

家畜排せつ物堆肥を用いた天地返し後の地力 回復と農産物への放射性セシウムの移行

(家畜排せつ物堆肥活用による農地地力回復等技術開発普及事業平成24～26年度成果)



平成 27 年 3 月

目 次

まえがき

家畜排せつ物堆肥を用いた土壌の天地返し後の地力回復と農産物への放射性セシウムの移行抑制試験の概要

野菜栽培に関する報告の概要	4
飼料作物栽培に関する報告の概要	5

野菜栽培に関する報告

【成果1】 天地返しによる作土層の放射性セシウム濃度の低減	8
【成果2】 暫定許容値以下の牛ふん堆肥への吸着資材添加による放射性セシウムのコマツナへの移行抑制効果	10
【成果3】 数種のセシウム吸着資材の添加が牛ふん堆肥の可給態成分濃度と肥効に与える影響	12
【成果4】 天地返し土壌の地力回復に有効な堆肥の特徴と施用量および施肥対応	14
【成果5】 牛ふん堆肥の多量施用による天地返し土壌の地力回復効果と各種野菜の収量	16
【成果6】 暫定許容値以下の牛ふん堆肥の多量施用と土壌ならびに野菜の放射性セシウム濃度	18

飼料作物栽培に関する報告

【成果7】 天地返しによる土壌の放射性セシウム濃度と空間線量率の低減効果	22
【成果8】 放射性セシウムを含む牛ふん堆肥（10 a 当たり5 t）の連続施用ならびに堆肥へのゼオライト添加と飼料作物の放射性セシウム濃度	24
【成果9】 牛ふん堆肥（1,200Bq/kg現物）の施用による放射性セシウムの飼料用トウモロコシへの移行抑制	26
【成果10】 高濃度放射性セシウム堆肥を前年に10 a 当たり5 t 施用した跡地におけるイタリアンライグラスの放射性セシウム濃度の抑制対策	28
【成果11】 暫定許容値以下の牛ふん堆肥を施用したほ場における加里施用によるイタリアンライグラスの放射性セシウム濃度の低減	30
【成果12】 牛ふん完熟堆肥の施用による放射性セシウムのイタリアンライグラスへの移行抑制	32
【成果13】 土壌の交換性加里濃度と放射性セシウムのイタリアンライグラスへの移行抑制	34
【成果14】 セシウム吸着資材（ゼオライト、ベントナイト、プルシアンブルー）の施用と放射性セシウムのイタリアンライグラスへの移行抑制	36

本書の用語や単位について

項目	内容
放射性セシウム濃度の測定値	セシウム134とセシウム137の合計値で示しました。単位はBq/kgですが、重量を下記のように使い分けています。 <ul style="list-style-type: none"> ・生重（生産物そのままの重量） ・現物（堆肥そのままの重量） ・乾物（水分0%とした生産物の重量） ・乾土（水分0%とした土壌の重量） ・水分80%換算（水分80%とした生産物の重量）
移行係数	移行係数 = $\frac{\text{生産物の放射性セシウム濃度(Bq/kg水分80\%換算)}}{\text{土壌の放射性セシウム濃度 (Bq/kg乾土)}}$
天地返し	プラウによる30cm以上の深耕のことで、反転耕、プラウ耕とも呼びます。
堆肥の暫定許容値	放射性セシウムを含む肥料、土壌改良資材および培土の暫定許容値として400Bq/kg現物が設定されています。
空間線量率	空間放射線量率の略称で、測定した空間の時間当たりの放射線量です。単位は $\mu\text{Sv/h}$ を使用しました。
リン酸	土壌や肥料に含まれるリン成分です。P ₂ O ₅ と表記している場合もあります。
加里	土壌や肥料に含まれるカリウム成分です。K ₂ O、カリウム、カリと表記している場合もあります。
石灰	土壌や肥料に含まれるカルシウム成分です。CaOと表記している場合もあります。
苦土	土壌や肥料に含まれるマグネシウム成分です。MgOと表記している場合もあります。
窒素全量、リン酸全量	窒素やリン酸などについて、土壌や肥料に含まれるすべての量を意味します。
可給態窒素、可給態リン酸	窒素やリン酸などについて、土壌や肥料に含まれる中で、栽培中に植物が吸収しやすい状態のものを意味します。
交換性加里、交換性石灰	加里や石灰などについて、土壌や肥料に含まれる中で、植物に最も吸収されやすい状態のものを意味します。
有機物濃度	土壌に含まれる有機物量です。この報告集では、土壌の有機炭素量に1.724を乗じて求めた値を用いました。
CEC	陽イオン交換容量のことです。値が高い土壌ほど、肥料成分を保持できる量が多いです。
EC	電気伝導度のことです。土壌に塩類が多く含まれると高い値になります。
テタニー比	K / (Ca + Mg) の当量比の値。2.2を超える飼料は、グラステタニーに注意が必要です。
プルシアンブルー	青色の顔料で、芝の着色剤としての使用が認められています。しかし、農地への施用は、放射性セシウムの土壌中での動態に及ぼす影響が未解明であり、土壌汚染対策法による規制に触れる可能性もあるため、現在のところ推奨できません。

まえがき

放射性セシウムを含む農地では、農産物への移行低減と農作業者の被ばく軽減の対策として、土壌の天地返しが推奨されています。しかし、作物の栄養分が多く含まれる表層土壌の天地返しによる土中深くへの鋤込みは、地力の低下を招くことが懸念されています。一方、家畜排せつ物堆肥の施用は、肥料効果と土壌改良効果の両方が期待できるが、放射性セシウムに対する不安などから、暫定許容値（400Bq/kg現物）を下回っていても使用を控える場合もあり、畜産農家に家畜排せつ物堆肥が滞留し、耕畜連携にも影響が出ている状況もみられます。

この報告集は、家畜排せつ物堆肥を用いた天地返し後の地力回復、並びに暫定許容値以下の家畜排せつ物堆肥の施用による放射性セシウムの生産物や土壌への影響について、平成24年度から3年間にかけて試験した成果を普及するものです。なお、この冊子には、昨年度に作成しました「家畜排せつ物堆肥を用いた天地返し後の地力回復と農産物への放射性セシウムの移行（平成25年度堆肥活用による農地地力回復事業）」の内容も含まれています。

今回の結果が、家畜排せつ物堆肥の利用促進および放射性セシウムにより汚染された農地の復旧の一助となれば幸甚であります。

平成27年3月

一般財団法人 畜産環境整備機構

家畜排せつ物堆肥を用いた土壌の天地返し後の地力回復と農産物への放射性セシウムの移行抑制試験の概要

成果報告の概要です。詳しくはそれぞれの【成果】のページをご覧ください。

野菜栽培に関する報告の概要

土壌の天地返し



- ❖ 作土層の放射性セシウム濃度が天地返しにより低下しました。【成果1】
- ❖ また、天地返しにより作土層の地力が低下しました。【成果5】

牛ふん堆肥の多量施用

- ❖ 牛ふん堆肥の多量施用により2年間で地力が回復しました。【成果4】
【成果5】
- ❖ 堆肥の多量施用は、堆肥の成分によりますが、10 a 当たり8~12 t 程度が限度と考えられました。【成果4】
- ❖ 地力の回復の効果は、木質系等の難分解性有機物を多く含む堆肥ほど高いと考えられました。【成果4】
- ❖ 暫定許容値以下の牛ふん堆肥を多量施用しても、野菜や土壌の放射性セシウム濃度の上昇は認められませんでした。【成果6】

セシウム吸着資材の添加

- ❖ 野菜の放射性セシウム濃度は、ゼオライトやプルシアンブルー※を添加した牛ふん堆肥の施用によって低下しました。【成果2】
- ❖ 堆肥に含まれる可給態成分濃度は、ゼオライトの添加によって減少しました。【成果3】

※プルシアンブルーの農地への施用は推奨できません（参照2ページ）。

飼料作物栽培に関する報告の概要

土壌の天地返し

- ❖ 天地返しにより、土壌の放射性セシウム濃度が低下し、ほ場の空間線量率が半分以下になりました。【成果7】



牛ふん堆肥の施用

- ❖ 放射性セシウムを含む堆肥を施用しても、飼料作物の放射性セシウム濃度は上昇せず、むしろ低下する場合があります。【成果8】【成果9】【成果12】【成果13】
- ❖ 暫定許容値以下の放射性セシウムを含む堆肥を施用しても、土壌の放射性セシウム濃度の上昇は認められませんでした。【成果8】
- ❖ 暫定許容値を幾分超える完熟堆肥の施用により、イタリアンライグラスの収量が増加し、移行係数は減少しました。【成果12】
- ❖ 牛ふん堆肥は10 a 当たり5 t 程度の施用が好ましいです。【成果12】



化学肥料の施用

- ❖ 加里の施用により、飼料作物の放射性セシウム濃度が低減しました。【成果9】【成果11】【成果13】
- ❖ 放射性セシウムを含む堆肥を施用した場合でも、加里の追肥により、イタリアンライグラスの3番草の放射性セシウム濃度が低減しました。【成果13】
- ❖ 苦土石灰の施用によるイタリアンライグラスの放射性セシウム濃度の低減効果は明確ではありませんでした。【成果11】

セシウム吸着資材の施用

- ❖ ゼオライトやプルシアンブルー※の施用により、イタリアンライグラスの放射性セシウム濃度が低減しました。【成果14】
- ❖ なお、交換性加里が37mg/100 g 乾土以上の土壌では、堆肥にゼオライトを添加しても放射性セシウムの移行抑制効果は明確ではありませんでした。【成果8】

※プルシアンブルーの農地への施用は推奨できません（参照2ページ）。

※本パンフレットは「家畜排せつ物堆肥活用による農地地力回復等技術開発普及事業（平成24～26年度）」の主な成果の概要を示したものです。より詳しい内容をご覧になりたい場合は「家畜排せつ物堆肥活用による農地地力回復等技術開発普及事業成果報告書」を一般財団法人畜産環境整備機構（連絡先は本パンフの奥書にあります）からお取り寄せください。この報告書に記載されている課題と、本パンフレットの各成果の関係を下の表に示します。

「家畜排せつ物堆肥活用による農地地力回復等技術開発普及事業成果報告書」の課題名	本パンフレットの成果
野菜栽培に関する試験報告	
セシウム吸着資材を添加した堆肥の肥効特性と野菜への移行抑制のための施肥設計手法	成果2, 3
牛ふん堆肥を用いた天地返し後の地力回復施肥設計手法（ポット試験）	成果4
家畜ふん堆肥を活用した野菜栽培ほ場における天地返し後の地力回復	成果1, 5, 6
飼料作物栽培に関する試験報告	
地力回復施肥設計技術の開発実証 － 飼料作物のほ場栽培試験（ゼオライト）	成果7, 8
地力回復施肥設計技術の開発実証 － 飼料作物のほ場栽培試験（石灰・カリ施用）	成果7, 11
地力回復施肥設計技術の開発実証 － 飼料作物のほ場栽培試験（長期的影響）	成果10
放射性セシウム移行抑制技術の開発実証 － 低濃度堆肥等施用試験（トウモロコシ、堆肥とカリ施用効果）	成果9
放射性セシウム移行抑制技術の開発実証 － 低濃度堆肥等施用試験（イタリアンライグラス）	成果12, 13, 14

野菜栽培に関する報告

【成果1】 天地返しによる作土層の放射性セシウム濃度の低減

土壌を天地返しすることにより、作土層の放射性セシウム濃度が低減しました。

(1) 試験の内容

震災後に耕作および耕耘をしていないM、T、Kの3カ所のほ場（表1）について、土壌の天地返し（深さ約40cm、写真1）を行いました。天地返しの前および天地返し後に耕耘して整地した後に、それぞれ40cmの深さまで10cm刻みで土壌を採取し、放射性セシウム濃度を測定しました。



写真1 天地返しの様子（ノートはB5版で高さ252mm）

表1 ほ場の概要

ほ場名	Mほ場	Tほ場	Kほ場
地域	福島県白河市	福島県泉崎村	福島県泉崎村
土壌の種類	褐色森林土	黒ボク土	褐色低地土

(2) 試験の結果

天地返しによって、作土層（0～20cm）の放射性セシウム濃度が低下しました（図1）。また、耕作後もこの状態が維持されました（【成果6】をご覧ください）。天地返しによって、放射性セシウムの多くが20cmよりも深い位置に移動しました。天地返しによる地力の低下については【成果5】をご覧ください。

天地返しの作業は、農林水産省が公開している「農地除染対策の技術書」にしたがって行ってください。

「農地除染対策の技術書」<http://www.maff.go.jp/j/nousin/seko/josen/>

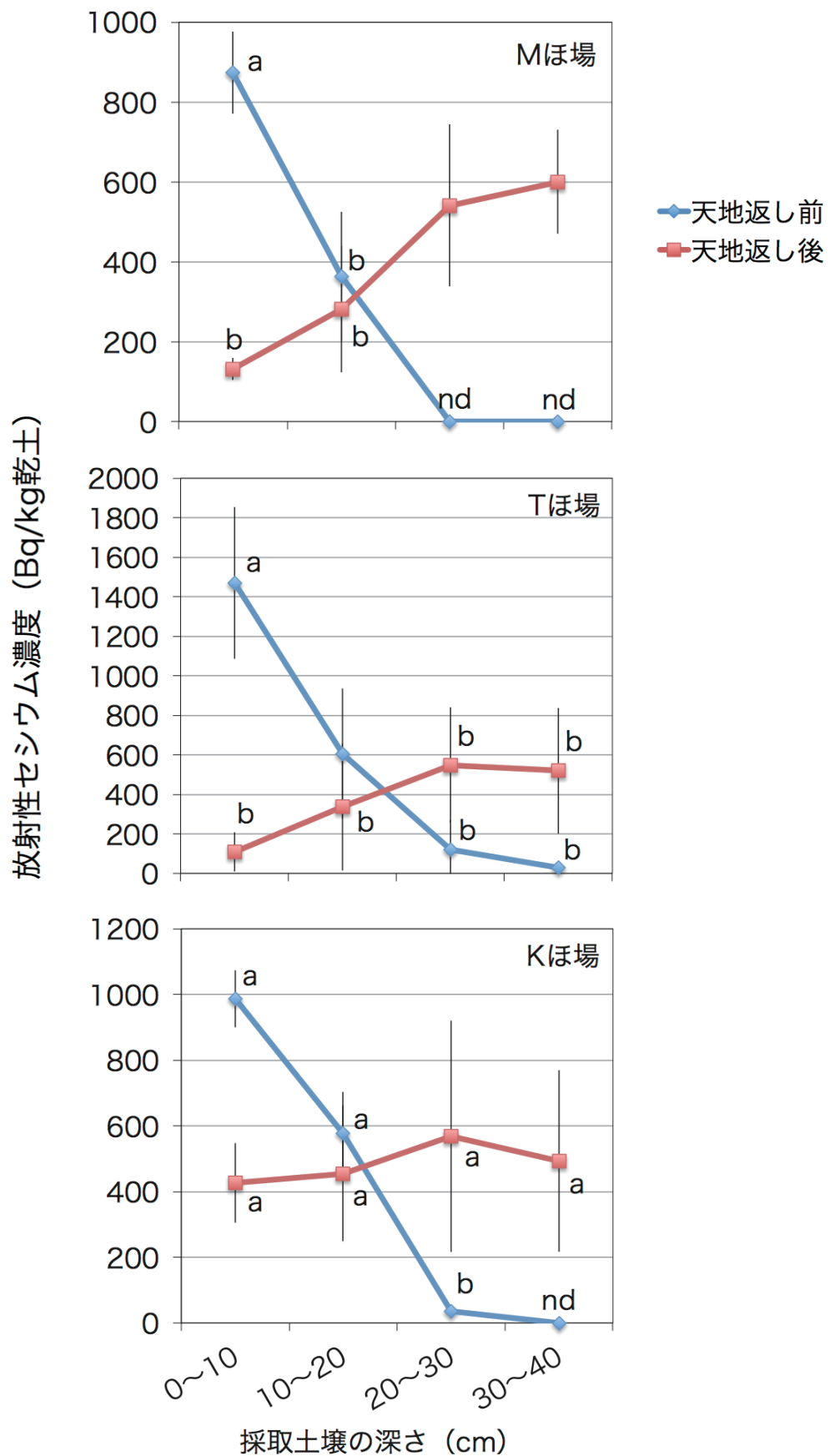


図1 天地返し前後の土壌の深さ別の放射性セシウム濃度
 (各ほ場内で異符号間に $p < 0.05$ の有意差あり)
 nd: 検出下限値 (10Bq/kg乾土) 未滿

【成果2】 暫定許容値以下の牛ふん堆肥への吸着資材添加による放射性セシウムのコマツナへの移行抑制効果

暫定許容値以下の放射性セシウムを含む牛ふん堆肥（350Bq/kg 現物）にセシウム吸着資材のゼオライトとプルシアンブルーを添加すると、栽培したコマツナのセシウム濃度は添加しない堆肥と比べて低く、セシウムの移行を抑制できました。両資材の抑制効果は同等でした。

(1) 試験の内容

放射性セシウム350Bq/kg現物を含む乳牛ふん堆肥、セシウム吸着資材としてゼオライト（山形県産）とプルシアンブルー（粉末）、天地返し（深さ約40cm）を行った直後の黒ボク土表土を使用しました。現物重量比でゼオライトを15%、またはプルシアンブルーを1.0%添加したのち、1カ月屋内に保管した後に堆肥を施用し、資材無添加の堆肥と化学肥料のみを施用した区を対照として、コマツナをポット栽培試験を行いました。堆肥は10 a 当たり8 t に相当する量を施用し、施肥基準に不足する窒素量のみを化学肥料で補充しました。

(2) 試験の結果

ゼオライトまたはプルシアンブルー添加堆肥を施用したコマツナの生育は順調で、収量は無添加堆肥区や化学肥料施用区と同等以上でした（表1）。

コマツナの放射性セシウム濃度が最も高かったのは化学肥料区の1.07Bq/kg生重（水分80%換算）で、無添加堆肥区、ゼオライト添加堆肥区と続き、プルシアンブルー添加堆肥区の0.21Bq/kg生重（水分80%換算）が最も低い値でした。

放射性セシウムのコマツナへの移行係数は、化学肥料区0.0103、無添加堆肥区0.0052、ゼオライト添加堆肥区0.0018、プルシアンブルー添加堆肥区0.0016となり、堆肥施用区が化学肥料区よりも明らかに低く、堆肥への吸着資材添加によるセシウムの移行抑制効果が認められました。上記の添加割合ではゼオライトまたはプルシアンブルーの抑制効果は同等でした（図1、表2）。

※プルシアンブルーの農地への施用は推奨できません（参照2ページ）。

表1 ポット栽培試験でのコマツナの生育・収量（ポット当たり）

処理区	堆肥施用量 (g)	新鮮重 (g)	乾物重 (g)	乾物率 (%)	一株の平均生育量			
					新鮮重 (g)	乾物重 (g)	草丈 (cm)	葉数 (枚)
化学肥料	0	314	23.3	7.4	22.4	1.67	28.2	8.8
無添加堆肥	400	262	22.7	8.7	18.7	1.62	25.3	8.6
ゼオ15%堆肥	471	322	26.3	8.2	23.0	1.88	27.5	8.8
PB1%堆肥	400	316	26.3	8.3	22.5	1.88	26.8	8.7

※数値は6反復の平均値表示、供試堆肥は乳牛堆肥、新鮮重と乾物重はポット当たりの総重量。「ゼオ15%堆肥」はゼオライトを重量比で15%添加した堆肥、「PB1%堆肥」はプルシアンブルーを1%添加した堆肥を示す。

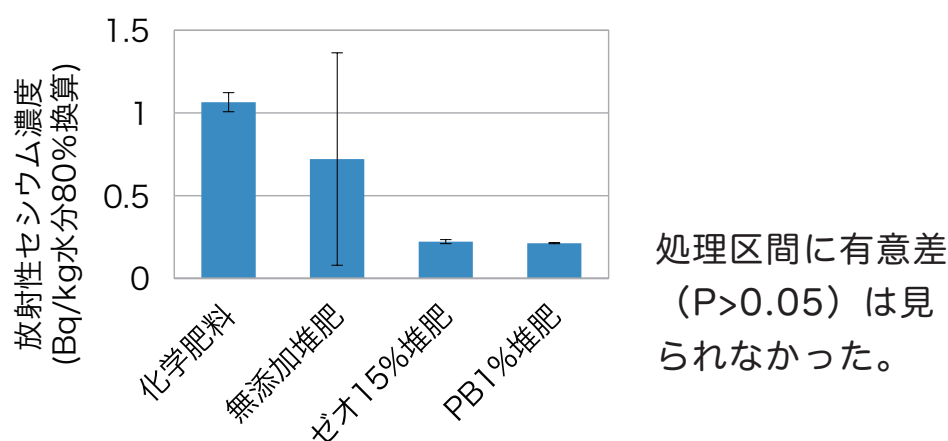


図1 暫定許容値以下の牛ふん堆肥（350Bq/kg現物）に吸着資材を添加して栽培したコマツナの放射性セシウム濃度

表2 暫定許容値以下の牛ふん堆肥（350Bq/kg現物）への吸着資材添加と放射性セシウムのコマツナへの移行係数

処理区	栽培開始土壌のセシウム濃度 (Bq/kg乾土)	収穫コマツナのセシウム濃度 (Bq/kg生重、水分80%換算)	移行係数 (水分80%換算)
化学肥料	103	1.07	0.0103
無添加堆肥	139	0.72	0.0052
ゼオ15%堆肥	126	0.22	0.0018
PB1%堆肥	131	0.21	0.0016

※栽培開始土壌の放射性セシウム濃度は、各種の資材を添加、混合した後に測定。

【成果3】 数種のセシウム吸着資材の添加が牛ふん堆肥の可給態成分濃度と肥効に与える影響

牛ふん堆肥にセシウム吸着資材のゼオライトまたはベントナイトを添加すると、窒素、リン酸、加里の可給態濃度が低下しました。一方、プルシアンブルーの添加は可給態濃度に大きな影響を与えませんでした。コマツナのポット栽培試験でも、ゼオライト15%添加堆肥の肥効は無添加堆肥よりも低くなりました。

(1) 試験の内容

肉牛ふん堆肥、並びにセシウム吸着資材として山形県産ゼオライト（加里3.1%）、宮城県産ゼオライト（加里2.1%）、ベントナイトおよびプルシアンブルーを用いました。堆肥に現物重量比でゼオライトは0、5、10、15、20%、ベントナイトは0、5、10、15%およびプルシアンブルーは0、0.5、1.0、1.5%を添加し、添加当日、2週後、1カ月後に成分濃度を分析しました。また、ゼオライトを15%添加した堆肥または無添加の堆肥を10 a 当たり4 t 相当量施用し、コマツナのポット栽培試験を行いました。

(2) 試験の結果

ゼオライトとベントナイトでは、添加量が多くなるほど窒素、リン酸、加里の全量が低下しました（図1、無添加堆肥に対する比率で表示）。プルシアンブルーの添加では、窒素と加里は上昇し、リン酸は変わりませんでした。プルシアンブルーには、堆肥よりも高い濃度で窒素と加里が含まれているためです。

ゼオライトとベントナイトの添加では、窒素、リン酸の肥効率（堆肥中成分全量のなかで化学肥料に相当する成分量の割合）は添加量に係わらず一定でしたが、加里は低下しました（表1）。プルシアンブルーの添加では、窒素と加里の肥効率は低下し、リン酸はほぼ一定でした。また、可給態成分濃度（全量濃度×肥効率）は、ゼオライトとベントナイトの添加ではどの成分も低下しましたが、プルシアンブルーの添加では大きな変化はありませんでした。なお、吸着資材を添加した堆肥の成分と肥効率は、添加当日、2週後、1カ月後で、変化しませんでした。

コマツナのポット栽培試験でも、ゼオライト15%添加堆肥での窒素、加里の肥効は、無添加堆肥よりも低く、化学分析と同じ結果になりました。

※プルシアンブルーの農地への施用は推奨できません（参照2ページ）。

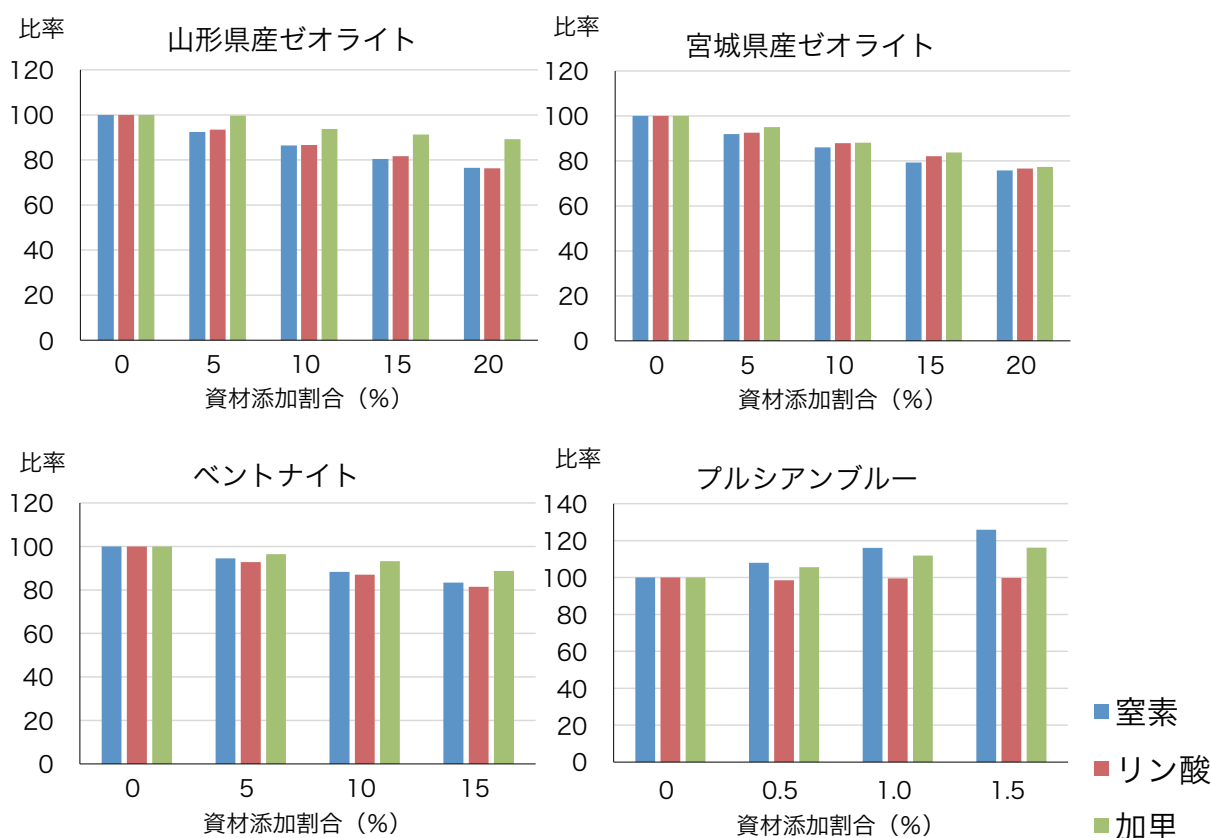


図1 4種類のセシウム吸着資材を添加した牛ふん堆肥における窒素、リン酸、加里全量の変化（無添加堆肥の濃度を100とした時の比率で表示）

表1 4種類のセシウム吸着資材を添加した牛ふん堆肥の窒素、リン酸、加里の肥効率と可給態成分濃度の比率（%）

セシウム吸着資材の種類	添加割合	化学分析による肥効率 ^{注1) 2)}			可給態成分濃度比率 ^{注3)}		
		窒素	リン酸	加里	窒素	リン酸	加里
山形県産ゼオライト	0	20	100	88	100	100	100
	5	20	101	78	92	94	88
	10	19	101	73	84	87	77
	15	19	99	66	78	81	68
	20	19	100	61	72	76	62
宮城県産ゼオライト	0	20	103	94	100	100	100
	5	20	104	91	92	94	92
	10	19	103	90	85	88	85
	15	19	102	87	78	82	78
	20	19	104	86	74	77	71
ベントナイト	0	20	100	96	100	100	100
	5	19	100	91	90	93	91
	10	19	99	87	85	86	84
	15	19	98	85	80	80	78
プルシアンブルー	0.0	20	96	96	100	100	100
	0.5	19	96	91	101	98	100
	1.0	18	95	87	103	98	101
	1.5	17	94	85	105	97	102

注1) 窒素は培養試験で、リン酸と加里はクエン酸による抽出試験で測定。

注2) 堆肥中の成分全量のうち、化学肥料に相当する成分量の割合。

注3) 全量濃度×肥効率にて算出し、無添加堆肥に対する比率で表示。

【成果4】 天地返し土壤の地力回復に有効な堆肥の特徴と 施用量および施肥対応

天地返し土壤の地力を短期間に回復させるには、牛ふん堆肥のなかでも木質系などの難分解性の有機物を多く含むものが適しており、1回の施用量は10 a 当たり8～12 t 程度が限度でした。地力回復後は、堆肥の施用量を基準量に戻し、堆肥からの養分供給量の不足を化学肥料で補い、塩基バランスの改善を行うことが重要です。

(1) 試験の内容

天地返しを行った直後の黒ボク土と褐色森林土のほ場の土壤を用い、化学肥料や牛ふん堆肥を施用してコマツナをポット栽培試験を行いました。牛ふん堆肥は、リグニン質などの難分解性有機物が少ないA堆肥と多いB堆肥を用い、10 a 当たり4 t、8 t、12 t に相当する量を施用しました（表1）。化学肥料や堆肥を施用してコマツナを2作栽培した後に土壤をサンプリングするサイクルを3回繰り返しました。2回目の堆肥施用栽培（コマツナ4作目）の後、地力が回復したと判断された区では、3回目の堆肥施用を基準量（1 t）に戻し、同時に塩基バランスの改善を行いました。

(2) 試験の結果

堆肥の施用で地力の指標となる有機物濃度、CEC（保肥力）、可給態窒素が上昇し、天地返し前の地力を回復できました（表2）。上昇させる効果は、難分解性有機物濃度の高いB堆肥の方が、また、堆肥を多く施用した方が高くなりました。堆肥に含まれる難分解性有機物は土壤に残存する割合が高く、土壤の有機物濃度が増えた結果です。しかし、牛ふん堆肥はリン酸や加里の濃度が高いため、多く施用するほど土壤にこれらの成分の蓄積が見られました。このため、A堆肥では10 a 当たり12 t 程度、B堆肥のようにリン酸や加里の濃度が高い堆肥では8 t 程度の施用が限度と考えられました。

以上の結果から、天地返しで低下した地力を短期間に回復させるには、難分解性有機物の多い堆肥を用い、1回の施用量は10 a 当たり8～12 t が限度と考えられました。ただし、地力が回復したら堆肥の施用を基準量に戻し、堆肥からの養分供給量の不足を化学肥料で補う施肥設計、塩基バランスの改善を行うことが重要です。

※難分解性有機物：土壤中で分解されにくい有機物。

表1 使用した牛ふん堆肥の成分組成

牛ふん堆肥	水分	EC	C/N比	全炭素	全窒素	リン酸	加里	難分解性有機物
	%	mS/cm	%乾物					
A堆肥	46.0	3.5	10	42	4.0	1.3	2.4	51
B堆肥	48.0	8.1	17	40	2.4	4.0	5.0	62

表2 地力指標の経時的な変化（コマツナ2作目[堆肥施用1回]、4作目[堆肥施用2回]および5作目[堆肥施用3回目]の栽培後跡地土壌の比較）

区画	施用資材	施用量* t/10a	有機物濃度			窒素濃度			CEC			可給態窒素			可給態リン酸		
			%乾土			meq/100g乾土			mg/100g乾土								
黒ボク土	堆肥施用回数		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
天地返し前のほ場土壌	-	-	5.6			0.25			23			3.7			144		
天地返し後の土壌	-	-	2.5			0.18			17			2.4			28		
栽培跡地土壌	化学肥料	-	2.5	2.5	2.4	0.17	0.18	0.23	17	18	18	2.2	2.4	1.9	20	24	28
	A堆肥	4	3.2	4.2	5.2	0.20	0.26	0.37	17	19	20	3.2	4.4	5.4	16	21	23
		8	3.9	6.0	7.6	0.25	0.36	0.50	19	22	22	4.5	9.3	10.9	18	24	32
		12(1)	4.2	7.3	7.1	0.25	0.44	0.46	19	23	22	5.3	11.0	9.2	18	25	32
	B堆肥	4	4.2	5.1	6.3	0.20	0.23	0.29	18	21	23	3.8	4.9	6.2	50	88	123
		8(1)	5.8	8.7	7.7	0.24	0.34	0.34	20	24	24	6.3	11.0	8.1	99	196	189
12(1)		7.5	11.2	9.6	0.29	0.42	0.42	20	26	26	8.2	17.0	11.8	136	293	270	
褐色森林土	堆肥施用回数		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
天地返し前のほ場土壌	-	-	12.3			0.72			31			14			70		
天地返し後の土壌	-	-	12.9			0.65			30			12			103		
栽培跡地土壌	化学肥料	-	12.1	11.4	11.9	0.62	0.55	0.59	31	33	32	12	11	11	93	70	87
	A堆肥	4(1)	12.6	12.8	13.1	0.66	0.64	0.67	32	33	34	14	15	14	90	67	87
		8(1)	13.3	14.2	14.5	0.71	0.73	0.77	34	36	37	17	23	17	92	71	85
		12(1)	14.4	16.7	16.9	0.80	0.91	0.96	36	39	40	23	32	23	110	98	112
	B堆肥	4(1)	14.2	15.2	14.8	0.75	0.75	0.76	36	39	39	20	25	22	171	190	185
		8(1)	16.1	17.6	17.2	0.80	0.85	0.86	37	41	42	27	40	27	212	269	307
12(1)		17.8	20.7	19.2	0.86	0.95	0.94	38	44	45	29	52	32	282	339	368	

*：(1)のついた区は、地力が回復したため、施用3回目の堆肥の施用量を基準量の10a当たり1tに戻した。

※2段階の緑色はそれぞれ、天地返し前ほ場と同程度、天地返し前ほ場より高いを表示。2段階の赤色はそれぞれ、100以上～200未満、200以上を表示。

【成果5】 牛ふん堆肥の多量施用による天地返し土壤の地力回復効果と各種野菜の収量

天地返しによって地力が低下したほ場土壤に、牛ふん堆肥を10a当たり10t程度の2年連用で、地力が改善されました。ただし、土壤診断しながら行う必要があります。

(1) 試験の内容

T、K、Mの3カ所のほ場にて、土壤の天地返し（深さ約40cm）を行った後に栽培試験を行いました。各ほ場を堆肥区と無堆肥区に分け、堆肥区に牛ふん堆肥を施用しました（表1）。各種資材の施用量は、堆肥区と無堆肥区で肥料成分が同等となるようにしました。

表1 栽培試験方法の概要

ほ場名	Mほ場	Tほ場	Kほ場
地域	福島県白河市	福島県泉崎村	福島県泉崎村
土壤の種類	褐色森林土	黒ボク土	褐色低地土
栽培農法	慣行農法	有機農法	有機農法
堆肥区 施用内容	牛ふん堆肥を10a当たり、2012年と2013年は10t、2014年は1～2tを施用	牛ふん堆肥を10a当たり、2012年は9t、2013年は10t、2014年は2tを施用	牛ふん堆肥を10a当たり、2012年に8tを施用（試験栽培は単年度で終了）
無堆肥区 施用内容	化学肥料のみを施用	堆肥区と同等の施用量となる有機肥料を施用	堆肥区と同等の施用量となる有機肥料を施用

有機農法では、窒素はフェザーミール、リン酸は熔リン、加里はパームアッシュを使用。

(2) 試験の結果

地力の指標となる有機物濃度とCECは天地返しによって低下しましたが（図1の青色の線）、堆肥の多量施用によって有機物濃度がTほ場とMほ場で、CECがMほ場で、上昇する傾向が見られました（図1の赤色の線）。

堆肥の多量施用によって、石灰、苦土、加里の土壤成分のバランスが崩れるため、多量施用は土壤診断の結果を参考にしつつ行い、地力が回復した後は通常の施用量に戻すべきと考えられました。

野菜の収量は、堆肥の多量施用で高くなる品目が多い傾向にあり、また、無堆肥区では生育不良で収穫できなかった品目が4と、総じて、堆肥区で収量が安定していました。なお、堆肥の多量施用で収量が減少する事例（サトイモ）がありました。

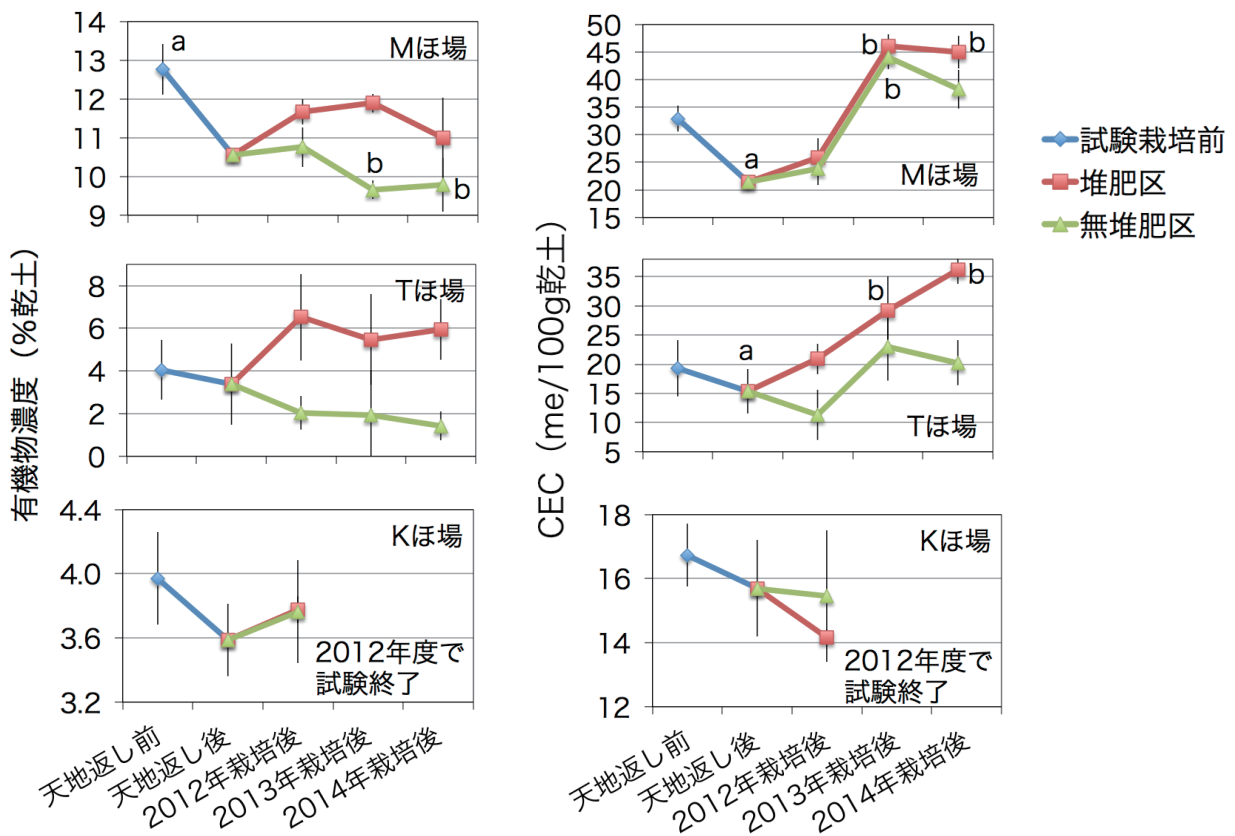


図1 土壌の有機物濃度とCECの経年変化
(異符号間にp<0.05の有意差あり)

表2 堆肥の多量施用と作物収量の評価

ほ場	品目	評価	ほ場	品目	評価	ほ場	品目	評価
M	キュウリ	=	T	サトイモ	×	T	ネギ	=
	レタス	=		シュンギク	◎		ハクサイ	○
	ダイコン	=		スイートコーン	=		ピーマン	=
T	イモガラ	△		ズッキーニ	=		ミズナ	◎
	インゲン	=		ダイコン	=		モロヘイヤ	○
	オクラ	=		ダイズ	=	リーフレタス	=	
	キャベツ	=		チンゲンサイ	△	K	カボチャ	=
	キュウリ	◎		ツルムラサキ	△		シロインゲン	=
	クウシンサイ	○		トマト	○		ニンジン	△
	コマツナ	=	ナス	=	ハナマメ		◎	
	サツマイモ	=	ニンジン	=				

評価の内容	
◎	無堆肥区に比べ堆肥区の収量が2倍以上であったもの
○	// 1.5倍以上~2倍未満であったもの
=	// 同等であったもの
△	堆肥区に比べ無堆肥区の収量が1.5倍以上~2倍未満であったもの
×	// 2倍以上であったもの

【成果6】 暫定許容値以下の牛ふん堆肥の多量施用と土壌ならびに野菜の放射性セシウム濃度

天地返しによって地力の低下した土壌に、地力の回復を目的として暫定許容値以下の牛ふん堆肥を2年連続して多量に施用しても、土壌や収穫した野菜の放射性セシウム濃度に影響は見られませんでした。

(1) 試験の内容

T、K、Mの3カ所のほ場で土壌を天地返し後（深さ約40cm）、堆肥区と無堆肥区に分け、堆肥区に暫定許容値以下の放射性セシウムを含む牛ふん堆肥を2年連続多量施用して野菜を3年間栽培し（表1）、跡地土壌ならびに収穫した野菜の放射性セシウム濃度を測定しました。

表1 栽培試験方法の概要

ほ場名	Mほ場	Tほ場	Kほ場
地域	福島県白河市	福島県泉崎村	福島県泉崎村
土壌の種類	褐色森林土	黒ボク土	褐色低地土
栽培農法	慣行農法	有機農法	有機農法
堆肥区 施用内容	牛ふん堆肥を10 a 当たり、2012年は364Bq/kg現物を10t、2013年は24Bq/kg現物を10 t、2014年は28Bq/kg現物1~2 tを施用	牛ふん堆肥を10 a 当たり、2012年は198Bq/kg現物を9 t、2013年は24Bq/kg現物を10 t、2014年は28Bq/kg現物2 tを施用	牛ふん堆肥を10 a 当たり、2012年に198Bq/kg現物8 tを施用（試験栽培は単年度で終了）
無堆肥区 施用内容	化学肥料のみを施用	堆肥区と同等の施肥量となる有機肥料を施用	堆肥区と同等の施肥量となる有機肥料を施用

有機肥料には、窒素にフェザーミール、リンに溶リン、加里にパームアッシュを使用。

(2) 試験の結果

堆肥を多量に施用した区と無堆肥区の間で、土壌の放射性セシウム濃度に差は見られませんでした（図1）。収穫した野菜の放射性セシウム濃度は、2012年度の無堆肥区で収穫されたリーフレタスで低いながらも検出された以外は、すべて3Bq/kg生重未満でした。

以上のように、暫定許容値以下の堆肥を2年連続多量施用しても、土壌や収穫した野菜の放射性セシウム濃度に影響は見られませんでした。

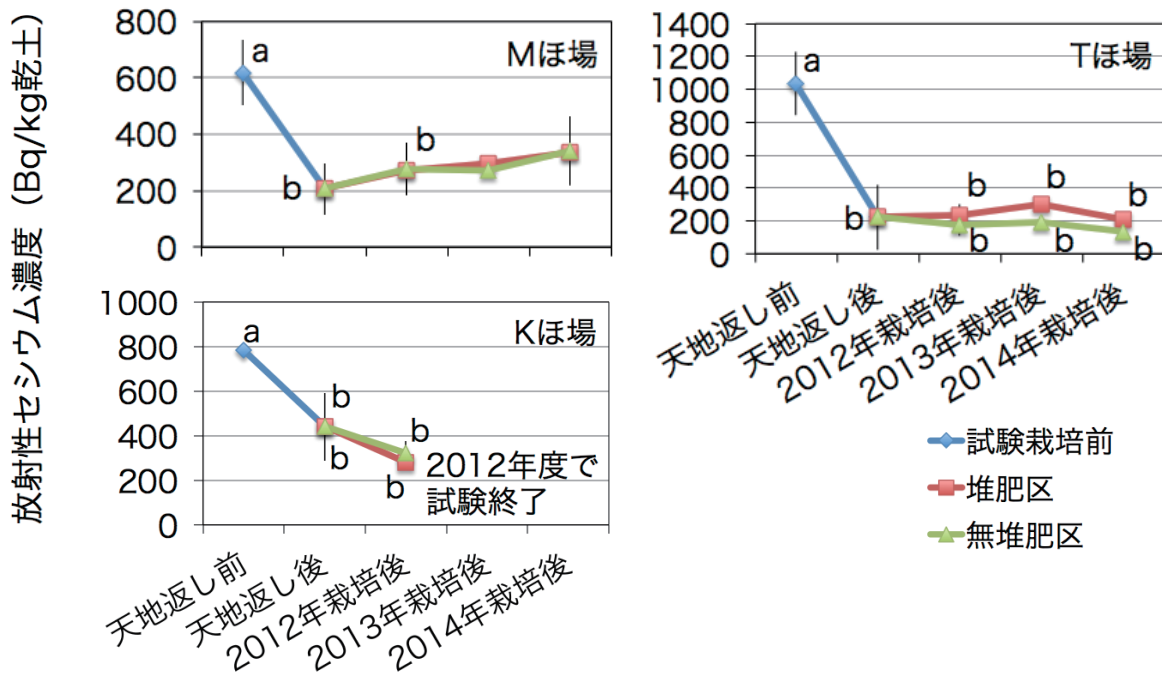


図1 土壌（0～20cm）の放射性セシウム濃度
（各ほ場内で異符号間に $p < 0.05$ の有意差あり）

表2 野菜の放射性セシウム濃度（Bq/kg生重）

ほ場	試験区	2012年度	2013年度	2014年度
M	堆肥区	ホウレンソウ*、ミズナ	<3	キュウリ、ダイコン、レタス
	無堆肥区			
T	堆肥区	イモガラ、オクラ、キャベツ、クウシンサイ、コマツナ、サツマイモ、サトイモ、スイートコーン、ズッキーニ、ダイコン、ダイズ、ツルムラサキ、トマト、ナス、ハクサイ、ピーマン、ホウレンソウ、モロヘイヤ、リーフレタス	<3	インゲン、オクラ、キュウリ、ダイコン、トマト、ナス、ニンジン、ネギ、ハクサイ、ピーマン、ホウレンソウ
		クウシンサイ、コマツナ、シュンギク、チンゲンサイ、ツルムラサキ、ホウレンソウ、ミズナ、モロヘイヤ		
	無堆肥区	イモガラ、オクラ、キャベツ、クウシンサイ、コマツナ、サツマイモ、サトイモ、スイートコーン、ズッキーニ、ダイコン、ダイズ、ツルムラサキ、トマト、ナス、ハクサイ、ピーマン、ホウレンソウ*、モロヘイヤ	<3	クウシンサイ*、コマツナ、シュンギク、チンゲンサイ、ツルムラサキ、ホウレンソウ、ミズナ*、モロヘイヤ*
		リーフレタス		
K	堆肥区	カボチャ、キュウリ、シロインゲン、ニンジン、ハナマメ	<3	
	無堆肥区			

*：出荷できる収穫物はなかったため、参考値。

<3：3Bq/kg生重未満（詳細は次ページをご覧ください）。

《参考》野菜の放射性セシウム濃度 (Bq/kg生重、19ページの表2の詳細)

ほ場	栽培時期	品目	堆肥区	無堆肥区	
M	2012年秋作	ホウレンソウ	【<1.0】	【1.9 ± 0.2】	
		ミズナ	0.7* ± 0.1	1.7 ± 0.2	
	2013年春作	キュウリ	nd (<1.0)	nd (<1.0)	
		レタス	nd (<0.9)	nd (<0.9)	
	2013年秋作	ダイコン	nd (<0.9)	nd (<0.8)	
		ニンジン	栽培失敗	栽培失敗	
	2014年春作	キュウリ	nd (<0.7)	nd (<0.7)	
		レタス	nd (<0.5)	nd (<0.5)	
	T	2012年春作	イモガラ	2.0 ± 0.2	nd (<1.1)
			オクラ	nd (<2.2)	nd (<2.0)
キャベツ			nd (<2.0)	nd (<2.1)	
クウシンサイ			3.0 ± 0.5	nd (<2.5)	
サツマイモ			nd (<0.9)	nd (<0.8)	
サトイモ			nd (<1.0)	nd (<0.9)	
スイートコーン			nd (<1.1)	nd (<2.2)	
ズッキーニ			nd (<1.9)	nd (<2.0)	
ダイズ			1.0 ± 0.2	0.8* ± 0.2	
ツルムラサキ			nd (<2.1)	nd (<2.2)	
トマト			nd (<1.8)	nd (<1.9)	
ナス			nd (<2.0)	nd (<2.4)	
ピーマン			nd (<2.1)	nd (<1.8)	
モロヘイヤ			nd (<2.4)	2.5* ± 0.5	
リーフレタス		nd (<1.9)	5.2 ± 0.6		
2012年秋作		コマツナ	nd (<1.1)	nd (<1.0)	
		ダイコン	nd (<1.1)	nd (<1.0)	
		ハクサイ	nd (<0.9)	nd (<1.1)	
		ホウレンソウ	nd (<1.1)	【nd (<1.0)】	
2013年春作		インゲン	nd (<1.0)	nd (<0.9)	
		オクラ	nd (<1.0)	nd (<0.9)	
		キュウリ	nd (<0.9)	nd (<0.8)	
		トマト	nd (<1.0)	nd (<0.9)	
		ナス	nd (<1.0)	nd (<0.9)	
2013年秋作		ピーマン	nd (<0.9)	nd (<0.9)	
		ダイコン	nd (<0.9)	nd (<0.9)	
		ニンジン	nd (<0.9)	nd (<1.0)	
		ネギ	nd (<0.8)	nd (<0.9)	
		ハクサイ	nd (<0.9)	nd (<1.1)	
2014年春作		ホウレンソウ	0.5* ± 0.2	nd (<0.9)	
		クウシンサイ	nd (<0.8)	【nd (<0.8)】	
		コマツナ	nd (<0.8)	nd (<0.9)	
		シュンギク	nd (<0.9)	nd (<0.9)	
		チンゲンサイ	nd (<0.9)	nd (<0.8)	
		ツルムラサキ	nd (<0.7)	nd (<0.8)	
		ホウレンソウ	【nd (<1.0)】	【nd (<0.9)】	
		ミズナ	nd (<0.9)	【nd (<0.9)】	
2012年春作		モロヘイヤ	nd (<0.9)	【nd (<0.8)】	
		カボチャ	nd (<2.1)	nd (<2.3)	
		キュウリ	nd (<2.3)	nd (<1.9)	
		シロインゲン	nd (<2.3)	nd (<1.8)	
		ニンジン	nd (<1.0)	nd (<2.4)	
			ハナマメ	1.7 ± 0.2	2.3 ± 0.3

注1) nd : 不検出、 () 内は検出下限値

注2) 【】内のデータは生育不良で商品にならなかったものを測定した参考値

注3) *は、放射性セシウム134が不検出で137のみの値

飼料作物栽培に関する報告

【成果7】 天地返しによる土壌の放射性セシウム濃度と空間線量率の低減効果

土壌を天地返しすることで、土壌の放射性セシウム濃度が大幅に低下し、地上1cmの空間線量率も半分以下になりました。

(1) 試験の内容

福島県農業総合センター畜産研究所（以下「畜産研究所」：福島市）において、ほ場Aではプラウ耕（深さ約30cm）による土壌の天地返しまたはロータリ耕（深さ約20cm）の前後、ほ場Bでは天地返しを行う前後に調査しました。ほ場Aでは深さ0～15cm、ほ場Bでは深さ0～5cmの土壌を採取し、放射性セシウム濃度を測定し、空間線量率はどちらのほ場でも地上1cmで測定しました。

(2) 試験の結果

ほ場Aでの耕起後の土壌の放射性セシウム濃度は、耕起前と比べて天地返しのプラウ区で81%、ロータリ区で61%の低下となりました（図1）。空間線量率（地上1cm）は、プラウ区で63%、ロータリ区で36%の低下となりました（図2）。

ほ場Bで行った天地返しでは、土壌の放射性セシウム濃度が94%、空間線量率が54%の低下となりました（図3）。

天地返しは、作物への放射性セシウムの移行低減と、農作業者の被ばくの低減に効果があると考えられます。

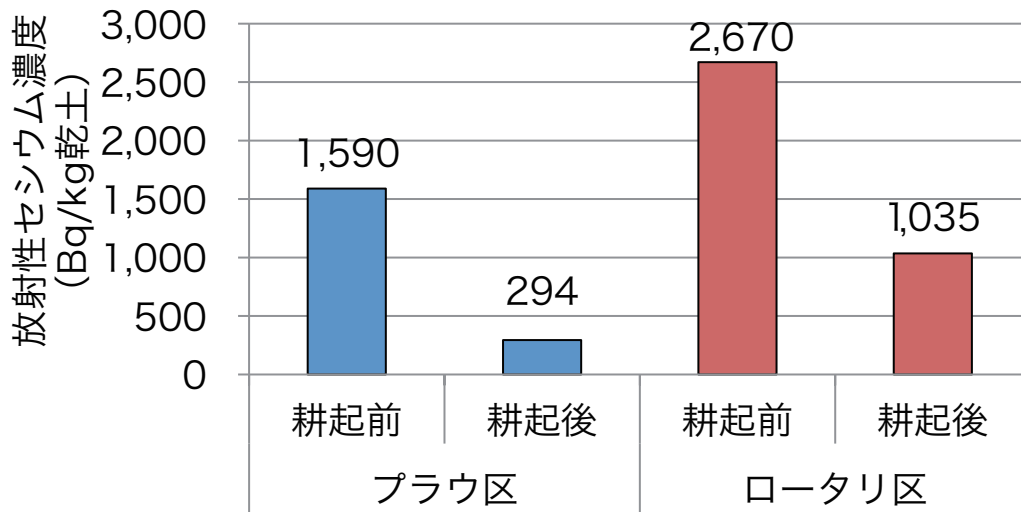


図1 ほ場Aにおける耕起前後の土壌の放射性セシウム濃度

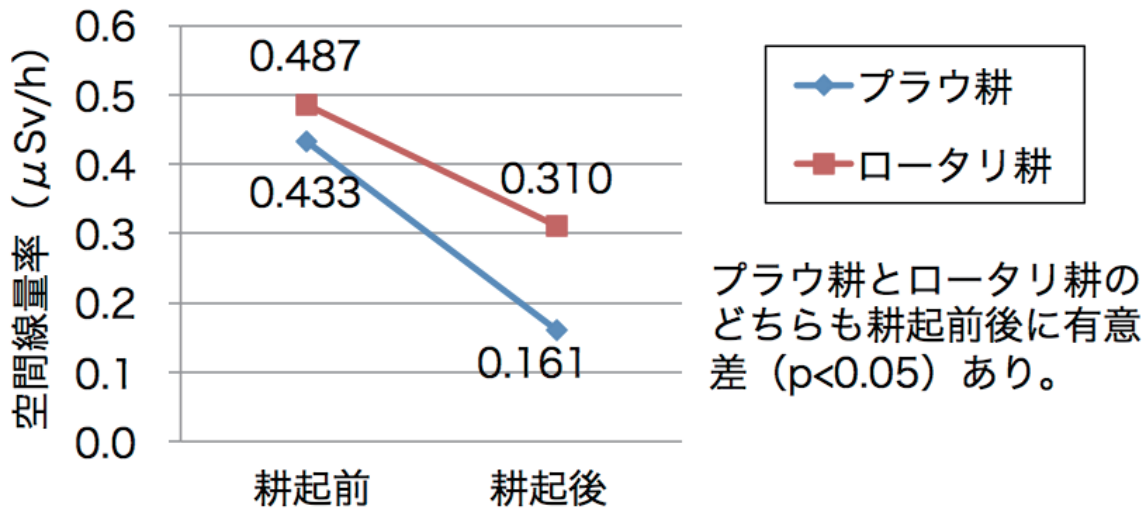


図2 ほ場Aにおける耕起前後の空間線量率 (地上1cm)

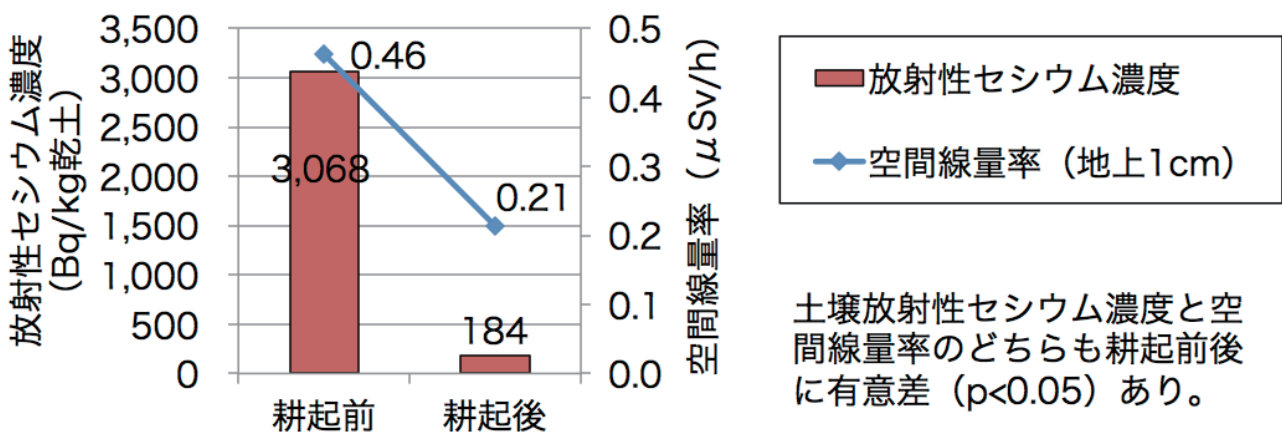


図3 ほ場Bにおける天地返し前後の土壌の放射性セシウム濃度と空間線量率

【成果8】 放射性セシウムを含む牛ふん堆肥（10 a 当たり 5 t）の連続施用ならびに堆肥へのゼオライト添加と飼料作物の放射性セシウム濃度

放射性セシウムを含む牛ふん堆肥（ゼオライト添加なし）を5作連続10 a 当たり5 t 施用しても、飼料作物や土壌の放射性セシウム濃度に5作目においても上昇は認められませんでした。一方、交換性加里が37mg/100 g 乾土以上の土壌では、堆肥5 t にゼオライト1 t を添加しても、飼料作物の放射性セシウム濃度に有意な低下は認められませんでした。

(1) 試験の内容

畜産研究所のほ場（黒ボク土）を、プラウ耕（深さ約30cm）により土壌の天地返しをした「プラウ区」と、ロータリ耕（深さ約20cm）のみを行った「ロータリ区」に分けました。また、放射性セシウムを含む牛ふん堆肥（表1）5 t に対して0～1,000kgのゼオライトを添加し、10 a 当たり5 t 施用し、ロータリ耕（深さ10cm）の後、1作目飼料用トウモロコシ、2作目イタリアンライグラス、以降この繰り返しにて、毎作同じ施用をしながら5作目まで栽培しました。

表1 堆肥の放射性セシウム濃度と化学肥料の施用量

試験区	1作目	2作目	3作目	4作目	5作目
堆肥の施用時期					
	H24年4月	H24年9月	H25年5月	H25年10月	H26年5月
堆肥の放射性セシウム濃度 (Bq/kg現物)					
	291	370	962*	22	27
化学肥料による肥料成分の施用量** (基肥、窒素-リン酸-加里, kg/10 a)					
化学肥料単用区	15-10-10	7-15-15	15-10-51.8	7-15-51.2	15-15-64.1
堆肥施用区	15-15-10	7-15-15	15-10-0	7-15-0	15-10-0

*1～3作目は同じ堆肥を使用したか、保管中の乾燥により濃度が高くなった。

**3作目以降は堆肥施用区には化学肥料による加里を施用せず、化学肥料単用区には堆肥に含まれる加里と同等量を施用。2作目と4作目には、早春施肥（8-6-3）を実施。

(2) 試験の結果

プラウ耕またはロータリ耕での土壌の放射性セシウム濃度に堆肥施用の有無による差は見られませんでした（図1）。試験に使用したほ場では、プラウ耕またはロータリ耕を行った後でも、交換性加里が37mg/100 g 乾土以上の比較的高い濃度で含まれていました。飼料作物の放射性セシウム濃度は、堆肥施用の

有無による差は見られませんでした（図2）。また、堆肥5 tにゼオライトを1 t添加すると、3作目のトウモロコシ以降、放射性セシウム濃度は無添加に比べて低下傾向にありましたが、有意な差は認められませんでした（図3の右）。

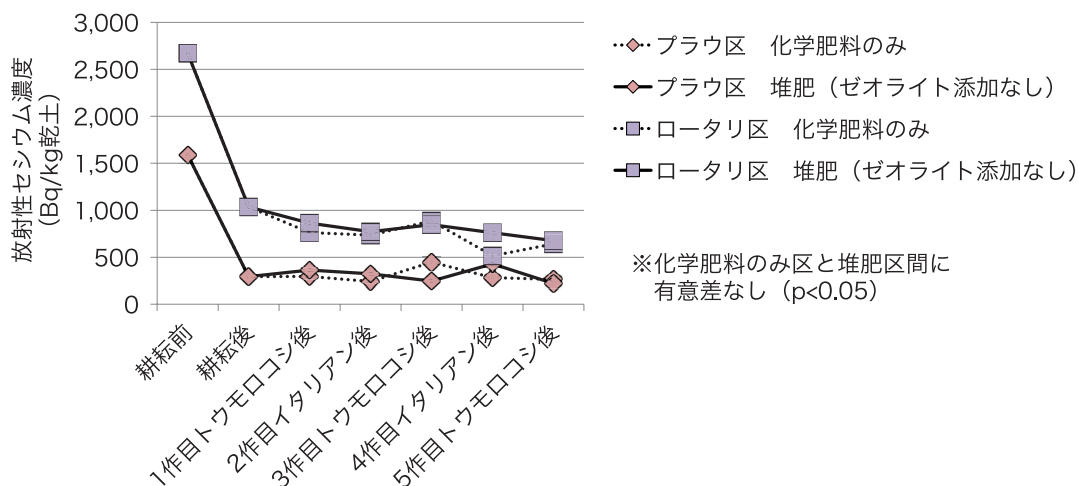


図1 試験期間中の土壌（0～15cm）の放射性セシウム濃度の推移

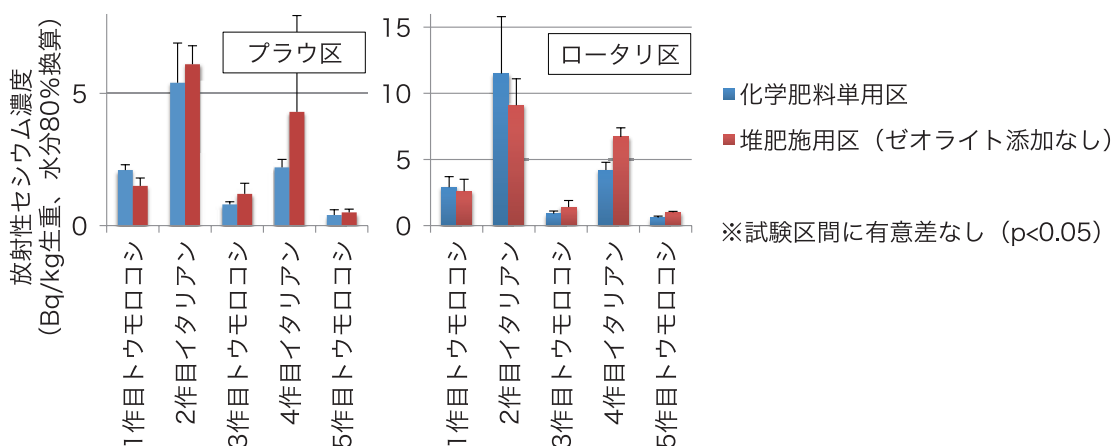


図2 放射性セシウムを含む牛ふん堆肥（10アール当たり5 t）が飼料用トウモロコシおよびイタリアンライグラスの放射性セシウム濃度に及ぼす影響

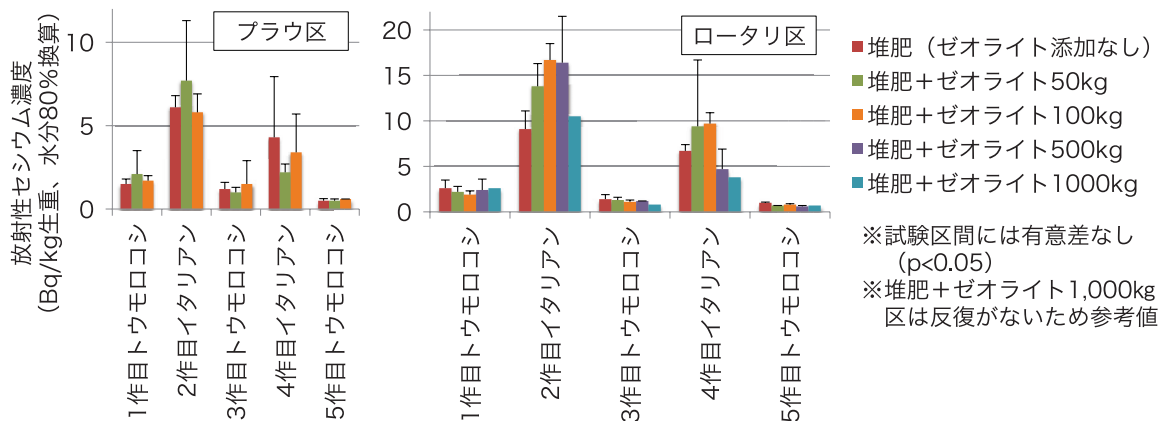


図3 放射性セシウムを含む牛ふん堆肥へのゼオライトの添加が飼料用トウモロコシならびにイタリアンライグラスの放射性セシウム濃度に及ぼす影響

【成果9】牛ふん堆肥（1,200Bq/kg現物）の施用による放射性セシウムの飼料用トウモロコシへの移行抑制

ポット栽培試験で黒ボク土（2,000Bq/kg乾土）に1,200Bq/kg現物の放射性セシウムを含む牛ふん堆肥を10 a 当たり2.3 t まで施用しても、飼料用トウモロコシの放射性セシウム濃度は増加することなく、むしろ低下しました。一方、化学肥料で加里施用量を増加しても、放射性セシウム濃度は低下しませんでした。

(1) 試験の内容

堆肥や加里の施用増による放射性セシウムの飼料用トウモロコシへの移行抑制効果を調べるため、黒ボク土（2,000Bq/kg乾土）ならびに1,200Bq/kg現物の牛ふん堆肥を用いて、表1に示す試験区の構成で、ポット栽培試験を行いました。

表1 試験区の構成

試験区	施肥量 (kg/10 a) N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		化成肥料由来	堆肥由来 ^{※4}	化成肥料由来	堆肥由来 ^{※4}	化成肥料由来	堆肥由来 ^{※4}
化肥	15-10-18 ^{※1}	15.0	0.0	10.0	0.0	18.0	0.0
化肥加里増量	15-10-54	15.0	0.0	10.0	0.0	54.0	0.0
化肥+堆肥	15-10-18 ^{※2}	14.4	0.6	0.0	10.3	0.0	18.0
化肥+堆肥3倍	15-30-54 ^{※3}	13.2	1.8	0.0	30.9	0.0	54.0

全区共通：苦土石灰100kg/10 a、熔リン80kg/10 aを施用。

※1 化成肥料は単肥を施用。なお、加里は塩化加里を施用。

※2 1,200Bq/kg現物の堆肥を784kg/10 a 施用。

※3 1,200Bq/kg現物の堆肥を2,353kg/10 a 施用。

※4 N、P₂O₅、K₂Oの肥効率は30%、80%、90%として計算（千葉県、2009）。

(2) 試験の結果

飼料用トウモロコシの放射性セシウム濃度は、化肥区や化肥加里増量区よりも化肥+堆肥区と化肥+堆肥3倍区で有意に低く、一方、跡地土壌の放射性セシウム濃度には大きな差は見られませんでした（図1）。栽培前後の土壌の交換性加里濃度はいずれの区も共に高く、放射性セシウムの飼料作物への移行を低減するとされる30~40mg/100g乾土を上回る水準にありましたが、塩基バランスを崩すほどではありませんでした（表2）。

以上、1,200Bq/kg現物の放射性セシウムを含む牛ふん堆肥を2,000Bq/kg乾土の黒ボク土に10a当たり2.3 t（堆肥3倍区）まで施用しても、飼料用トウモロコシの放射性セシウム濃度は増加することなく、むしろ低下しました。

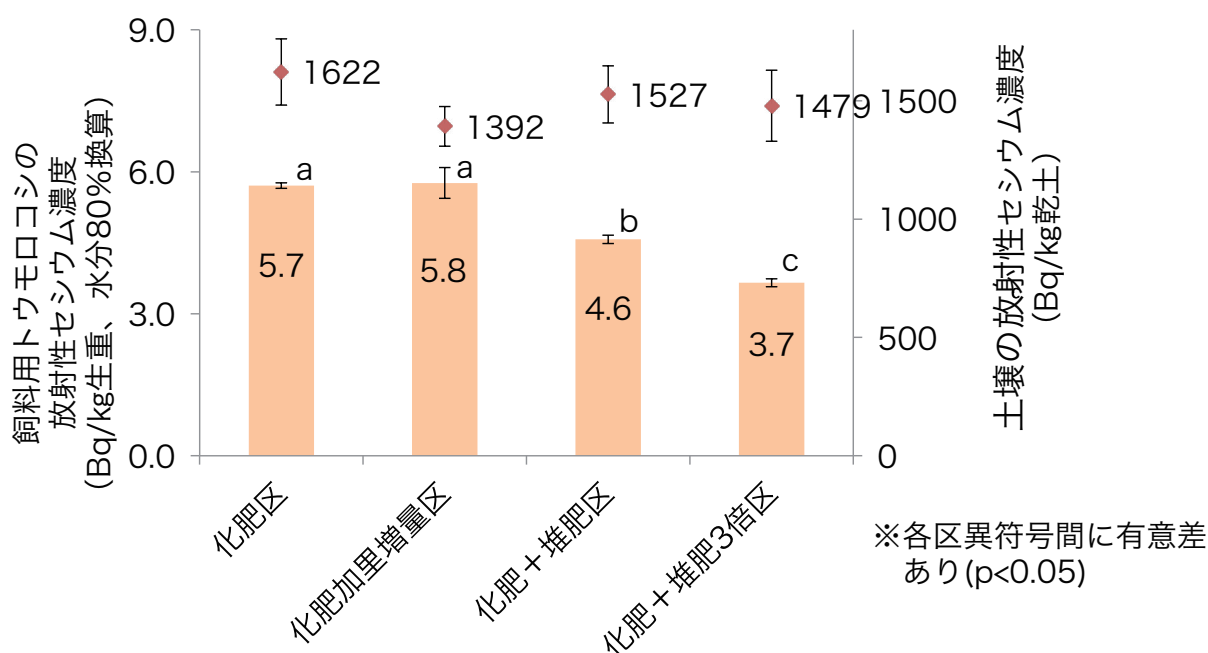


図1 飼料用トウモロコシと跡地土壌の放射性セシウム濃度

表2 栽培前後の土壌の交換性塩基濃度と塩基バランス

採取時期	試験区	交換性石灰	交換性苦土	交換性加里	石灰/苦土当量比	苦土/加里当量比
		(mg/100g乾土)				
栽培前土壌	化肥	314	141	95	1.6	3.5
	化肥加里増量	302	142	113	1.5	2.9
	化肥+堆肥	306	134	85	1.6	3.7
	化肥+堆肥3倍	284	134	124	1.5	2.5
栽培後土壌	化肥	273	127	43	1.5	7.0
	化肥加里増量	285	125	55	1.6	5.3
	化肥+堆肥	295	132	40	1.6	7.8
	化肥+堆肥3倍	279	127	63	1.6	4.7

【成果10】 高濃度放射性セシウム堆肥を前年に10 a 当たり5 t 施用した跡地におけるイタリアンライグラスの放射性セシウム濃度の抑制対策

放射性セシウム濃度5,800Bq/kg現物の牛ふん堆肥を前年に10 a 当たり5 t 施用した飼料用トウモロコシ栽培跡地で、加里の増施または検出下限値以下の牛ふん堆肥の施用を行ったイタリアンライグラスの栽培で、収量が減ることはなく、放射性セシウム濃度も上昇しませんでした。

(1) 試験の内容

5,800Bq/kg現物の放射性セシウムを含む牛ふん堆肥を施用して飼料用トウモロコシを栽培したほ場の跡地で、表1に示す施用量にてイタリアンライグラスを栽培しました。なお、同じほ場で、検出下限値以下の牛ふん堆肥を施用して飼料用トウモロコシを栽培したほ場の跡地を対照区としました。

表1 試験区の構成

試験区	今回の試験内容*			前作の施用内容	
	施用量 (kg/10 a)		堆肥の放射性セシウム濃度 (Bq/kg現物)	堆肥施用量 (kg/10 a)	堆肥の放射性セシウム濃度 (Bq/kg現物)
	化学肥料 N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	堆肥			
化学肥料区	7-15-55	0	33未満**	5,000	5,800
堆肥2 t 区	7-15-15	2,000	33未満**	5,000	5,800
堆肥5 t 区	7-15-0	5,000	33未満**	5,000	5,800
対照区	7-15-15	2,000	33未満**	5,000	33未満**

*追肥は農業技術情報第29号（福島県農林水産部）の牧草の吸収抑制対策に準じた。全ての試験区に10 a 当たり苦土石灰100kg、熔リン80kgを施用した。

**検出下限値未満。

(2) 試験の結果

イタリアンライグラスの収量や放射性セシウム濃度に有意な差は認められませんでした（図1、図2）。空間線量率にも有意な差は認められませんでした（図3）。以上の結果から、5,800Bq/kg現物の放射性セシウムを含む牛ふん堆肥を施用した跡地でも、加里や検出下限値以下の堆肥の施用によって、イタリアンライグラスの収量を維持しつつ、放射性セシウム濃度を上昇させないようにできると考えられました。

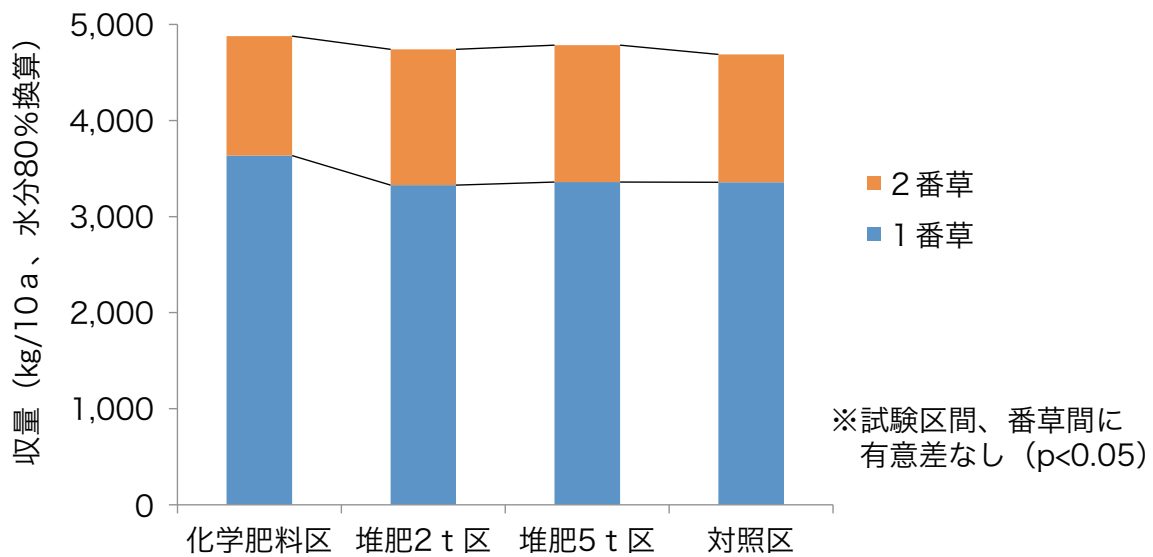


図1 イタリアンライグラスの収量

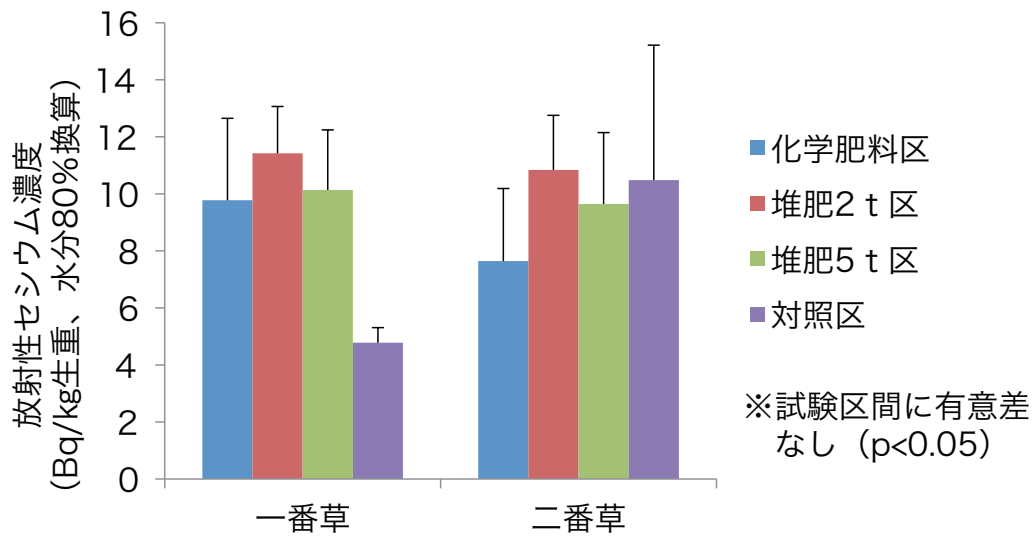


図2 イタリアンライグラスの放射性セシウム濃度

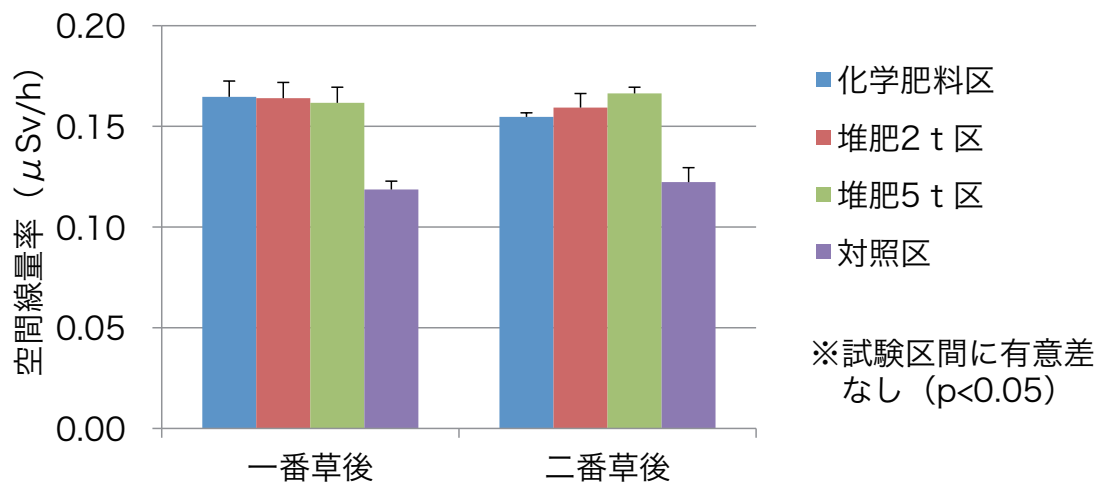


図3 ほ場の空間線量率 (地上1cm) の推移

【成果11】 暫定許容値以下の牛ふん堆肥を施用したほ場における加里施用によるイタリアンライグラスの放射性セシウム濃度の低減

暫定許容値以下の牛ふん堆肥（291Bq/kg現物、水分79%）を10a当たり5t施用したほ場で、10a当たり加里20kgの施用によってイタリアンライグラスの放射性セシウム濃度が低減しました。一方、苦土石灰を10a当たり200kg施用しても、土壌pHの上昇は僅かで、放射性セシウムの低減効果は明確ではありませんでした。

(1) 試験の内容

畜産研究所のほ場（黒ボク土）で、プラウ耕による土壌の天地返しを行った後、放射性セシウムを含む牛ふん堆肥（291Bq/kg現物、水分79%）を10a当たり5t施用してイタリアンライグラスを栽培しました。加里を元肥に10a当たり20kg施用した「加里20区」と、施用しなかった「加里0区」に分け、さらにそれぞれの区内で苦土石灰の投入量を3段階

表1 試験区の構成

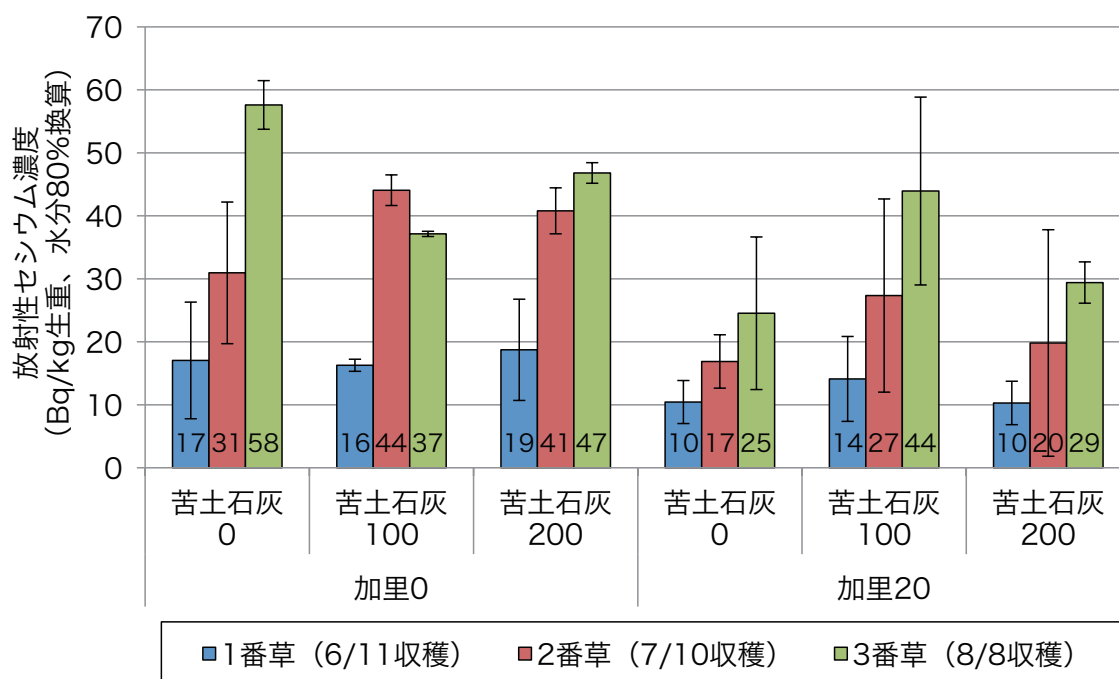
（10a当たり0、100、200kg）に設定して試験しました（表1）。イタリアンライグラスは三番草まで調査し、刈り取りごとに追肥しました。加里0区は追肥でも加里は施用しませんでした。

加里0区	土壌pH矯正なし
	苦土石灰100kg/10a
	苦土石灰200kg/10a
加里20区	土壌pH矯正なし
	苦土石灰100kg/10a
	苦土石灰200kg/10a

(2) 試験の結果

イタリアンライグラスの放射性セシウム濃度は、全試験区に共通して番草を経るごとに上昇しましたが、加里を施用した区のほうが放射性セシウム濃度が抑えられました（図1）。一方、苦土石灰の施用では、一定の傾向が見られませんでした。土壌pHは、苦土石灰の施用でわずかに高まる傾向にありましたが、10a当たり200kg程度の施用ではpH矯正の効果が小さかったと考えられました（表2）。

収穫したイタリアンライグラスのテタニー比は、全試験区に共通して一番草、二番草で高くなりました（表3）。また、加里0区より加里20区で高くなったことから、10a当たり加里20kgを施用した場合は、給与量に注意する必要があります。



※番草の間および加里0と加里20の間において有意差あり (p<0.05)

図1 イタリアンライグラスの放射性セシウム濃度

表2 栽培前後の土壌のpH (H₂O)

天地返し前		5.3	
天地返し後		5.9	
		加里0	加里20
栽培後	苦土石灰0	5.8	5.8
	苦土石灰100	6.0	5.9
	苦土石灰200	6.0	6.0

表3 イタリアンライグラスの各番草のテタニー比 (K/ (Ca+Mg))

試験区		一番草	二番草	三番草
加里0	苦土石灰0	3.3 ^b	2.4 ^b	0.9 ^b
	苦土石灰100	3.5 ^b	2.7 ^{bc}	1.3 ^b
	苦土石灰200	3.2 ^b	2.4 ^{ab}	1.0 ^{ab}
加里20	苦土石灰0	4.6 ^a	3.1 ^{ac}	1.8 ^a
	苦土石灰100	5.0 ^a	4.0 ^a	2.0 ^a
	苦土石灰200	4.9 ^a	4.2 ^a	2.0 ^a

※2.2以上はグラステタニーに注意が必要である。赤の着色は、2.2以上3.0未満、3.0以上4.0未満、4.0以上の3段階で示した。
 ※各番草内でa,b,cの異符号間に有意差あり (p<0.05)。

【成果12】牛ふん完熟堆肥の施用による放射性セシウムのイタリアンライグラスへの移行抑制

牛ふん完熟堆肥（671Bq/kg現物）の10 a 当たり5 t の施用はイタリアンライグラスの増収や放射性セシウムの移行抑制に役立つと考えられました。生ふん施用では、こうした効果は不明瞭でした。完熟堆肥の施用量は、移行抑制効果とグラスタニーの危険性を考慮すると10 a 当たり5 t 程度が好ましいです。

(1) 試験の内容

放射性セシウムを含む土壤に放射性セシウムを含む乳牛ふん堆肥を施用してイタリアンライグラスでポット栽培試験を行い、放射性セシウムの移行を調べました。

はじめに、放射性セシウム約500Bq/kg乾土の土壤を用い、化学肥料単用区と生ふん（648Bq/kg現物）または完熟堆肥（671Bq/kg現物）施用区（10 a 当たり5 t）を設けて、イタリアンライグラスの収量と放射性セシウムの移行係数を比べました。次に、放射性セシウムが約2,200Bq/kg乾土の土壤で、完熟堆肥（1,825Bq/kg現物）を10 a 当たり0 t、5 t、10 t の施用区を設け、イタリアンライグラスの収量、放射性セシウムの移行係数およびテタニー比を、また、土壤の交換性加里濃度を比べました。

(2) 試験の結果

収量は化学肥料単用区で低く、完熟堆肥区で高く、放射性セシウムの移行係数は完熟堆肥区で低くなりました（図1）。

次に完熟堆肥を10 a 当たり0 t、5 t、10 t 施用した結果、施用量にしたがって土壤の交換性加里濃度が高くなり、テタニー比も高くなりました（図2）。0 t 区は、収量が低く、移行係数が高くなりました（図3）。

以上、放射性セシウムを含む土壤で暫定許容値に近似する乳牛ふん完熟堆肥を10 a 当たり5 t 施用しても、放射性セシウムのイタリアンライグラスへの移行を増加させることはありませんでした。完熟堆肥に含まれる加里の効果とも考えられます。ただし、施用量を10 a 当たり10 t にしても、さらなる増収や移行抑制効果は期待できず、また、グラスタニーの危険性も高まると考えられます。

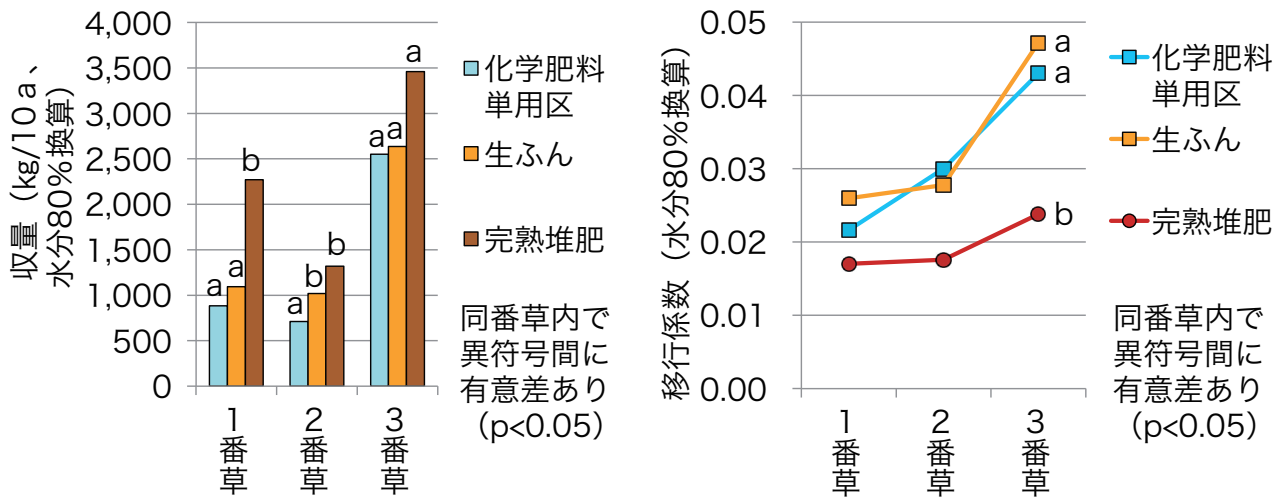


図1 完熟堆肥の施用とイタリアンライグラスの収量ならびに放射性セシウムの移行係数

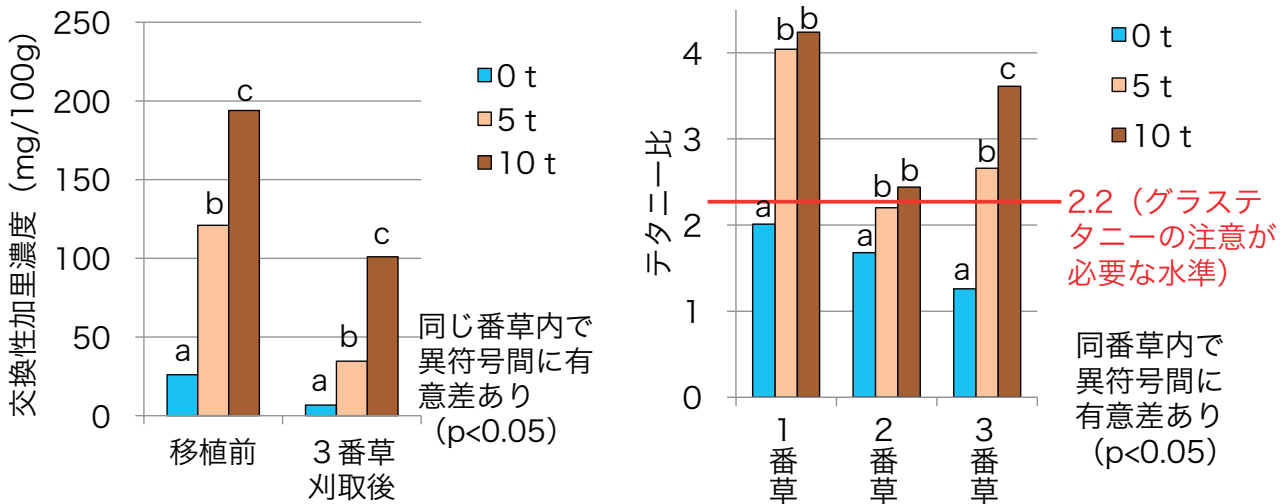


図2 完熟堆肥の施用量と土壌の交換性加里濃度ならびにイタリアンライグラスのテタニー比

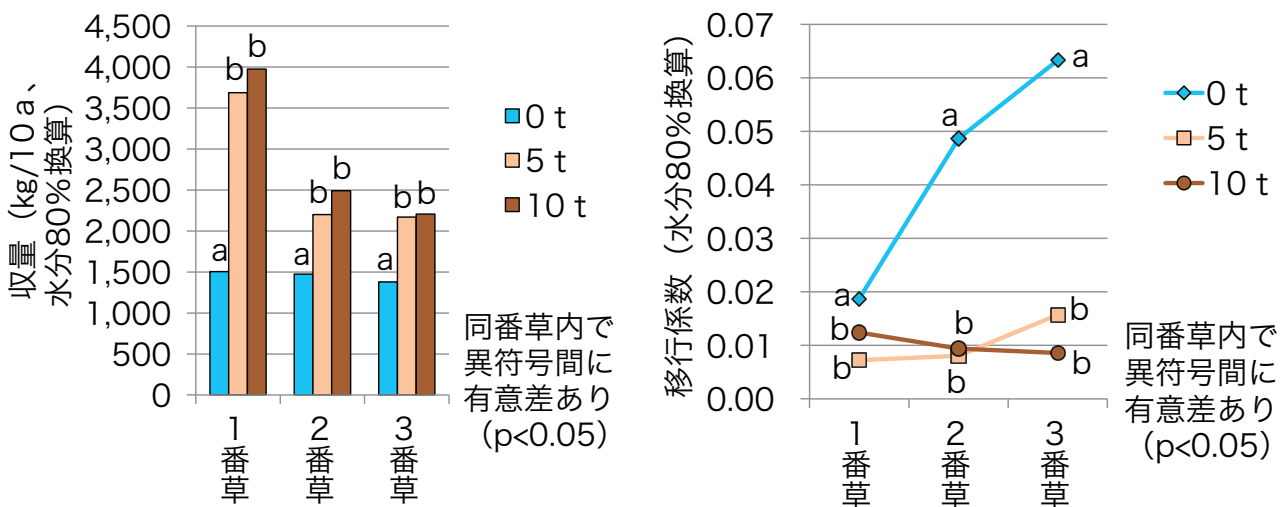


図3 完熟堆肥の施用量とイタリアンライグラスの収量ならびに放射性セシウムの移行係数

【成果13】 土壌の交換性加里濃度と放射性セシウムのイタリアンライグラスへの移行抑制

土壌の交換性加里濃度が高いと放射性セシウムのイタリアンライグラスへの移行が抑制されました。また、加里濃度の高い牛ふん堆肥を施用することで、移行を抑制できました。3番草では加里肥料を追肥することで、より効果的に移行を抑制できました。

(1) 試験の内容

土壌の交換性加里濃度がイタリアンライグラスへの放射性セシウムの移行に及ぼす影響をポット栽培試験で調べました。

放射性セシウム濃度が約500Bq/kg乾土（H24試験）、2,200Bq/kg乾土（H25試験）、1,500Bq/kg乾土（H26試験）の土壌を用い、さらに堆肥あるいは加里の施用量の違いにより土壌の交換性加里濃度を変えたポット栽培イタリアンライグラスの放射性セシウム移行係数を調査しました。

また、乳牛ふん堆肥（1,825Bq/kg現物）を10 a 当たり5 t 施用した土壌（約2,200Bq/kg乾土）を用い、基肥および1番草と2番草の収穫後の追肥として、毎回加里を10 a 当たり0kg（K0区）、7kg（K7区）、15kg（K15区）施用する3区を設け、放射性セシウムのイタリアンライグラスへの移行係数を比べました。

(2) 試験の結果

土壌の交換性加里濃度が50mg/100 g 乾土付近を境に、低値のときは移行係数の高いイタリアンライグラスが頻出し、バラツキも大きくなりました（図1）。

基肥と追肥の加里施肥量を変えた試験での移行係数は、1番草では差がなく、2番草ではK0区で高く、3番草では加里施肥量が多くなるにしたがって低下しました（図2左）。また、土壌の交換性加里濃度は、3番草刈取後で栽培前よりも大きく低下しましたが、加里施用量が多いほど、栽培後でも高くなりました（図2右）。

以上の結果から、加里濃度の高い乳牛ふん堆肥を施用することで、土壌の交換性加里濃度を高めて、放射性セシウムの移行を抑制することができると考えられました。また、堆肥を10 a 当たり5 t 施用しても、加里無追肥では、

土壌の交換性加里濃度が3番草刈り取りまでに大きく低下しました。このことから、10 a 当たり1番草収穫後に7kg、2番草収穫後に15kgの追肥は、放射性セシウムの3番草への移行係数を低下させると考えられました。

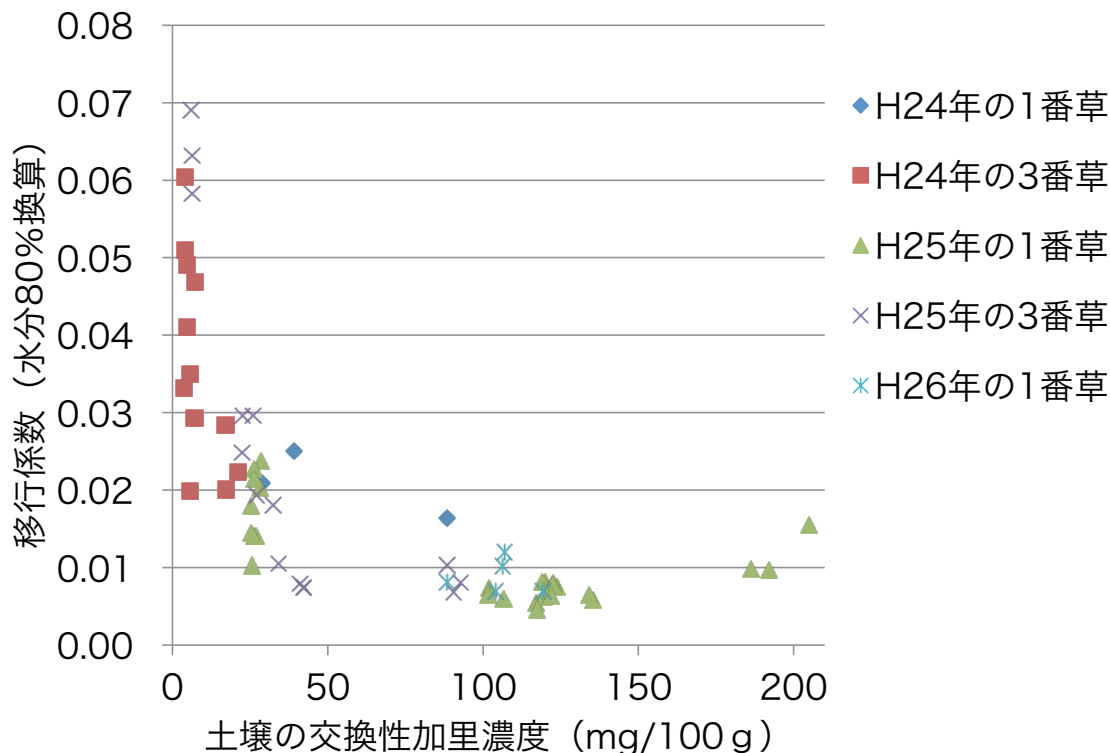


図1 土壌の交換性加里濃度と放射性セシウムの移行係数
 注意：土壌の交換性加里濃度は、1番草では栽培前、
 3番草では収穫後の値。

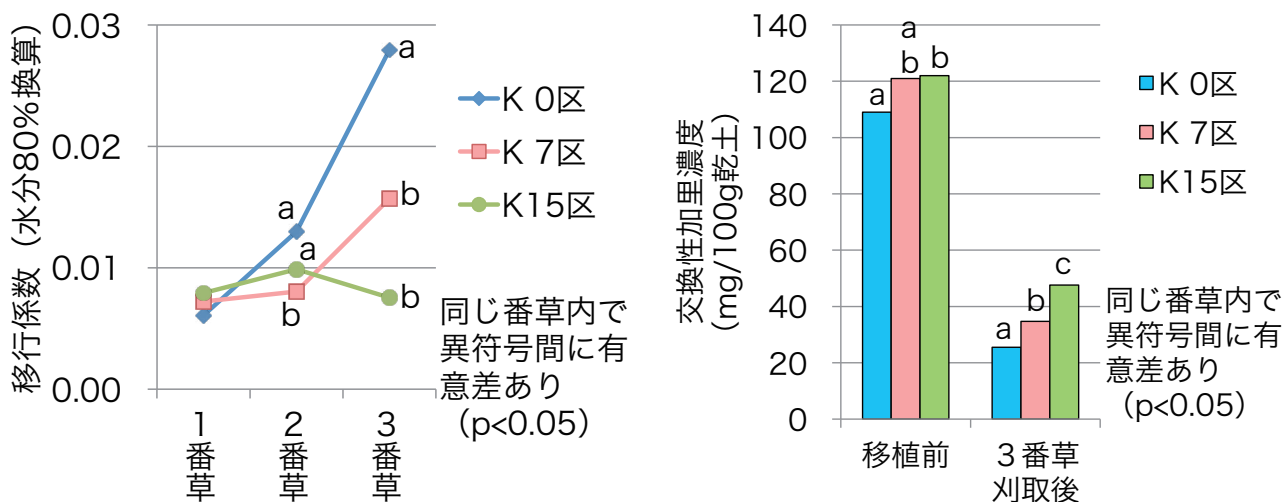


図2 加里施用量と放射性セシウムの移行係数ならびに土壌の交換性加里濃度

【成果14】セシウム吸着資材（ゼオライト、ベントナイト、プルシアンブルー）の施用と放射性セシウムのイタリアンライグラスへの移行抑制

10 a 当たりゼオライト1 t の施用またはプルシアンブルー50kg の施用で、放射性セシウムのイタリアンライグラスへの移行が抑制されました。一方、ベントナイトを10 a 当たり1 t 施用しても、有意な移行抑制は認められませんでした。

※プルシアンブルーの農地への施用は推奨できません（参照2ページ）。

(1) 試験の内容

放射性セシウムを含む土壌と乳牛ふん堆肥を用いて、吸着資材のイタリアンライグラスポット栽培試験を表1に示す内容で行いました。

表1 ポット栽培試験の内容

試験	試験区	土壌の放射性セシウム濃度 (Bq/kg乾土)	堆肥の種類	吸着資材	添加量 (kg/10 a)
1	Zeo200	約550	未熟牛ふん堆肥	ゼオライト	200
	Bent200			ベントナイト	200
	PB200			プルシアンブルー	200
	対照			無添加	0
2	Zeo500	約1,500	完熟牛ふん堆肥	ゼオライト	500
	Bent500			ベントナイト	500
	PB50			プルシアンブルー	50
	対照			無添加	0
3	Zeo1000	約2,200	完熟牛ふん堆肥	ゼオライト	1,000
	Bent1000			ベントナイト	1,000
	PB10			プルシアンブルー	10
	対照			無添加	0

(2) 試験の結果

対照区に比べて、Zeo1000区、PB200区（1番草除く）、PB50区、PB10区で移行係数が低くなりました（図1、2、3）。ベントナイトは、施用量が最も多いBent1000区でも、移行抑制効果が認められませんでした（図3）。

※プルシアンブルーの農地への施用は推奨できません（参照2ページ）。

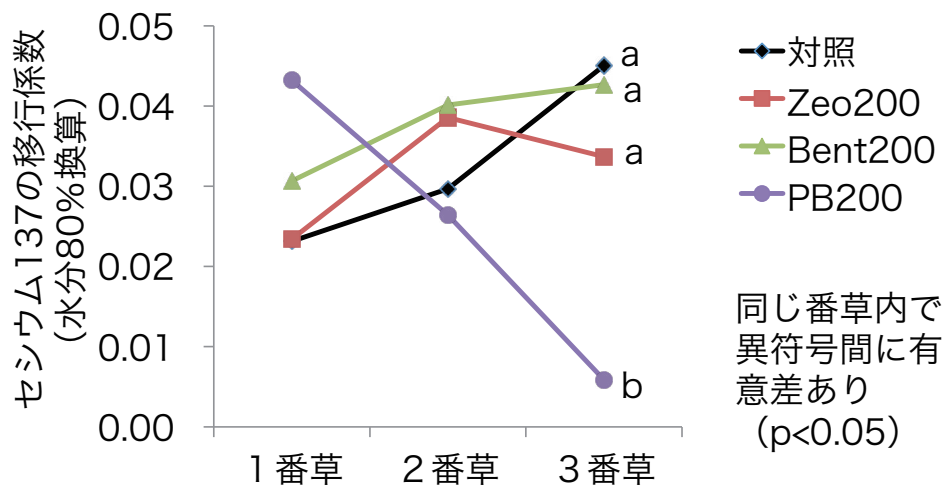


図1 試験1における吸着資材の添加と放射性セシウムの移行係数
(1番草、2番草は反復がないため統計的な比較はできません)

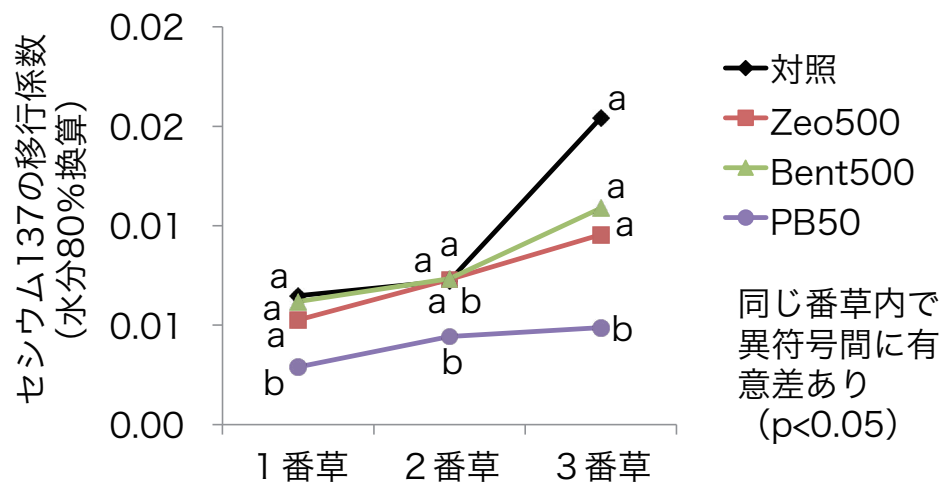


図2 試験2における吸着資材の添加と放射性セシウムの移行係数

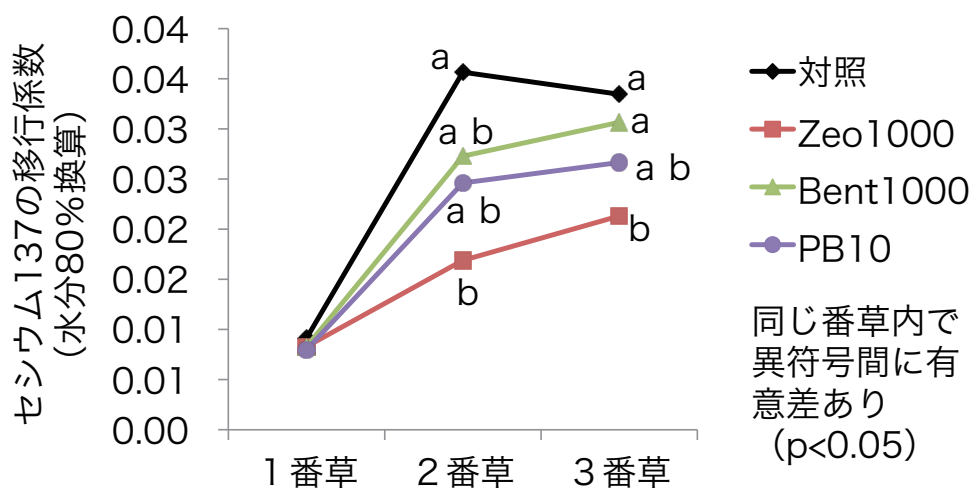


図3 試験3における吸着資材の添加と放射性セシウムの移行係数

本パンフレットは、家畜排せつ物堆肥活用による農地地力回復等技術開発普及事業推進委員会の監修により作成されました。

【家畜排せつ物堆肥活用による農地地力回復等技術開発普及事業推進委員会名簿】

(敬称略、あいうえお順)

- 上沢 正志 (公財) 日本肥糧検定協会 常務理事
- 大和田 正幸 福島県相双農林事務所 農業振興普及部 専門員
- 小池 一正 福島県畜産農業協同組合連合会 嘱託
- 佐藤 一弘 埼玉県農林総合センター 農産物安全・土壌担当部長
- 高橋 茂 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター 土壌肥料研究領域 上席研究員
- 梶村 恭子 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所
(平成26年度) 草地管理研究領域 上席研究員
- 原田 久富美 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所
(平成24,25年度) 飼料作物研究領域 上席研究員

【堆肥活用による農地地力回復事業平成26年度進捗報告集執筆者名簿】

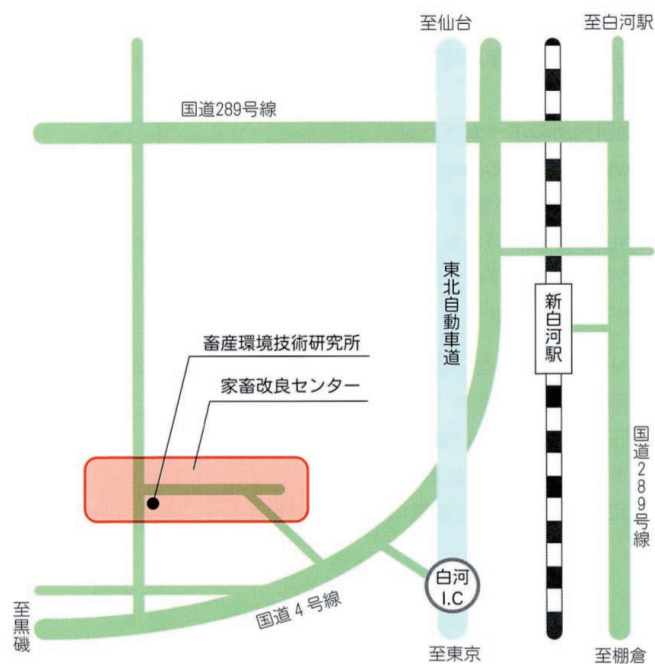
(敬称略、あいうえお順)

- 片倉 真沙美 福島県農業総合研究センター 畜産研究所 飼料環境科 研究員
(平成24,25年度)
- 菅野 登 福島県農業総合研究センター 畜産研究所 飼料環境科 科長
(平成26年度)
- 齋藤 美緒 福島県農業総合研究センター 畜産研究所 酪農科 主任研究員
- 長峰 孝文 (一財) 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所 主任研究員
- 中村 フチ子 福島県農業総合研究センター 畜産研究所 飼料環境科 主任研究員
(平成26年度)
- 畠中 哲哉 (一財) 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所 研究参与
- 吉田 安宏 福島県農業総合研究センター 畜産研究所 飼料環境科 主任研究員
(平成24,25年度)

畜産環境技術研究所のホームページでは、このマニュアルを含めて、畜産環境に関する各種情報を公開しており、閲覧、視聴、ダウンロードできます。ご利用ください。

<http://www.chikusan-kankyo.jp>

【畜産環境技術研究所 所在地】



家畜排せつ物堆肥を用いた天地返し後の地力 回復と農産物への放射性セシウムの移行

平成27年3月13日発行

発行：一般財団法人 畜産環境整備機構

〒105-0001 東京都港区虎ノ門5-12-1 (ワイコービル2階)

TEL 03-3459-6300 (代) FAX 03-3459-6315

編集および連絡先：一般財団法人 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所

〒961-8061 福島県西白河郡西郷村大字小田倉字小田倉原1

TEL 0248-25-7777 (代) FAX 0248-25-7540

メールアドレス：ilet@chikusan-kankyo.jp

ホームページ：http://www.chikusan-kankyo.jp