

農研機構シンポジウム

放射性セシウム吸収抑制対策の 今後を考える

講演要旨集

平成29年12月4日（月） 11:00～17:00

コラッセふくしま・多目的ホール
(福島県福島市三河南町1-20)

主 催：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

後 援：福島県農業総合センター

一般社団法人日本土壌肥料学会

日本作物学会

本資料から転載、複製、引用する場合は
著者の許可を得てください。

※農研機構は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構の
コミュニケーションネーム（通称）です。

農研機構シンポジウム

放射性セシウム吸収抑制対策の今後を考える

〈 目 次 〉

① 水稻におけるカリ適正化のための統計モデル解析	1
農研機構東北農業研究センター 藤村 恵人	
② 植物によるセシウム吸収メカニズム	10
東京農工大学農学研究院 横山 正	
③ 粘土鉱物組成がカリ施用の有効性に及ぼす影響	26
農研機構東北農業研究センター 江口 哲也	
④ 圃場残渣など有機物供給とカリの物質循環	38
農研機構中央農業研究センター 久保寺秀夫	
⑤ 稲わら施用によるカリ供給効果	58
福島県農業総合センター 新妻 和敏	
⑥ 放射性セシウム低吸収水稻品種の開発	67
農研機構農業環境変動研究センター 石川 寛	
⑦ ダイズにおける対策と問題点	80
農研機構東北農業研究センター 松波 寿弥	
⑧ ソバにおける対策と問題点	89
農研機構東北農業研究センター 久保 堅司	
⑨ 牧草における対策と問題点	99
農研機構畜産研究部門 渋谷 岳	

水稲におけるカリ適正化のための統計モデル解析

農研機構東北農業研究センター 藤村 恵人

1. カリ上乘せ施用

水稲による放射性セシウムの吸収が懸念される地域においては、カリによって放射性セシウムの吸収を十分に抑制できるようにするために、通常施肥前の土壤中交換性カリ含量を $25\text{mgK}_2\text{O}/100\text{g}$ とすることを目標にカリ上乘せ施用が行われている。2011年度末に示されたこの目安による対策の効果は大きく、放射性セシウムの自然減衰などとも相まって、2015年以降は玄米で基準値超過は生じていない。そこで、今後のカリによる吸収抑制対策を考える基礎とすることを目的として、これまでのデータを用いて、玄米への放射性セシウムの移行について年次と地域の違いを解析した。

2. 統計モデル解析

土壤から玄米への移行係数を、土壤中交換性カリ含量を用いて推定するモデル式を構築し、このモデル式により適正な交換性カリ含量の水準を提言することを目指した。モデル式を構築するために、農林水産省消費・安全局が福島県内の300余りの水田を対象に調査した玄米の移行係数および収穫期の土壤中交換性カリ含量を用いて統計モデル解析を行った。

3. カリ適正化への応用

モデル式を利用することにより、放射性セシウム濃度が経年的に減衰している状況やこれまでの基準値超過が発生していない年次の状況に合わせて、通常施肥前に必要な土壤中交換性カリ含量を推定することができる。その結果、土壤中放射性セシウム濃度が低い地域では、カリ上乘せ施用を中止しても基準値を超過する可能性は低いと推定された。その一方で、これまでの調査から土壤中交換性カリ含量が施肥によっても十分に高まらない現象など、より詳細な解析が必要な状況は残される。そのため、今後は一般的な土壤条件とは異なる地域を明らかにすると同時に、その地域にあった対策技術の確立を進める必要がある。

水稻におけるカリ適正化のための 統計モデル解析

農研機構東北農業研究センター
農業放射線研究センター 水田作移行低減グループ
藤村 恵人

「農研機構」は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネームです。

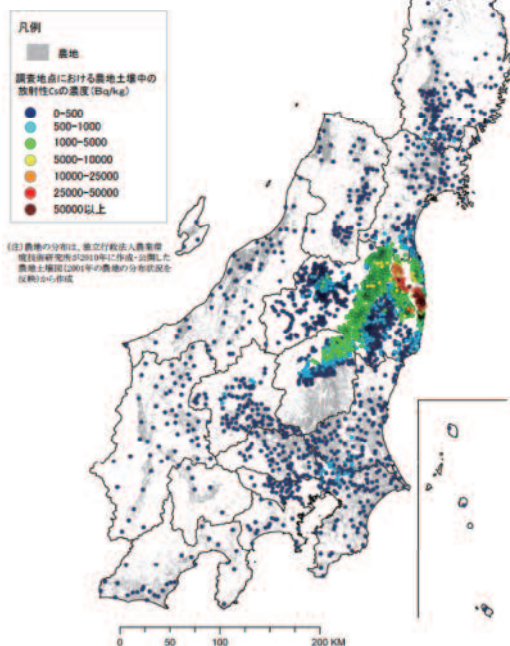
内容

今後のカリによる吸収抑制対策を考える上での基礎となる情報の提供を目的とする

- 背景
- カリ適正化のためのモデル式の構築
- モデル式の応用

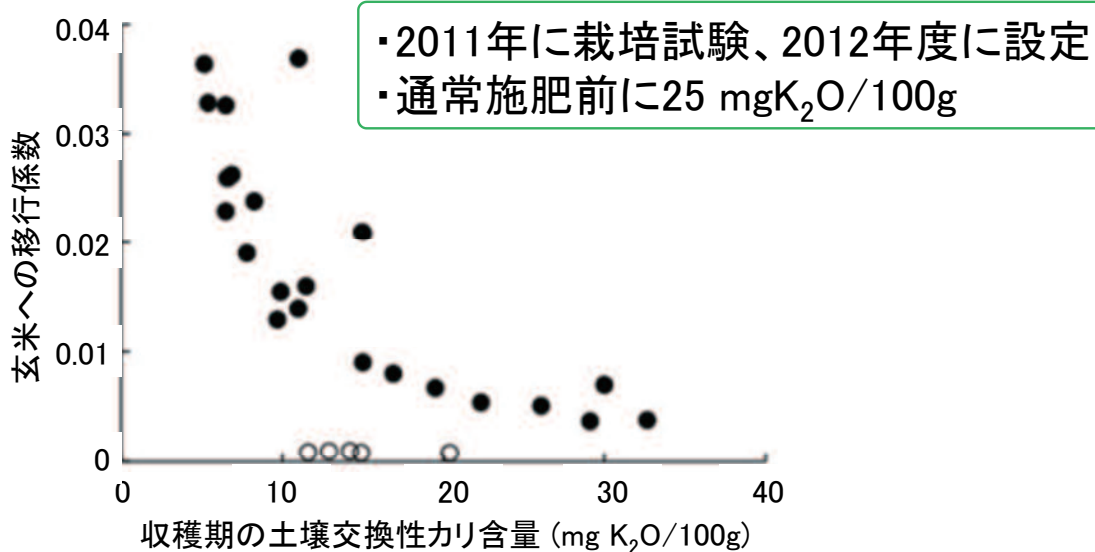
放射性セシウムの沈着範囲

調査地全域の農地土壌の放射性物質濃度調査地点図 (別添2)



2011年11月5日における農地土壌の放射性セシウム濃度分布図(農林水産省、2012、http://www.affrc.maff.go.jp/docs/press/pdf/120323_03_bunpuzu.pdf)

交換性カリ含量目標値の設定



中央農研 2011年成果情報
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2011/a00a0_01_67.html

玄米の基準値超過(福島県)

年	調査袋数	100Bq/kg超過	割合
2011	21,189	311	1.46774%
2012	10,346,169	71	0.00069%
2013	11,006,551	28	0.00025%
2014	11,014,647	2	0.00002%
2015	10,481,645	0	0.00000%
2016	10,253,256	0	0.00000%

ふくしまの恵み安全対策協議会 放射性物質検査情報
 詳細検査を実施したものについてはその結果を反映させた

➤ 2015年度一カリによる吸収抑制対策実施面積(福島県)

水稲 61,239 ha
 大豆 800 ha
 そば 1,038 ha

- ・通常の施肥体系ではない
- ・放射性セシウムは減衰している
- 交換性カリ含量を再検討

カリ適正化のためのモデル式の構築 農研機構

統計モデルとは

- 統計モデルは観察された現象(得られたデータ)を説明するために作られる
- 確率分布が基本的な部品となる(確率分布とは計測した値とそれが出現する確率を対応させたもの)
- 確率分布を使うと、さまざまな「ばらつき」「欠測」などをうまく表現できる

久保(2012)

- どのようなデータに対して、どのような確率分布を適用するのかを決める必要がある

- 移行係数はゼロ以上の値をとり、右下がり(値が高いほど確率は低くなる)の確率分布を示す
- このような確率分布には主に、対数正規分布、ガンマ分布、ワイブル分布がある
- ワイブル分布は、
 - 右に伸びた分布を柔軟に記述できる
 - 分布の裾野が簡単な関数で計算できる
→ 応用場面で使いやすい
 - 放射性セシウムが不検出であっても、「0と検出限界値のどれかの値である」とみなして解析に用いることができる

ワイブル分布

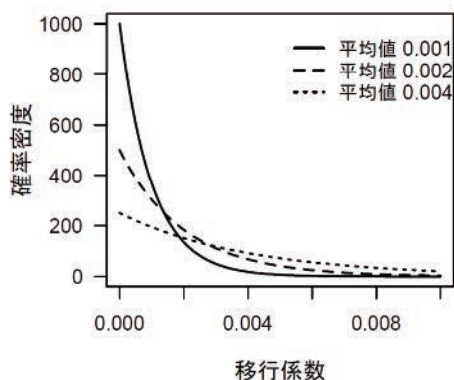
移行係数 x の確率密度

$$f(x|\alpha, \gamma) = \left(\frac{\gamma}{\alpha}\right) \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\gamma-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\gamma}\right)$$

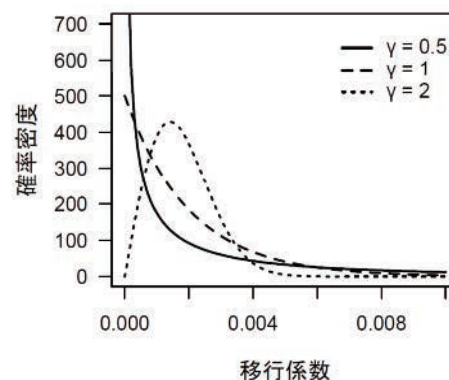
α : 尺度パラメータ、2倍になると移行係数の平均値が2倍になる

γ : 形状パラメータ、小さくなると右の裾野が長くなる

$\gamma = 1$ (形状パラメータ一定)



平均値 0.002 (尺度パラメータ一定)



カリ適正化のためのモデル式の構築 農研機構

- 福島県内300あまりの水田の調査結果を解析
- 交換性カリ含量、地域、年次
移行係数を変化させるとした

- $\log_e(\alpha) = b_0$

$$+b_{0,N}I_N + b_{0,A}I_A \quad \leftarrow \text{地域の効果}$$

$$+b_{0,2013}I_{2013} + b_{0,2014}I_{2014} + b_{0,2015}I_{2015}$$

$$+ b_1 \log_e(K) \quad \uparrow \text{地域の効果}$$

$$\uparrow \text{交換性カリ含量の効果}$$

I_N は中通りの場合は1、それ以外の場合は0をとる。 I_A は会津の場合は1、それ以外の場合は0をとる。 I_{2013} は2013年の場合は1、それ以外の場合は0をとる。 I_{2014} と I_{2015} も同様である。 K は交換性カリ含量を示す。 b_0 、 $b_{0,N}$ 、 $b_{0,A}$ 、 $b_{0,2013}$ 、 $b_{0,2014}$ 、 $b_{0,2015}$ 、 b_1 はパラメータを示す。

モデル式の応用



リスクの三つの定義 山村 (2017)

- 古典的定義 厳密な統計学的定義。昔からある規格ISO2859などが採用
ある悪い事象が起こる確率
(例)工業製品の品質管理において、不良率が1%以上のロットを見逃す確率 これを採用(輸入植物検疫と同じ)
- 医学系での定義 リスク学会などが採用
ある悪い事象が起こる確率 × その事象の重篤性
(例) 疾病A: 発生確率0.1, 重篤度5 → リスクは 0.5
疾病B: 発生確率0.5, 重篤度1 → リスクは 0.5
- 経済学系での定義 2009年に改定されたISO guide 73などが採用
結果の不確実性(結果がブレる大きさ)
(例) どの株式に投資するかという問題で「リターン」とリスクを比較する。この場合は変動の大きい株式は「リスク大」と定義する。リスクの大きな商品は儲かる可能性が高い、という表現が可能。

古典的なリスク管理の二つの要素 山村 (2017)

- 悪い事象の発生確率 β をどのような値に保つべきか
 - 品質管理や統計検定においては $\beta=0.05$ が用いられることが多い。検査の場合には「見逃す確率が5%」「検出する確率が95%」
 - 0.05 を最初に用いたのは統計学者のFisher (1926)。ロザムステッド農事試験場に勤務していたときに「何年に1度の豊作は稀だと言えるか？」を考えて、それは20年に1度だと見なして0.05を用いた。
 - 0.05は「起こるが稀である」と人間が一般的に考える状態(らしい)
 - β を非常に小さな値(たとえば0.001)にすると、それは「事実上、発生しない」事象を取り扱うこととなるので、これは有効なリスク管理には繋がらない。リスク管理では「起こりうること」をターゲットにして管理を実行しなければならない。
- 何を「悪い事象」と見なすべきか
 - 「発生を稀に保つべき事象」を「悪い事象」として逆算して設定する。この場面では問題の「重篤度」を考えて決定する。

必要な交換性カリ含量の設定方法 その1

- 「玄米の放射性セシウム濃度をある値以下にする」のに必要な交換性カリ含量を求める
 1. 目標とする玄米の放射性セシウム濃度を定める
 2. 土壌の放射性セシウム濃度で除して、その移行係数を算出する
 3. その移行係数を達成するために必要な交換性カリ含量をモデル式から算出する
- 玄米の放射性セシウム濃度は5%の確率で目標値を超えると想定する

必要な交換性カリ含量の設定方法 その1

- 玄米の放射性セシウム濃度の目標値を100 Bq/kgとした場合・・・
 - ・「5%が100 Bq/kgを超えると想定する」ことは許容し難い
 - ・一方で、必要な交換性カリ含量は低く設定できる
- 玄米の放射性セシウム濃度の目標値を1 Bq/kgとした場合・・・
 - ・「5%が1 Bq/kgを超えると想定する」ことは、多くの場合、許容できると思われる
 - ・一方で、現在よりも高い交換性カリ含量が必要となる
- 目標とする玄米の放射性セシウム濃度をどの値にするのか？

必要な交換性カリ含量の設定方法 その2

- 「過年度のリスクを保つ」ために必要な交換性カリ含量を求める。
2012年のリスクを保つことを例として示す。
 1. 交換性カリ含量が18 mgK₂O/100gであるときの2012年の移行係数をモデル式から算出する
 2. 2018年の土壌の放射性セシウム濃度は2012年の1/1.69倍であるため(自然減衰により減少する)、2018年には、移行係数が2012年より1.69倍高くても玄米の放射性セシウム濃度は2012年と同水準に保たれる
 3. 1.69倍した移行係数を達成するために必要な交換性カリ含量をモデル式から算出する
- どの年次のリスクを保とうとするべきなのか？
全量全袋検査の結果が参考になると考えられる

必要な交換性カリ含量の設定方法 2

玄米の放射性セシウム濃度が25Bq/kgを超えた割合(%)

年度	浜通り	中通り	会津	福島県
2012	0.0030	0.011	0.000029	0.0070
2013	0.075	0.00014	0	0.0057
2014	0.00011	0.000046	0	0.000036
2015	0.00025	0.000065	0	0.000057
2016	0	0	0	0

玄米の放射性セシウム濃度が100Bq/kgを超えた割合(%)

年度	浜通り	中通り	会津	福島県
2012	0.00014	0.0011	0	0.00069
2013	0.0033	0.000015	0	0.00025
2014	0	0.000030	0	0.000018
2015	0	0	0	0
2016	0	0	0	0

ふくしまの恵み安全対策協議会 放射性物質検査情報
詳細検査を実施したものについてはその結果を反映させた

「ばらつき」の要因探索

- 「ばらつき」の要因を解明することにより、
 - ・ モデルの精度が向上する
 - ・ リスクが高まる条件を特定できる
- 探索の糸口
 - ・ カリ対策を実施しても土壌の交換性カリ含量が十分に高まらない現象
 - ・ 交換性カリ含量が同じでも移行係数が大きく異なる現象
- 今後は一般とは異なる土壌条件を明らかにすると同時に、その土壌条件にあった対策技術の確立を進める必要がある

植物によるセシウム吸収メカニズム

東京農工大学農学研究院生物生産科学部門 横山 正

1. はじめに

2011年3月の原子力事故で、福島県を中心に広大な農地と山林が放射性Csで汚染された。その後、作物への放射性Cs移行が徹底的に研究され、作物の外部環境である土壤中の交換態カリウム量の制御で、作物の可食部への放射性Cs吸収を抑制する技術が確立された。しかし、この技術は土壤環境の違いで効果が変動することが危惧され、作物の放射性Csの吸収・移行・吸収抑制等の原理を解明する必要がある。しかし、作物の放射性Cs吸収に関与する機構は全く不明であった。そこで、水稻に焦点を絞り、放射性Cs吸収や抑制に係わる分子種の特性やその作用機構を解明し、安定的な放射性Cs吸収抑制に資するメカニズム解明を目指した。

2. 世界や日本のイネ品種の放射性Cs吸収特性

2012年に福島県二本松市の水田で、世界と日本のイネコアコレクション119品種が保有する放射性Csの吸収や子実蓄積特性評価を行った結果、「ひとめぼれ」は放射性Cs吸収が低い品種であり、先祖親の「戦捷」等から放射性Cs吸収を抑制する遺伝因子を受け継いでいた。

3. イネの放射性Cs吸収機構の解明

2013年～2015年にかけて、福島県二本松市東和地区の水田で、「ひとめぼれ」と「タカナリ」の組換え自殖系統群（RILs 138系統）を用いたイネ各器官の放射性Cs蓄積に関わる形質のQTL解析を行い、さらに、2016年から放射性Cs分布を均質化したモデル水田を用い、同様な試験を行った。その結果、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ともに、ひとめぼれの対立遺伝子により玄米の放射性Cs濃度を下げる効果のある有意なQTLを第1染色体長腕と第6染色体長腕、第12染色体長腕に検出した。第6染色体にはカチオントランスポーターHKT1、 K^+/Na^+ トランスポーター、及び重金属トランスポーターが見出された。第1染色体と第6染色体がひとめぼれタイプ、第3染色体がタカナリタイプの抑制遺伝子をもつ系統は、玄米中の放射性Csをひとめぼれより約6割減少させた。

**11頁～25頁は、
インターネット公開不承認のため非表示**

粘土鉱物組成がカリ施用の有効性に及ぼす影響

農研機構東北農業研究センター 江口 哲也

1. はじめに

被災地においては、塩化カリ施用による作物への放射性セシウム移行低減対策が行われている。しかしながら、カリ施用を行っても交換性カリ含量が改良目標（25～50 mgK₂O/100g）まで高まらない、あるいは交換性カリ含量は高まったにもかかわらず作物への放射性セシウム移行はそれほど低減しないなど、カリ施用効果が低い土壤が畑地や草地で散見される。土壤におけるカリ保持の主体である粘土鉱物組成がカリ施用の有効性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 粘土鉱物組成がカリの固液分配におよぼす影響

交換性カリが高まらない土壤の粘土鉱物組成は、アロフェン質およびバーミキュライト質であった。カリの固液分配および固相でのカリの保持形態を評価したところ、アロフェン質土壤では、カリの保持能力が低く、施用されたカリが降雨により容易に溶脱するため、カリ施用の有効性が低いものと考えられた。一方、バーミキュライト質土壤はカリの保持能力は高いが、ほとんどを非交換性カリとして保持するため交換性カリが高まらないものと考えられた。しかし、被災地に多く見られる黒雲母系バーミキュライトでは、非交換性カリの可給性は一般に高いため、バーミキュライト質土壤はカリ施用が有効な土壤であるが、その効果を交換性カリによっては評価できない。また、ゼオライト質や AI-バーミキュライト質土壤はカリの固相への分配が非常に高く、交換性カリが土壤溶液に溶出しづらい、つまり、作物が交換性カリを利用しづらい土壤であると考えられた。

3. カリの固液分配評価にもとづく管理

アロフェン質土壤では、ゼオライトなどのカリ保持能の高い鉱物資材の施用が効果的と考えられる。ゼオライト質土壤や AI-バーミキュライト質土壤では、十分な量のカリウムが土壤溶液に分配される交換性カリ水準を設定することが必要と考えられる。

粘土鉱物組成がカリ施用の 有効性に及ぼす影響

農研機構東北農業研究センター
農業放射線研究センター 水田作移行低減グループ
江口 哲也

「農研機構」は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネームです。

カリ施用の効果

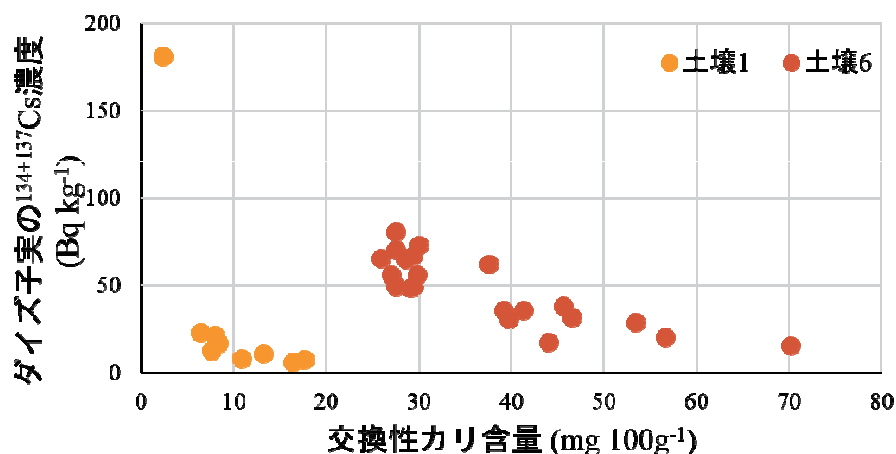


図1 土壌の交換性カリ含量とダイズ子実の¹³⁴⁺¹³⁷Cs濃度の関係
(久保, 未発表; 平山, 未発表).

- ✓ 交換性カリの改良目標は25-50 mg 100g⁻¹
- ✓ 効果の低い土壌が畑地や草地で散見される

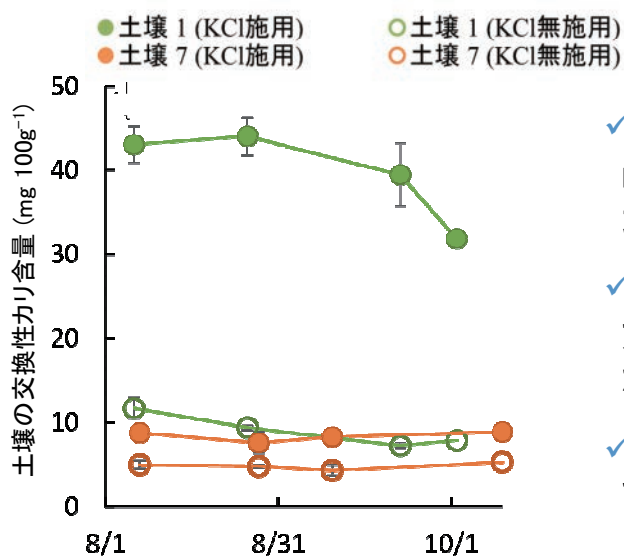


図1 ソバの圃場試験における土壌の交換性カリ含量の推移 (Kubo et al., submitting).

- ✓ 交換性カリ45~50 mg 100⁻¹gを目標に塩化カリを施用
- ✓ 土壌7では交換性カリがほとんど高まらなかった
- ✓ カリの挙動に影響するのは？
→ 2:1型粘土鉱物
ゼオライト

インターネット公開不承認のため非表示

インターネット公開不承認のため非表示

インターネット公開不承認のため非表示

供試土壌

No.	カリ施用効果	土地利用	地質	カリ施用による交換性カリの変化
1	高い	畑地	堆積物	高まる
2	高い	畑地	凝灰岩	高まる
3	高い	草地	花崗岩	高まる
4	高い	草地	火山灰	高まる
5	高い	草地	火山灰	高まる
6	低い	畑地	堆積物	高まるが要求水準高い
7	低い	畑地	堆積物	高まらない
8	低い	畑地	花崗岩	高まらない
9	低い	草地	花崗岩	高まらない
10	低い	水田	花崗岩	高まるが低下しやすい
11	低い	草地	火山灰	高まるが低下しやすい
12	低い	草地	火山灰	高まるが低下しやすい
13	低い	草地	火山灰	高まるが低下しやすい

供試土壌の主要な結晶性粘土鉱物

No.	カリ施用効果	結晶性粘土鉱物
1	高い	スメクタイト
2	高い	スメクタイト
3	高い	Al-バーミキュライト
4	高い	Al-バーミキュライト
5	高い	Al-バーミキュライト
6	低い	ゼオライト
7	低い	バーミキュライト
8	低い	バーミキュライト
9	低い	バーミキュライト
10	低い	Al-バーミキュライト
11	低い	(アロフェン質)
12	低い	(アロフェン質)
13	低い	(アロフェン質)

K選択性

- ✓高い
 - ▶スメクタイト
 - ▶雲母
 - ▶Al-バーミキュライト
 - ▶バーミキュライト
 - ▶ゼオライト
- ✓低い
 - ▶アロフェン
 - ▶有機物

溶脱と固定を同時に診断できないか？

Quantity-intensity (Q/I) 関係解析

Q/I 関係解析

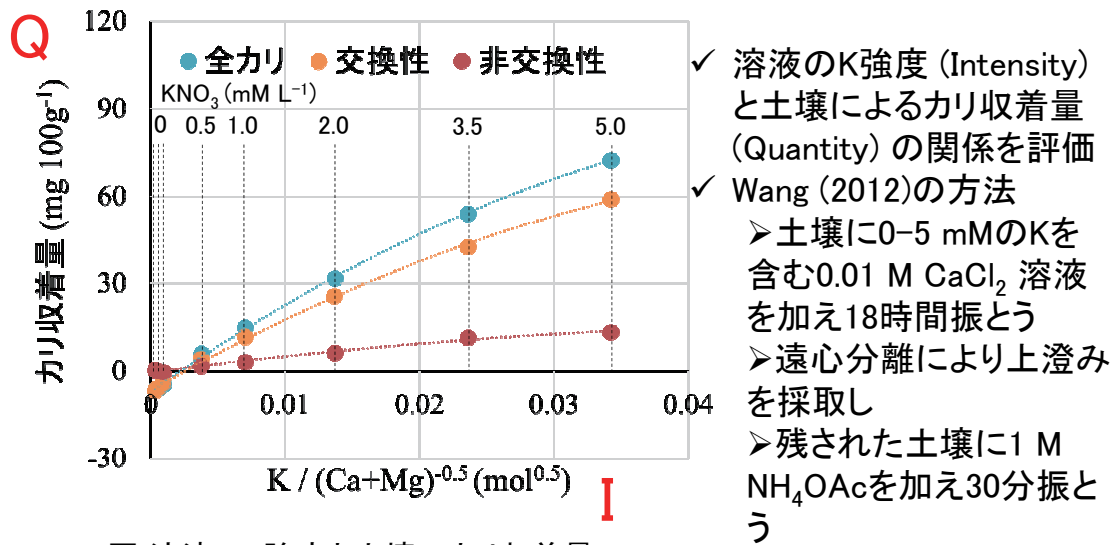


図 溶液のK強度と土壤のカリ収着量の関係(Q/Iプロット)

交換性カリの評価に応用

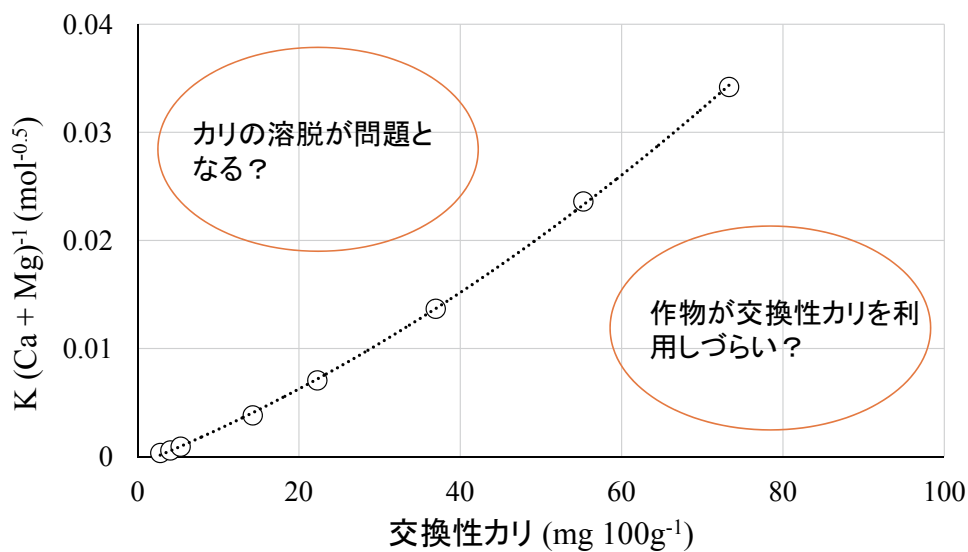
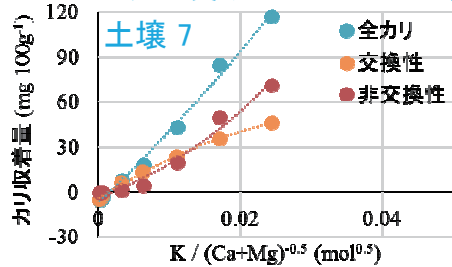


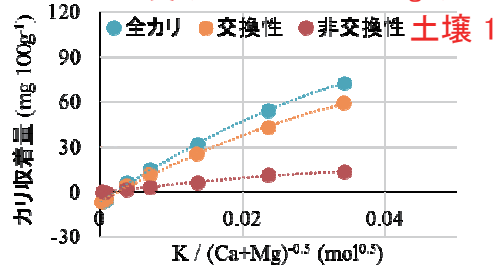
図 土壤の交換性カリ含量と溶液のK強度の関係

交換性カリが高まりにくい土壌

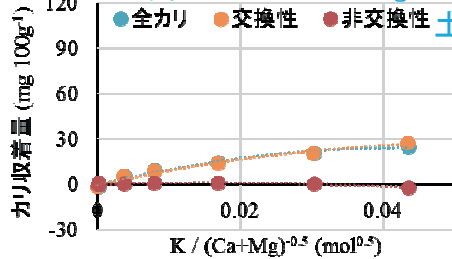
バーミキュライト質 (CEC = 13.6 cmol kg⁻¹)



スメクタイト質 (CEC = 13.1 cmol kg⁻¹)



アロフェン質 (CEC = 8.6 cmol kg⁻¹)

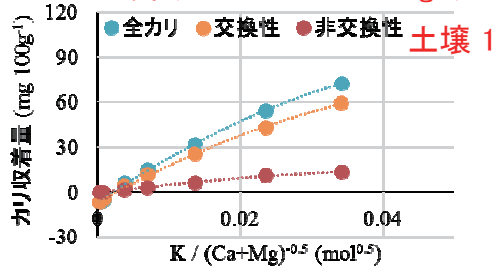


- ✓バーミキュライト質土壌はカリを固定
- ✓アロフェン質土壌はカリの保持能が低い

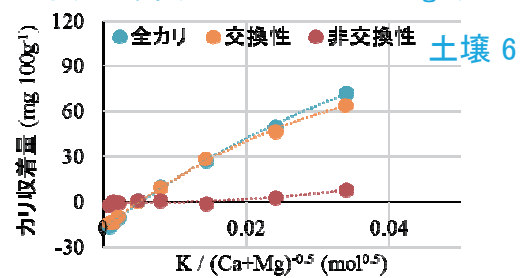
図 土壌のQ/Iプロット

交換性カリが高まりやすい土壌

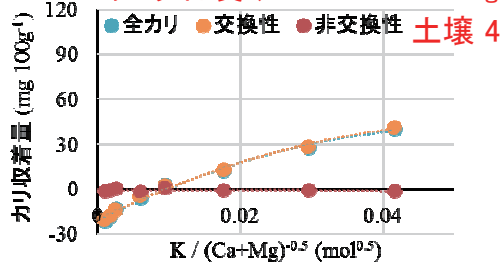
スメクタイト質 (CEC = 13.1 cmol kg⁻¹)



ゼオライト質 (CEC = 15.1 cmol kg⁻¹)



Al-バーミキュライト質 (CEC = 15.5 cmol kg⁻¹)



- ✓交換性カリとして保持
- ✓Al-interlayering はバーミキュライトのカリ固定能を低下させる (Saha and Inoue, 1996).

図 土壌のQ/Iプロット

交換性カリと溶液Kの関係

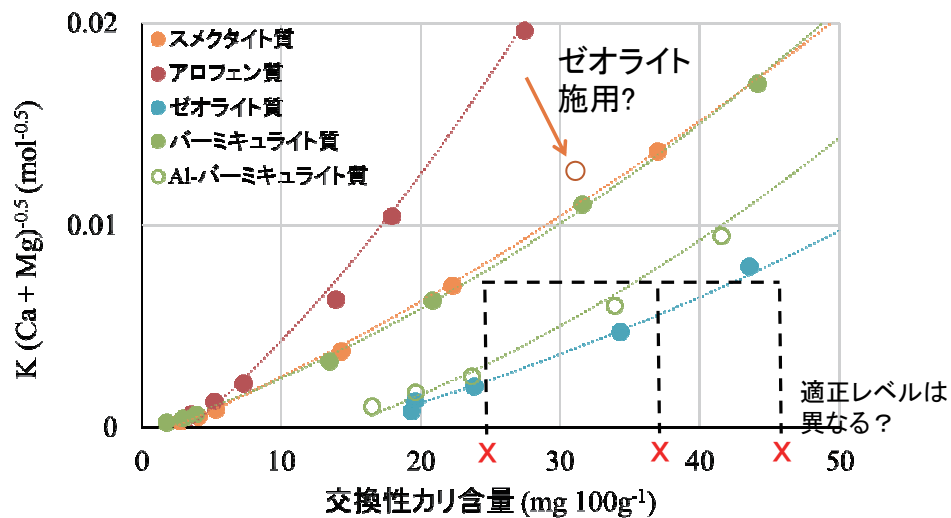


図 土壌の交換性カリ含量とCaCl₂溶液のK強度の関係

*以下の仮定により計算

土壌溶液のK強度 = CaCl₂溶液のK強度, 土壌の水分含量 = 日本の畑地および草地の平均値 (小原, 2002).

ゼオライト施用の効果

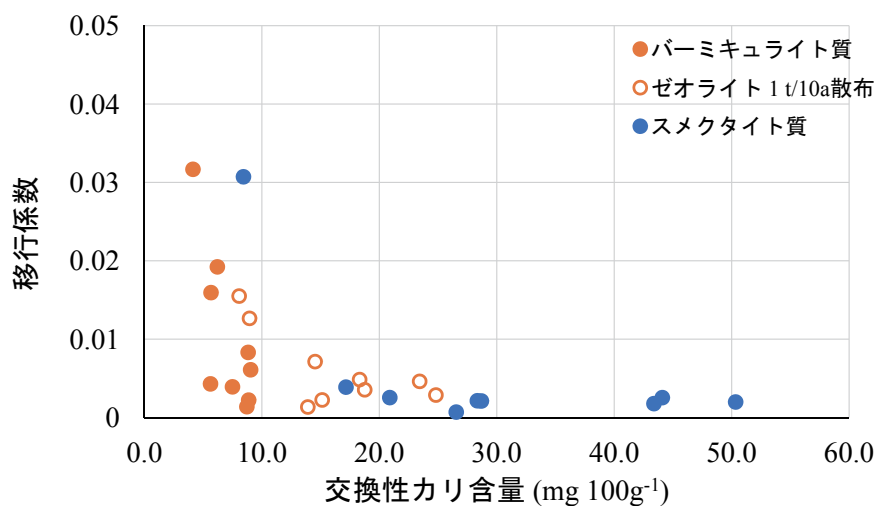
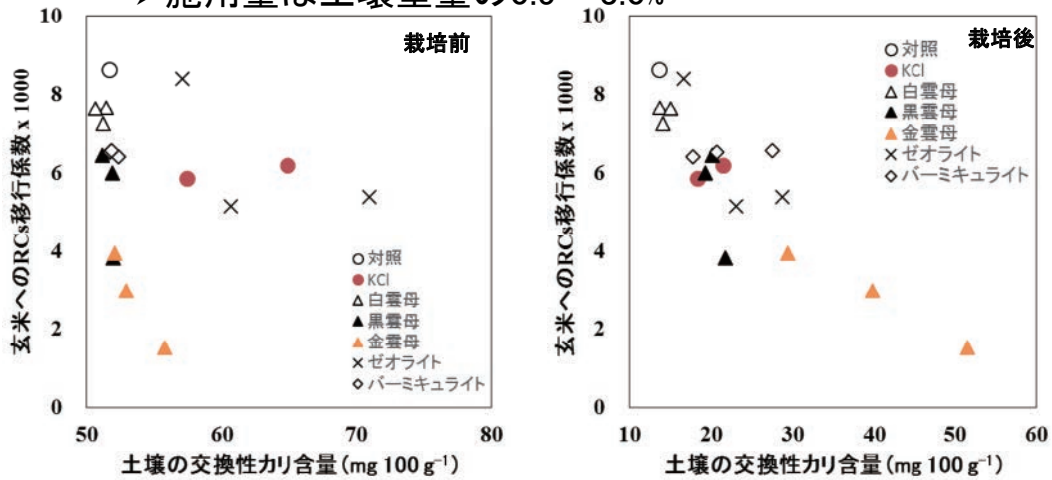


図 土壌の交換性カリ含量とソバへの放射性セシウム移行係数の関係 (久保、未発表)

✓非交換性カリを多く含む雲母を施用してコシヒカリをポット栽培

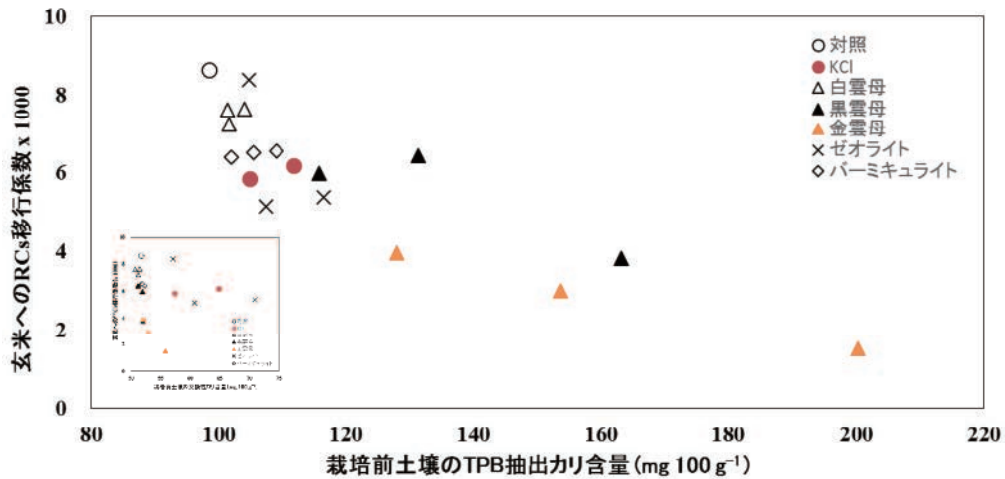
➤施用量は土壌重量の0.5 – 3.0%



交換性カリと玄米への¹³⁷Cs移行係数の関係

抽出方法を変えてみると

(TPB法, 植物根によるカリ吸収を化学的に模倣)



栽培前土壌のTPB抽出カリと玄米への¹³⁷Cs移行係数の関係

✓TPB法 (Carey et al., 2010) による抽出Kと有意な負の相関

→雲母層間の非交換性カリがRCs移行動態に影響

交換性カリと溶液Kの関係

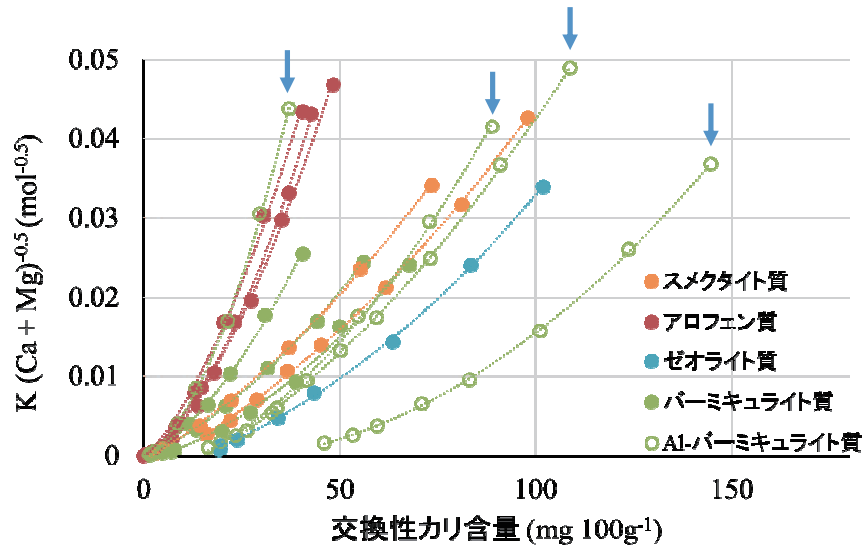
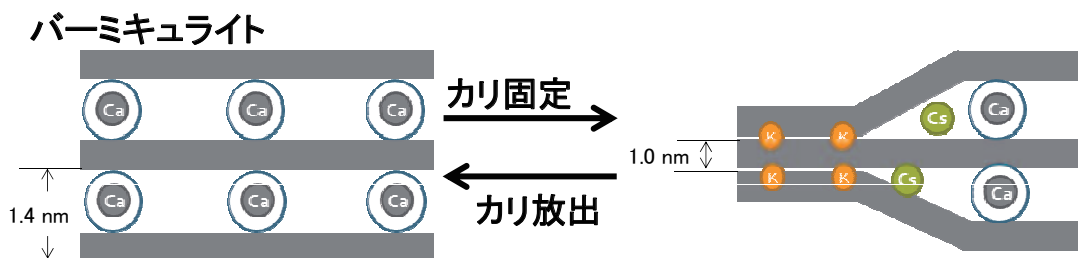


図 土壌の交換性カリ含量*とCaCl溶液のK強度の関係

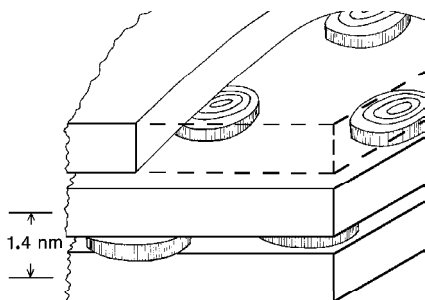
*以下の仮定により計算

土壌溶液のK強度 = CaCl溶液のK強度, 土壌の水分含量 = 日本の畑地および草地の平均値 (小原, 2002).

Al-interlayeringの影響



Al-バーミキュライト



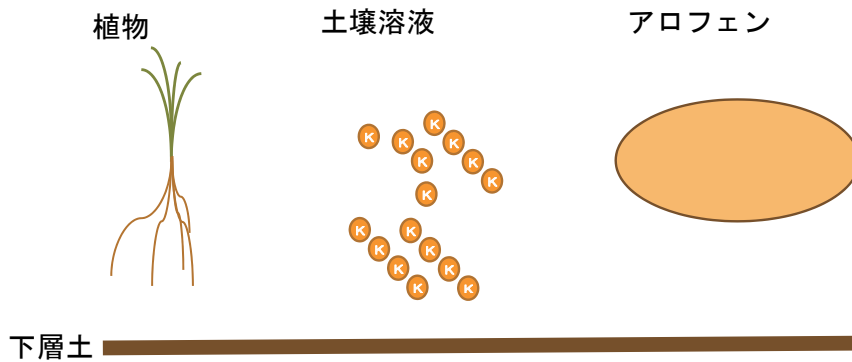
- ✓ 層間の水酸化Alポリマーが正電荷を持ち、突っかい棒の役割を果たす
→ カリやCsの吸着・固定を阻害
- ✓ 層間のほとんどが水酸化Alに占められる場合はクロライトと呼ばれる

典型的なCEC (和田 1997)

- バーミキュライト 100-150 cmolc kg⁻¹
- クロライト 2-10 cmolc kg⁻¹

(Images from Minerals in Soil Environment より, 一部改変)

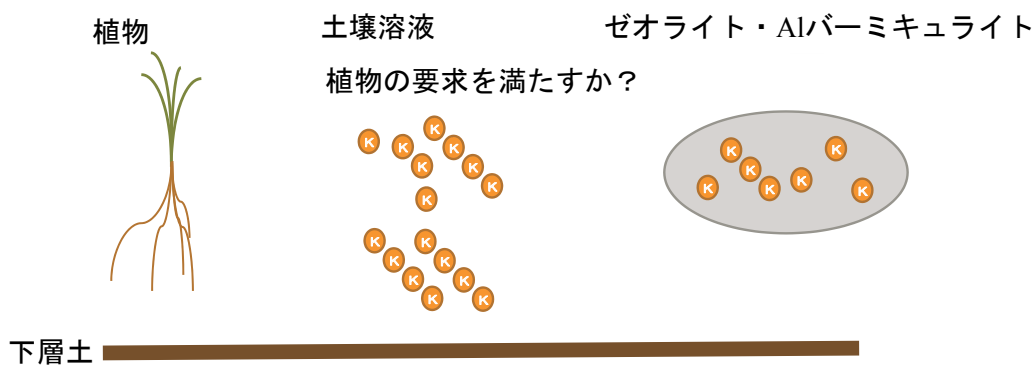
✓粘土鉱物組成は土壤に施用されたカリの有効性に強い影響をおよぼす



✓粘土鉱物組成は土壤に施用されたカリの有効性に強い影響をおよぼす



✓粘土鉱物組成は土壤に施用されたカリの有効性に強い影響をおよぼす



圃場残渣など有機物供給とカリの物質循環

農研機構中央農業研究センター 久保寺 秀夫

1. 有機物が土壌のカリ保持能に及ぼす影響

圃場残渣や堆肥など有機物の施用は、土壌にカリを投入する効果と共に、CEC を増大させ保持能を高めることで土壌のカリ供給能を増大させる可能性がある。有機物施用が土壌のカリ保持能に及ぼす影響をカラム試験で調査した。

各地の県農試で行われている有機物連用試験（基準点調査）の水田土壌 10 g をカラムに充填し、約 20 mL の透水をした後に硝酸カリウム 100 μmol を投入、透水して流出水中のカリウムを定量した。投入したカリウムの溶脱は有機物施用区の試料が無窒素区や化肥単用区に比べて早い傾向を示し、有機物施用によるカリ保持能の増大は認められなかった。カリウムの溶脱性は土壌タイプ（黒ボク土が大）および EK（交換性塩基中に占めるカリウムの割合、大きいと溶脱性大）と関係があったが、CEC や塩基飽和度とは関係しなかった。

2. 有機物を施用した土壌におけるカリの保持形態別の含量

佐賀県の低地土、長崎県の黄色土、鹿児島県の黒ボク土の各基準点の表層（0-15cm）と次表層（15-30 cm）のカリウムを、森塚（2009）の連続抽出法によって交換態、非交換態 I（0.01 mol L⁻¹ 塩酸抽出）、非交換態 II（1 mol L⁻¹ 塩酸、50° C 抽出）に分けて測定した。

佐賀の低地土では全処理区で可抽出カリの半分以上が非交換態、長崎の黄色土では全処理区でほとんどが交換態で、いずれも有機物施用により主に交換態が増大した。鹿児島の黒ボク土は全体に抽出量が低く、有機物施用による増大は判然としなかった。佐賀の低地土と長崎の黄色土から抽出されたカリについては、表層と次表層、交換態と非交換態、非交換態の I と II の間に、いずれも密接な正の関係が見られた。これらの土壌では、有機物施用により投入されたカリは水溶態-交換態-非交換態（I-II）の平衡が成り立っており、非交換態としての保持能がカリのリザーバとして機能している可能性を示唆している。またカリ減肥試験の水田圃場における土壌の交換態カリは、施肥量には影響されないが、わらや堆肥の施用による増加が明確だった。

圃場残渣など有機物供給とカリ の物質循環

農研機構中央農業研究センター
土壌肥料研究領域 土壌診断グループ
久保寺 秀夫

「農研機構」は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネームです。

本講演の一部は農水省委託プロ「適正施肥技術」の分担課題「水田にお
けるカリウムの適正施用指針の策定」の成果です

参画機関と研究課題

共通調査項目：

- 1) 標準量～無カリの栽培試験（
収量、カリ吸収、土壌のカリ増
減等把握）
- 2) 用水からのカリウム供給調査
- 3) 県内の主要米作地帯の河川
水カリウム濃度把握

新潟県
北陸地域のグライ低地
土水田におけるカリウ
ム減肥指針の策定

山形県
積雪寒冷地水田にお
けるカリウムの適正
施用指標の策定

鹿児島県
シラス母材の中
粗粒質土壌を中
心とした暖地低地
土でのカリウム減
肥指針の策定

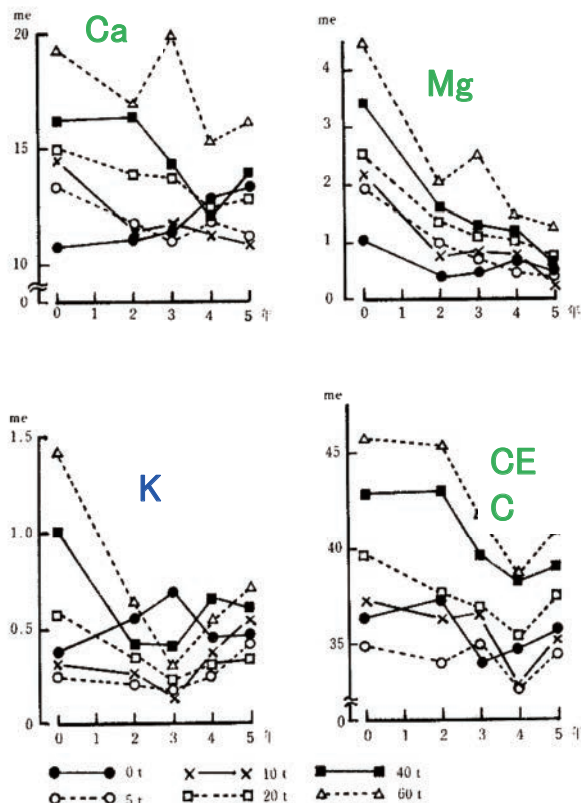
宮崎県
用水からのカリウム供
給が多い暖地低地土
での減肥技術の開発

三重県
東海地域の
低地土水田
におけるカリ
ウム減肥体
系の確立

中央農研
各種水田土壌における
可給態カリウムの**保持
能と保持形態**の評価

本日お話しする内容

1. 有機物が土壌のカリ保持能に及ぼす影響
2. 有機物を施用した土壌におけるカリの保持形態別の含量

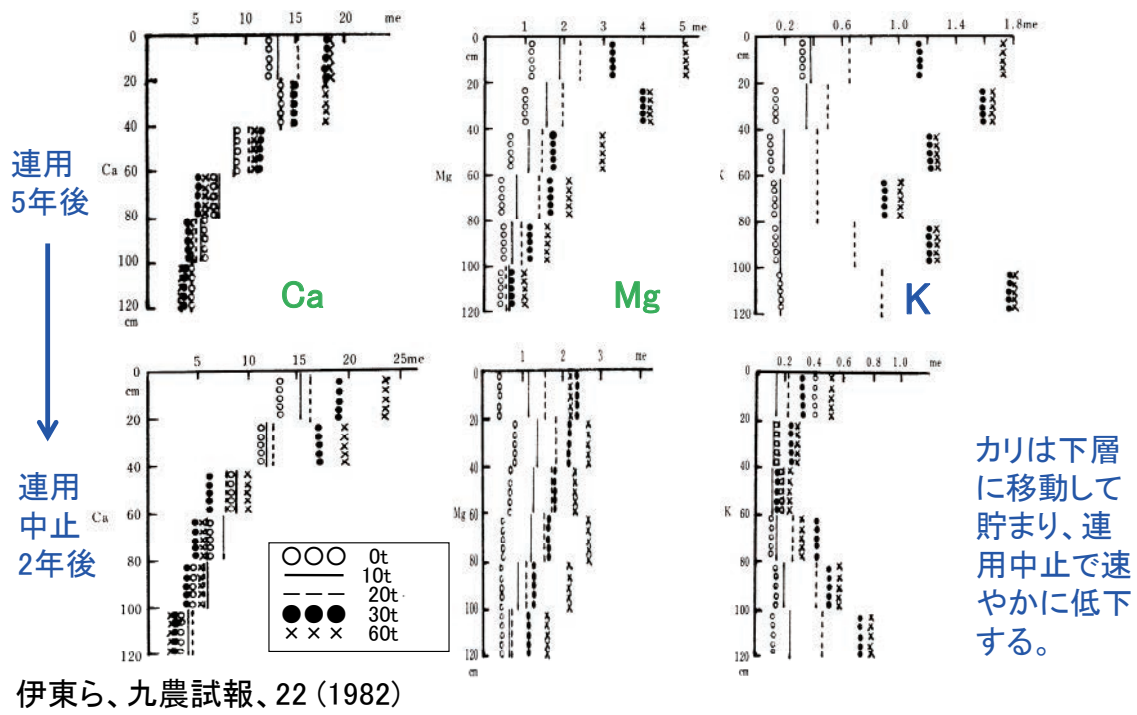


第 25 図 厩肥の中断に伴う塩基および塩基交換容量の経年変化(乾土100g当たり)

厩肥連用を中止した後の作土の交換性塩基含量の経年変化(多腐植質黒ボク土)

- 交換性塩基、CECとも厩肥施用量に応じて増大している。
- カリは連用中止で速やかに低下する。

伊東ら、
九農試報、22 (1982)



オンタリオ州の中粗粒質土壌 (Loam~Sandy Loam) でのカリウム施用試験

Table 1. Mean exchangeable K in soils at different depths for all crop covers and fallow combined, initially and after treatment

Depth (cm)	Caldwell			XYZ		
	Before K added, spring 1971	Fall 1971–Spring 1974		Before K added, spring 1971	Fall 1971–Spring 1974	
		Control	K		Control	K
		— meq K/100 g soil† —				
0–15	0.32	0.26	0.69	0.06	0.08	0.40
15–30	.25	.22	.24	.06	.06	.10
30–60	.34	.34	.36	.05	.06	.05
60–90	.49	.55	.56	.04	.08	.08
90–120	.70	.68	.68	—	—	—

†SD = ±0.08 for Caldwell and ±0.04 for XYZ.

448kg/10aのカリウムを3年間入れ続けても、30cm以深への移動は見られなかった

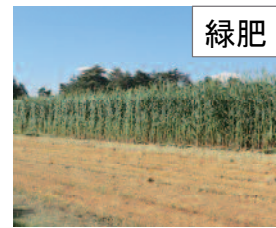
Maclean, Canadian J. Soil Sci, 57 (1977)



残渣



堆肥



緑肥

有機物投入

化学的：カリの投入、カリ保持担体(CEC)増大、pH変化→変異荷電

物理的：粗大有機物混入・団粒形成→水移動への影響

生物的：微生物バイオマス増加、植物根の伸長を介した影響

有機物施用による土壌へのカリの投入量(例)



残渣



堆肥



緑肥

	種類	想定施用量 ¹⁾ (Mg/ha)	K ₂ O含量 ²⁾ (kg/Mg)	K ₂ O投入量 (kg/ha)
残渣	稲わら	5	20	100
	麦わら	5	15	75
堆肥	牛ふん堆肥	10	11	110
	豚ふん堆肥	10	16	160
	鶏ふん堆肥	3	26	78
緑肥	ソルガム	10	11	110
	エンバク	6	22	132

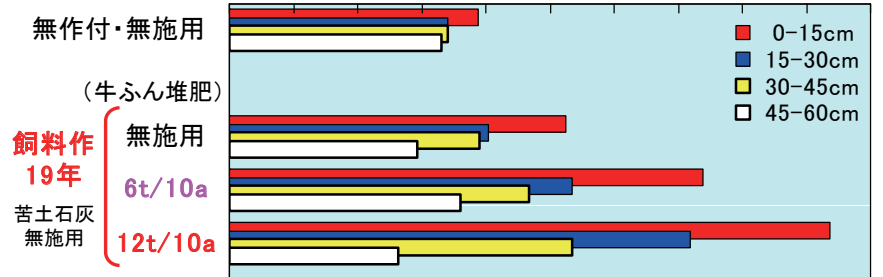
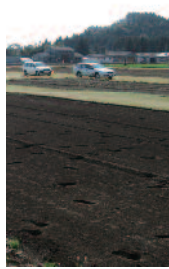
1) 残渣と緑肥は乾物重、堆肥は現物重。

2) 残渣と緑肥は中村・柚山、農工研技報203(2005)より。堆肥は山口・原田、農研センター成果情報(1996)より。現物あたりに換算。

黒ボク土への堆肥連用によるCECの増大

九州沖縄農業研究センター
都城拠点、トウモロコシを栽培

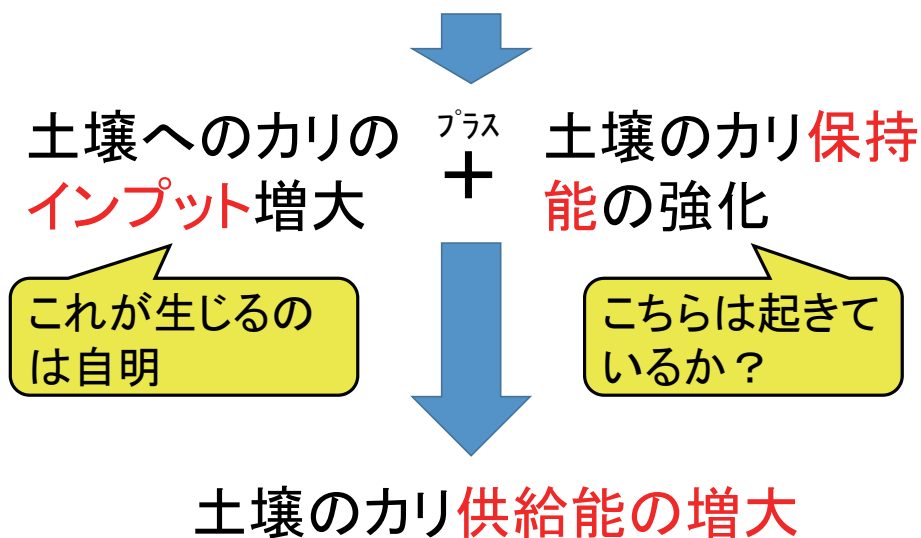
CEC (me/100g乾土)



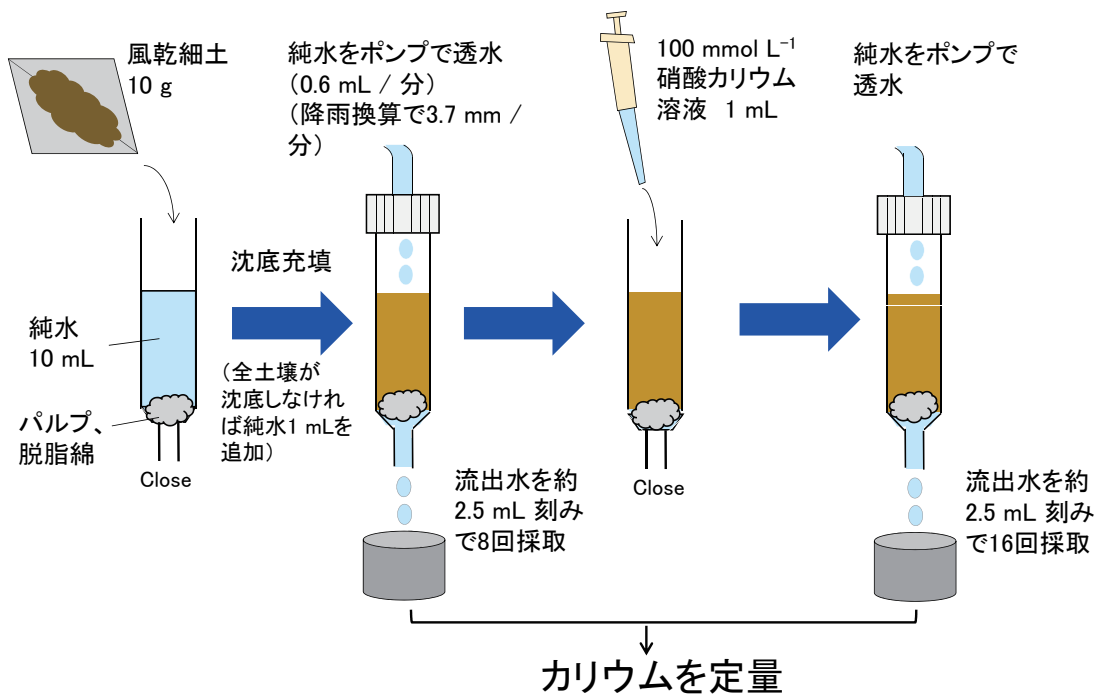
- ◆0~15cmでは施用量、連用年数に対応し増大 12t/10a区では原土の2倍以上
- ◆作土のCEC増大は耕深以下へも波及 → 根の関与

新美ら (2012)を改変

有機物投入

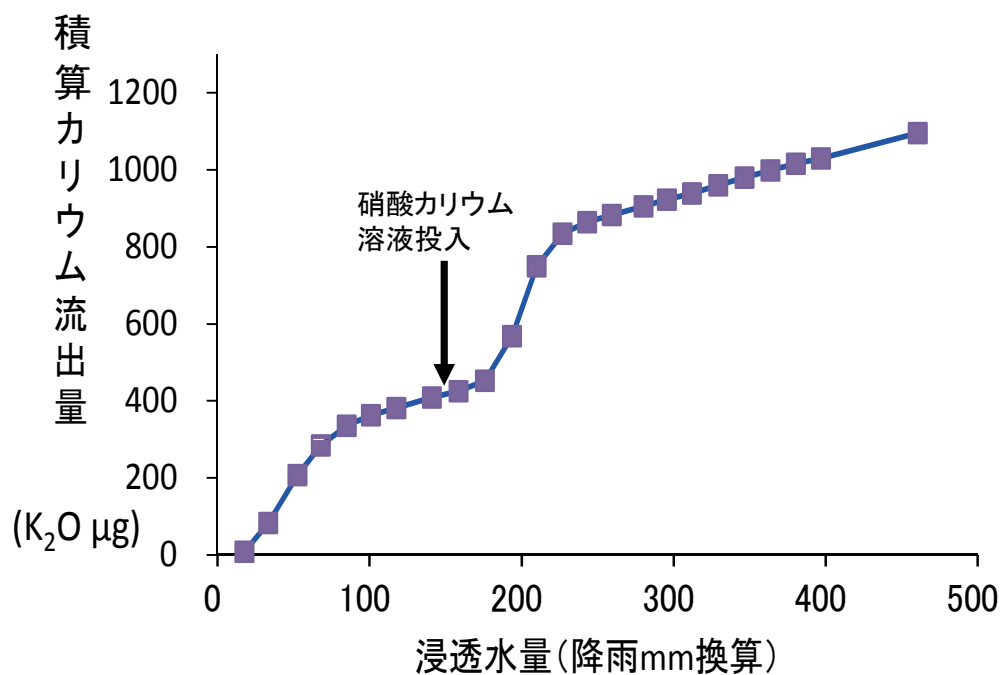


カリウム保持能の測定方法(カラム透水試験)

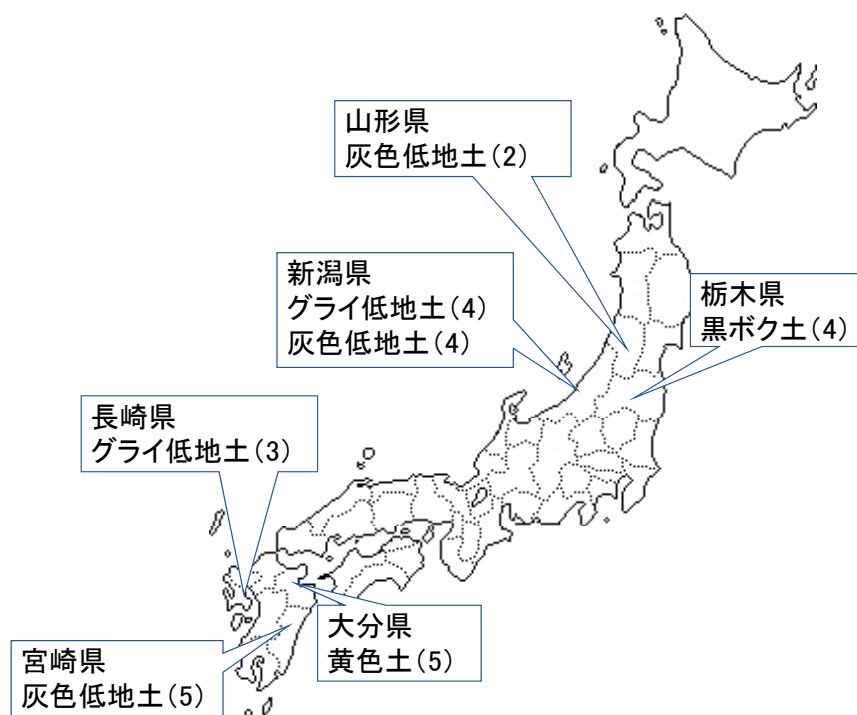


透水試験装置
(CEC測定用の
機器を準用)

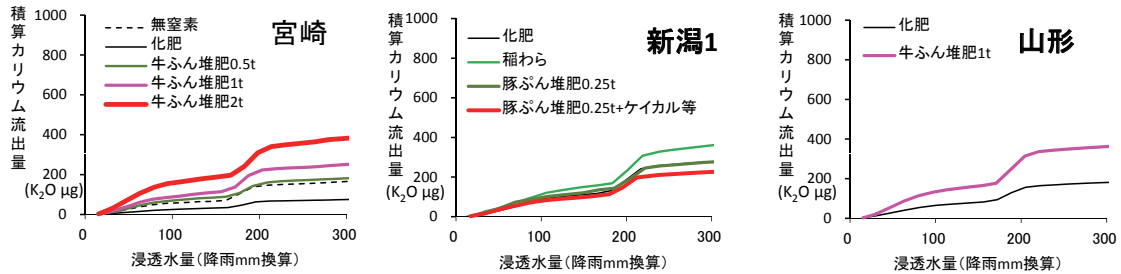
カラム透水試験で得られるチャート(例)



供試土壌: 基準点調査(有機物連用試験)水田の作土



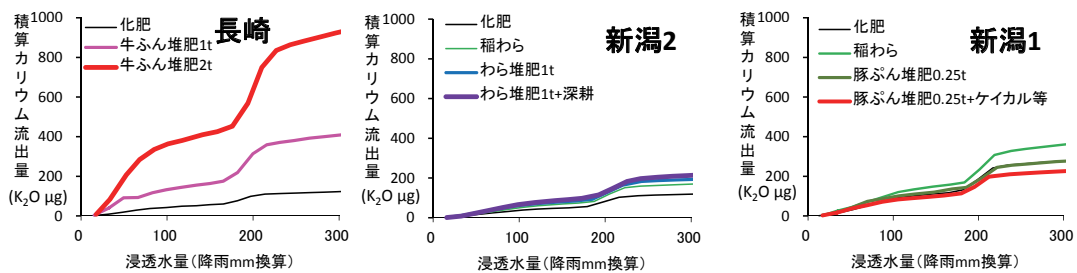
カリウム溶脱(灰色低地土、表層)



久保寺、ペドロジー学会発表 (2016)

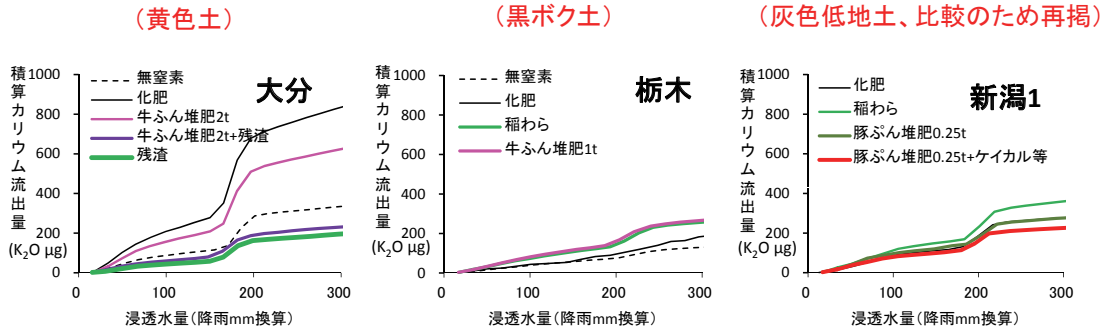
カリウム溶脱(グライ低地土、表層)

(灰色低地土、比較のため再掲)



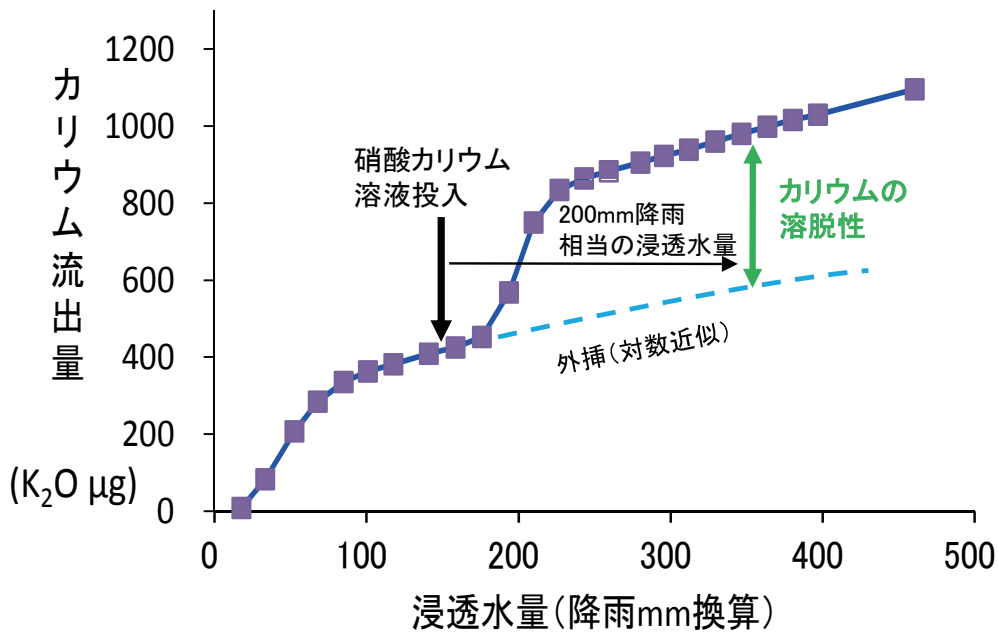
久保寺、ペドロジー学会発表 (2016)

カリウム溶脱(黄色土と黒ボク土、表層)

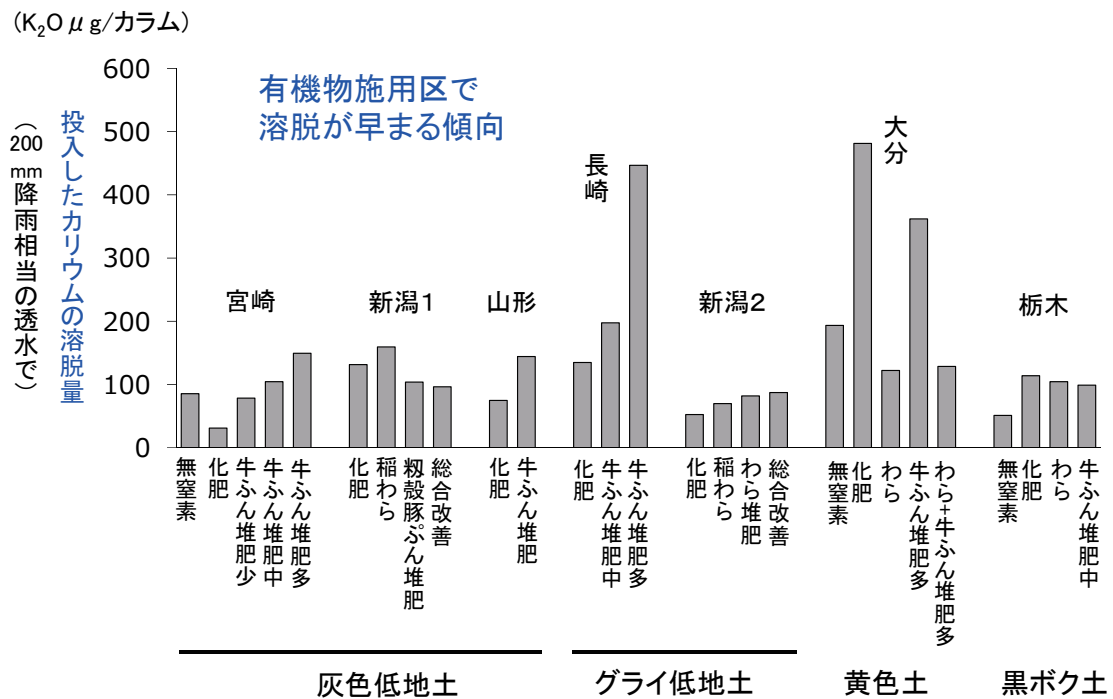


久保寺、ペドロジー学会発表 (2016)

カリウム保持能(溶脱性)の評価

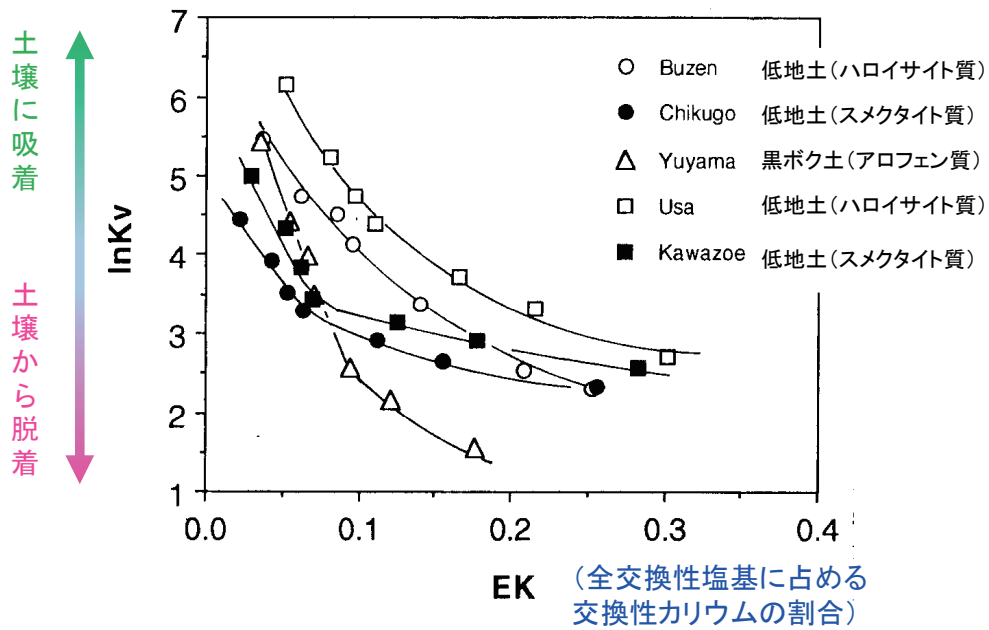


カリウムの溶脱性



EK : 全交換性塩基に占める
 交換性カリウムの割合

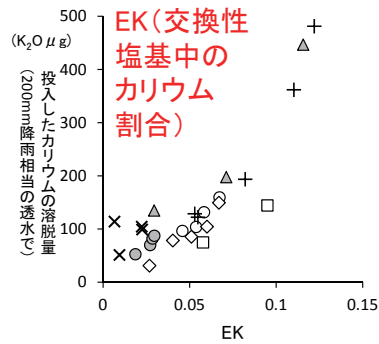
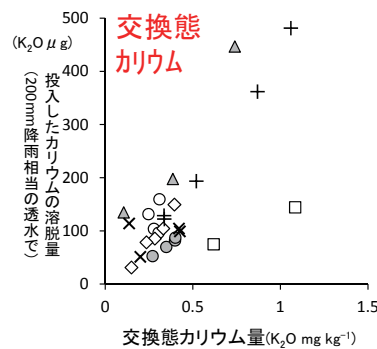
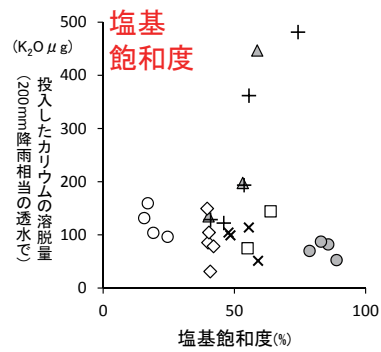
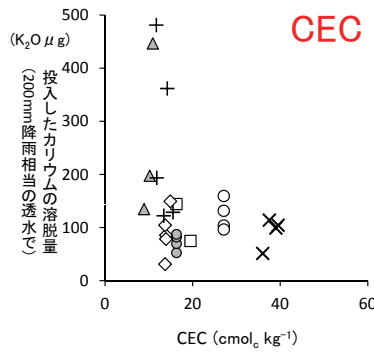
吸脱着実験で求めた、交換性カリウム割合 (EK) とカリウム吸脱着性の関係



Wada and Odahara, SSPN, 39 (1993)

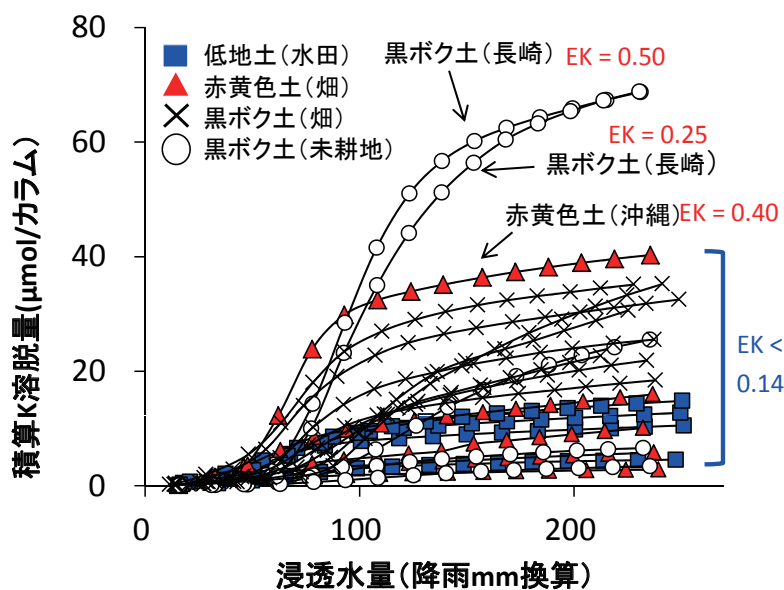
カリウムの溶脱性に対する諸因子の影響

- 新潟(灰色低地土)
- 山形(灰色低地土)
- ◇ 宮崎(灰色低地土)
- 新潟(グライ低地土)
- △ 長崎(グライ低地土)
- ⊕ 大分(黄色土)
- × 栃木(黒ボク土)



久保寺、
ペドロジー学会
発表 (2016)

過去の試験データ(参考)



淡色黒ボク土と腐植質黒ボク土のカリウム集積性(吸着実験)

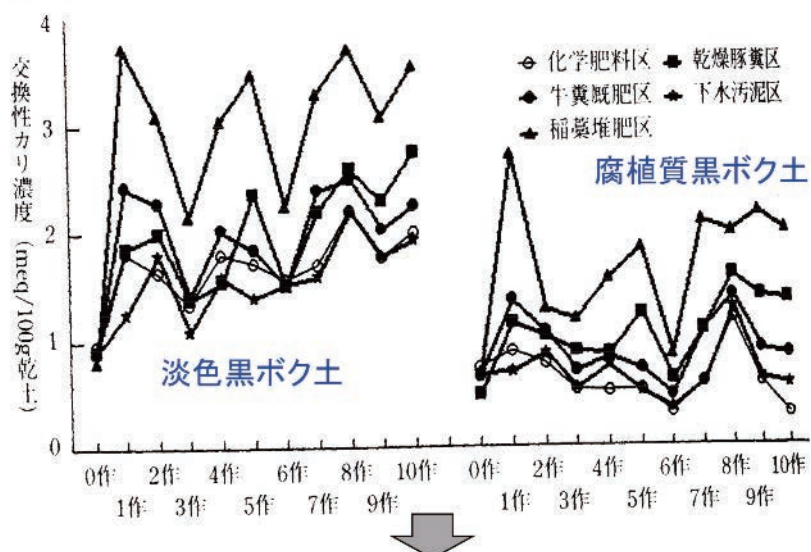
土壌の種類 (腐植%, CEC cmol _c kg ⁻¹)	原土		カリ吸着処理土壌			
	酢安抽出 K ₂ O	水抽出 CEC cmol _c kg ⁻¹	吸着	水溶性 K ₂ O	交換性 CEC	固定態 cmol _c kg ⁻¹
淡色黒ボク土						
(2.4 %, 24.8 cmol _c kg ⁻¹)	2.3	0.2	3.6	0.6	5.0	2.5
(5.5 %, 31.1 cmol _c kg ⁻¹)	3.4	0.3	3.5	0.4	6.2	4.0
腐植質黒ボク土						
(8.8 %, 32.3 cmol _c kg ⁻¹)	0.6	0.1	2.8	0.5	2.4	2.5
(10.2 %, 34.9 cmol _c kg ⁻¹)	1.2	0.4	2.8	0.5	2.6	3.5

注) カリ吸着処理土壌は50 ppmのKをKClで添加、80%アルコールで洗浄
 水溶性: 蒸留水で振とう 交換性: 酢安抽出 固定態: 過塩素酸分解



淡色黒ボク土は腐植質黒ボク土に比べて、添加されたKを交換態で保持する量が多い。腐植質黒ボク土でも、腐植を過酸化水素で分解するとK保持能が増大した。

小野ら, 九州農業研究成果情報, 13下 (1998)

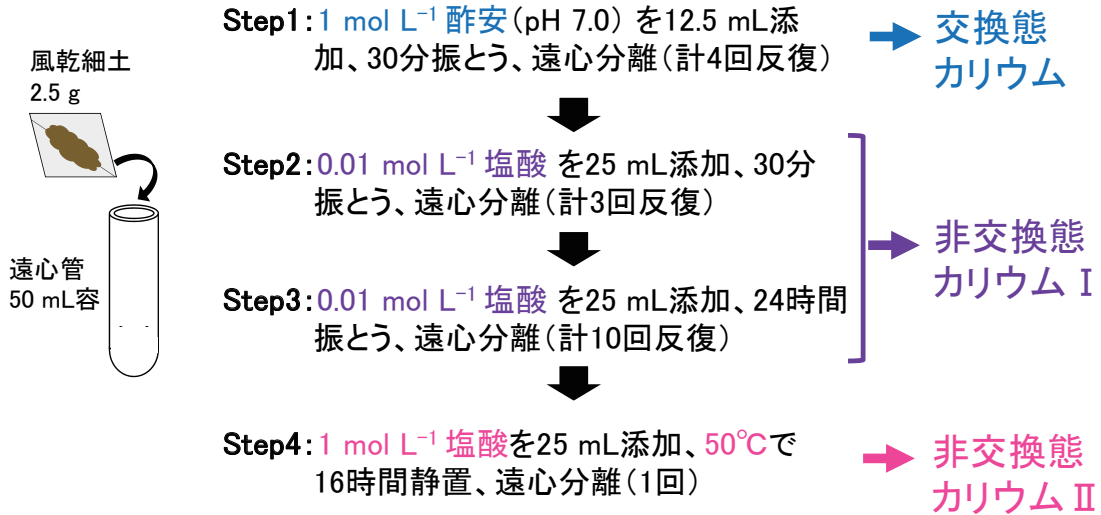


カリの集積性: 淡色黒ボク土 > 腐植質黒ボク土

小野ら, 九州農業研究成果情報,13下 (1998)

1. 有機物が土壌のカリ保持能に及ぼす影響
2. 有機物を施用した土壌におけるカリの保持形態別の含量

森塚(2009)の方法による連続抽出試験



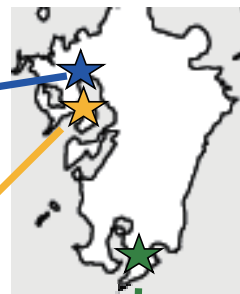
基準点調査圃場から表層(0~15cm深)と次表層(15~30cm深)の試料を採取した



低地土 佐賀県農業試験研究センター(佐賀市)



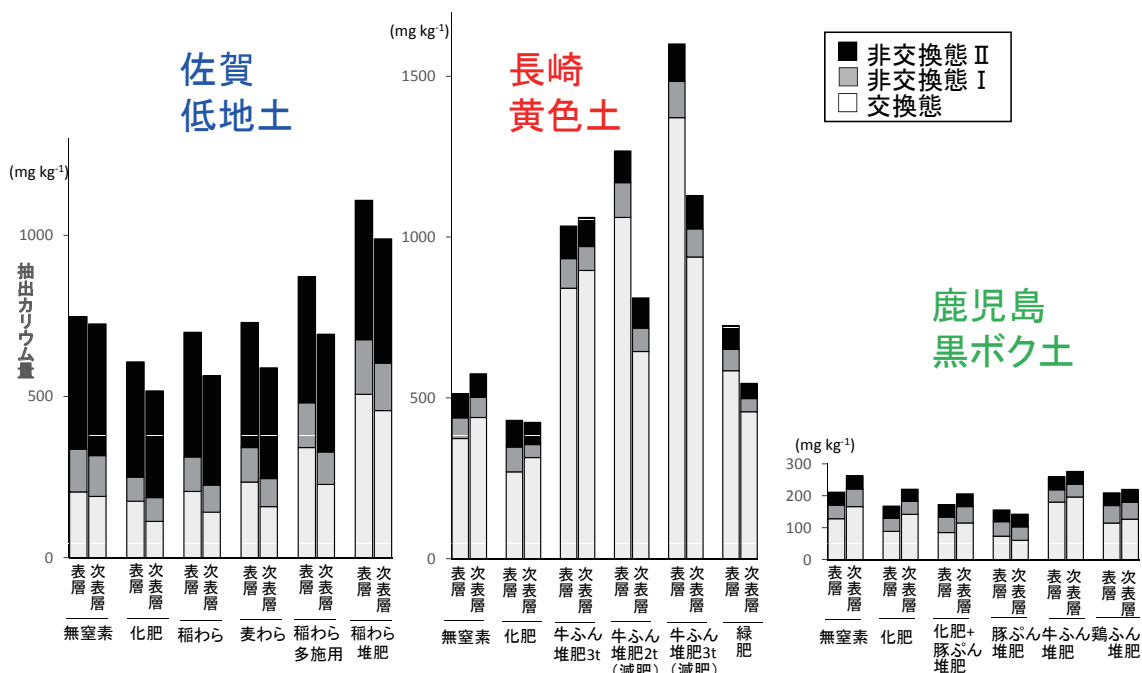
黄色土 長崎県農林技術開発センター(諫早市)



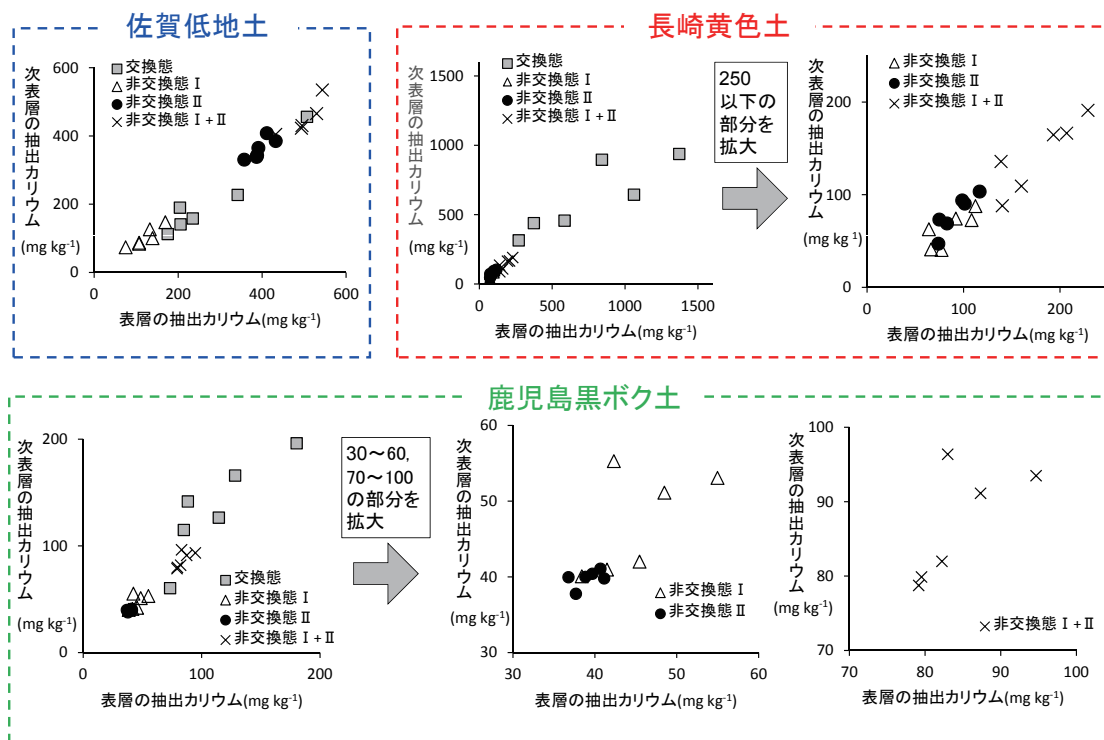
黒ボク土 鹿児島県農業開発総合センター(鹿屋市)



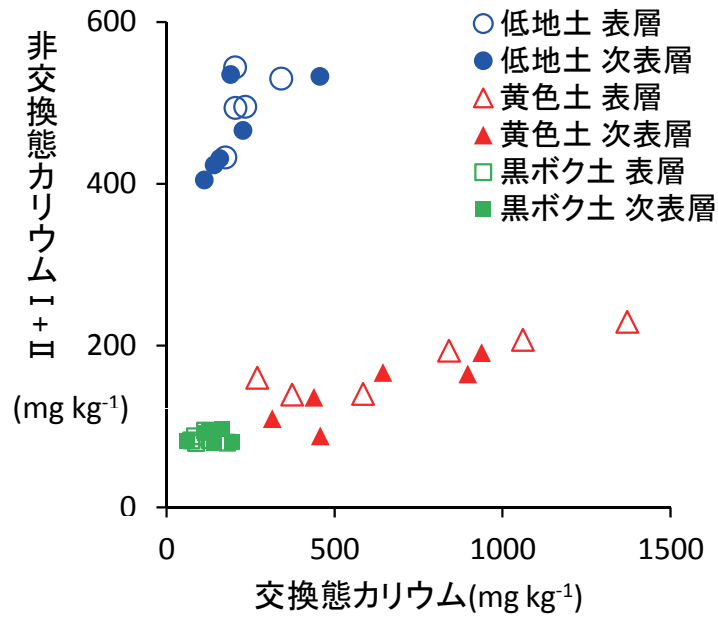
形態別のカリウム抽出量



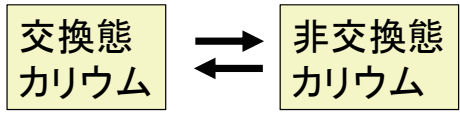
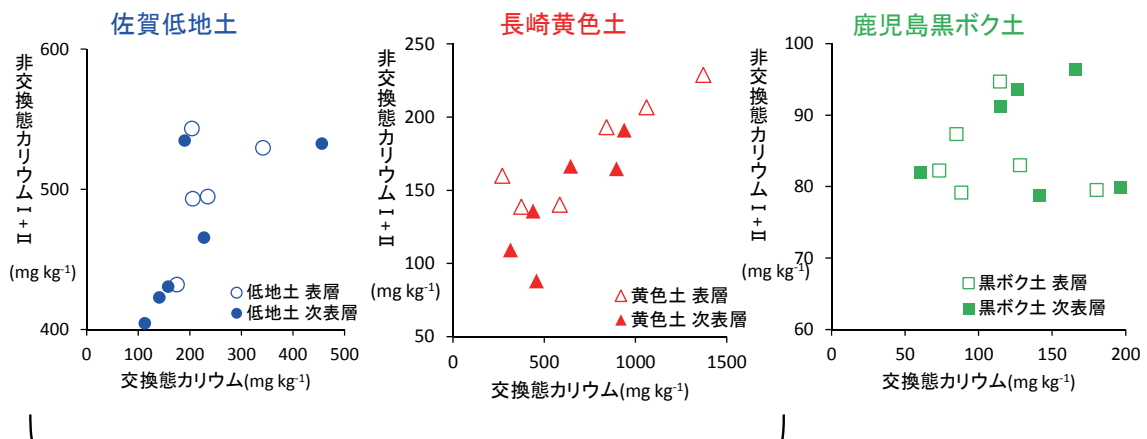
表層と次表層のカリウム抽出量の関係



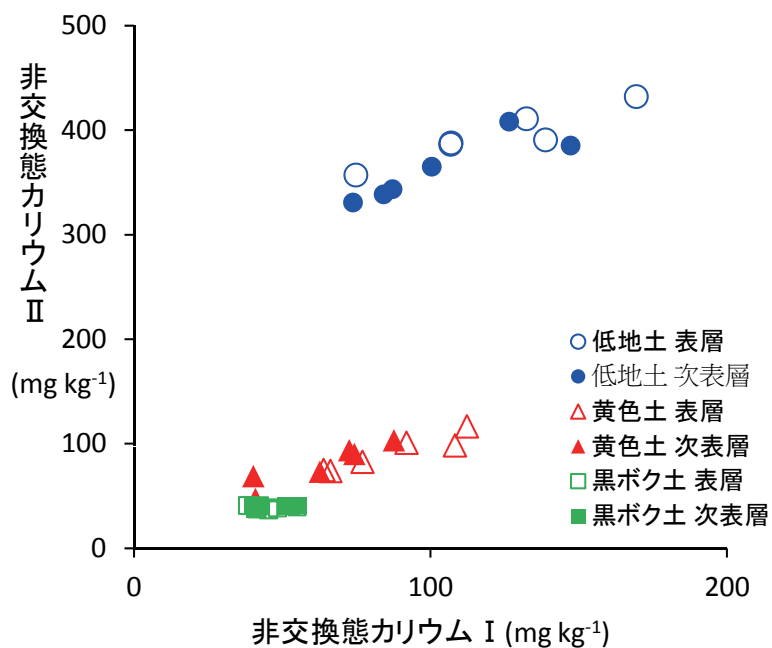
交換態と非交換態のカリウム抽出量の関係



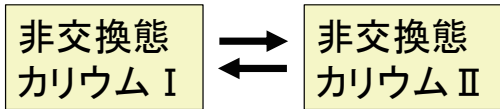
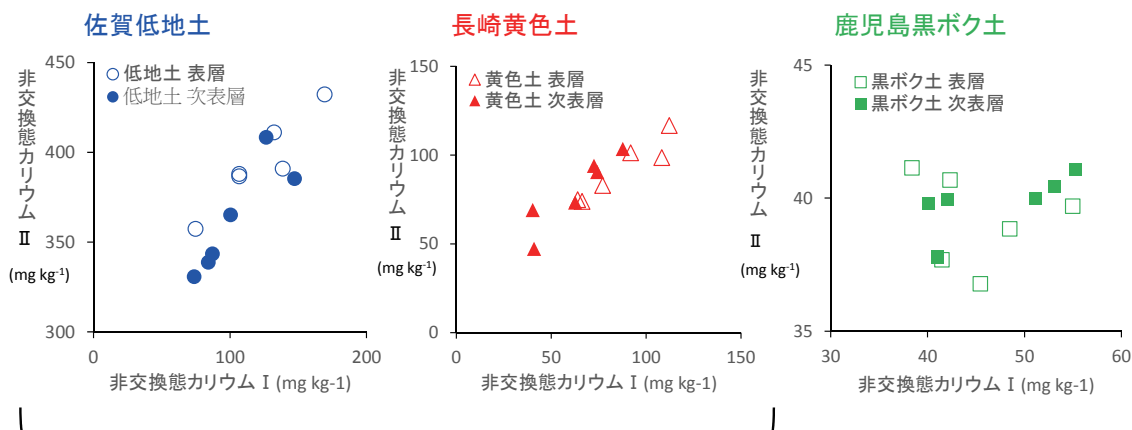
交換態と非交換態のカリウム抽出量の関係



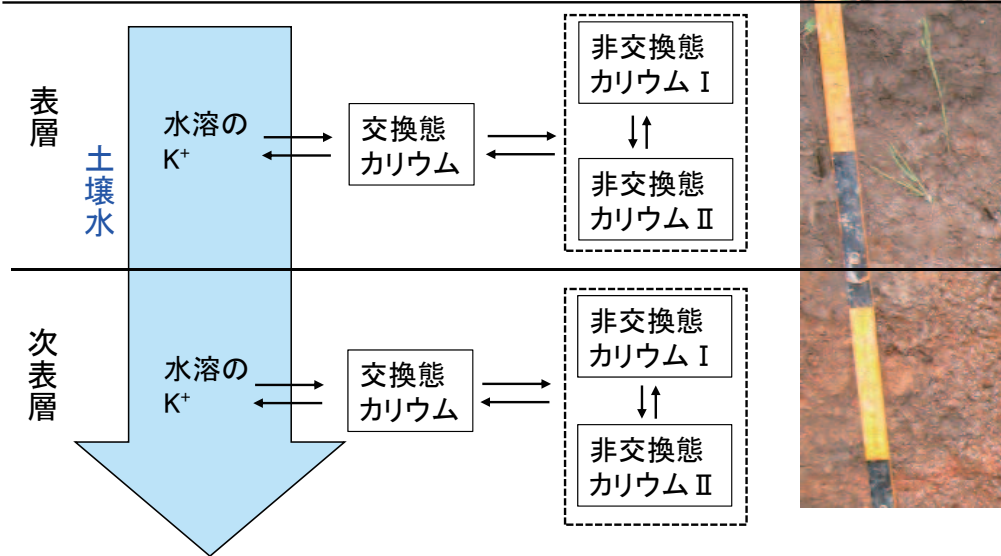
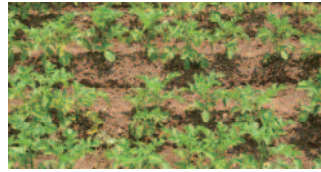
非交換態 I と非交換態 II のカリウム抽出量の関係



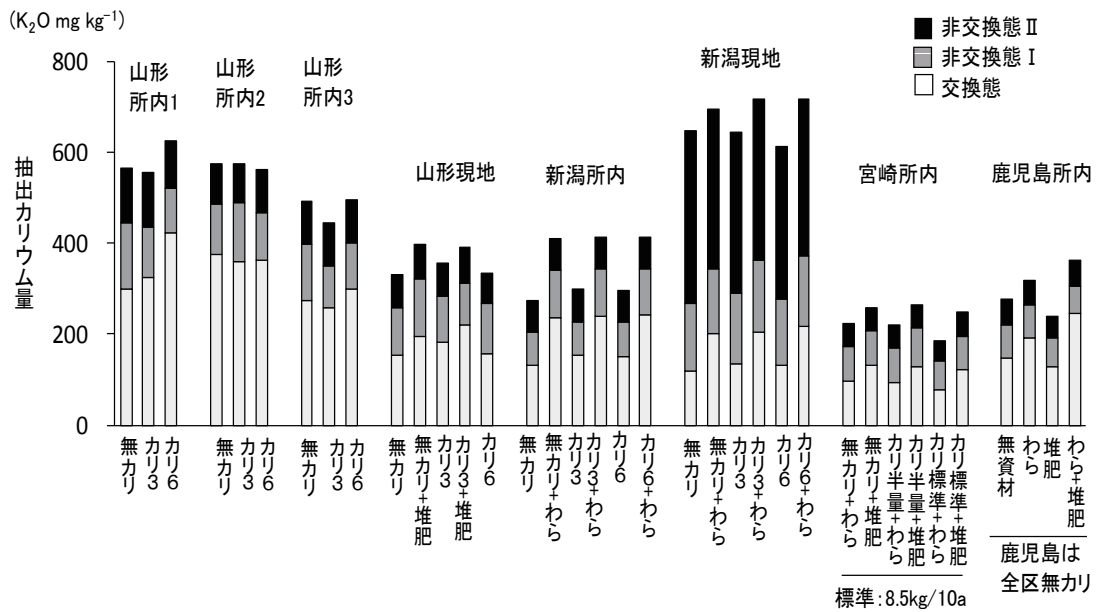
非交換態 I と非交換態 II のカリウム抽出量の関係



有機物施用による
カリウム投入



委託プロの減肥試験水田圃場(2年目)のデータ



- 土壌のカリ保持能は土壌タイプやEKに強く影響される。有機物やCECが増してもカリ保持能は増大しない。
- 非黒ボクの有機物連用試験圃場では、投入されたカリの一部が、非交換態の形でも蓄積する。有機物資材は化肥よりも土壌の抽出カリ量への影響が強い。

ご清聴ありがとうございました



稲わら施用によるカリ供給効果

福島県農業総合センター 新妻 和敏

1. はじめに

玄米中の放射性セシウム濃度は土壌中の交換性カリ含量と密接な関係にあることが明らかになっており、福島県では放射性セシウム吸収抑制対策として土壌中の交換性カリ含量 $25\text{mgK}_2\text{O}/100\text{g}$ 以上を目標に、塩化カリの追加施用が行われている。一方、稲わらは2%前後のカリを含むことから重要な交換性カリの供給源と考えられる。

福島県農業総合センターでは、現在、塩化カリの追加施用と稲わら施用を組み合わせた土壌中の交換性カリ含量の維持法の開発試験に取り組んでおり、これまでに得られた成果を報告する。

2. 稲わらからのカリの溶出効果

ポット試験により、稲わらを施用することで速やかに土壌中の交換性カリ含量が増加することが明らかとなった。さらに、ほ場試験において、稲わらを施用することで土壌中の交換性カリ含量が高まり、放射性セシウムの吸収抑制効果があることが認められた。

3. 稲わら施用による土壌中交換性カリ含量の維持効果

塩化カリの追加施用をした水田では、秋に稲わらを施用することで、その後2年間は、塩化カリの追加施用を行わなくても移植時の土壌中の交換性カリ含量 $25\text{mg K}_2\text{O}/100\text{g}$ 以上を維持できた。また、放射性セシウム吸収抑制効果も塩化カリの追加施用と同程度であった。

しかし、塩化カリの追加施用後、稲わらを施用しない水田では、年数を経るに従い、土壌中の交換性カリ含量は減少し、玄米中放射性セシウム濃度は高まることが明らかとなった。

4. 稲わらのカリ濃度

稲わら中のカリ濃度は、土壌中の交換性カリ含量が一定以下となると低下した。また、稲わら中のカリ濃度は、品種の違いによる大きな差は無かった。

5. まとめ

塩化カリの追加施用を行った水田では、秋に稲わら施用を行うことで2年間は土壌中の交換性カリ含量を吸収抑制対策の目標値に維持できた。今後、経年変化を確認する予定である。



稲わら施用によるカリ供給効果



福島県農業総合センター
新妻和敏

内容

- 1 はじめに
- 2 稲わらからのカリの溶出
- 3 稲わらによる土壌中の交換性カリ含量の維持
- 4 放射性セシウム吸収抑制効果
- 5 稲わらのカリ濃度
- 6 まとめ

はじめに

土壤中の交換性カリ含量と玄米の放射性セシウム濃度の関係

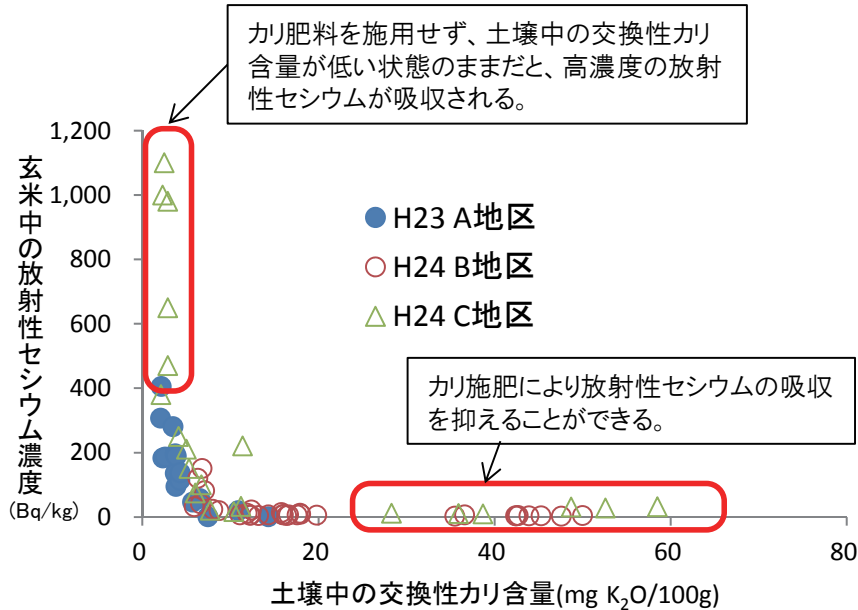
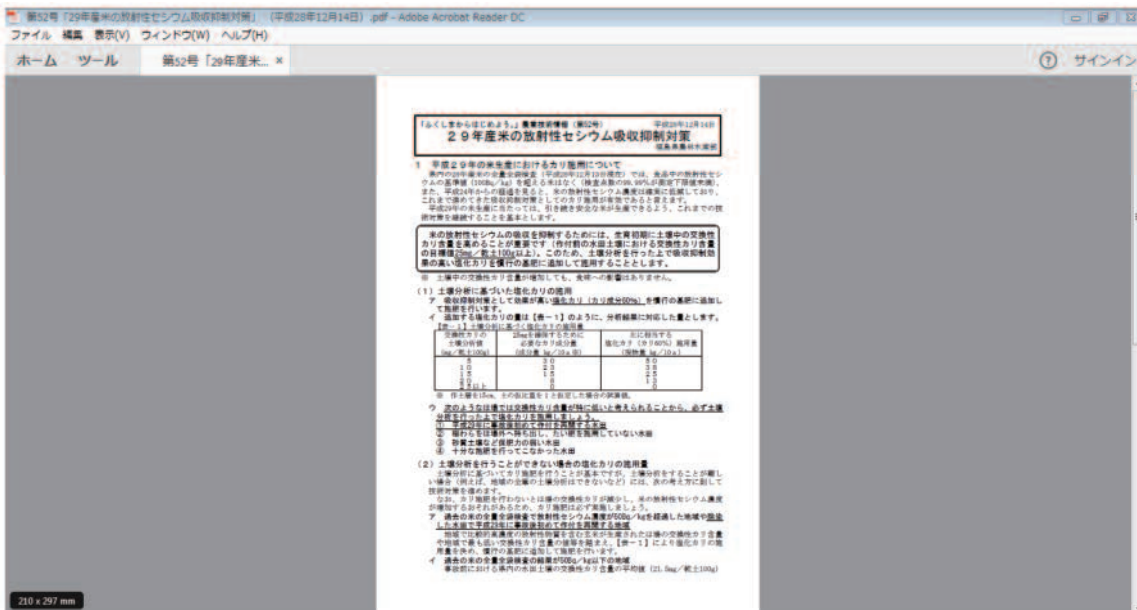


図 「放射性セシウム濃度の高い米が発生する要因とその対策について」₃
平成26年 3月 農林水産省ほか 抜粋

はじめに

福島県での放射性セシウム吸収抑制対策



はじめに

24年産100Bq/kg超の米が検出されたほ場等の調査結果

No	玄米調査			土壌分析		施肥・土改材		稲わら還元状況	用水
	調査数(袋)	100Bq超(袋)	最大値(Bq/kg)	土壌放射性セシウム(Bq/kg)	土壌交換性カリ(mg K ₂ O/100g)	カリ施肥量(kg K ₂ O/10a)	土改材(kg/10a)		
1	320	1	110	1,629~2,958	3.8~7.4	6.0	無施用	持ち出し	ため池
2	187	7	110	2,597	4.4	8.9	80	持ち出し	ため池
3	7	1	120	2,783	5.6	3.2	無施用	持ち出し	河川
4	6	6	281	1,826	6.2	10.0	無施用	持ち出し	河川
5	3	3	360	961	4.2	くず大豆	無施用	持ち出し	天水
6	11	1	109	3,259~3,488	5.2~7.0	14.8	200	持ち出し	ため池、沢水
7	15	5	159	1,909~3,427	3.5~7.7	5.3	無施用	持ち出し	河川
8	22	2	180	3,336	7.5	14.6	200	持ち出し	沢水
9	4	1	144	258~273	7.8	3.6	無施用	持ち出し	河川
10	31	4	128	2,538~2,919	3.6~12.0	7.2	80	持ち出し	ため池
11	1	1	228	2,397	6.1	3.5	150	持ち出し	沢水
12	43	12	230	2,584~3,108	5.3~10.8	13.3	200	持ち出し	河川
13	2	1	114	2,216	42.0	米ぬか、籾殻 稲わら等	無施用	持ち出し	河川

※ No.5、13ほ場は不耕起栽培で水稲根域が極端に浅いことを確認。

図 「放射性セシウム濃度の高い米が発生する要因とその対策について」
平成26年3月 農林水産省ほか 抜粋

はじめに

稲わらの施用面積割合と施用量

地 域	施用割合 (%)	施用量 (風乾) (kg/10a)
県 北	50	654
県 中	71	699
県 南	70	640
会 津	88	773
南会津	95	662
相 双	81	740
いわき	90	754

平成26年度水稲・大豆・麦・そばの生産に関する資料 (福島県)

はじめに

稲わら中の養分

窒素 (%)	リン酸 (%)	カリ (%)
0.57 (0.39~1.01)	0.17 (0.09~0.28)	1.88 (1.15~2.50)

注) 風乾あたり

注) 農文教編 肥料土づくり資材大事典より

□ 計算上

稲わら 県平均 686 kg/10a × カリ含量 1.88%

= カリ 12.9 kg /10a
(塩化カリ約 1 袋分に相当)

7

試験の目的

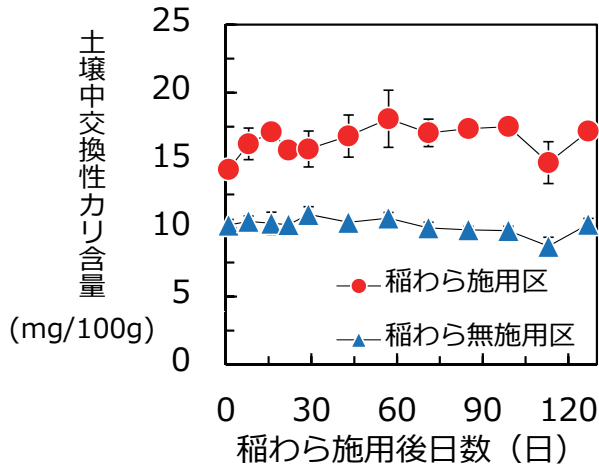
土壌中の交換性カリ含量の目標値25mg/100gを維持するために、

震災後	年数	試験の目標	
塩化カリ追加施用	初年目	塩化カリ追加施用	+ 稲わら施用
↓	↓	↓	↓
塩化カリ追加施用	2年目	稲わら施用 (前年秋)	
↓	↓	↓	↓
塩化カリ追加施用	3年目	稲わら施用 (前年秋)	
↓	↓	↓	↓
塩化カリ追加施用	25mg/100g未満 となったら	塩化カリ追加施用	+ 稲わら施用 (前年秋)
↓	↓	↓	↓
塩化カリ追加施用		稲わら施用 (前年秋)	

塩化カリ追加施用と稲わら施用を組み合わせた効率的かつ、
確実な吸収抑制効果を得るための施肥法を開発する。

試験結果

稲わらからのカリの溶出（ポット試験）



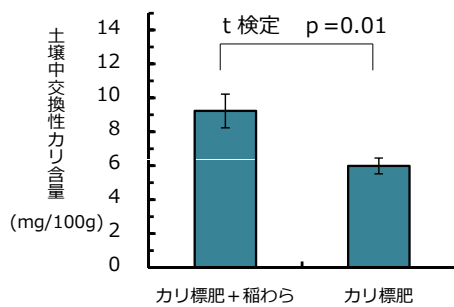
- ・土壌中の交換性カリ含量は、稲わら施用後速やかに増加した。

※1/5000aポットに風乾土3kg、乾燥稲わら12g（600kg/10a相当）を充填し、入水混和後、湛水・無作付で管理。

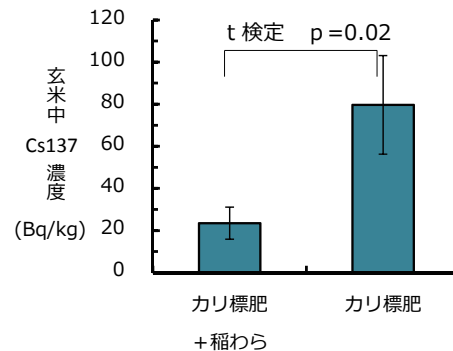
試験結果

稲わらからのカリの溶出(ほ場試験)

土壌中交換性カリ含量と玄米中放射性Cs濃度



(1) 土壌中の交換性カリ含量(収穫時)



(2) 玄米中の放射性Cs濃度

※無処理区の土壌中の交換性カリ含量は5.6mg/100g。

※無処理区の玄米中の放射性Cs濃度は189 (Bq/kg)。

- ・ほ場試験でも、稲わら施用により土壌中の交換性カリ含量が増加し、玄米中の放射性Cs濃度が低下した。

※2015年に、県北地域の灰色低地土の水田で実施した。荒代前に風乾600kg/10aを施用した。

試験内容

塩化カリ追加施用水田での 稲わら施用によるカリ水準の維持

区名	2015年			2016年、2017年		
	カリ 増肥	わら 施用	カリ 標準	カリ 増肥	わら 施用	カリ 標準
カリ増肥（初年目） + 稲わら	○	○	○	×	○	○
カリ増肥（初年目）	○	×	○	×	×	○
カリ増肥（2年目以降）	—	—	—	○	×	○
無処理	×	×	×	×	×	×

※カリ増肥は土壌中の交換性カリ含量25mg/100gを目標に塩化カリを施肥。

※カリ増肥(2年目以降)は前年まで無施肥管理。

※稲わら施用は、2015年は風乾60kg/aを荒代時、2016年、2017年は、前年10月に試験区の稲わらを施用し鋤込み。

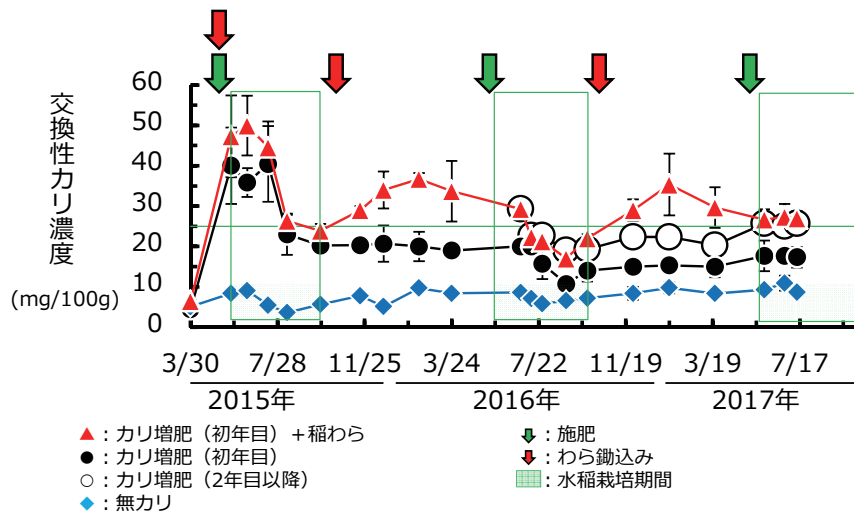
※カリ標準は基肥にカリ0.8kg/aを塩化カリで施肥。

※Nは基肥0.6、追肥0.2kg/a、P₂O₅は基肥0.7kg/aを施肥。



試験結果

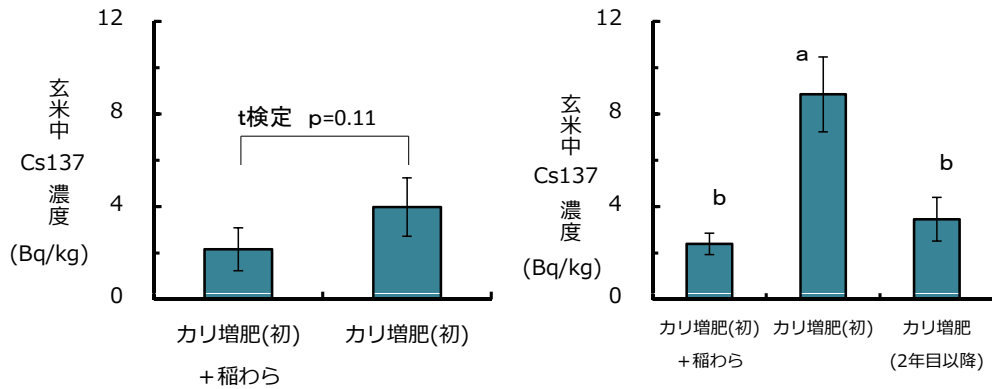
塩化カリ追加施用水田での 土壌中の交換性カリ含量の推移



- ・ 稲わら施用により土壌中の交換性カリ含量は増加した。
- ・ 塩化カリ追加施用水田では、稲わら施用により移植時の土壌中の交換性カリ含量25mg/100gを3年目まで維持できた。稲わら無施用の場合、2年目以降25mg/100g以下となった。

試験結果

玄米中の放射性セシウム濃度



(1) 2015年

※無処理区の玄米中R-Cs濃度は189(Bq/kg)。

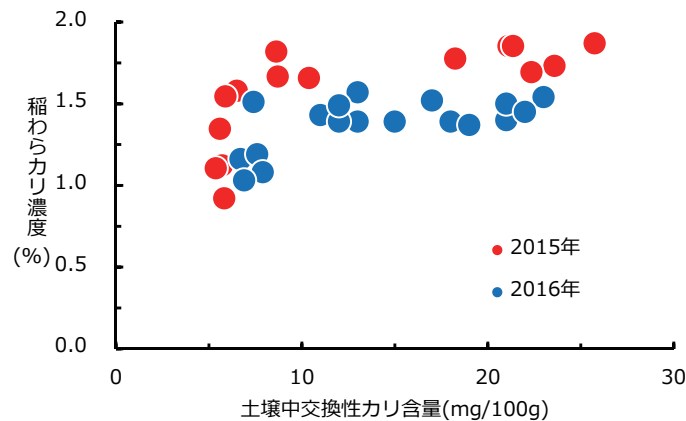
(2) 2016年

※無処理区の玄米中R-Cs濃度は143(Bq/kg)。
※異なる英小文字間はTukey法で1%水準で有意差あり

- ・2016年の「カリ増肥（初年目）+稲わら」の玄米中の放射性Cs濃度は、「カリ増肥（2年目以降）」と差が無く、2015年と同程度であった。稲わら施用をしない「カリ増肥（初年目）」の玄米中の放射性Cs濃度は、前年の約2倍となった。

試験結果

土壌中の交換性カリ含量と稲わら中カリ濃度の関係



稲わら中のカリ濃度は、土壌中の交換性カリ含量が約10mg/100g以下になると低下した。

試験結果

品種別稲わら中カリ濃度

品 種 名	稲 わ ら 中 カリ濃度(%)
ま い ひ め	1.7
たかねみのり	1.5
あきたこまち	1.6
里山のつぶ	1.7
ひとめぼれ	1.6
天のつぶ	1.5
コシヒカリ	1.6

福島県水稻奨励品種の稲わら中カリ濃度に大きな差は無かった。

まとめ

- 稲わら施用により土壌中の交換性カリ含量は速やかに増加し、放射性セシウム吸収抑制効果があった。
- 塩化カリ追加施用水田では、秋の稲わら施用により2年間は土壌中の交換性カリ含量を吸収抑制対策の目標値に維持できた。一方、稲わら施用しない場合、土壌中の交換性カリ含量は、低下し、玄米中の放射性セシウム濃度が高まった。

放射性セシウム低吸収水稻品種の開発

農研機構農業環境変動研究センター 石川 覚

1. はじめに

日本の土壤汚染の歴史の中で、鉱山開発に伴う銅やカドミウム等の重金属汚染は作物の生産に多大な影響を与えただけでなく、地域住民の健康被害を引き起こした。6年9ヶ月前の東日本大震災に伴う東京電力福島第1原発事故でも農地土壤は広範囲にわたり放射性セシウムによって汚染され、作物生産は制限せざるを得ない状況となった。奇しくも過去の重金属汚染と似た状況になり、その対策として土壤の復元工事や作物の吸収抑制対策等を講じている点でも類似している。重金属汚染同様、放射性セシウムにおいても、今後長期にわたる吸収抑制対策が必要である。我々の研究センターでは以前、突然変異法に用いてカドミウムを吸収しにくい水稻品種「コシヒカリ環1号」を開発することに成功した。その成功例をもとに、今回放射性セシウム濃度の低い水稻品種を開発したので紹介する。

2. 突然変異法による放射性セシウムを吸収しにくい水稻品種の開発

コシヒカリを元品種として、イオンビーム照射した約3,000の突然変異体の中から、セシウム吸収の少ない1個体を選抜した。この個体（以下、Cs低吸収コシヒカリ）を放射性セシウム濃度が高く、低カリ条件の水田で栽培したところ、玄米中の放射性セシウム濃度はコシヒカリの約半分であった。Cs低吸収コシヒカリの生育や玄米収量は従来のコシヒカリとほぼ同等であった。食味もコシヒカリとの間に有意差がなく、良食味であった。Cs低吸収コシヒカリの原因遺伝子は耐塩性に関わるタンパク質リン酸化酵素遺伝子（*OsSOS2*）の変異であり、根のナトリウム濃度の上昇に伴うカリウム輸送体遺伝子の発現低下がセシウム吸収抑制を引き起こした。

3. 今後に向けて

Cs低吸収コシヒカリは今後品種登録出願する予定である。Cs低吸収コシヒカリの利用により、従来の栽培方法を変えずに、コメの放射性セシウム低減対策を長期にわたり実施可能になると思われる。

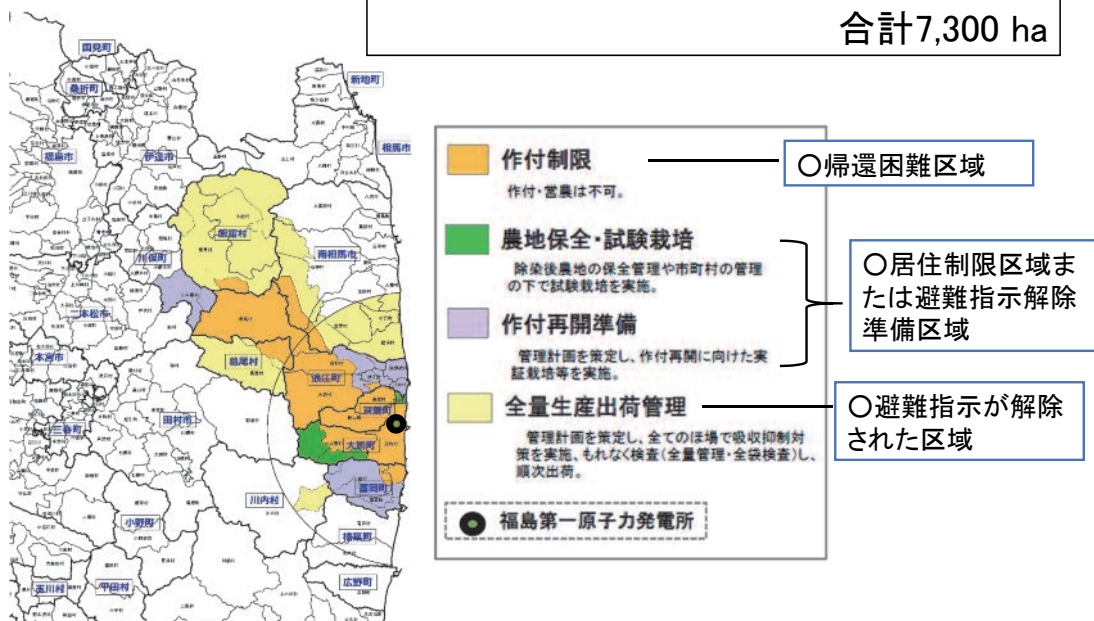
放射性セシウム低吸収 水稻品種の開発

農研機構 農業環境変動研究センター
有害化学物質研究領域 作物リスク低減ユニット
石川 覚

「農研機構」は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネームです。

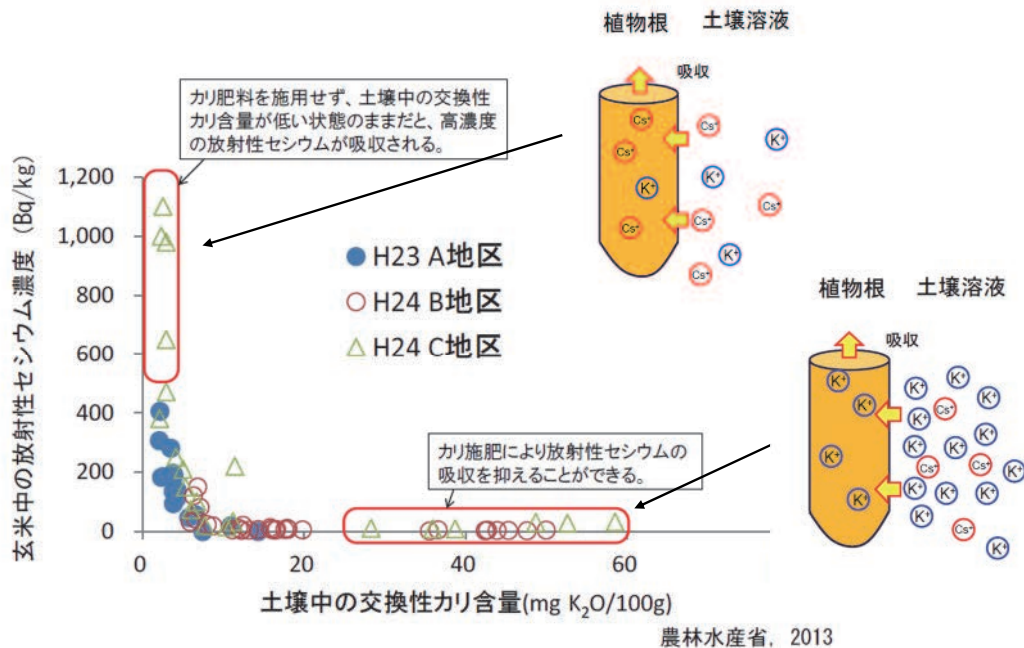
コメの作付等に関する方針

平成29年産米の作付制限等の対象地域
合計7,300 ha



農林水産省:「29年産米の作付制限等の対象地域」の添付資料

低減対策—カリ増肥



現状と課題(福島県)

現状

- 作付前の水田土壌における交換性カリ含量の目標値25mg/乾土100g以上になるように、塩化カリ施肥を指導
- 平成27年度以降、基準値(玄米の放射性セシウム濃度: 100 Bq/kg)を超過するコメは検出されず(測定点数: 平成27年産: 10,498,715 点、平成28年産(H29.5.29現在): 10,254,608 点)
(出典: ふくしまの恵み安全対策協議会)

課題

- ^{137}Cs の半減期は約30年、長期にわたるセシウム低減対策が必要
- カリ増肥は効果的な方法である一方、コストや労力の面で負担になる(いつまでカリを撒き続けるのか?)
- カリ保持能の低い土壌における新たなリスク回避技術開発



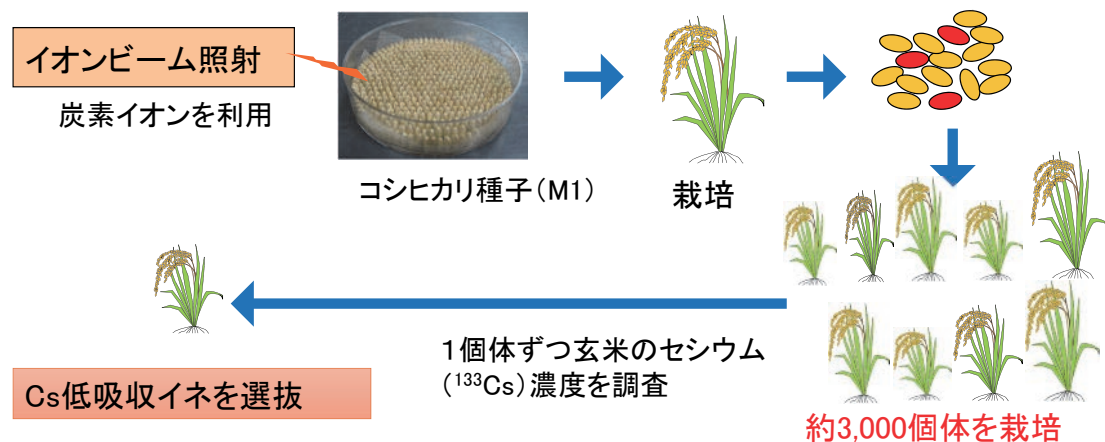
省力的かつ低コストで長期間実施できる新たな低減対策の必要性

放射性セシウムを吸収しにくい 水稻品種の開発



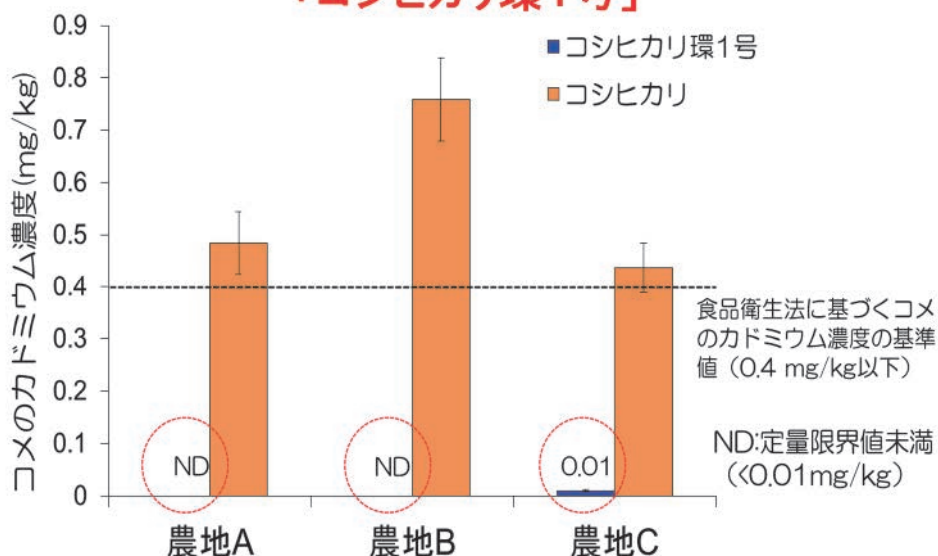
突然変異を用いたCs低吸収イネの開発

- 突然変異とは、種子に放射線などを照射して、遺伝子に変異(変化)を与えること。新しい形質を持つ品種の育成に利用されます(遺伝子組換えではない)。
- イオンビームは、突然変異育種に利用される放射線の一つです。現在、花等の園芸植物の品種改良に利用されています。
- 私たちは以前、イオンビームを照射したコシヒカリからカドミウムを吸収しない水稻品種「コシヒカリ環1号」を開発しました。



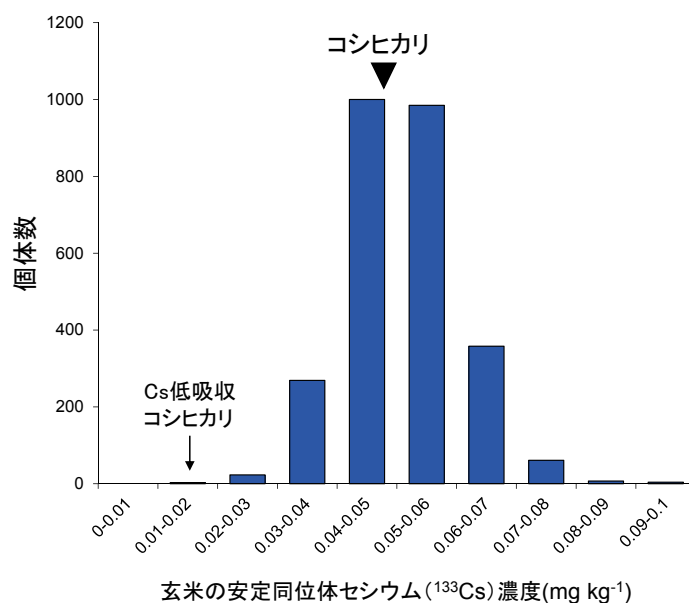
(紹介)

カドミウムをほとんど吸収しない稲の新品種 「コシヒカリ環1号」

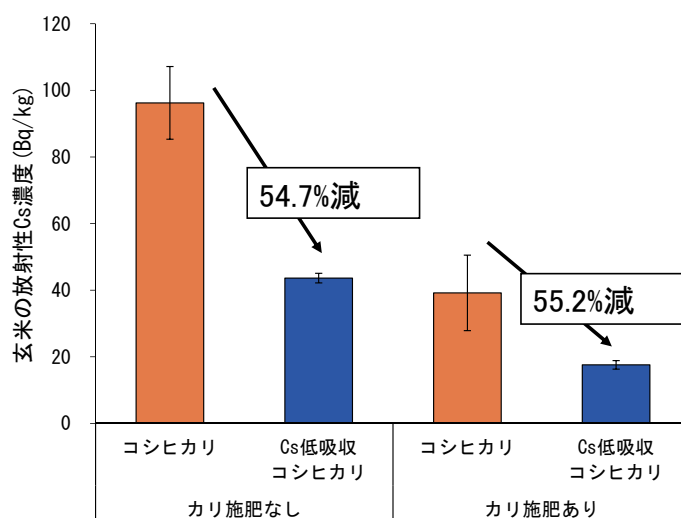


現在まで、100を超える品種や有望系統に低Cd遺伝子を導入

選抜結果



現地圃場における玄米の放射性Cs濃度

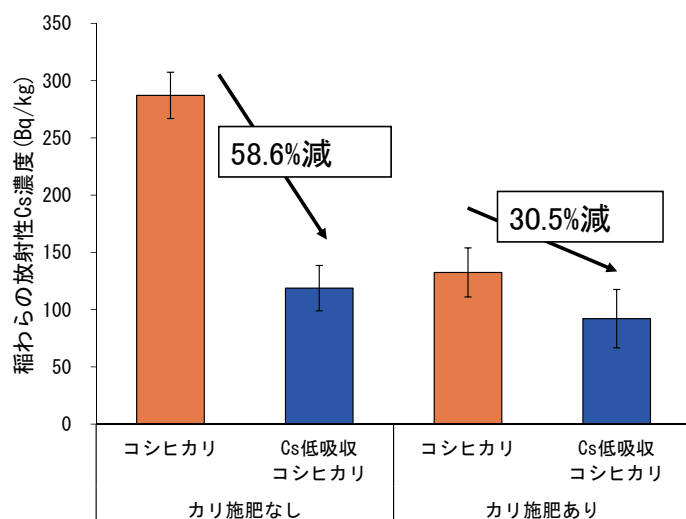


(栽培前の土壌の交換性カリ濃度) (7.0 mg K₂O/100g乾土)

(12 mg K₂O/100g乾土)

土壌中の放射性セシウム濃度が高く(3,682 Bq/kg乾土)、セシウム吸収が高まりやすい低カリ水田での試験結果

現地圃場における稲わらの放射性Cs濃度



(栽培前の土壌の交換性カリ濃度) (7.0 mg K₂O/100g乾土)

(12 mg K₂O/100g乾土)

土壌中の放射性セシウム濃度が高く(3,682 Bq/kg乾土)、セシウム吸収が高まりやすい低カリ水田での試験結果

生育特性の比較

生育特性と玄米収量

品種	出穂日 (月日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	精玄米重 (kg/10a)
コシヒカリ	8/3	87.3	20.2	301	525
Cs低吸収 コシヒカリ	8/3	86.0	20.4	298	535

農業環境変動研究センターにおける3年間(2014年~2016年)の栽培試験の平均値

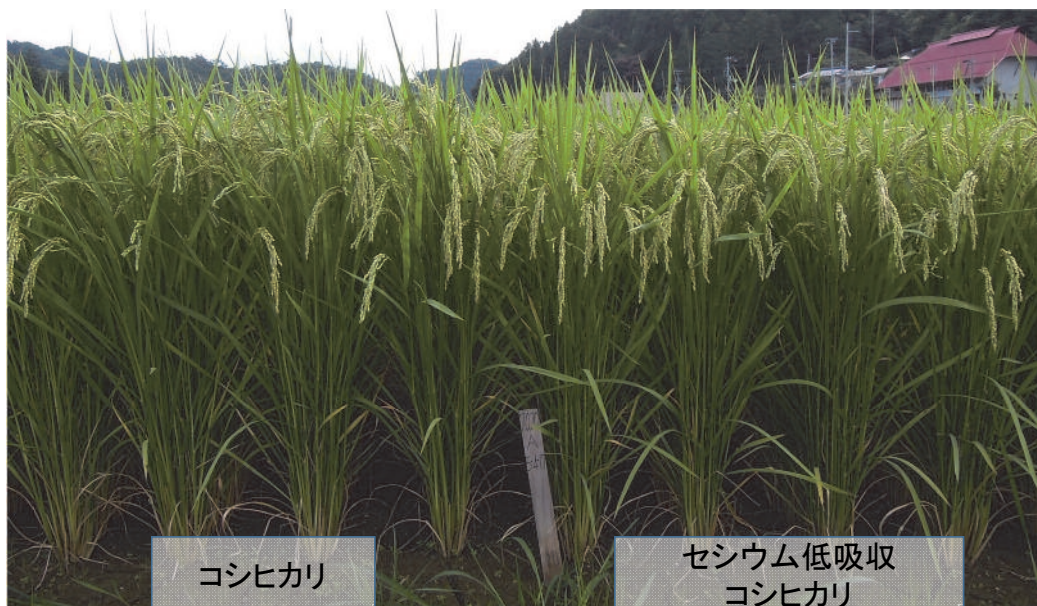
(草姿)



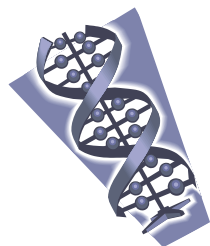
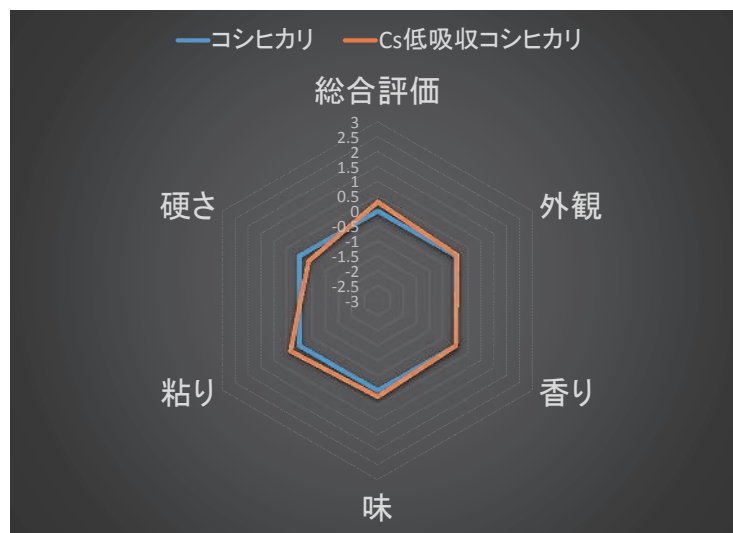
(玄米の外観形質)



現地ほ場での生育



評価方法: 炊飯した供試米 (Cs低吸収コシヒカリ) の外観、香り、味、粘り、硬さ、総合評価の6項目を、基準米 (コシヒカリ) と比較して-3から+3の7段階で評価し、20名のパネラーの平均値として求めた (2016年栽培米の結果、外部機関による評価)。



Cs吸収が抑制された原因遺伝子の特定とそのメカニズム

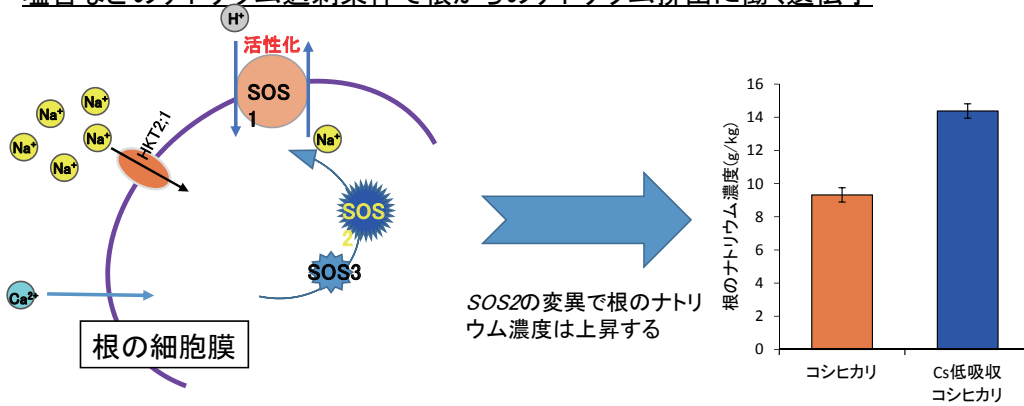


原因遺伝子の特定

Cs低吸収コシヒカリはイネの耐塩性に関わるタンパク質リン酸化酵素遺伝子である *OsSOS2* に変異が生じていました

OsSOS2:

塩害などのナトリウム過剰条件で根からのナトリウム排出に働く遺伝子

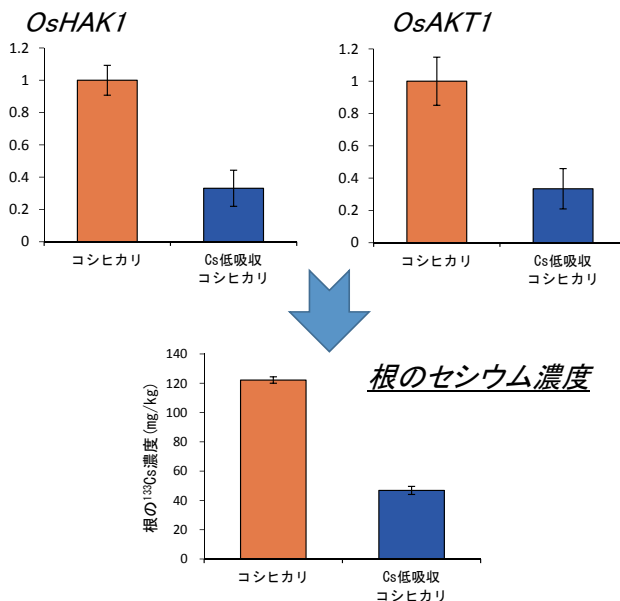


1. Na^+ を排出するためには、*SOS1*, *SOS2*, *SOS3*の3つの遺伝子が必要です。
2. 大量の Na^+ が細胞内に取り込まれると、 Ca^{2+} の濃度が一過的に上昇し、カルシウムセンサータンパク質の*SOS3*が活性化します(第1段階)。
3. タンパク質リン酸化酵素である*SOS2*は*SOS3*が結合することで活性化します(第2段階)。
4. 活性化型*SOS2*は Na^+ 排出輸送体である*SOS1*をリン酸化することで活性化させ、過剰な Na^+ を排出します(第3段階)。

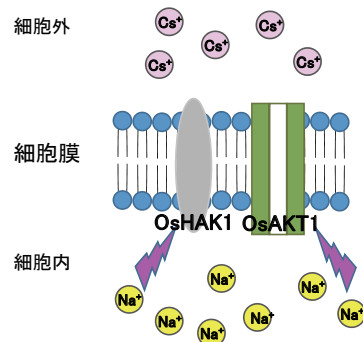
カリウムトランスポーターの発現

根のNa濃度が上昇することで、カリウムトランスポーター遺伝子の発現が低下し、根のCs吸収が抑制されます。

カリウム輸送体の遺伝子発現(コシヒカリを1とした場合)

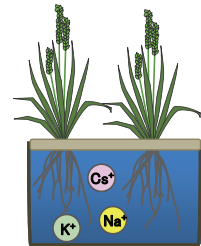


セシウムの膜輸送モデル(推定)

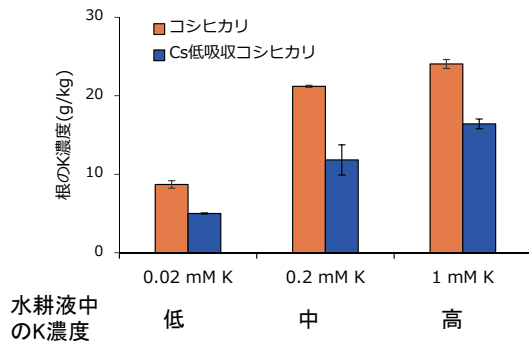


カリウム濃度への影響(水耕)

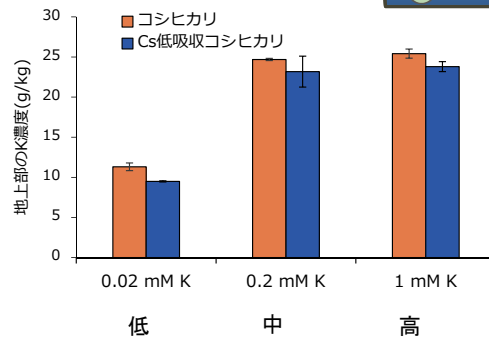
水耕栽培



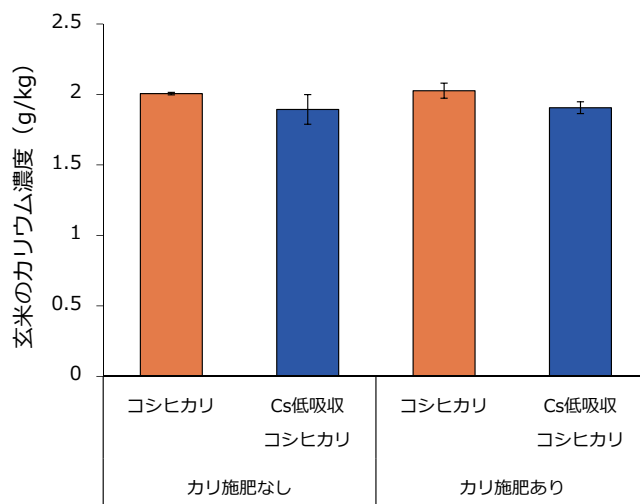
根のカリウム濃度



茎葉のカリウム濃度



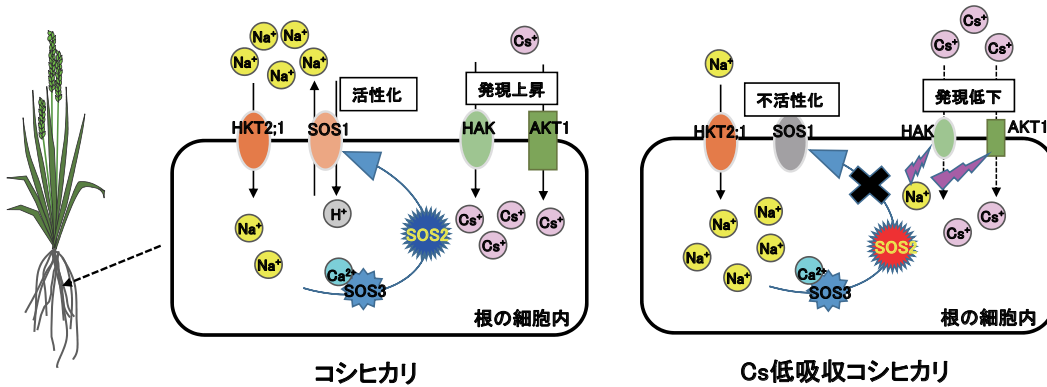
コメ中のカリウム濃度(圃場試験)



(土壌の交換性カリ濃度)

(7.0 mg K₂O/100g乾土)

(12 mg K₂O/100g乾土)

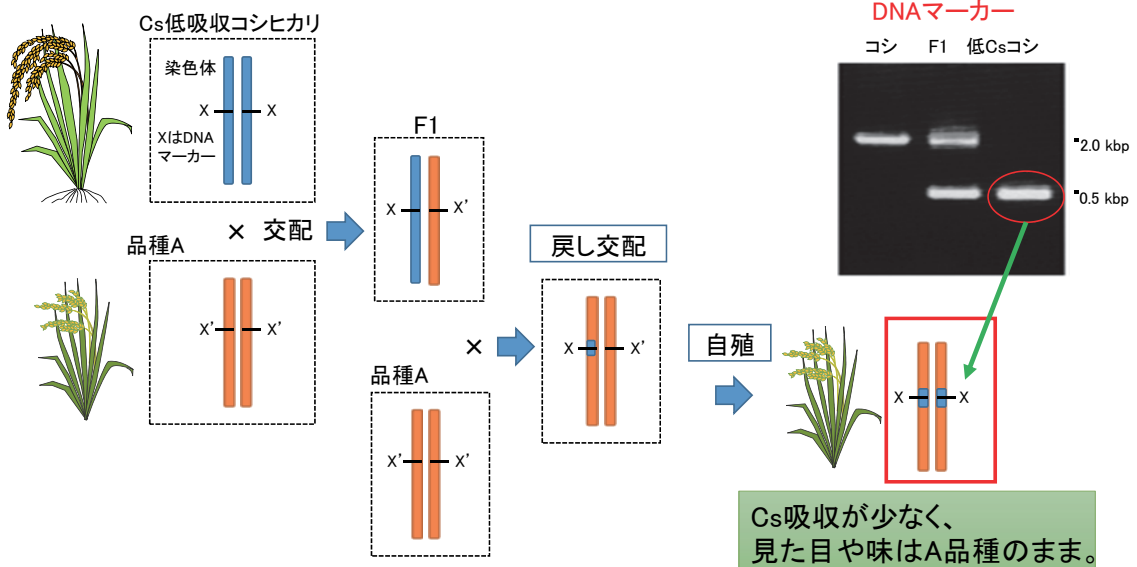


SOS1: Na⁺/H⁺ アンチポーター、SOS2:タンパク質リン酸化酵素、SOS3:カルシウム結合タンパク質
 HKT2;1: Na⁺トランスポーター、HAKおよびAKT1: K⁺トランスポーター

1. Na⁺が吸収されると、コシヒカリはSOS経路を通してNa⁺を細胞外に排出するが、Cs低吸収コシヒカリはSOS2が変異したため、Na⁺を排出できず、根のNa⁺濃度が上昇する。
2. 根のNa⁺濃度が高まると、カリウム輸送体遺伝子の発現が低下する。
3. その発現低下により、Cs⁺の取り込みが抑制される。
4. K⁺の吸収も抑制されるが、取り込まれたK⁺は速やかに地上部に移行し、必要な組織に運ばれるため、玄米のカリウム濃度が減少しない。

(応用面) DNAマーカー育種

Csを吸収しにくい遺伝子 (*OsSOS2*の変異)を検出できるDNAマーカーを開発しました。マーカー選抜により、低Cs遺伝子を導入した品種を、効率的に育成することができます。



Cs吸収が少なく、見た目や味はA品種のまま。

- イオンビーム照射による突然変異法で、放射性セシウムを吸収しにくいコシヒカリ(Cs低吸収コシヒカリ)を作りました。
- Cs低吸収コシヒカリの農業形質(玄米収量や食味等)はコシヒカリとほぼ同等でした。
- 低セシウムの要因は、耐塩性に関わる遺伝子 *OsSOS2* の変異により、カリウム輸送体遺伝子 (*HAK1* や *AKT1* 等) の発現が低下し、根のセシウム吸収が抑制されたためです。

- Cs低吸収コシヒカリは品種登録出願の予定です。
- 今後実証試験等を通して、Cs低吸収コシヒカリの有効性を確認する予定です。
- Cs低吸収コシヒカリの利用により、カリ増肥を減らすことが可能になります。
- 品種の切り替えのみで、従来の栽培方法を変えずに、コメの放射性セシウム低減対策を長期にわたり実施可能になります。
- 新たな低減対策として、これまで以上に安全なコメの提供に貢献できると期待されます。



ご静聴ありがとうございました

(共同・協力機関)

- 農研機構東北農業研究センター
- 農研機構次世代作物開発研究センター
- 岩手生物工学研究センター
- 福島県農業総合センター

ダイズにおける対策と問題点

農研機構東北農業研究センター 松波 寿弥

1. ダイズ栽培において推奨される土壤の交換性カリ含量

ダイズの場合でもカリ増施は放射性セシウムの移行低減に有効であり、土壤の交換性カリ含量を 25 mg K_2O /100g 以上になるように高めた上で地域の施肥基準に応じた施肥を行うことが基本である。しかし、放射性セシウムが移行しやすい圃場や基肥カリを施用しても交換性カリ含量が高まりにくい圃場も存在する。

2. 放射性セシウムが移行しやすい圃場や基肥カリを施用しても交換性カリ含量が高まりにくい圃場におけるカリ施肥法

放射性セシウムの土壤への吸着が遅く、放射性セシウムが移行しやすい圃場ではカリ増施を徹底する必要がある。また、土壤へのカリの吸着によって交換性カリ含量が高まりにくい圃場では上乘せ分を基肥で施用するよりも追肥として施用した方が効果的である。

3. 除染後農地における大豆栽培のポイント

表土剥ぎ後客土した除染後圃場では作土の放射性セシウム濃度は除染前に比べ大幅に低下しているが作土から放射性セシウムがなくなったわけではない。また、除染後圃場では作土の交換性カリ含量が低い傾向にある。そのため除染後圃場でもカリ増施は必要である。同じ圃場内であっても作土の放射性セシウム濃度のバラツキが大きい場合があるが、ダイズ栽培を継続することにより圃場内のバラつきは次第に小さくなり、作物が吸収しやすい交換性放射性セシウム濃度も低下する。

4. ダイズにおける問題点と今後の研究展開

ダイズはカリ増施条件下においても水稻に比べて放射性セシウムの移行係数が高い。また、カリ増施には莫大な費用と労力を要する。今後はダイズで移行係数が高くなることの要因解明、放射性セシウムの移行を効率的に低減できる肥培管理法の開発に加えて、ダイズのセシウム低吸収品種の育成に取り組む。

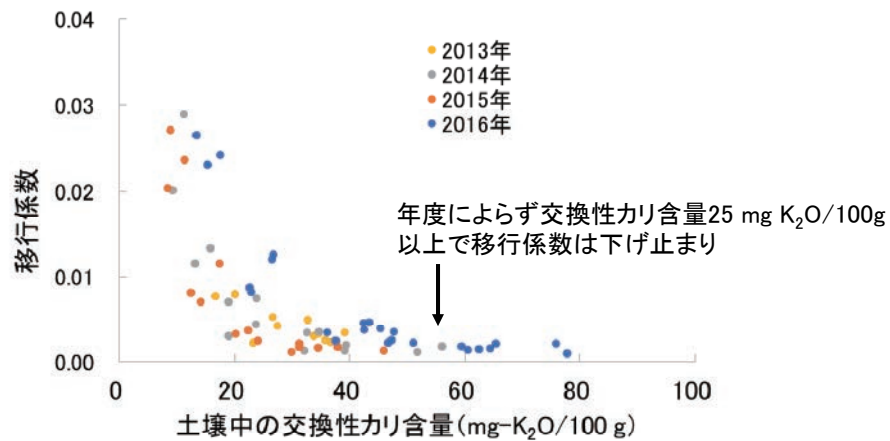
ダイズにおける対策と問題点

農研機構東北農業研究センター
農業放射線研究センター 畑作移行低減グループ
松波 寿弥

「農研機構」は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネームです。

1) ダイズ栽培において推奨される土壌の交換性カリ含量

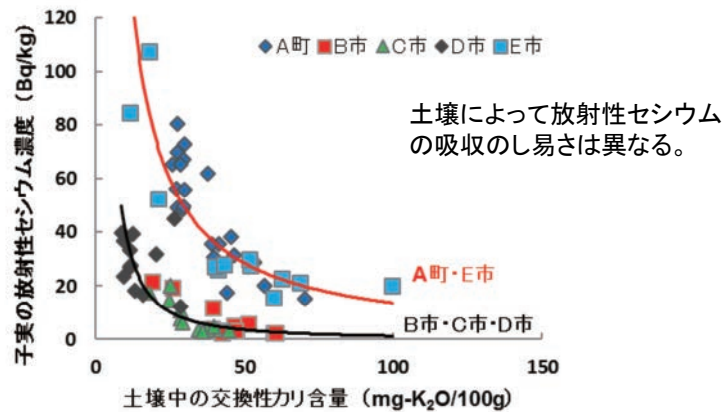
「農研機構」は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネームです。



2013年から2016年までの子実の移行係数と土壌の交換性カリ含量との関係(東北農研)

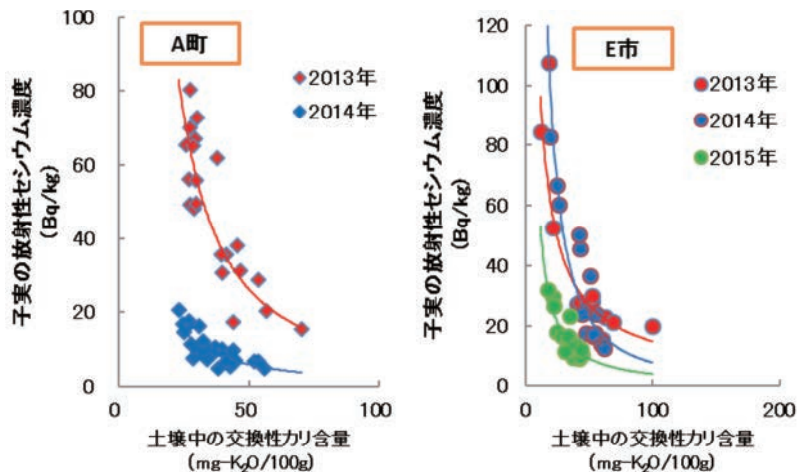
交換性カリ含量を25 mg K₂O/100g以上になるように高めた上で地域の施肥基準に応じた施肥を行うことが基本です。

2) 放射性セシウムが移行しやすい圃場におけるカリ施肥法



2012年に100 Bq/kgを超過した圃場における子実の移行係数と土壌の交換性カリ含量との関係(福島農総セ)

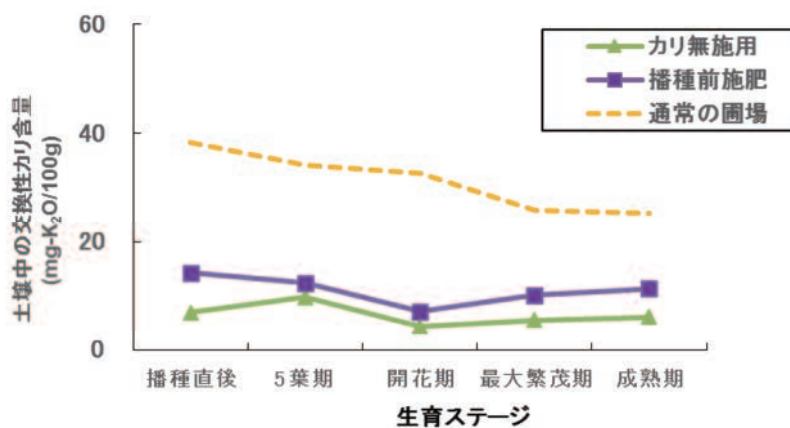
2012年に100 Bq/kgを超過した中通りの現地圃場5地点を調査したところ、うち2地点(A町、E市)は放射性セシウムが移行しやすい土壌であることが分かりました。



放射性セシウムが移行しやすい土壌におけるダイズへの移行係数の経年変化(福島農総セ)

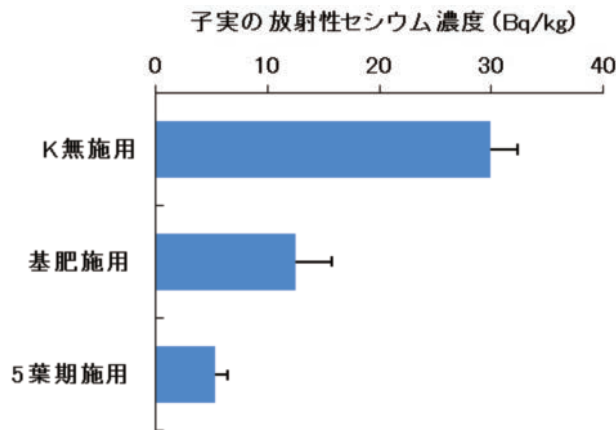
A町では翌年に、E市では3年目に放射性セシウム濃度が大きく低下したことから放射性セシウムの土壌への吸着が他の地域よりも遅い圃場であることが分かりました。こういった圃場では経過を見守りつつ、カリ増施を徹底する必要があります。

3) 基肥カリを施用しても交換性カリ含量が高まりにくい圃場におけるカリ施肥法



基肥カリを施用しても交換性カリ含量が高まりにくい圃場における交換性カリ含量の推移
 ~50mg/100gとなるように基肥カリを施用した場合~(福島農総セ、東北農研)

子実の放射性セシウム濃度が高くなる要因の一つに基肥カリを施用しても交換性カリ含量が高まりにくい圃場の存在があります。

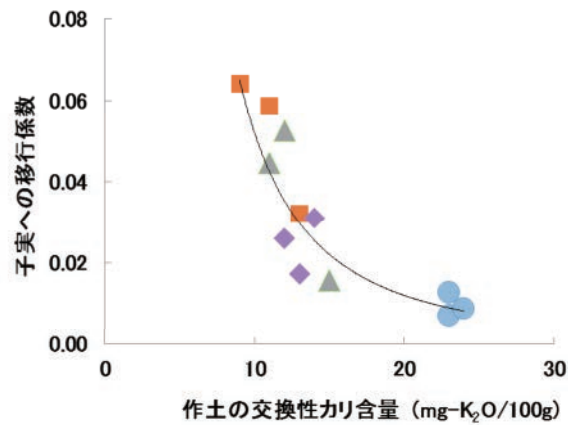


基肥カリを施用しても交換性カリ含量が高まりにくい圃場におけるカリ施用時期の効果(福島農総セ)

土壤へのカリの吸着によって交換性カリ含量が高まりにくい圃場では上乗せ分を基肥で施用するよりも追肥として施用した方が効果的です。

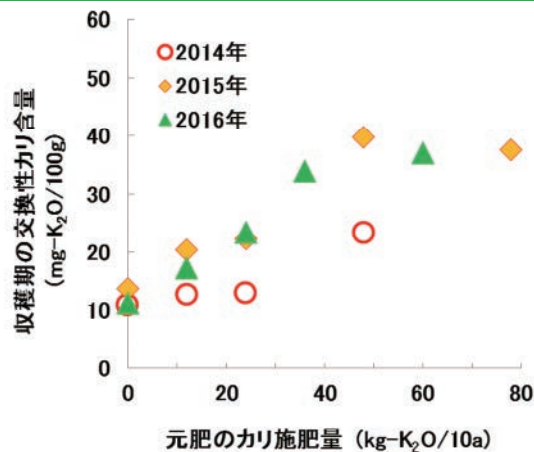
4) 除染後農地における大豆栽培のポイント

表土剥ぎ後客土した除染後圃場では除染前に比べ土壤の放射性セシウム濃度は大幅に低下していますが、作土から放射性セシウムが無くなったわけではありません。



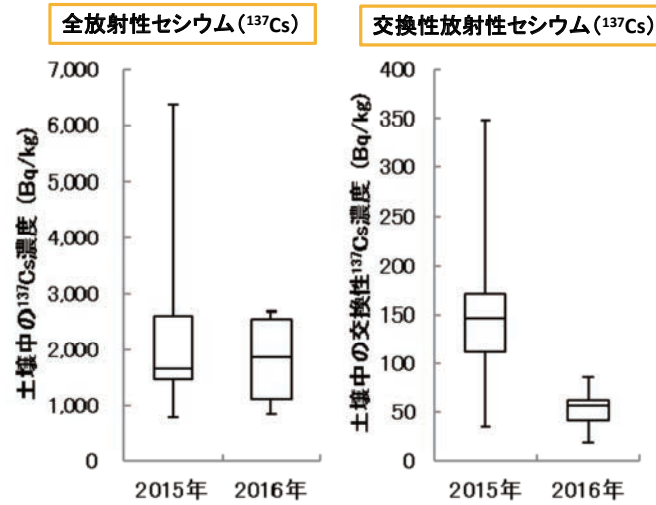
作付け初年目の除染後圃場におけるカリ増施による子実への放射性セシウム移行係数と交換性カリ含量の関係(中央農研)

表土剥ぎ後客土した除染後圃場では作土の交換性カリ含量が低い傾向にあります。作土の交換性カリ含量が低いとダイズ子実の放射性セシウム濃度が高まる可能性があります。除染後圃場でもカリ増施は必要です。



除染後圃場に元肥で硫酸カリを施用した時の、収穫期の作土の交換性カリ含量の経年推移(中央農研)

カリ施肥初年目は作土の交換性カリ含量が高まりにくい場合があるためカリ増施を徹底する必要があります。なお、カリ施肥を2年目以上継続すると交換性カリ含量は施用量に応じて増加するようになります。



除染後圃場の作土の放射性セシウム濃度と圃場内のバラつき(福島農総セ)

同じ圃場内であっても作土の放射性セシウム濃度のバラツキがあります。ダイズ栽培を継続することにより圃場内のバラつきは経年により小さくなり、作物が吸収しやすい交換性放射性セシウム濃度も低下します。

5) ダイズにおける問題点と今後の研究展開

問題点

カリ増施条件下においてもダイズを含むマメ科の多くは水稻などイネ科作物に比較して放射性セシウムの移行係数が10倍以上高く、食品基準値超過(>100Bq/kg)や50~100Bq/kgの検体が検出される割合が他の農作物よりも高くなっています。また、カリ増施には莫大な費用と労力を要します。



今後の研究展開

イネ科作物に比べてダイズの移行係数が著しく高くなることの要因解明および放射性セシウムの移行を効率的に低減でき、かつカリ施肥量を減らす肥培管理技術の開発に加えて、大豆の放射性セシウム低吸収品種の育成を行っていきます。

ソバにおける対策と問題点

農研機構東北農業研究センター 久保 堅司

1. はじめに

東京電力福島第一原発の事故後、平成 24 年産玄そばの放射性セシウム濃度に基準値超過が認められた。そばは放射性セシウムが比較的移行しやすい作物のひとつであることが認識され、移行低減技術の開発が進められている。

2. カリ施用による玄そばの放射性セシウム低減効果

ポットと現地畑での試験において、カリ肥料の施用量と玄そばの放射性セシウム濃度との関係を見たところ、栽培後の交換性カリ含量が $30\text{mgK}_2\text{O}/100\text{g}$ 以上だと、玄そばの放射性セシウム濃度が十分に低い値を示すことが明らかになった。これらの結果から、そばの放射性セシウム吸収抑制対策として、栽培前の作土の交換性カリ含量をカリ肥料で $30\text{mgK}_2\text{O}/100\text{g}$ 以上とした上で、地域の施肥基準に応じた施肥を行うこととなった。

3. 玄そばへの土壌等の混入・表面付着と、磨きによる除去

倒伏したそばから得られた玄そばは、倒伏のないそばから得られた玄そばよりも脱穀・風選後の放射性セシウム濃度が高い値を示す。倒伏したそばから得られた玄そばでは土壌等異物の混入や、玄そば表面への土壌等の付着が認められたが、それらについて磨きを行ったところ、玄そば表面はきれいになり、放射性セシウム濃度は磨き前と比較して大きく低減した。倒伏で玄そばに混入・付着した土壌等は玄そばの放射性セシウム濃度を高める要因となっていた事が考えられた。収穫後の磨きにより玄そばに混入・付着した土壌粒子等が除かれ、玄そばの放射性セシウム濃度が低減できることが示された。

4. 今後

避難指示が解除された地域では農地の除染が終了し、営農が再開されつつある。このような地域においても作物への放射性セシウムの移行を十分に低減できるよう、技術開発を進めていく予定である。

ソバにおける対策と問題点

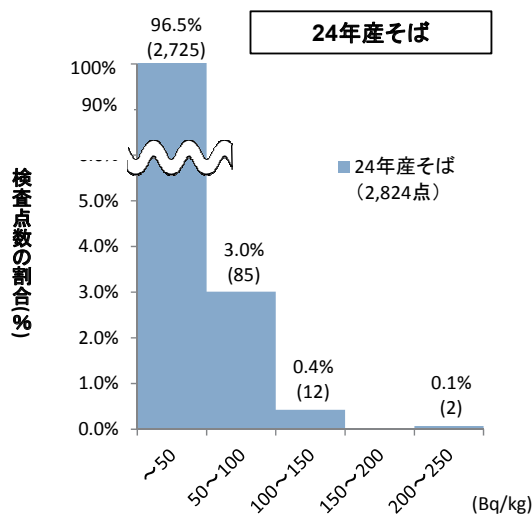
農研機構東北農業研究センター

農業放射線研究センター 畑作移行低減グループ

久保 堅司

「農研機構」は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネームです。

背景



放射性セシウム濃度の高いそばが発生する要因とその対策について
～要因解析調査と試験栽培等の結果の取りまとめ～
(概要 第2版)より抜粋
http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/h25soba_yoin.pdf

- ・東京電力福島第一原子力発電所の事故(2011年(平成23年)3月)
- ・玄そばの放射性セシウム検査(岩手県、宮城県、福島県、栃木県)で基準値(100Bq/kg)超過が認められた



要因解析
移行低減対策

・69圃場(岩手県、宮城県、福島県、栃木県)から玄そばと作土を採取

・調査項目

玄そば:放射性セシウム濃度

作土:放射性セシウム濃度、交換性放射性セシウム濃度、放射性Cs捕捉ポテンシャル、pH、陽イオン交換容量、炭素含量、交換性カリ・マグネシウム・カルシウム含量、粒径組成



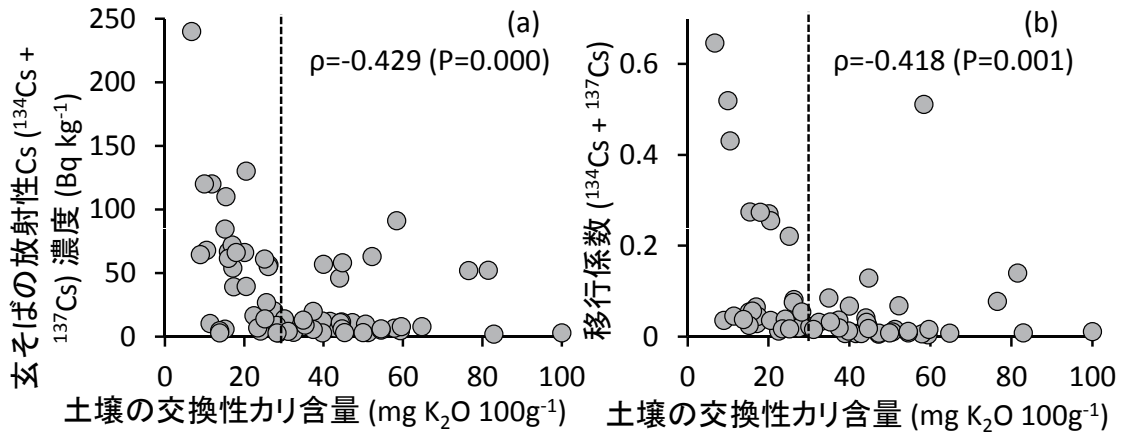
玄そばの放射性セシウム濃度と関わる要因の解析

玄そばの放射性Cs濃度との順位相関係数

放射性Cs濃度	$\rho = 0.290, P = 0.017$
交換性放射性Cs濃度	$\rho = 0.467, P = 0.000$
放射性Cs捕捉ポテンシャル	$\rho = -0.211, P = 0.312$
pH	$\rho = 0.082, P = 0.532$
陽イオン交換容量	$\rho = -0.007, P = 0.959$
CN比	$\rho = 0.324, P = 0.011$
交換性カリ含量	$\rho = -0.429, P = 0.000$
交換性マグネシウム含量	$\rho = 0.059, P = 0.649$
交換性カルシウム含量	$\rho = 0.359, P = 0.005$
粒径組成(細砂の割合)	$\rho = 0.353, P = 0.005$

→ 低減対策として検証

土壌の交換性カリ含量と玄そばの放射性セシウム濃度(a)・移行係数(b)との関係

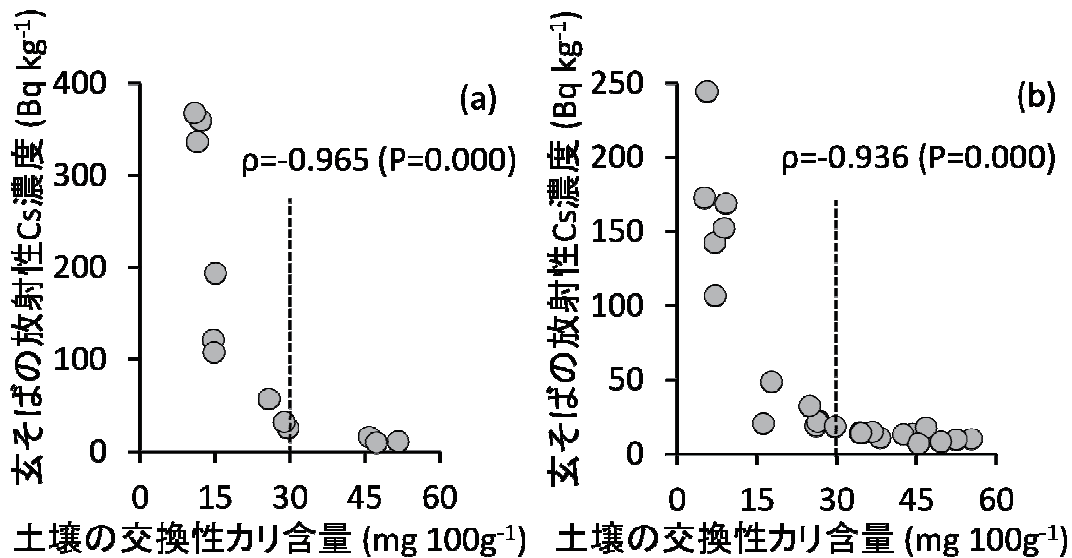


土壌の交換性カリ含量が高いと玄そばの放射性セシウム濃度と移行係数は低い

移行係数 = (玄そばの放射性セシウム濃度) / (土壌の放射性セシウム濃度)

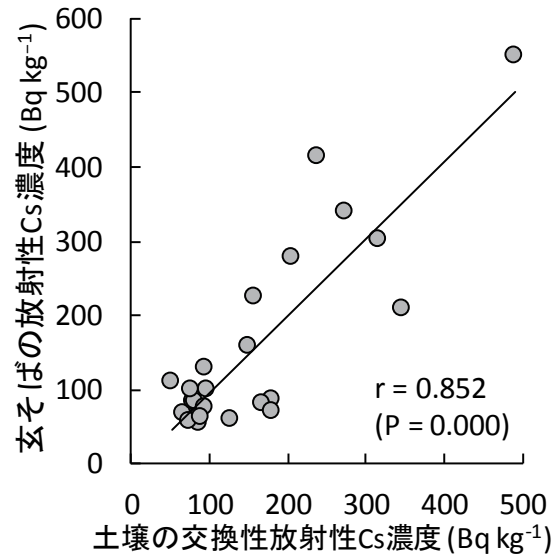
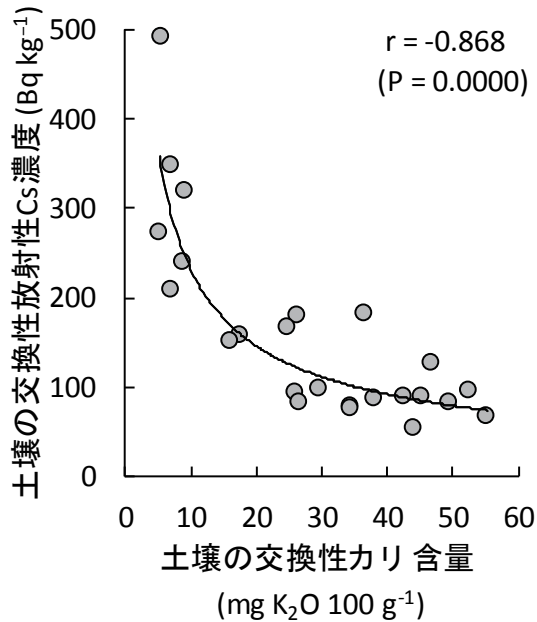
ポット・圃場試験での確認

栽培後土壌の交換性カリ含量が30mg/100g以上だと、土壌から玄そばへの放射性セシウムの移行をよりよく抑制できる



(a): ポット試験、2012年. N=12、黒ボク土. 土壌のRCs濃度: 4,093 Bq kg⁻¹. (b): 現地圃場試験、2013年. n=24、灰色低地土. 作土のRCs濃度: 4,085 Bq kg⁻¹.

土壤の交換性カリ含量は土壤の交換性放射性セシウム濃度と関係し、
交換性放射性セシウム濃度は玄そばの放射性セシウム濃度に
影響する



インターネット公開不承認のため非表示

インターネット公開不承認のため非表示

インターネット公開不承認のため非表示

インターネット公開不承認のため非表示

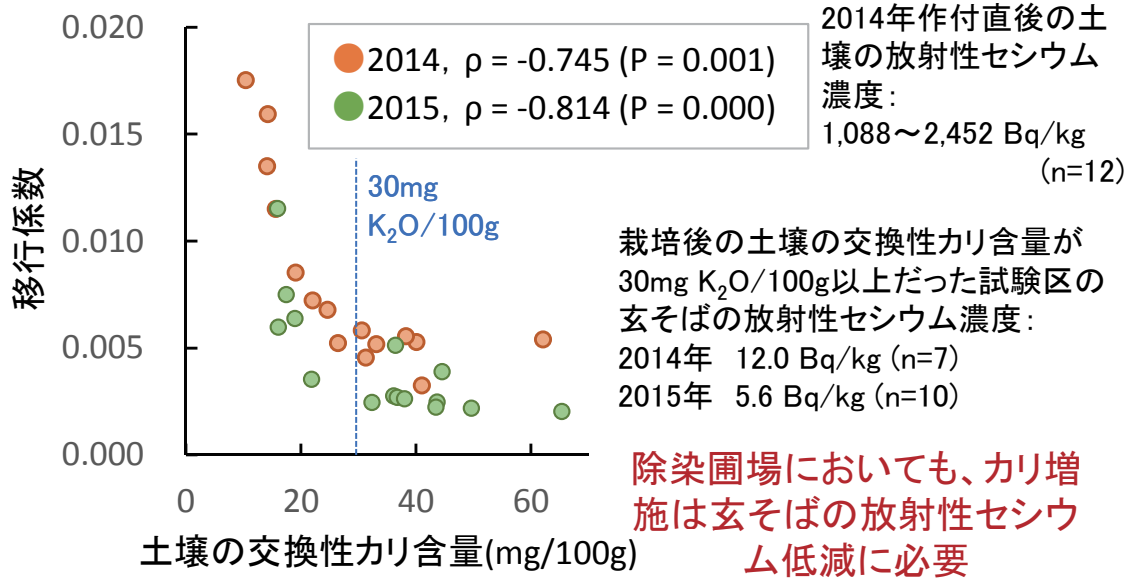
除染圃場での取り組み（背景）

- ・作土の放射性セシウム濃度が5,000Bq/kg以上の場合
- ・表土削り取り(5cm程度)
- ・客土
- ・ゼオライト等資材の施用(1.0t/10a)
- ・耕起

山木屋地区はほぼすべての農地が対象
(環境省 除染情報サイト)



除染圃場での取り組み (現地圃場試験)



移行係数 = 玄そばの放射性セシウム濃度 / 土壌の放射性セシウム濃度

事故後初作の圃場は50mg K₂O/100g以上

除染圃場での取り組み (現地圃場試験)

採取日: 2014年10月2日
(そば成熟期)
1試験区: 3m × 6m (n=12)
平均値: 2142 Bq/kg
範囲: 925-4,315 Bq/kg
変動係数: 44.0%

解析に用いた土壌は、採取した植物体直下の作土

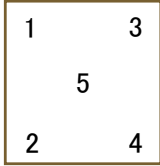
2カ年とも条間75cmの畝立て栽培
(耕起→畝立て→耕起の繰り返し)



採取日: 2015年10月8日
(そば成熟期)
1試験区: 3m × 6m (n=12)
平均値: 1878 Bq/kg
範囲: 1,039-2,466 Bq/kg
変動係数: 19.4%

年を経ることにより(耕起を繰り返すことにより)圃場内の放射性セシウム濃度のバラツキは低下

施肥前の土壌の放射性セシウム濃度と交換性カリ含量

いずれも物理的除染後初作の圃場		平均値	最小値	最大値	変動係数 (%)
		土壌の放射性セシウム濃度(Bq/kg)			
 各圃場の土壌の採取位置	戸草	287	75	828	112
	柳平山	395	11	1587	172
	大洪	177	68	346	65
	土壌の交換性カリ含量(mg/100g)				
	戸草	18.6	15.5	21.1	13.9
柳平山	30.0	15.3	49.7	42.2	
大洪	16.3	7.5	27.1	54.1	

土壌の交換性カリ含量の最小値を基準に、30mg K₂O/100gまで高める

慣行施肥(N, P₂O₅, K₂Oをそれぞれ3kg/10a)にNを3kg/10a追加

土壌の交換性カリ含量(mg K₂O/100g)の推移

	平均値	最小値	最大値	変動係数 (%)
播種期				
戸草	55.9	45.0	63.8	13.3
柳平山	38.6	25.4	46.8	23.3
大洪	50.6	23.5	88.6	53.3
開花期				
戸草	35.3	29.7	41.9	14.3
柳平山	30.3	25.7	35.9	16.6
大洪	31.1	25.3	37.1	16.8
成熟期				
戸草	36.3	30.4	42.8	12.8
柳平山	30.6	13.7	49.5	55.8
大洪	30.4	25.0	40.5	20.4

成熟期の土壌と玄そばの放射性セシウム濃度

	放射性セシウム濃度(Bq/kg)		移行係数
	土壌	玄そば	
戸草	317	1.62	0.0051
柳平山	462	5.89	0.0127
大洪	171	2.90	0.0170



「ふくしまからはじめよう。」農業技術情報（第53号） 平成29年3月3日

大豆とそばの放射性セシウム吸収抑制対策

福島県農林水産部

「ふくしまからはじめよう。」農業技術情報
(福島県農林水産部)

<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/205292.pdf>



今後：
営農再開地域でのカリ増施の徹底・移行性の調査

除染後圃場におけるそば栽培・収穫のポイント
(農研機構東北農業研究センター)

<http://www.naro.affrc.go.jp/tarc/introduction/files/buckwheat170418.pdf>

謝辞

農研機構
福島県農業総合センター
東京大学
農林水産省
川俣町役場原子力災害対策課
川俣町仲ノ内そば会 皆様



農林水産省委託プロジェクト
「農地等の放射性物質の除去・低減技術の開発」

JSPS科研費
「15K11961」, 「15H02438」

文部科学省科学技術戦略推進費
「ほ場環境に応じた農作物の放射性物質移行低減対策確立のための緊急研究」

牧草における対策と問題点

農研機構畜産研究部門 渋谷 岳

1. 牧草の放射性セシウム濃度抑制には、カリ施肥が重要

草地更新による除染を行った草地を調査したところ、土壌中の交換性カリ含量(0~15cm 深の目標：30~40 mgK₂O/100g 乾土)を高めて行う草地更新は、牧草の放射性セシウム吸収抑制に有効であるが、更新後も適切なカリ施肥の継続が必要である。

カリ収支から見て、牧草収穫によるカリウムの採草地土壌からの持出は大きく、窒素単肥での肥培管理のような粗放的な草地管理では、土壌中の交換性カリ含量を大きく低下させる。そのため、持出カリウム量に相当するカリ施肥により、牧草の放射性セシウム濃度上昇のリスクを低減できる。カリ施肥が不十分であり、交換性カリ含量が大きく下がると、牧草の放射性セシウム濃度は再び暫定許容値を超える恐れがある。

2. 除染済み草地において生産された牧草の利用上の注意

放射性セシウム対策としての土壌交換性カリ含量の維持目標は、通常の管理目標値よりも高いため、牧草のカリ含量が上がり、牧草のミネラルバランスが崩れやすい状況にある。そのため、土壌カリ含量を適切に保つ必要がある。

カリ含量の高い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、グラスタニーや乳熱といった疾病を招きやすくなる。なお、このような牧草の利用には、カリ含量の低い飼料との混合給与により対応可能である。

3. 草地土壌のカリレベルを判定する簡易測定法の紹介

市販のカリメータを使って、現地で簡易に草地土壌中の交換性カリ含量を測定する方法を検討中である。正確な値の測定は困難であるが、この方法を用いることで、交換性カリが低い、もしくは過剰となった草地をスクリーニングが可能となることが期待される。

放射性セシウム吸収抑制対策の今後を考える — 牧草における対策と問題点 —

農研機構畜産研究部門
草地利用研究領域
渋谷 岳

「農研機構」は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネームです。

本日の内容

- ・牧草の放射性セシウム濃度抑制には、カリ施肥が重要
- ・除染済み草地において生産された牧草の利用上の注意
- ・草地土壌のカリレベルを判定する簡易測定法の紹介



「農研機構」は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネームです。

草地更新時の目標交換性カリ含量

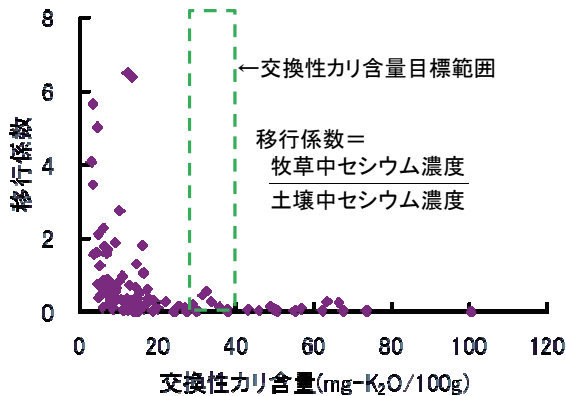


図 土壌(0-15cm深)の交換性カリ含量が牧草への放射性セシウム移行に与える影響

被災県の2011年更新草地で、翌年の利用1年目牧草を調査

土壌(0-15cm深)交換性カリ含量が30~40mg-K₂O/100g以上では、牧草の放射性セシウム濃度は暫定許容値を超過する場合もあるが、移行係数は低く抑えられていた

更新時の土壌(0-15cm深)交換性カリ含量の目標値は、30~40mg-K₂O/100g乾土とした

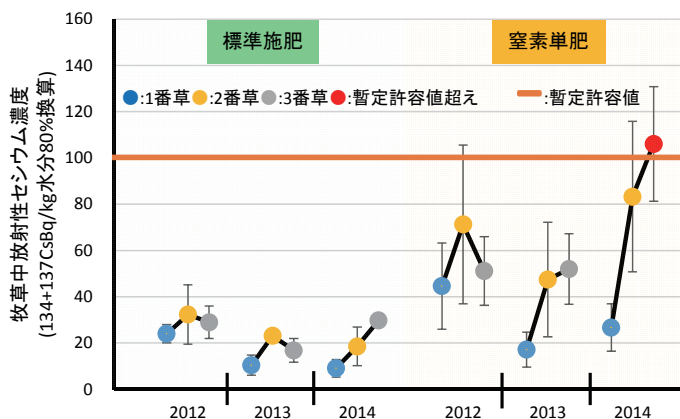
山田ら(2014)更新草地において牧草への放射性セシウムの移行を低減する交換性カリ含量
<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2013/13-079.html>

草地維持管理時のカリ施用①

○カリ施肥を伴わない窒素の過剰な施肥は控える

カリ施肥を怠ると、再び暫定許容値を超える場合がある

適切な窒素施肥量とするとともに、カリ成分をバランスよく施肥して、窒素のみの施肥は控える



2011年秋にディスク耕で更新、オーチャードグラスを播種。
 土壌は褐色低地土、
 土壌(0-15cm)中放射性Cs濃度は
 2,530Bq/kg乾土。

基肥: N-P₂O₅-K₂O=各10kg/10a
 熔リン 100kg/10a
 苦土石灰 200kg/10a
 追肥: 年3回(早春、1番・2番刈後)
 標準区: N-P₂O₅-K₂O=各5kg/10a
 窒素単肥区: N=5kg/10a(尿素)

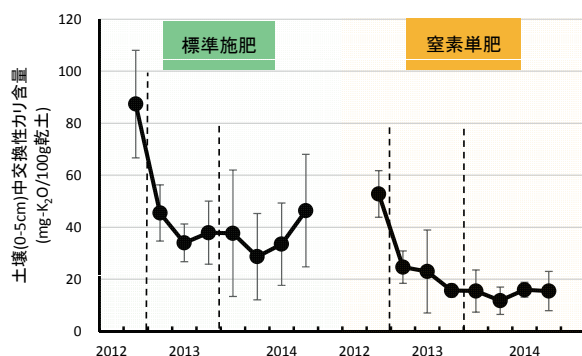
渋谷ら(2015)牧草中放射性セシウム低減のために、草地更新後もカリ施肥継続は必要
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2014/14_079.html

草地維持管理時のカリ施用②

窒素単肥条件の更新草地では、カリ収支(カリ肥料投入量－牧草収穫による持出量)の減少分が大きく(下表)、土壌の交換性カリ含量が大きく低下する(下図)。

施肥管理	乾物収量(kg/10a/年)			カリ持出量(kg/10a/年)			カリ施肥量(kg/10a/年)	カリ収支(kg/10a/年)		
	2012年	2013年	2014年	2012年	2013年*	2014年*		2012年**	2013年	2014年
標準	891	996	1119	28	37	36	15	-3	-22	-21
窒素単肥	817	979	978	26	28	24	0	-16	-28	-24

* : ⁴⁰K含量から推定 * *: 更新時の基肥分を含む



窒素単肥区: カリ無施用
→ カリ収支は標準施肥区よりも大きなマイナス
→ 土壌交換性カリ含量は、窒素単肥区で著しく低下

土壌交換性カリ含量の維持に、標準施肥区の2～3倍量(30～45kg/10a/年)程度のカリ施肥が必要と試算

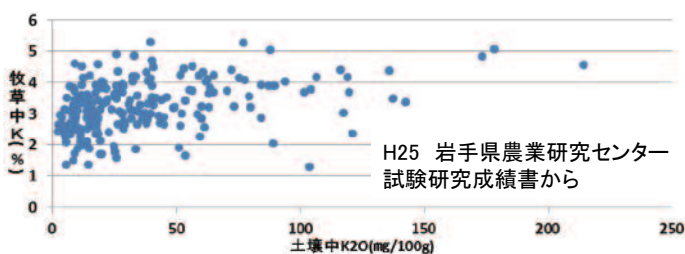
渋谷ら(2015) 牧草中放射性セシウム低減のために、草地更新後もカリ施肥継続は必要
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2014/14_079.html

牧草中カリ過剰対策

オーチャードグラス等のイネ科牧草は通常、家畜要求量の4～5倍ものカリを含む

→ そのため、適量のカリ施用を行うよう努めてきた

土壌交換性カリ含量が高まると、牧草のセシウム濃度は抑えられるが、カリウム含量が高まりやすくなる



既に目標水準以上の草地もある
→ カリは過剰に入れる必要は無い

牧草中のカリウム濃度が高い

→ 事故前より多いカリ施肥になっているのが原因

→ セシウム対策のため、やむを得ず多量施用している

家畜のカリ要求量と過剰時の影響



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 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-比 [K/(Ca+Mg)]2.2以下	マグネシウム欠乏	グラスステタニー	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-比 [K/(Ca+Mg)]2.2以下	マグネシウム欠乏	グラスステタニー	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	グラスステタニー	低
	繁殖牛	放牧	0.65%	テタニ-比 [K/(Ca+Mg)]2.2以下	マグネシウム欠乏	グラスステタニー	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

過剰吸収されたカリウムは血液をアルカリ化し(代謝性アルカローシス)、消化管あるいは牛体内でカルシウムやマグネシウムの吸収や利用を阻害する

家畜のミネラル代謝障害の一因は、カリの過剰摂取→グラスステタニーと乳熱が代表的疾病
その予防のための栄養管理ではカリウム摂取量の低減を図ることが非常に重要

給与量でカリの影響を低減する



粗飼料と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採否
(○: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%)

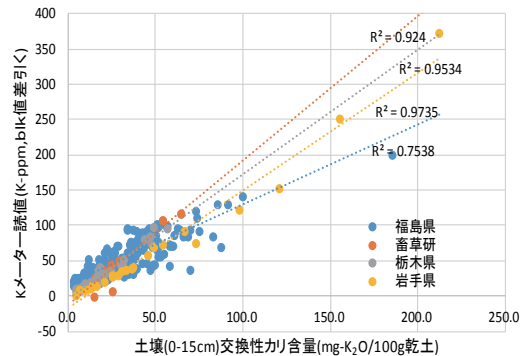
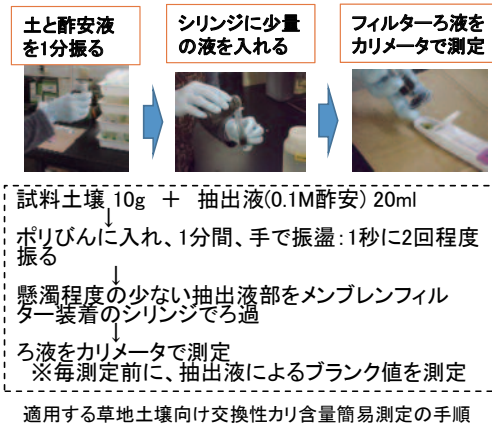
「農作物の放射性セシウム対策に係る除染及び技術対策の指針」第3版(平成26年4月25日福島県農林水産部)より引用、一部改変

→カリ含量の低い粗飼料や濃厚飼料と混合し、給与量の調整でカリウム制限をクリアする

草地土壌のカリレベルを判定する簡易測定法

市販のカリメータを使って、現地で簡易に土壌中の交換性カリ含量を測定する方法を検討中です。正確な値の測定は難しいですが、この方法を用いて、交換性カリが低い、もしくは過剰となった草地をスクリーニングすることが可能となります。

本法は既に普及が始まっている福島農総セ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)としています。



風乾土測定におけるカリメータ読値と通常法による土壌交換性カリ含量測定値の関係

カリメータ読値と通常法による土壌交換性カリ含量測定値の関係では、測定点数の違いの影響と考えられる差異はありますが、直線性のよい関係が得られました。この関係から1次の相関式を得て、係数を交換性カリ含量の算出に使用します。

本日のまとめ

- 牧草中放射性セシウム濃度はカリ増施で低減できる
- 除染(草地更新)後もカリの継続的な施用が必要
 事故前より、カリ多肥状態を続けざるを得ないが、過剰は禁物
 基準以上の上乘せカリ施用はしない→土壌診断による管理を
- 牧草中カリウム含量の上昇は避けられない
 →カリ摂取低減に飼料構成の変更も方策の一つ
- 簡易測定法による土壌カリレベルのスクリーニング方法を検討中

本発表の内容は、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事業で行われたものです

「農研機構」は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネームです。

農研機構シンポジウム
「放射性セシウム吸収抑制対策の今後を考える」
—講演要旨集—

発行年月 : 2017年11月

編集・発行 : 農研機構東北農業研究センター

〒020-0198 岩手県盛岡市下厨川字赤平4

