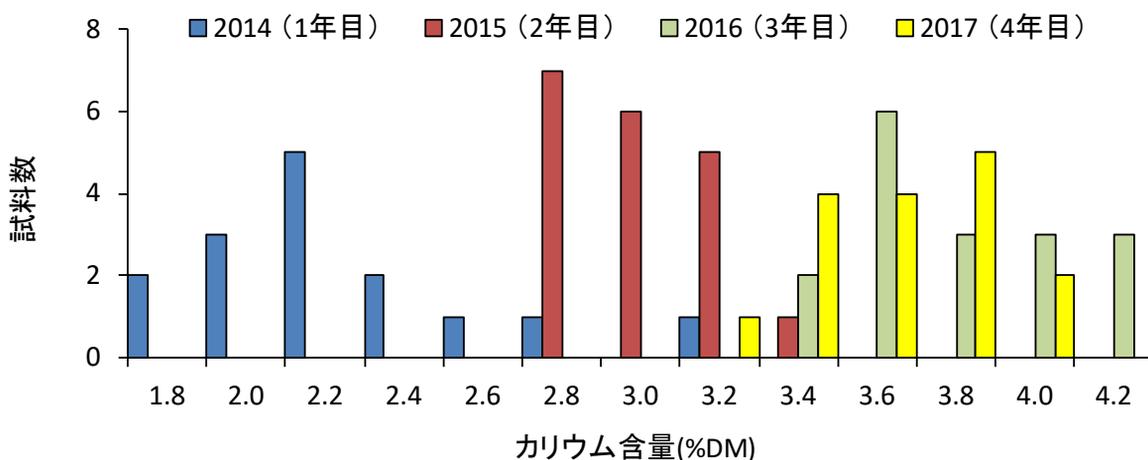


ほ場から土壌を掘り出した跡



掘り出した土壌

### 3) 牧草のカリウム含量の推移



牧草のカリウム含量の分布（凡例のカッコ内は草地更新後の年数）

牧草のカリウム含量は、土壌の交換性カリ含量に追従して高まり、2015年以降は2~3%を大きく上回りました。しかし、2016年からカリ施肥量を減らした結果、牧草のカリウム含量の上昇は2016年で頭打ちとなりました。テタニー比についても2015年までは放牧利用の指標となる2.2を超えていましたが、2017年には1.8に下がりました。

このように、カリ施肥により牧草のカリウム含量とテタニー比は高くなることがありますので、飼料成分分析によりミネラル濃度をよく確認することが重要です。カリウム含量の多い牧草を使う場合には、前出のようにカリウム含量の少ない濃厚飼料等と組み合わせて利用しましょう。

#### 放射性セシウムの移行抑制のための草地更新はどのように行うの？

放射性セシウムの移行を抑制するためには、20-25cm以上の十分な耕深での耕起、ハロー等による十分な砕土、土壌の交換性カリ含量を30~40mgK<sub>2</sub>O/100g乾土を維持する施肥管理など、通常の草地更新よりも丁寧な作業が必要です。

詳しくは、農林水産省が公表している「牧草地における放射性物質移行低減対策の手引き」をご参考ください。

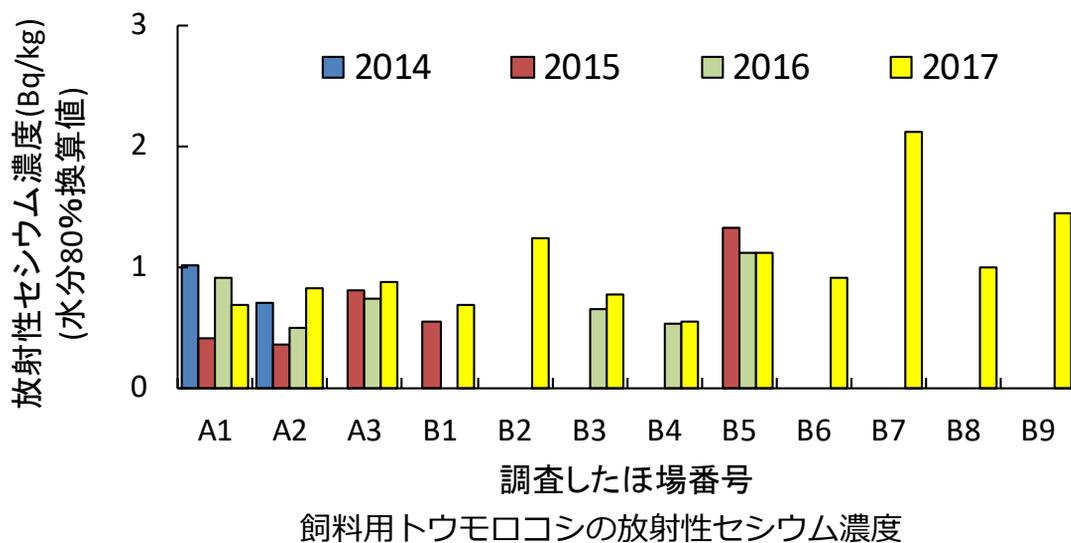


プラウによる耕起作業



ハローによる砕土・整地作業

#### 4) 飼料用トウモロコシの放射性セシウム濃度



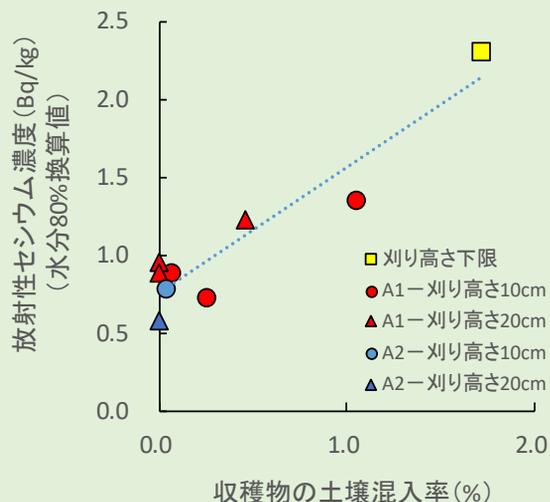
牧草以外に、転換畑等で栽培された飼料用トウモロコシの放射性セシウム濃度を調査しました。調査した圃場と、23ページに記載の牧草の試験圃場とを2017年のデータで比較すると、土壌の放射性セシウム濃度は695 Bq/kg乾土（264~1217Bq/kg乾土）と高く、交換性カリ含量は122mgK<sub>2</sub>O/100g乾土（39~218mg/100g乾土）でしたが、飼料用トウモロコシの放射性セシウム濃度は高くても2.1Bq/kgに留まり、牧草に比べて低い濃度でした。

#### 土壌混入に留意した飼料用トウモロコシの収穫方法

収穫物への土壌混入を抑えることができれば、サイレージの品質を高めるとともに、放射性セシウムのリスクをさらに低減できます。そのため、ダイレクトカット方式の汎用型飼料収穫機を用い、ロールベールがほ場に放出される場所にシートを敷いて収穫作業を行いました。刈り高さが低すぎると、収穫物に440Bq/kg（乾土）の土壌が混入して放射性セシウム濃度が少し高くなりました。



汎用型飼料収穫機による収穫作業



農林水産省委託プロジェクト研究  
「営農再開のための放射性物質対策技術の開発」  
農地への放射性セシウム流入防止技術の開発

課題名：除染後草地の維持管理技術の開発

課題担当機関： 岩手県農業研究センター畜産研究所  
宮城県畜産試験場  
福島県農業総合センター畜産研究所  
栃木県畜産酪農研究センター  
農研機構畜産研究部門

農林水産省委託事業  
食料生産地域再生のための先端技術展開事業  
「持続的な畜産経営を可能とする  
生産・管理技術の実証研究」

課題名：安全で高品質な自給飼料生産技術の実証研究

課題担当機関： 農研機構畜産研究部門  
福島県農業総合センター畜産研究所

農研機構畜産研究部門技術レポート21号  
草地における放射性物質対策のためのカリ施肥  
2019年3月 発行

お問い合わせ先

農研機構畜産研究部門 企画管理部 企画連携室

電話 029-838-8618 FAX 029-838-8606

メールフォーム(URL) <http://www.naro.affrc.go.jp/inquiry/index.html>

本手引きの掲載内容を転載、複製する場合は、農研機構畜産研究部門の許可を得てください。

