



日本中央競馬会
特別振興資金助成事業

堆肥施用による被災地の畑地・ 水田の地力回復等効果の持続 性追跡調査事業成果報告書

(平成 28・29 年度 堆肥施用による被災地の畑地・水田の地力回復等効果の
持続性追跡調査事業)



平成 30 年 3 月

一般財団法人 畜産環境整備機構

はじめに

東日本大震災被災地の耕種農家では、暫定許容値以下の堆肥であっても、施用に対する不安が解消されず、未だにその利用が進んでいないのが現状です。このため、畜産農家においては暫定許容値以下の堆肥であっても滞留が深刻な問題となっており、滞留の解消を図ることが畜産経営継続の喫緊の課題となっています。

家畜排せつ物堆肥は、地力の増進や化学肥料の一部を代替する効果がある貴重な有機質資源です。この資源の利用促進に寄与するため、天地返しを行った畑地や水田へ、暫定許容値以下の家畜排せつ物堆肥を継続して施用した際の地力回復効果ならびに放射性セシウムの作物への移行抑制効果の持続性について、平成 24～26 年度に続いて追跡調査を行いました。

本報告が、被災地における耕種農家と畜産農家の連携復活を介して、畜産経営の復興の一助となれば幸甚であります。

平成 30 年 3 月

一般財団法人 畜産環境整備機構

目 次

第1章 天地返し畑地の地力回復技術持続性調査

1. 天地返し野菜畑における堆肥施用による地力回復後の回復効果持続性追跡調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

2. 天地返し飼料畑の地力回復技術の持続性調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 18

第2章 暫定許容値以下の牛ふん堆肥の水田施用調査

1. 放射性セシウム濃度が暫定許容値以下の牛ふん堆肥の施用が食用米及び飼料用米へ及ぼす影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 30

推進委員会及び執筆者名簿・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55

本書の用語や単位について

(第1章 天地返し畑地の地力回復技術持続性調査)

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。 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 (105℃ で乾燥した土壌の重量) 水分 15% 換算 (水分 15% とした生産物の重量) 水分 80% 換算 (水分 80% とした生産物の重量)
検出下限値	ある分析法で、分析対象物質が存在していることがわかる最低濃度のことです。本試験では、0.5 Bq/kg としました。
移行係数	$\frac{\text{生産物の放射性セシウム濃度(Bq/kg水分 80\%換算)}}{\text{土壌中の放射性セシウム濃度 (Bq/kg乾土)}}$
天地返し	プラウによる 25cm 以上を目途とする深耕のことで、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。
リン酸と P	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。P は元素リンを意味します。
加里と K	土壌や肥料に含まれるカリウム成分です。K ₂ O と表記している場合もあります。K は元素カリウムを意味します。
石灰と Ca	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。Ca は元素カルシウムを意味します。
苦土と Mg	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。Mg は元素マグネシウムを意味します。
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。
有機物量	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。

本書の用語や単位について

(第2章 暫定許容値以下の牛ふん堆肥の水田施用調査)

項目	内容
非汚染堆肥	6.1Bq/kg (現物) (平成 28 年度施用時) nd (不検出) (平成 29 年度施用時) の堆肥。
低汚染堆肥	357Bq/kg (現物) (平成 28 年度施用時) 367Bq/kg (現物) (平成 29 年度施用時) の堆肥。
粗玄米	粗玄米は、粃すり後、ふるいをかけていない玄米のことです。
粃米	粃米は、粃殻を取り去る (脱穀) 前のイネの果実に相当する部分をいいます。
精玄米	粗玄米を 1.8mm メッシュのふるいで選別し、くず米等を取り除いた玄米のこと。
栽植密度	単位面積あたりの植え付け株数のことで、面積÷(条間×株間) で計算する。
べこあおば	飼料用米と稲発酵粗飼料 (イネ WCS) の兼用の水稻品種名。東北中部以南に適している。
黄熟期	稲が完全に熟する前で、サイレージに適した収穫時期。出穂してから 30 日頃で、米の胚乳がロウ状で、穀粒が容易につぶせる柔らかさの時期とされています。
稲発酵粗飼料 (イネ WCS)	稲の実と茎葉を同時に収穫しサイレージ発酵させた飼料です。
飼料用米	飼料用に用いる粃米または玄米のことで、全粒もしくは破碎して飼料として給与します。飼料用として広く用いられているトウモロコシの代わりに、一定割合の給与ができることとされています。
移行係数	$\frac{\text{生産物の放射性セシウム濃度(Bq/kg水分 15\%or80\%換算*)}}{\text{土壌中の放射性セシウム濃度 (Bq/kg乾土)}}$ *生産物の部位による。
加里と K	加里は酸化物の K ₂ O で、K は元素カリウムを意味します。
DCAD (カチオン・アニオンバランス)	Dietary Cation-Anion Difference の略称で飼料中の陽イオン (Cation) と陰イオン (Anion) の電位差として示される。DCAD 値 (mEq/100gDM)= (Na %/0.023+K %/0.039) - (Cl %/0.036 + S %/0.016) として算出しました。

放射性セシウム濃度、堆肥の暫定許容値、加里の説明は、第1章の用語に準拠しました。

第1章

天地返し畑地の地力回復 技術持続性調査

1. 天地返し野菜畑における堆肥施用 による地力回復後の 回復効果持続性追跡調査

天地返し野菜畑における堆肥施用による地力回復後の回復効果持続性追跡調査

担当者：畠中哲哉、小堤悠平、道宗直昭、田中康男（畜産環境技術研究所）

【要約】

汚染対策として天地返しを行い牛ふん堆肥（以下、堆肥と略す）の多量施用で地力が回復した畑地で引き続き野菜栽培試験を行った。試験では堆肥区（堆肥を施用基準量である年間 2t/10a と有機質肥料（以下、有機肥料と略す）施用）と無堆肥区（有機肥料のみ施用）の処理区を設け、2年に渡って土壌の放射セシウム濃度の推移、野菜の放射性セシウム濃度への影響、土壌の地力の維持状況を調べた。

土壌の放射性セシウム濃度は処理区が不耕作区よりも低く、経年的に低下したが、堆肥を施用した区が無堆肥区よりもやや高目に推移した。野菜の放射性セシウムは4品目で検出されたが、その濃度は堆肥区と無堆肥区と差がなく、問題とされないレベルであった。堆肥の短期間での多量施用で回復した地力は、その後の堆肥の基準施用量と土壌診断に基づく土壌管理により維持されていることが、また堆肥の多量施用に伴うミネラルバランス悪化の弊害も、その後の土壌診断に基づく適正な施肥により解消されることが追跡調査の結果から検証された。

1. 目的

東日本大震災被災地の耕種農家において、堆肥施用に対する不安が解消されず未だに堆肥利用が進んでいないことからその促進を図るため、天地返しを行った畑地への堆肥施用による地力回復及び放射性セシウム移行抑制効果の持続性について追跡調査を行い、効果の再確認及び実証を行うことにより被災地における堆肥利用の促進を図る。

天地返しによる除染処理を行った畑地（野菜畑）の堆肥施用による地力回復及び放射性セシウム濃度の推移及び畑作物への放射性セシウム移行抑制効果について調査を平成 24 年度（2012）から平成 26 年度（2014）に福島県泉崎村天公沢で実施した。その後の畑地の地力回復の持続性及び放射性セシウムの推移について同一ほ場において追跡調査を実施する必要がある。

そこで除染対策として実施した天地返し後の堆肥施用で地力が回復した畑地について、その後の地力維持状況、土壌中の放射性セシウム動向及び畑作物への移行抑制効果について追跡調査を実施する。

2. 方法

1) 試験年次

2016（平成 28）年と 2017（29）年の2カ年にわたり、以下に示す野菜の栽培試験を実施して土壌および野菜の放射性セシウム、土壌の地力維持状況について追跡調査を行った。

2) 試験場所

福島県泉崎村天公沢に位置する畑地ほ場である。2012（24）～2014（26）年度に堆肥を多量施用し、放射能汚染対策の天地返しにより低下した土壌の地力を回復する試験を行った同一ほ場で、2014 年秋作の栽培終了（地力回復事業）から 2016 年春作の地力追跡調査事業による栽培開始まで1年半に渡って無作付けの状態にあった。2016 年4月から本事業による野菜栽培を再開し、2カ年間栽培試験を実施した。土壌タイプは黒ボク土である。

3) 試験区と施肥設計および施肥来歴

試験区は「堆肥区」（面積 10.1 a）と「無堆肥区」（5.6 a）の2区である。両区とも前事業の地力回復事業の処理区をそのまま引き継ぎ、2年間継続した（図1）。「堆肥区」は堆肥を主に施

用する区、「無堆肥区」は堆肥を施用せず、有機肥料のみを施用する区である。堆肥は2年間とも同じ栃木県の〇牧場産の乳用牛堆肥で、放射性セシウム濃度はほぼ0~6Bq/現物kg、成分分析結果を表1に示した。成分濃度は2年間で大きく変わらなかった。また、有機肥料は委託先が有機農法を実践しているため認証されたフェザーミール、溶リン、パームアッシュを使用した。ちなみに有機肥料の成分含有率はフェザーミール：窒素(N)12%、パームアッシュ：加里(K₂O)30%、溶リン：リン酸(P₂O₅)22%・石灰(CaO)30%・苦土(MgO)15%である。

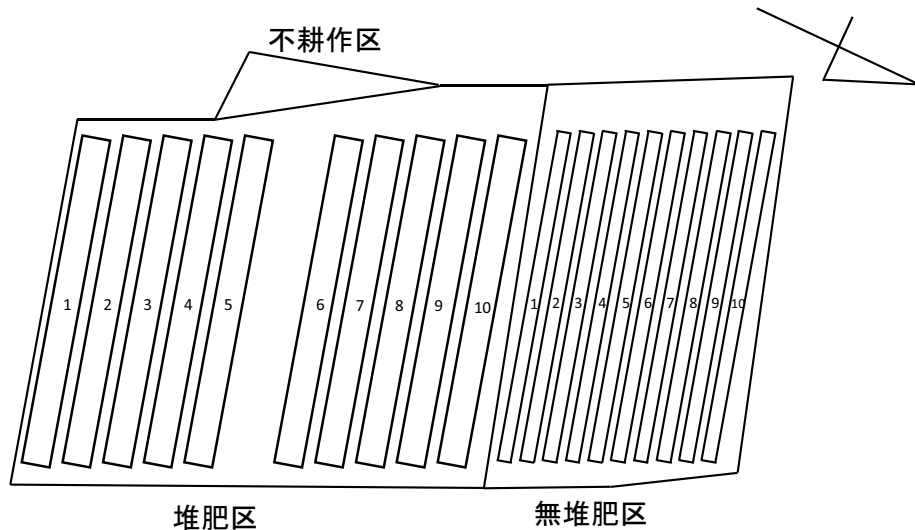


図1 試験ほ場の概要、試験区の配置並びに野菜作付けの模式図

表1 野菜の栽培試験に供した牛ふん堆肥の成分分析結果

項目	単位	2016年5月	2017年4月
原料		乳牛ふん(〇堆肥)	同左
副資材		戻し堆肥、コーン芯など	同左
水分	%現物	65.5	51.2
灰分	%乾物	24.5	27.9
pH		8.3	8.9
EC	mS/cm	5.5	4.4
窒素	%乾物	3.9	4.0
炭素	%乾物	41.0	38.0
C/N比		10.6	9.5
リン酸全量	%乾物	1.5	1.6
加里全量	%乾物	2.9	2.3
石灰全量	%乾物	4.5	6.7
苦土全量	%乾物	1.9	2.6
鉄全量	mg/kg乾物	1,900	2,256
マンガン全量	mg/kg乾物	590	728
銅全量	mg/kg乾物	33(11)*	37(18)*
亜鉛全量	mg/kg乾物	110(38)*	108(53)*
発芽率	%	99	100
酸素消費量	μg/g/min	3.8	2.7
ADF	%乾物	44.4	-
放射性セシウム	Bq/kg現物	6.1±4.1	ほぼ 0
有効態窒素率	%全窒素	21.9**	21.9**

* カッコ内の数値は現物kg当たりの数値 **地力回復事業における測定結果より引用(3回平均値)

両試験区の2年分の施肥設計を表2と表3に示した。堆肥の施用量は、前事業の地力回復事業において、堆肥の短期間の多量施用で地力回復が達成されたことから2014年の堆肥施用量は基準量の2t/10aに戻されたが、本事業でも堆肥の施用量は基準量の2t/10aに設定した。堆肥は分析して有効態施肥量を求め、有機肥料からの施肥量と合算して野菜の施肥基準量に合わせた。土壌も事前に分析した結果をもとに土壌改良資材の施用量を算出するとともに、施肥量は福島県の施肥基準に準拠した。基肥は一律に行い、野菜の生育状況に応じて追肥で対応することとした。

ちなみに堆肥の施用は2016年が5/3、2017年が4/11に、有機肥料の施用は2016年が5/23、2017年が4/10に実施した。

なお、前事業の地力回復試験から本事業の地力追跡試験までの施肥来歴を表4にまとめた。その中で堆肥区においては、2012年と2013年の春作で土壌の地力回復のため堆肥施用量が10a当たり8.9tと10tと多量に、2014年以降は土壌の地力が回復したことにより福島県の施肥基準量に準拠した2tに戻した点が特筆される。また堆肥区では、堆肥の短期間での多量施用に伴う土壌のミネラルバランス矯正のための苦土（マグネシウム）資材とpH矯正のための硫黄資材の投入に特徴が見られる。一方、無堆肥区でも堆肥区と同様に、土壌のミネラルバランス矯正のための苦土（マグネシウム）資材とpH矯正のための硫黄資材の投入が実施された。以上の土壌改良対策は事前に土壌分析を行い、その結果に基づいて土壌改良資材量の算出・施用を実施した。

表2 2016年の施肥設計（レタスの施肥基準を共通に）

作物	施肥基準 kg/10a	項目	資材	堆肥区(kg/10a)			無堆肥区(kg/10a)
				堆肥	有機肥料	計	有機肥料
レタス	窒素: 14~17 リン酸: 24~26 加里: 14~17	基肥施用量	乳牛堆肥	2000		2000	0
			天然硫マグ24		255	255	235(132)*
			フェザーミール		83	83	135(76)*
			ようりん		77	77	60(34)*
			パームアッシュ		0	0	60(34)*
	有効態施肥量 (カッコ内は堆肥 からの供給全量)	窒素	6(27)	10	16	16(9)*	
		リン酸	8(10)	17	25	13(7)*	
		加里	18(20)	0	18	18(10)*	
		石灰	31(31)	23	54	18(10)*	
		苦土	13(13)	73	86	65(36)*	

注1) 有機肥料等の成分含有率 フェザーミール: (N)12%、パームアッシュ: (K2O)30%、天然硫マグ24: (MgO)24%、ようりん: (P2O5)22%、(MgO)15%、(CaO)30%

* カッコ内の数値は実面積5.6a当たりの施用量および施肥量を示す。

表3 2017年の施肥設計（レタスの施肥基準を共通に）

作物	施肥基準 kg/10a	項目	資材	堆肥区(kg/10a)			無堆肥区(kg/10a)
				堆肥	有機肥料	計	有機肥料
レタス	窒素: 14~17 リン酸: 24~26 加里: 14~17	基肥施用量	乳牛堆肥	2000		2000	0
			フェザーミール		84	84	135(76)*
			ようりん		78	0	0
			パームアッシュ		0	0	60(34)*
	有効態施肥量 (カッコ内は堆肥 からの供給全量)	窒素	6(27)	10	16	16(9)*	
		リン酸	8(10)	17	25	0	
		加里	18(20)	0	18	18(10)*	
		石灰	31(31)	23	54	0	
	苦土	13(13)	73	86	0		

注1) 無堆肥区のリン酸は土壌に十分あるので無施肥とした。

* カッコ内の数値は実面積5.6a当たりの施用量および施肥量を示す。

表4 試験区の施肥来歴（地力回復試験から地力追跡試験まで）

栽培時期	堆肥区(kg/10a)			無堆肥区(kg/10a)		備考
	堆肥	有機肥料	施肥量	有機肥料	施肥量	
			N-P2O5-K2O		N-P2O5-K2O	
2012年春	8,910		6-31-95	フェザーミール83 溶リン168 パームアッシュ348	10-37-104	地力回復 事業
2012年秋		フェザーミール 87~140	11~18-0-0	フェザーミール 83~86	10~11-0-0	
2013年春	10,000		12-72-134	フェザーミール96 硫マグ171	12-0-0 苦土41	
2013年秋			追肥対応		追肥対応	
2014年春	2,000	硫マグ319 硫黄80	9-11-26 苦土77	フェザーミール27 硫マグ237 硫黄80	3-0-0 苦土57	
2014年秋			追肥対応		追肥対応	
2015年	栽培を行わない無作付けの状態にあった					
2016年春	2,000	フェザーミール83 硫マグ303 溶リン77	16-25-18 苦土73	フェザーミール135 硫マグ270 溶リン60 パームアッシュ60	16-13-18 苦土65	地力追跡 事業
2016年秋			追肥対応		追肥対応	
2017年春	2,000	フェザーミール84 溶リン78	16-25-18	フェザーミール135 パームアッシュ60	16-0-18	
2017年秋			追肥対応		追肥対応	

4) 野菜品目と栽培方法

2016年の春作品目としてレタス、コマツナ、シュンギク、ツルムラサキ、モロヘイヤの5品目を、秋作品目としてハウレンソウ、コマツナ、ニンジン、ダイコン、ハクサイの5品目を栽培した。2017年の春作品目としてレタス、シュンギク、ハウレンソウ、ズッキーニ、モロヘイヤの5品目を、秋作品目として、ハウレンソウ、シュンギク、ニンジン、の3品目を栽培した。シュンギク、ハウレンソウはほ場に直接播種し、レタス、モロヘイヤ、ズッキーニは育苗後、ほ場に定植した。栽培方法は2年間とも図1に示したように短冊状に行った。

表5 2年間の栽培試験で作付けされた野菜品目

2016年作付け野菜品目				2017年作付け野菜品目			
春作		秋作		春作		秋作	
番号	品目	番号	品目	番号	品目	番号	品目
1	レタス	6	ハウレンソウ	1	レタス	6	—
2	コマツナ	7	コマツナ	2	シュンギク	7	シュンギク
3	シュンギク	8	ニンジン	3	ハウレンソウ	8	ハウレンソウ
4	ツルムラサキ	9	ダイコン	4	ズッキーニ	9	ニンジン
5	モロヘイヤ	10	ハクサイ	5	モロヘイヤ	10	—

なお、野菜の栽培方法は栽培委託先の慣行法に準じたが、その概要を表6と表7に示した。

表6 2016年の作付け野菜の栽培方法

栽培時期	品目	品種	播種または定植日		収穫日	
			堆肥区	無堆肥区	堆肥区	無堆肥区
2016年 春作	レタス		3/15育苗 5/31定植		2016/7/6～	
	コマツナ	わかみ	6/2播種		2016/7/20～	
	シュンギク	さとゆたか	5/31播種		2016/7/12～	
	ツルムラサキ		5/11育苗 6/24定植		2016/7/22～	
	モロヘイヤ		5/12育苗 6/27定植		2016/7/22～	
2016年 秋作	ハウレンソウ	サラダほうれんそう	8/22播種		2016/12/16～	
	コマツナ	サラダ小松菜	8/22播種		2016/10/4～	
	ニンジン	筑摩の五寸	8/24播種 9/26間引き		2016/12/13～	
	ダイコン	耐病総太り	8/22播種 9/26間引き		2016/12/11～	
	ハクサイ	黄ごころ	8/23育苗 9/5-6定植		2016/11/15～	

注1) 育苗はセルポット使用、収穫日は分析用試料の採取日である。
注2) 5/31に堆肥、5/23に有機資材の施用を行った。

表7 2017年の作付け野菜の栽培方法

栽培時期	品目	品種	播種または定植日		収穫日	
			堆肥区	無堆肥区	堆肥区	無堆肥区
2017年 春作	レタス	ロックウエル	3/22育苗 6/5定植		2017/7/13～	
	シュンギク	さとゆたか	4/17播種		2017/6/1～	
	ハウレンソウ	トリトン	4/17播種		2017/6/1～	
	ズッキーニ		5/10育苗 6/17定植		2017/7/24～	
	モロヘイヤ		5/20育苗 7/4定植		2017/8/30～	
2017年 秋作	シュンギク	さとゆたか	9/15播種		2017/11/24～	
	ハウレンソウ	トリトン	9/15播種		2017/12/15～	
	ニンジン	筑摩の五寸	9/5播種 10/26間引き		2017/12/13～	

注1) 育苗はセルポット使用、収穫日は分析用試料の採取日である。
注2) 4/11に堆肥、4/10に有機資材の施用を行った。

5) 分析試料の採取方法及び調整法

(1) 土壌試料

土壌の採取は2016年が春作栽培跡地(8月)、秋作栽培跡地(12月頃)の2回、2017年が春作栽培跡地(8月)について行った。採取方法は2カ年とも同様に行い、分析点数は堆肥区、無堆肥区ともに16点ずつの計32点とした。

分析サンプルの具体的な採取および調整は下述の方法によった。

一つの試験区を4分割し、分割内で10点採取(正方形の角4と対角線の交差点1の計5地点において深さ0~20cmと20cm以下に分けて)することで両試験区合わせて合計80点を採取した。次に分割区内10点を下述の方法で混合縮分して4点の分析試料(3kg)とし、一つの試験区で16点ずつ合計32点の分析試料に調整した。ちなみに混合縮分のやり方は3点(地点1,2,3)を1kgずつコンクリートミキサーで混合して一つのサンプルに、同じく3点(地点3,4,5)を混合して一つのサンプルとする方法によった。

(2) 野菜試料

収穫した野菜のうち現物で 3kg 程度を分析サンプルとして研究所へ届けてもらい、葉菜類は葉と茎を分離し、また根菜類は皮むきして流水でよく洗浄し、フードプロセッサで細断したのち冷凍保存した。全品目の野菜の調整処理が終わり次第凍結サンプルを分析会社へ送付し、放射性セシウム濃度を測定した。

6) 調査項目

(1) 土壌

分析項目は水分率、pH、EC、全N、全C、有機物（腐植）、C/N比、可給態リン酸（トルオーグリン酸）、交換性塩基、陽イオン交換容量（CEC）及び放射性セシウムである。放射性セシウムの分析結果はセシウム 134 と 137 の合計値で表示した。

(2) 野菜

放射性セシウムの測定は外部の分析会社に依頼し、ゲルマニウム半導体検出器にて測定した。その分析条件として前事業の地力回復事業（2012～2014年）では野菜の検体数が多く、しかも分析費が高価であったため検出下限値を 3Bq/kg としたが、地力追跡調査事業（2016～2017年）では検体数が少なく分析費が安価になったため 1Bq/kg に設定した。結果の表示は土壌に準じた。また、放射性セシウム濃度は土壌・野菜ともに採取日に減衰補正した。

3. 結果と考察

1) 土壌の放射性セシウム濃度について

(1) 平成 2017 年度土壌の放射性セシウム濃度結果

野菜ほ場の土壌の放射性セシウムについて、2017 年の春作栽培跡地の結果を図 2 に示した。2017 年の両試験区の放射性セシウム濃度は天地返しの効果で不耕作区に比べて有意に低かった。試験区を比べると堆肥区が無堆肥区よりも高いが、これは 2012 年と 2013 年に暫定許容値以下の堆肥を多量施用した影響が続いているためと考えられた。2016 年度に土壌の放射性セシウム濃度のバラツキは大きいことを報告したが、2016 年、2017 年の 2 年とも放射性セシウム濃度のバラツキは堆肥区が無堆肥区よりも大きかった。

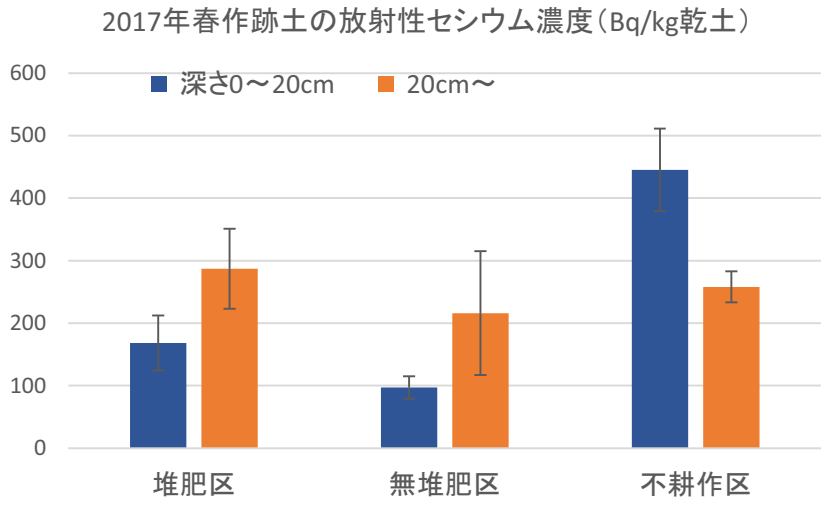


図 2 平成 2017 年春作跡地土壌の深さ別放射性セシウム濃度 (Bq/kg 乾土)

注) 堆肥区と無堆肥区間では有意差なし、両区と不耕作区間では 5%水準で有意差あり

(2) 地力追跡調査期間における土壌の放射性セシウム濃度の推移

平成2016年と2017年に土壌の放射性セシウム濃度を深さ別（上層0～20cmと下層20cm～40cm）に追跡した結果を表8に示した。2016年の試験開始時の放射性セシウム濃度は堆肥区が195（上層）と435（下層）Bq/kg乾土、無堆肥区が161（上層）と401（下層）Bq/kg乾土であったが、その後時間経過に従い漸減し、約2年経過した2017年春作跡土では堆肥区が168（上層）と287（下層）Bq/kg、無堆肥区が97（上層）と216（下層）Bq/kgまで低下していた。深さ別では下層の値が高いが、これは天地返しにより放射性セシウムの高い土壌が下層へ反転されたためである。

表8 地力追跡調査期間における土壌の深さ別放射性セシウム濃度（Bq/kg乾土）の推移

測定時期	土壌深さ	堆肥区	無堆肥区	不耕作区
2016年開始	0～20cm	195 _a ± 74	161 _a ± 55	— ± —
	20cm～	435 _A ± 113	401 _A ± 219	— ± —
2016年春作後	0～20cm	182 _a ± 71	116 _a ± 15	353 _a ± 133
	20cm～	359 _A ± 67	320 _A ± 65	130 _B ± 28
2016年秋作後	0～20cm	163 _{ab} ± 32	105 _a ± 16	494 _b ± 369
	20cm～	327 _A ± 109	221 _{AB} ± 45	110 _B ± 28
2017年春作後	0～20cm	168 _a ± 44	97 _a ± 18	445 _b ± 66
	20cm～	287 _A ± 64	216 _A ± 99	258 _A ± 25

注1)放射性セシウム(セシウム134と137の合計値): 平均値±標準偏差、採取日に減衰補正した。

注2)横列異文字間に5%有意差あり

(3) 地力回復事業から地力追跡調査事業を通じた土壌の放射性セシウムの推移（H2012～H2017）

平成2012年の天地返し前から2017年までの放射性セシウム濃度について、上層0～20cmの推移を表9と図3に示した。平成2012年天地返しによる汚染対策を行った結果、土壌深0～20cmの放射性セシウム濃度は1037Bq/kg乾土から223Bq/kg乾土へと約1/5に低下したが、その後2017年まで堆肥区では250Bq/kg乾土前後（305～163）、無堆肥区では150Bq/kg乾土前後（195～97）で推移した。その間堆肥区では一定の傾向は見られないが、無堆肥区では年次的に低下傾向が認められた。

また、土壌中の放射性セシウムの存在量と堆肥からの投入量を試算した（表10、図4）。2017年春作後の存在量は2012年の天地返し（プラウ耕）後と比べると、無堆肥区では56%、不耕作区では57%の減少率となったのに対し、堆肥区は25%と両区の約半分にあがった。ちなみに2012年天地返し前の放射性セシウムの存在量に対する減少率を求めると、堆肥区が84%、無堆肥区が91%、不作付区が57%と高く算出された。

天地返し（プラウ耕）後の土壌の存在量312（Bq×10⁴/a）に比べて堆肥からの投入量21（Bq×10⁴/a）は約1/15とかなり少なく、投入量21（Bq×10⁴/a）が深さ20cmまでの土壌に均等に混合されたと仮定すると土壌の放射性セシウム濃度は15Bq/kg乾土（208,000Bq÷14,000kg乾土）しか上昇しない可能性があることから、以上の結果は2012年と2013年に暫定許容値以下の堆肥を多量施用した影響が続いているためと考えられた。

表9 地力回復事業から地力追跡調査事業を通じた土壌の放射性セシウム（Bq/kg乾土）の推移（土壌の深さ0～20cm）

土壌採取日	測定時期	堆肥区	無堆肥区	不耕作区
2012/5/1	天地返し前	1,037±193		
2012/6/6	天地返し後(プラウ耕)	223 ±198		
2013/3/29	2012年秋作後	236 ± 67	174 ± 64	319 ± 105
2014/3/17	2013年秋作後	305 ± 22	195 ± 106	640 ± 247
2014/9/30	2014年秋作後	206 ± 20	136 ± 29	467 ± 111
2015年	栽培を行わない無作付けの状態			
2016/8/4	2016年春作後	182a ± 71	116a ± 15	353a ± 133
2016/12/12	2016年秋作後	163ab ± 32	105a ± 16	494b ± 369
2017/8/4	2017年春作後	168a ± 49	97a ± 18	445b ± 66

注1) 放射性セシウム(セシウム134と137の合計値): 平均値±標準偏差、採取日に減衰補正した。

注2) 横列異文字間に5%有意差あり

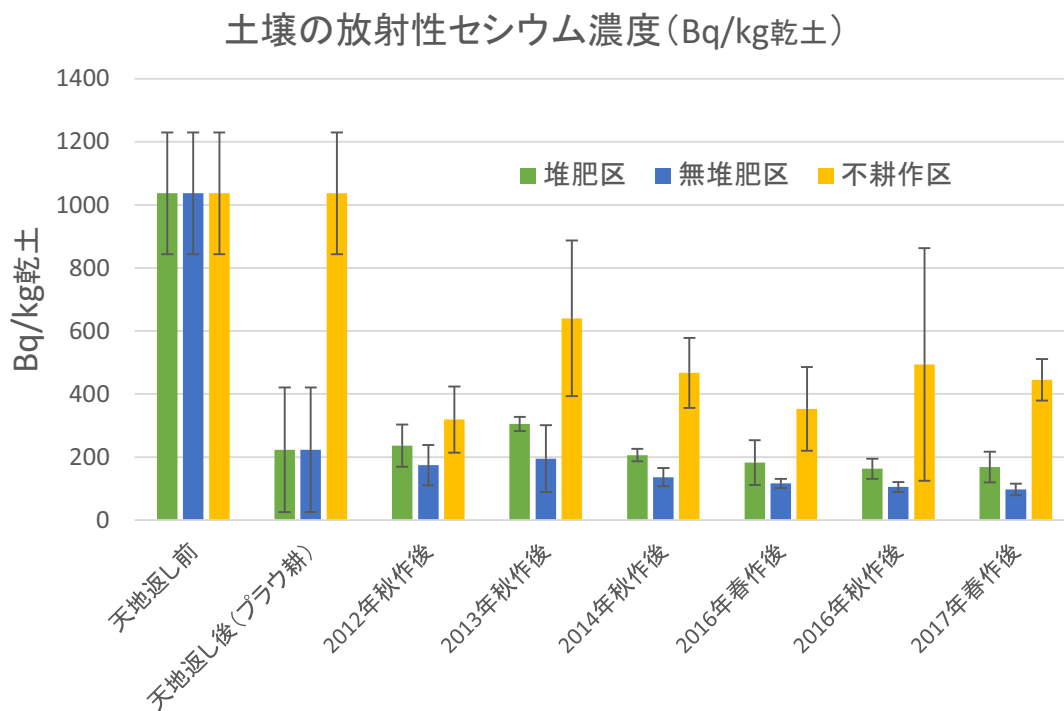


図3 地力回復事業から地力追跡調査事業を通じた土壌の放射性セシウム濃度の推移

表10 地力回復事業から地力追跡調査事業を通じた土壌の放射性セシウム存在量と堆肥からの投入量の試算結果（深さ0～20cm）

測定時期	土壌中の存在量(Bq×10 ⁴ /a)			堆肥施用時期	堆肥施用量(kg/a)	セシウム濃度(Bq/kg現物)	セシウム投入量(Bq×10 ⁴ /a)
	堆肥区	無堆肥区	不耕作区				
2012天地返し前	1452	1452	1452				
天地返し後(プラウ耕)	312	312	1452				
2012年秋作後	330	244	447	2012年春	891	198.0	17.6
2013年秋作後	427	273	896	2013年春	1000	23.5	2.4
2014年秋作後	288	190	654	2014年春	200	27.5	0.6
2015年	栽培を行わない無作付けの状態						
2016年春作後	255	162	495	2016年春	200	6.1	0.1
2016年秋作後	228	147	692	2017年春	200	5.7	0.1
2017年春作後	235	136	623				
天地返し以降2017年春作後までの減少量	77(25%)*	176(56%)*	829(57%)*	堆肥合計	2,491	260.8	20.8

算出条件：ほ場面積1a、土壌深20cm、仮比重0.7、乾土重14t

* 天地返し後(プラウ耕)の存在量から2017年春作後での存在量を差し引いた値で、カッコ内の数値は天地返し後(プラウ耕)の存在量からの減少率(%)を表す。

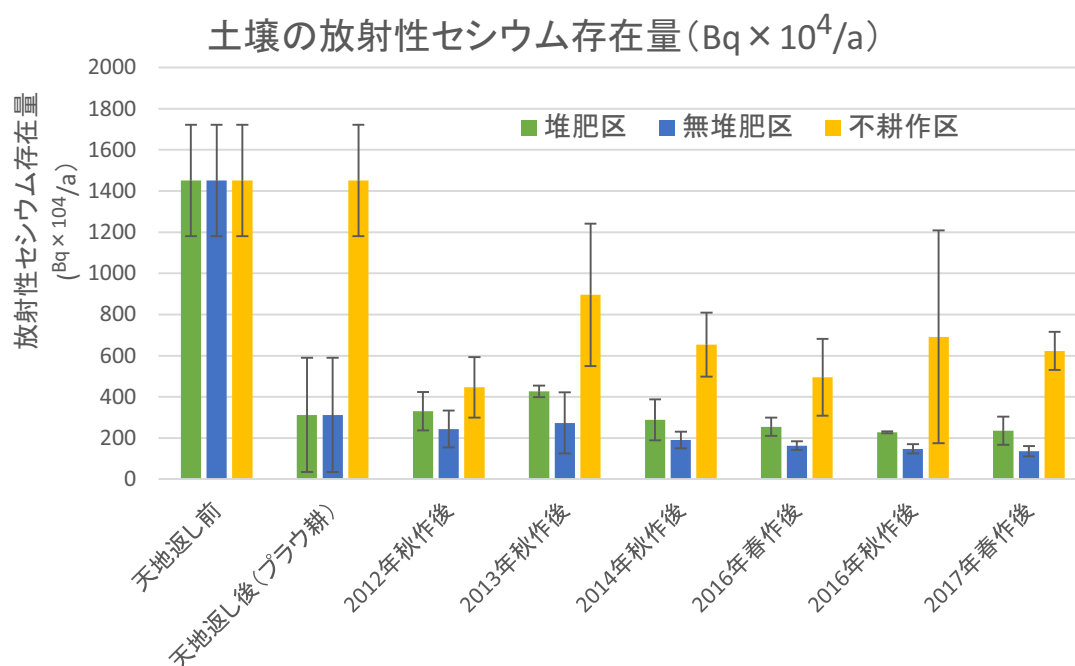


図4 地力回復事業から地力追跡調査事業を通じた土壌の放射性セシウム存在量の推移（算出条件：面積1a、土壌深20cm、仮比重0.7、乾土重14t）

2) 野菜の放射性セシウム濃度について

(1) 地力追跡調査期間における野菜の放射性セシウム濃度について

2016年の作付け野菜11品目の測定結果を表9に、2017年の8品目の結果を表10に示した。2016年の春作野菜ではレタスとシュンギクで検出され、その濃度はレタスの堆肥区が3.2Bq/kg

現物、無堆肥区が1.5Bq、シュンギクの堆肥区が0.9Bq、無堆肥区が1.7Bqであった。秋作野菜ではホウレンソウとコマツナで検出され、その濃度はホウレンソウの無堆肥区が1.0Bq/kg 現物、コマツナの堆肥区が2.7Bq、無堆肥区が2.0Bqであった(表9)。ただし、検出された品目の放射性セシウム濃度は一般食品中の放射性セシウムの新基準値(100Bq/kg 現物、平成24年4月)よりもはるかに低い数値であり、問題とされる値ではなかった。

2017年の春作及び秋作野菜では秋作堆肥区のホウレンソウのみ検出され、その濃度は0.9Bq/kg 現物で、残りの7品目はすべて検出限界以下であった。このように2017年の野菜の放射性セシウム濃度は2016年よりも品目が少なく、かつ濃度も低かった(表8)。

表9 2016年度作付け野菜の放射性セシウム濃度の測定結果

栽培時期	品目	放射性セシウム濃度(Bq/kg現物)*			
		堆肥区	水分率%	無堆肥区	水分率%
2016年 春作	レタス	3.2±0.8	73	1.5±0.4	76
	コマツナ	nd	77	生育不良	-
	シュンギク	0.9±0.1	79	1.7±0.2	81
	ツルムラサキ	nd	67	nd	71
	モロヘイヤ	nd	67	nd	66
2016年 秋作	ホウレンソウ	nd	73	1.0±0.2	72
	コマツナ	2.7±0.5	81	2.0±0.4	84
	ニンジン	nd	50	nd	52
	ダイコン	nd	73	nd	69
	ハクサイ	nd	77	nd	73

*) 測定値±測定誤差表示、ndは検出下限値(0.5)以下、値は収穫日に減衰補正した。

表10 2017年度作付け野菜の放射性セシウム濃度の測定結果

栽培時期	品目	放射性セシウム濃度(Bq/kg現物)*			
		堆肥区	水分率%	無堆肥区	水分率%
2017年 春作	シュンギク	nd	77	nd	72
	ホウレンソウ	nd	62	nd	64
	レタス	nd	75	nd	73
	ズッキーニ	nd	77	nd	72
	モロヘイヤ	nd	65	nd	66
2017年 秋作	ホウレンソウ	0.9±0.3	89	nd	88
	シュンギク	nd	92	nd	89
	ニンジン	nd	88	nd	88

*) 2016年に同じ

野菜の収量について、2016年の結果を表11に、2017年の結果を表12に、同一ほ場での前事業での収量実績と併せて示した。2017年は8月の長雨と日照不足、10月の長雨と低温の影響により2016年に比べて野菜の生育はかなり劣っており、全体として収量もかなり低くなった。同じほ場での収量実績と比べると、モロヘイヤ、ダイコン、ハクサイでは高く、コマツナ、ニンジンでは低く、他の品目ではほぼ同じ収量であった。

表 11 2016 年作付け野菜の収量

栽培時期	品目	収量(現物重kg/10a)		当ほ場での収量実績*	
		堆肥区	無堆肥区	堆肥区	無堆肥区
2016年 春作	レタス	500	170	750	630
	コマツナ	200	62	1,500	1,200
	シュンギク	1,000	1,010	5,800	370
	ツルムラサキ	4,400	3,600	3,900	3,100
	モロヘイヤ	2,200	2,300	1,400	1,300
2016年 秋作	ホウレンソウ	420	77	420	20
	コマツナ	1,700	1,200	2,000	2,800
	ニンジン	1,200	770	1,460	1,430
	ダイコン	4,900	6,800	4,300	3,200
	ハクサイ	4,100	2,500	1,900	1,400

注*) 地力回復事業における栽培実績より引用(2015年3月、文献2)

表 12 2017 年作付け野菜の収量

栽培時期	品目	収量(現物重kg/10a)		当ほ場での収量実績*	
		堆肥区	無堆肥区	堆肥区	無堆肥区
2017年 春作	レタス	1,100	1,500	750	630
	シュンギク	1,200	1,000	5,800	370
	ホウレンソウ	4,300	60	420	20
	ズッキーニ	1,450	3,000	2,300	1,800
	モロヘイヤ	1,500	700	1,400	1,300
2017年 秋作	シュンギク	1,700	1,500	5,800	370
	ホウレンソウ	100	100	420	20
	ニンジン	500	500	1,460	1,430

注*) 地力回復事業における栽培実績より引用(2015年3月、文献2)

(2) 地力回復事業から地力追跡調査事業を通じた野菜の放射性セシウム濃度について

地力回復事業と地力追跡調査事業で共通して栽培された野菜の放射性セシウム濃度を比較した結果を表13に示した。検出された野菜品目の数は地力追跡調査事業が地力回復事業のそれよりも多くなったが、これは分析時における検出下限値を地力追跡調査事業では1Bq/kg、地力回復事業では3Bq/kgと設定したことが原因である。今回の追跡調査事業で得られた野菜の放射性セシウム濃度は地力回復事業の結果と遜色なく、しかも問題とされる数値ではなかった。

表13 地力回復事業と地力追跡調査事業でともに栽培された野菜品目における放射性セシウム濃度の比較

栽培時期	品目	地力追跡調査(2017~2018年)		地力回復事業(2012~2014年)	
		堆肥区	無堆肥区	堆肥区	無堆肥区
春作	レタス	3.2; nd*	1.5; nd*	nd	5.2
	ズッキーニ	nd	nd	nd	nd
	モロヘイヤ	nd	nd	nd	3.8
	ツルムラサキ	nd	nd	nd	nd
秋作	コマツナ	2.7	2.0	nd	nd
	ダイコン	nd	nd	nd	nd
	ハクサイ	nd	nd	nd	nd
	ホウレンソウ	0.9; nd*	1.0; nd*	nd	nd

注) 栽培2年の結果を並列表示 nd:検出下限値以下(追跡調査1Bq/kg生重、地力回復3Bq/kg生重)

3) 土壌の地力要因の推移について

地力要因の土壌成分としてpH、有機物、窒素、可給態リン酸、塩基飽和度、陽イオン交換容量、石灰/苦土比（当量比）、苦土/加里比（当量比）を取り上げ、昨年を引き続きそれらの成分変化を追跡・検討した。

(1) 地力追跡調査事業期間における土壌の地力要因成分の結果について

まず平成2017年度の土壌成分の状況を土壌診断基準と比較検討した。結果を表14に示した。pHは堆肥区、無堆肥区ともに基準範囲の上限を超えており、とくに無堆肥区は7と高かった。その原因として塩基飽和度が高いことが挙げられるが、上層（0～20cm）、下層（20cm～）ともに100%を超えていた。有機物（腐植）、可給態リン酸、CEC、塩基バランスは基準値を満たしていた。

表14 2017年春作跡地土壌の地力要因成分の結果

分析項目	単位	福島県 施肥基準 改良目標	堆肥区		無堆肥区	
			0～20cm	20cm～	0～20cm	20cm～
水分	現土%	6.0～6.5	31	31	22	23
pH(H ₂ O)			6.8	6.9	7	7.2
EC	mS/cm		0.13	0.13	0.10	0.11
有機物(腐植)	乾土%	2以上	7.3a	6.4	2.9b	2.8
窒素	乾土%		0.37a	0.32	0.17b	0.17
C/N比			11	12	10	10
可給態リン酸	mg/100g乾土	20以上	55	67	81	95
石灰飽和度	%	50～70	79	87	63	79
苦土飽和度	%	15～20	19	18	22	21
加里飽和度	%	2～10	12	10	15	14
塩基飽和度	%	70～90	109	115	100	115
CEC	meq/100g乾土	15以上	26a	24	19b	19
石灰/苦土比	当量比	6以下	4	5	3	4
苦土/加里比	当量比	2以上	2	2	1	2
交換性石灰	mg/100g乾土		564	585	330	408
交換性苦土	mg/100g乾土		98	88	82	78
交換性加里	mg/100g乾土		140	110	132	118

土壌採取：平成2017年8月4日

注)a、b：異文字間に5%水準で有意差あり

次に地力回復事業が終了した2014年秋作跡地において土壌の地力が回復したと判断されたので、2014年秋作跡地の土壌成分状態を基準として地力追跡調査期間における地力（土壌深0～20cm）の維持状況を検討した。結果を表15、表16、図4、図5に示した。図4のレーダー図は2014年秋作跡地の成分値を100とした時の比率で表示し、図5は表15と表16の主要な分析項目についてグラフ化した。

2014年秋作跡土と比較して、2017年の堆肥区ではpHとCECはやや低下傾向を、有機物、窒素、可給態リン酸、塩基飽和度は上昇傾向を、ミネラルバランスは改善傾向を示した。一方、無堆肥区ではpHは低下傾向、可給態リン酸とCECは変わらず、有機物、窒素、塩基飽和度は上昇傾向を、ミネラルバランスは改善傾向を示した。

表15 地力追跡調査期間における土壌成分の推移（堆肥区、深さ0～20cm）

項目	単位	福島県土壌改良目標値	堆肥区				
			2014秋	2016開始	2016春	2016秋	2017春
pH	H2O	6.0～6.5	7.0	7.0	6.6	6.8	6.8
有機物(腐植)窒素	乾土%	2以上	5.9a	8.0a	5.8a	7.6a	7.3a
			0.33a	0.35a	0.29a	0.37a	0.37a
可給態リン酸	mg/100g乾土	20以上	51	43	41	47	55
石灰飽和度	%	50～70	64	74	59	68	79
苦土飽和度		15～20	8	9	15	14	19
加里飽和度		2～10	9	8	7	9	12
塩基飽和度		70～90	82	90	81	92	109
CEC	meq/100g乾土	15以上	32a	30a	31a	27a	26a
石灰/苦土比	当量比	6以下	8	9	4	5	4
苦土/加里比		2以上	1	1	2	2	2
交換性石灰	mg/100g乾土		655	614	512	517	564
交換性苦土			59	52	93	78	98
交換性加里			160	106	102	120	140

注1) 2014秋; 2014年秋作跡土、2016開始; 2016年試験開始前、2016春; 2016年春作跡土

2016秋; 2016年秋作跡土、2017春; 2017年春作跡土

注2) 2014年秋は地力回復事業、2015年は無作付け、2016年開始・春・秋及び2017年春は地力追跡調査事業

表16 地力追跡調査期間における土壌成分の推移（無堆肥区、深さ0～20cm）

項目	単位	福島県土壌改良目標値	無堆肥区				
			2014秋	2016開始	2016春	2016秋	2017春
pH	H2O	6.0～6.5	7.2	7.4	6.9	7.1	7.0
有機物(腐植)窒素	乾土%	2以上	1.4a	2.6a	2.4a	2.9a	2.9a
			0.12a	0.17a	0.14a	0.17a	0.17a
可給態リン酸	mg/100g乾土	20以上	78	84	77	67	81
石灰飽和度	%	50～70	64	77	61	59	63
苦土飽和度		15～20	9	13	23	23	22
加里飽和度		2～10	12	12	9	14	15
塩基飽和度		70～90	85	102	93	96	100
CEC	meq/100g乾土	15以上	20a	18a	23a	18a	19a
石灰/苦土比	当量比	6以下	7	6	3	3	3
苦土/加里比		2以上	1	1	3	2	1
交換性石灰	mg/100g乾土		358	394	395	296	330
交換性苦土			38	45	105	81	82
交換性加里			112	100	100	116	132

注1)、注2)は堆肥区と同じ

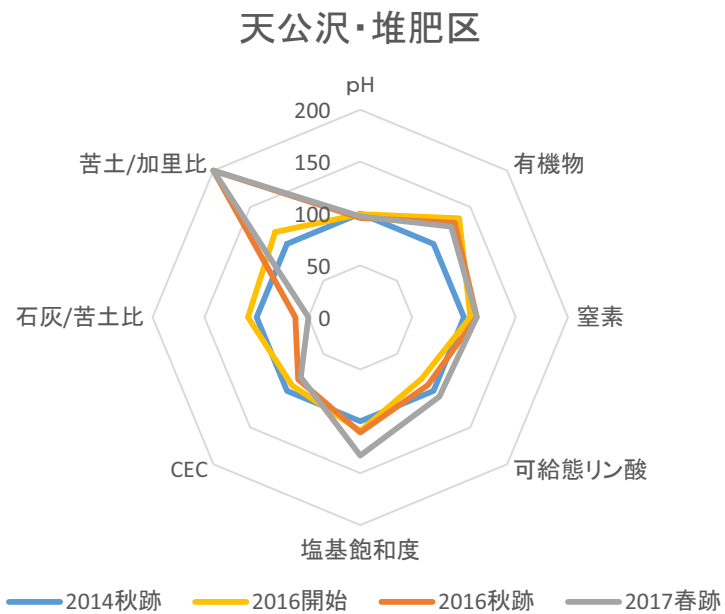


図5-1 地力追跡調査期間における土壌の地力要因成分の変化（堆肥区）
注）地力が回復した2014年秋作跡土の成分値を100としたときの比率で表示

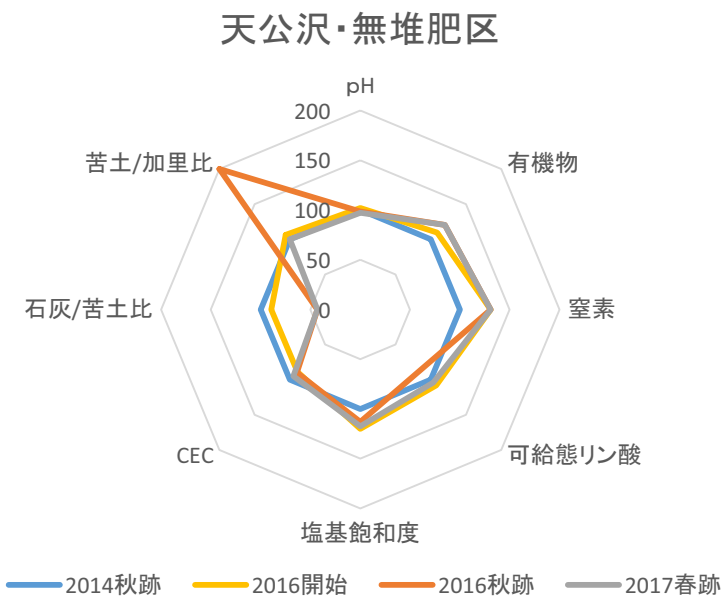


図5-2 地力追跡調査における土壌の地力要因成分の変化（無堆肥区）
注）地力が回復した2014年秋作跡土の成分値を100としたときの比率で表示

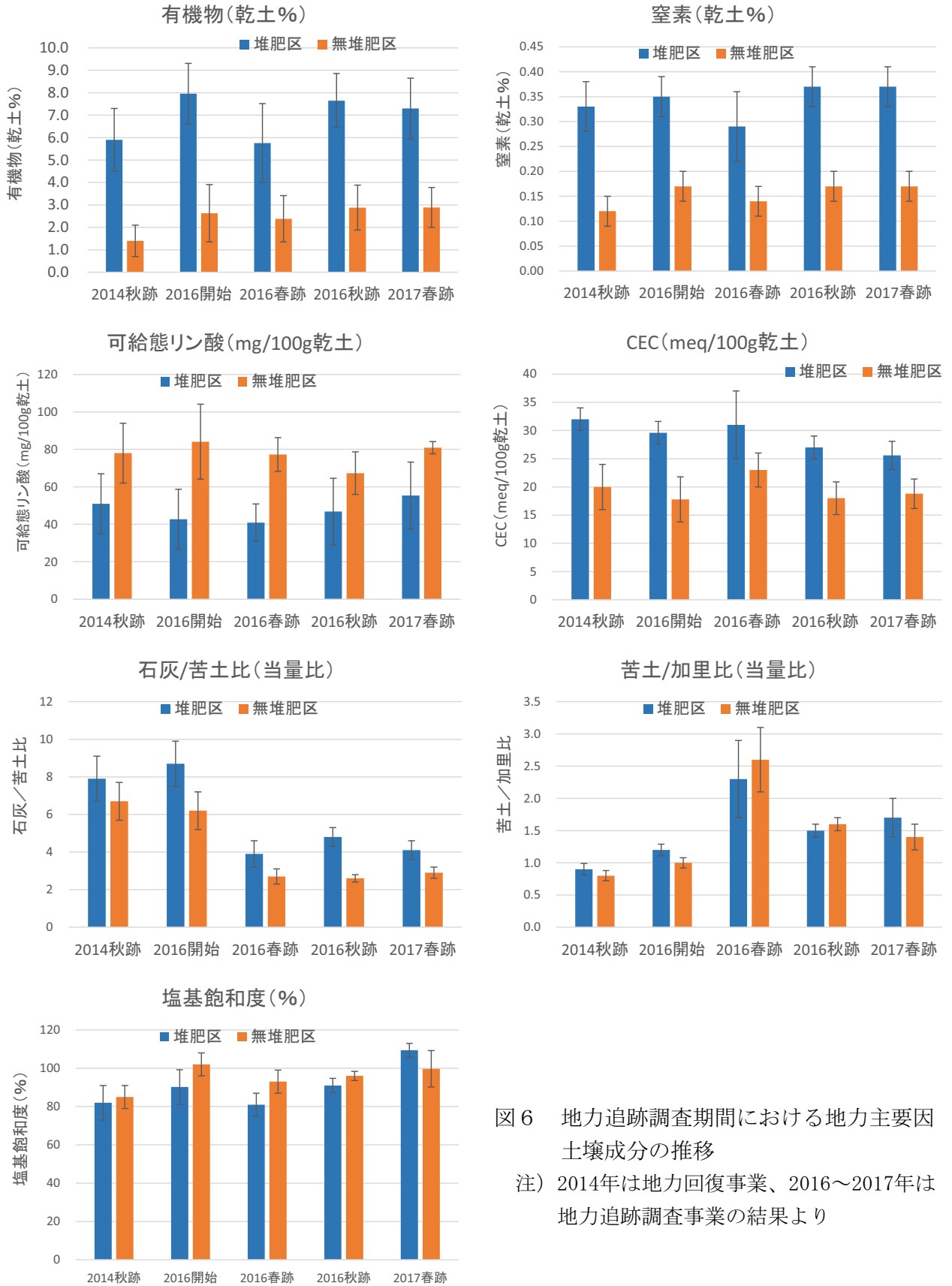


図6 地力追跡調査期間における地力主要因
土壌成分の推移
注) 2014年は地力回復事業、2016～2017年は
地力追跡調査事業の結果より

(2) 地力回復事業から地力追跡調査事業を通した土壌成分の推移について（土壌深0～20cm）

2012年から2017年に至る土壌成分の推移を表17、図7に示した。その中でとくに有機物、窒素、CECの推移について着目した。有機物は堆肥区が5.5～7.6%の範囲で推移し、天地返し後経年的に上昇傾向を、窒素も0.29～0.37%で推移し、有機物と同様に上昇傾向を示した。CECは21～36mg当量/100g乾土で推移し、2014年秋作までは上昇したがそれ以降は低下傾向で推移した。一方、無堆肥区では有機物も窒素も微増で推移し、CECは堆肥区と同様に26年秋作までは上昇したがそれ以降は低下傾向で推移した。

このように堆肥の短期間での多量施用により回復した地力状態は、地力追跡調査事業期間における堆肥の適正量の連用と土壌診断に基づく土壌管理により維持されていることが、加えて堆肥の多量施用に伴うミネラルバランス悪化の弊害も、その後の堆肥の適正量と土壌分析に基づく施肥管理により解消されることが追跡調査の結果から検証された。

表17 地力回復事業から地力追跡調査事業を通した土壌成分の推移（深さ0～20cm）

項目	単位	堆肥区						無堆肥区				
		2012開始	2012秋	2013秋	2014秋	2016秋	2017春	2012秋	2013秋	2014秋	2016秋	2017春
pH	H ₂ O	6.9	6.9	7.2	7.0	6.8	6.8	7.4	7.6	7.2	7.1	7.0
有機物(腐植)	乾土%	3.4	6.5	5.5	5.9	7.6	7.3	2.0	1.9	1.4	2.9	2.9
窒素		0.18	0.29	0.31	0.33	0.37	0.37	0.13	0.15	0.12	0.17	0.17
可給態リン酸	mg/100g乾土	58	66	51	51	47	55	80	93	78	67	81
石灰飽和度	%	50	42	112	64	68	79	54	53	64	59	63
苦土飽和度		8	6	8	8	14	19	10	8	9	23	22
加里飽和度		8	6	17	9	9	12	14	20	12	14	15
塩基飽和度		65	54	137	82	92	109	79	81	85	96	100
CEC	meq/100g乾土	15	21	29	32	27	26	11	23	20	18	19
石灰/苦土比	当量比	6	7	16	8	5	4	6	6	7	3	3
苦土/加里比		1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1

注1) 2012開始; 2012年天地返し後、2012秋; 2012年秋作跡土、2013秋; 2013年秋作跡土、2014秋; 2014年秋作跡土、

2016秋; 2016年秋作跡土、2017春; 2017年春作跡土

注2) 2012開始～2014秋は地力回復事業、2015年は無作付け、2016秋～2017春は地力追跡調査事業での結果

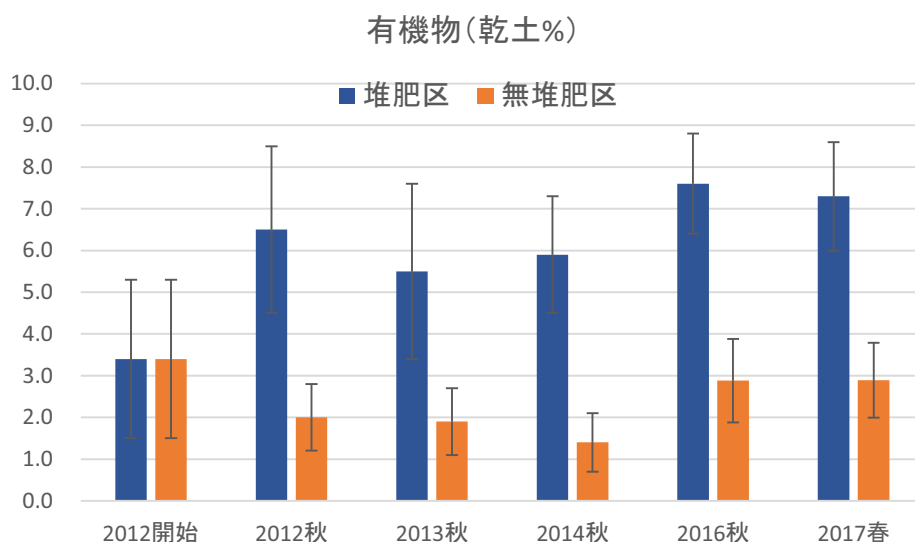


図7-1 地力回復事業から地力追跡調査事業を通した土壌有機物の推移（深さ0～20cm）

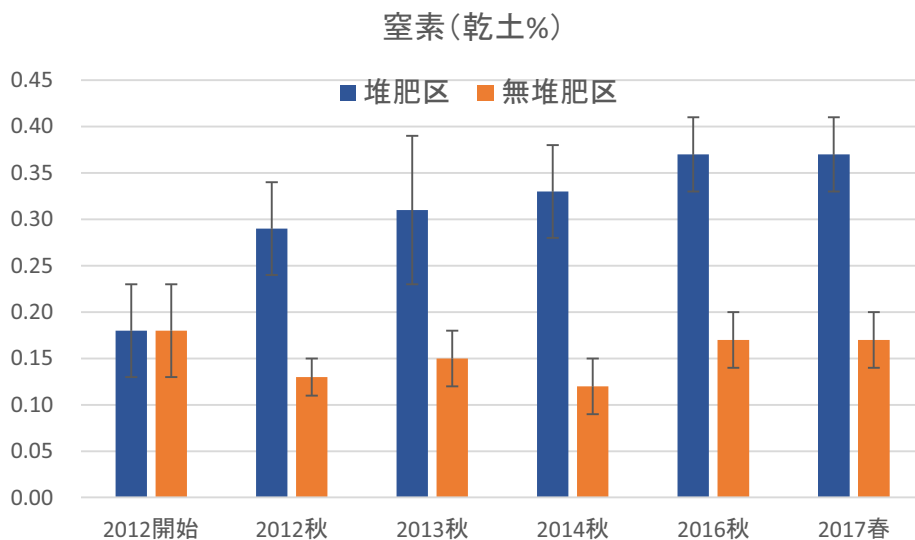


図7-2 地力回復事業から地力追跡調査事業を通じた土壌窒素の推移 (深さ0~20cm)

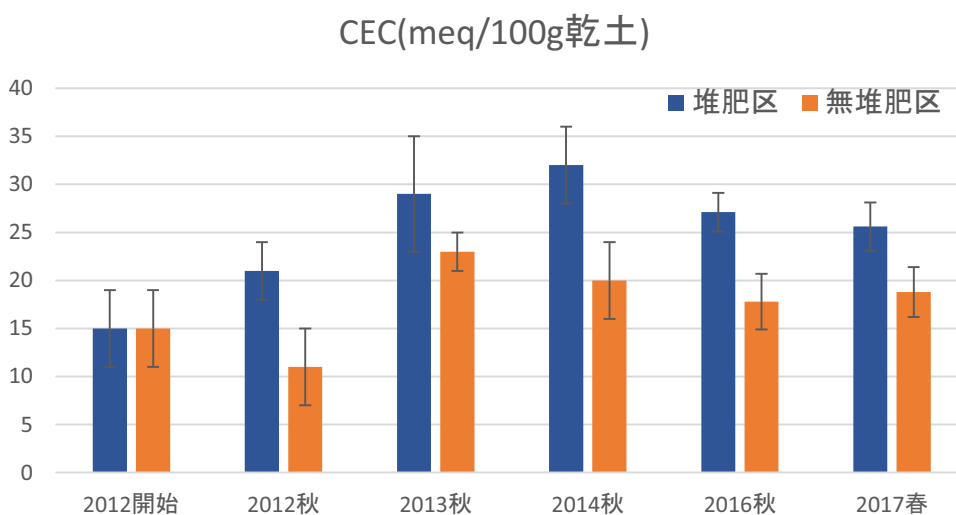


図7-3 地力回復事業から地力追跡調査事業を通じた土壌CECの推移 (深さ0~20cm)

4. 引用文献

- 1) 畜産環境整備機構 2015 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 pp.1-138
- 2) 畜産環境整備機構 2015 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 pp.1-24 (パンフレット)

第1章

天地返し畑地の地力回復

技術持続性調査

2. 天地返し飼料畑の地力回復

技術持続性調査

天地返し飼料畑の地力回復技術の持続性調査

担 当 者：國分洋一、横田和子、中村フチ子、菅野 登、松澤 保
(福島県農業総合センター畜産研究所)

【要約】

除染対策として天地返しを行った飼料畑の地力回復を図るために、2年間にわたり堆肥の連年施用による飼料作物(飼料用トウモロコシ(以下「トウモロコシ」)ーイタリアンライグラストウモロコシ:2年3作の輪作)の栽培試験を行った。

試験では堆肥連用区(トウモロコシ作付け時 5,000kg/10a、イタリアンライグラス作付け時 4,000kg/10a 施用)、堆肥中断区及び化学肥料区を設け、2年にわたって土壌の放射性セシウム(以下セシウム)濃度の推移、飼料作物のセシウム濃度への影響及び土壌の地力維持状況を調べた。

飼料作物の収量は、期間を通じて堆肥連用区が高い傾向にあったが、区間に有意差は認められなかった。

飼料作物中のセシウム濃度は、期間全般にわたり各区とも暫定許容値(水分80%換算で100Bq/kg以下)を大きく下回ったが、平成29(2017)年作付けの3作目のトウモロコシでは、堆肥連用区が他区に比べ有意に低い値となった。

また、ミネラル濃度(K, Mg, Ca)は、開始初年度1作目のトウモロコシでは区間差はなかったが、2作目のイタリアンライグラス及び3作目のトウモロコシでは、加里施用量(堆肥及び化学肥料中に含まれる加里成分)の多い堆肥連用区、化学肥料区、堆肥中断区の順に、カリウム濃度およびK/(Ca+Mg)当量比は高かった。

2作目イタリアンライグラス収穫直後の土壌成分について、試験開始前と比較した結果、堆肥連用区において炭素、有機物、交換性加里及び加里飽和度が有意に高まった。

1. 目的

東日本大震災被災地において、堆肥施用に対する不安が解消されず未だに堆肥利用が進んでいないことからその促進を図るため、天地返しを行った畑地への堆肥施用による地力回復及びセシウム移行抑制効果の持続性について追跡調査を行い、効果の再確認及び実証を行うことにより被災地における堆肥利用の促進を図る。

これに先だって、天地返しによる除染処理を行った飼料畑の堆肥施用による地力回復、セシウム濃度の推移及び飼料作物へのセシウム移行抑制効果についての調査を、平成24年度(2012)から平成26年度(2014)まで福島県農業総合センター畜産研究所で実施したが、その後の飼料畑の地力回復の持続性及びセシウムの推移について同一ほ場において引き続き追跡調査を実施する必要がある。

そこで除染対策として実施した天地返し後の堆肥施用で地力が回復した飼料畑について、その後の地力維持状況、土壌中のセシウム動向及び飼料作物への移行抑制効果について追跡調査を実施する。

2. 方法

1) 試験年次

平成28(2016)年と29(2017)年の2カ年にわたり、以下に示す飼料作物の栽培試験を実施し、土壌および飼料作物のセシウム、土壌の地力維持状況について追跡調査を行った。

2) 試験場所

福島県農業総合センター畜産研究所（福島市）内 10 号ほ場（黒ボク土）。平成 24（2012）～26（2014）年度に牛ふん堆肥の多量施用による地力回復試験を実施したほ場で、平成 26（2014）年トウモロコシの栽培終了（地力回復事業）から平成 28（2016）年の試験開始（地力追跡事業）までの 1 年間無作付けの状態にあった。

平成 28（2016）年 5 月からトウモロコシ栽培を再開し、平成 29（2017）年まで栽培試験を実施した。なお、土壌タイプは黒ボク土である。

3) 試験区と施肥設計および施肥来歴

試験区は「堆肥連用区」、「堆肥中断区」及び「化学肥料区」の 3 区である（図 1）。1 区面積は 3×3m の 9m²、1 処理当たり 3 反復とした。

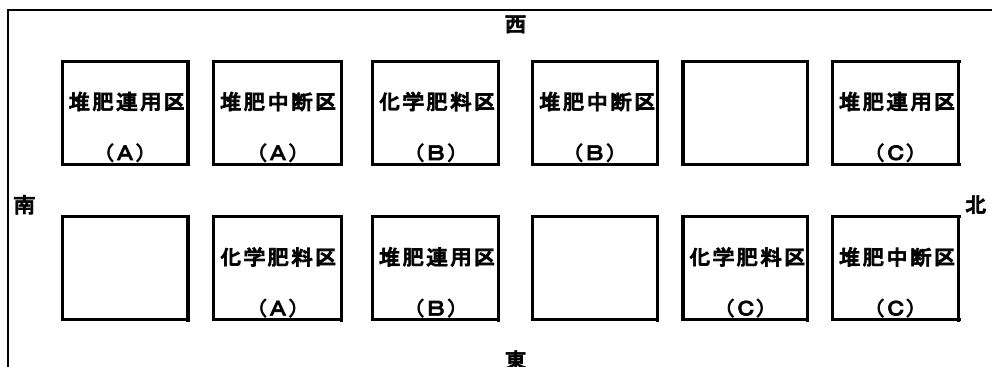
堆肥連用区は、前事業（地力回復事業）の堆肥+ゼオライト 50（ゼオライトを 50kg/10a 散布）区、堆肥中断区は堆肥区を転用、化学肥料区は引き継ぎ今回の試験区とした。

(1) 区の来歴

前事業における栽培及び施肥履歴を表 1 に示した。各区とも平成 24（2012）年から 26（2014）年までの間トウモロコシ-イタリアンライグラスの輪作（トウモロコシ 3 作、イタリアンライグラス 2 作計 5 作）を行った。その間、堆肥連用区は、10a 当たり堆肥 5,000kg、ゼオライト 50kg を、堆肥中断区は堆肥 5,000kg をそれぞれ作付け前に施用した。なお、化学肥料区は無施用とした。

また、化学肥料の施用量について、1, 2 作は各区とも同量を、3, 4, 5 作目では堆肥連用区及び堆肥中断区は化学肥料による加里の施用は行わず、化学肥料区は堆肥中の加里成分と同等の加里を化学肥料により施用した。

図 1 試験区の配置



(2) 施肥設計

平成 28（2016）年 5 月 16 日播種のトウモロコシ（地力回復事業から通算 6 作目）、同年 9 月 30 日播種のイタリアンライグラス（同 7 作目）及び平成 29（2017）年 5 月 22 日に播種を行ったトウモロコシ（同 8 作目）の施肥設計を表 2 に示した。

堆肥は、所内産の牛ふん堆肥で、副資材として稲わらを用い調製したものである。堆肥中セシウム濃度は 6.9～17.2Bq/現物 kg であった。他の成分分析結果は表 3 に示した。

堆肥の施用は堆肥連用区のみとし、トウモロコシは 5,000kg/10a、イタリアンライグラスは 4,000kg/10a 施用した。

化学肥料について、堆肥連用区及び堆肥中断区は化学肥料による加里施用は行わなかった。また、各区の窒素、リン酸及び化学肥料区の加里施用量は福島県施肥基準に従った。なお、イタリアンライグラスについては、各区、早春に窒素-リン酸-加里=8-6-3kg/10a を追肥した。

また、苦土石灰を 100kg/10a、ようりんを 80kg/10a 堆肥施用時または耕起前に散布した。

表 1 各区の栽培及び施肥来歴（1～8作）

	栽培時期	堆肥連用区		堆肥中断区		化学肥料区	
		堆肥	施肥量(基肥)	堆肥	施肥量(基肥)	堆肥	施肥量(基肥)
1	2012年(ト)	5000	15-15-10	5000	15-15-10	0	15-15-10
2	2012年(イ)	5000	7-15-15	5000	7-15-15	0	7-15-15
3	2013年(ト)	5000	15-10-0	5000	15-10-0	0	15-10-51.8
4	2013年(イ)	5000	7-15-0	5000	7-15-0	0	7-15-51.2
5	2014年(ト)	5000	15-10-0	5000	15-10-0	0	15-15-64.1
6	2016年(ト)	5000	15-10-0	0	15-10-0	0	15-10-10
7	2016年(イ)	4000	7-15-0	0	7-15-0	0	7-15-7
8	2017年(ト)	5000	15-10-0	0	15-10-0	0	15-10-10
計		39000		25000		0	

1) 単位: kg/10a

2) 栽培時期欄:(ト)はトウモロコシ、(イ)はイタリアンライグラスを表す。

3) 堆肥連用区は5作目までゼオライトを50kg/10aずつ合計250kg/10a施用した。

4) 2, 4及び7作目のイタリアンライグラスは、早春施肥(8-6-3kg/10a)を実施した。

表 2 試験区の施肥設計

試験区	施用量	H28	H28~29	H29
		6作目 飼料用トウモロコシ	7作目 イタリアンライグラス	8作目 飼料用トウモロコシ
堆肥連用区	堆肥	5000	4,000	5000
	化学肥料	15-10-0	7-15-0	15-10-0
堆肥中断区	堆肥	0	0	0
	化学肥料	15-10-0	7-15-0	15-10-0
化学肥料区	堆肥	0	0	0
	化学肥料	15-10-10	7-15-7	15-10-10

1) 単位: kg/10a

2) 化学肥料: 窒素-リン酸-加里の順に標記。また、それぞれの施用量は福島県施肥基準に準じた。

3) イタリアンライグラスは4/6施肥実施(8-6-3)。

4) 栽培方法

トウモロコシ(6、8作目)の供試品種は、LG3490(商品名: スノーデント 108 早生種 RM108 日(カクグ値))を用いた。

栽培方法は、堆肥(堆肥連用区のみ)、苦土石灰及びようりんを散布後ロータリーによる耕うん、その後、化学肥料散布、更に耕うん後、播種・鎮圧を行った。播種は2粒まきとし、発芽後間引き1本立てとした。播種密度は7,018本/10a(畝間75cm×株間19cm)とした。

イタリアンライグラス(7作目)の供試品種はワアセアオバ(早生種)を用いた。

栽培は、飼料用トウモロコシの収穫(9月14日刈取)後、堆肥、苦土石灰及びようりんを散布後ロータリーにより耕うんを行った後、9月30日に施肥、播種及び鎮圧作業を行った。なお、播種量は3kg/10a、散播とした。

なお、除草剤散布等その他肥培管理については当所の慣行に従って行った。

表3 栽培試験に供した堆肥の成分分析結果

項目	単位	6作目トウモロコシ	7作目イタリアンライグラス	8作目トウモロコシ
施用時期		2016年5月	2016年8月	2017年5月
原料		牛ふん	牛ふん	牛ふん
副資材		稲わら	稲わら	稲わら
水分	%現物	74.6	73.0	72.9
灰分	%乾物	24.0	32.1	35.5
pH		9.6	9.6	8.3
EC	mS/cm	8.0	6.7	9.4
窒素	%乾物	2.5	2.4	2.8
炭素	%乾物	39.8	34.7	34.2
C/N比		15.9	14.3	12.2
リン酸全量	%乾物	2.0	2.5	2.7
加里全量	%乾物	5.6	7.5	5.0
石灰全量	%乾物	2.4	4.8	3.7
苦土全量	%乾物	1.3	2.0	1.7
鉄全量	mg/kg乾物	3,900	9,110	7,400
マンガン全量	mg/kg乾物	340	550	540
銅全量	mg/kg乾物	35(9)*	33(9)*	48(13)*
亜鉛全量	mg/kg乾物	189(48)*	237(64)*	203(55)*
発芽率	%	96	100	100
酸素消費量	μg/g/min	2.2	1.7	1.5
ADF	%乾物	—	—	—
放射性セシウム	Bq/kg現物	6.9±4.6	16.1±1.2	17.2±6.5
有効態窒素率	%全窒素	13.0**	13.0**	13.0**

* カッコ内の数値は現物kg当たりの数値

**たい肥と土壌養分分析に基づく調整施肥設計の手引き(平成22年3月 畜産環境整備機構)より引用

5) 分析試料の採取方法及び調整法

(1) 土壌試料

土壌の採取は、6作目トウモロコシ播種前(平成28(2016)年4月18日)、7作目イタリアンライグラス播種前(同年9月15日)、及び7作目がイタリアンライグラス収穫後(平成29(2017)年5月12日)の計3回行った。それぞれサンプリング点数は、1試験区当たり4点(深さ2レベル:0~15cm、15~30cm、反復2)×9試験区で合計36点とした。

(2) トウモロコシ試料

収量調査後、セシウム測定用のサンプルは茎葉と子実を混合し粉碎、ミネラル等の分析用サン

プルは、茎葉と子実を分けて粉砕し分析に供した。

サンプル点数は放射性セシウム分析用 9 (3 処理×3 反復) 点、ミネラル等の分析用 18 点 (茎葉・子実×3 処理×3 反復) とした。

(3) イタリアンライグラス試料

刈り取り後、裁断・通風乾燥を行い、粉砕して分析に供した。サンプル点数は 9 点 (3 処理×3 反復) とした。

6) 調査項目

(1) 土壌

分析項目は水分率、pH、EC、全 N、全 C、有機物 (腐植)、C/N 比、可給態リン酸 (トルオーグリン酸)、交換性塩基、陽イオン交換容量 (CEC) 及びセシウムとした。

(2) トウモロコシ及びイタリアンライグラス

セシウム、ミネラル成分 (Ca、Mg、K) 及び硝酸態窒素とした。

セシウムの測定は外部の分析会社に依頼し、ゲルマニウム半導体検出器により測定した。分析に当たって、検出下限値は 1Bq/kg に設定した。また、放射性セシウム濃度は土壌・飼料作物ともに採取日に減衰補正した。

3. 結果と考察

1) 土壌のセシウム濃度について

表 4 及び図 2 に全事業の地力回復事業開始の平成 24 (2012) 年から平成 29 (2017) 年 7 作目イタリアンライグラス跡までの 5 年間にわたる土壌中セシウム濃度の推移を示した。プラウによる天地返しにより 1,035 から 294Bq/kg 乾土 (土壌深 0~15cm) まで低下したが、その後現在に至るまで 300Bq/kg 乾土前後で推移している。この間、年次間の変動が大きく経年的に低下しているかどうかは確認できなかった。また、区間差についても特定の傾向は認められなかった。

表 4 飼料畑ほ場における土壌中セシウムの推移 (単位 : Bq/kg 乾土、深さ 0~15cm)

採取日	測定時期	堆肥連用区	堆肥中断区	化学肥料区
2012/5/	天地返し前	1,035±52		
2012/6/	天地返し後 (プラウ耕)	294 ± 15		
2012/9/	1作目トウモロコシ跡	248 ± 12	363 ± 18	297 ± 15
2013/5/	2作目イタリアン跡	363 ± 18	324 ± 16	242 ± 12
2013/9/	3作目トウモロコシ跡	340 ± 17	246 ± 12	449 ± 22
2014/5/	4作目イタリアン跡	275 ± 14	430 ± 22	284 ± 14
2014/9/	5作目トウモロコシ跡	161 ± 8	591 ± 30	330 ± 17
2016/9/15	6作目トウモロコシ跡	279 ± 49	283 ± 47	247 ± 76
2017/5/12	7作目イタリアン跡	293 ± 81	254 ± 23	300 ± 31

注)放射性セシウム (セシウム134と137の合計値) : 平均値±標準偏差 (ゲルマニウム半導体検出器による測定値)

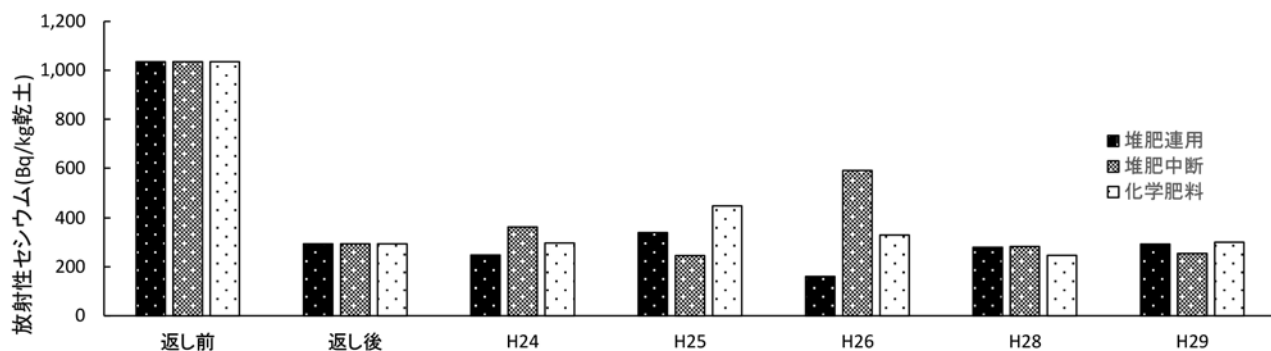


図2 土壤中セシウム濃度の推移 (土壌深 0~15cm)

表5に土壤中セシウムと堆肥からの投入量の試算結果を示した。1作目トウモロコシから3作目トウモロコシまで、セシウム濃度(現物中)が291~962Bq/kgの堆肥を10a当たり5,000kg投入した結果、試験区(9m²)内の0~15cm深における堆肥由来のセシウム濃度は13.9~45.8Bq/kg乾土と試算され、土壤中の割合は5~13%であった。一方、追跡調査を行った6作目トウモロコシ(2016年)及び7作目イタリアンライグラス(2016~2017年)に投入された堆肥中セシウム濃度は7、19Bq/現物kg、土壤中に占める堆肥由来のセシウムの割合は0.1~0.3%と極めて低い値であったことから、堆肥から作物への影響は僅少と考えられた。

表5 土壤中のセシウム存在量と堆肥からの投入量の試算結果

測定時期	土壤中の存在量(Bq/kg乾土)			堆肥による投入量 (Bq/kg乾土)	堆肥セシウム濃度 (Bq/現物kg)
	化学肥料区	堆肥中断区	堆肥連用区	堆肥連用区	
2012天地返し前	1035	1035	1035		
天地返し後(ブラウ耕)	294	294	294		
1作目トウモロコシ後	297	363	248	13.9	291
2作目イタリアン跡	242	324	363	17.6	370
3作目トウモロコシ後	449	246	340	45.8	962
4作目イタリアン跡	284	430	275	1.0	22
5作目トウモロコシ跡	330	591	161	1.3	27
6作目トウモロコシ跡	247	283	279	0.3	7
7作目イタリアン跡	300	254	293	0.8	19
天地返し以降7作目イタリアン後までの減少量	-6(-2.0%)	40(13.6%)	1(0.3%)	合計 80.7	

算出条件: 処理区面積9m²、土壌深15cm、仮比重0.7、乾土重0.945t

* カッコ内の数値は、天地返し後の存在量に対する5作目トウモロコシ跡での減少率(%)を示す。

2) 飼料作物の収量性について

トウモロコシの収穫は黄熟期(6作目:平成28年9月14日、8作目:平成29年9月11日)に行った。乾物収量は2作とも堆肥連用区>化学肥料区>堆肥中断区の傾向にあったが有意差は認められなかった。堆肥連用区は他区に比較して10a当たり5,000kg、窒素成分で30~40kg多く投入されたが乾物収量には反映されなかった。(表6-1)

7 作目のイタリアンライグラスの越冬後の生育状況については区間差がなく、出穂時期もほぼ同時期であった(平成 29(2017)年 5 月 8 日)。また、乾物収量に差は認められず、10a 当たり 700kg 程度の乾物収量が得られた(表 6-2)。

以上のことから、今回の試験からは堆肥施用が収量に及ぼす効果については確認できなかった。

表 6-1 トウモロコシの収量(6、8 作目) (乾物 kg/10a)

区	雌穂	茎葉	計	
トウモロコシ (6作目)	堆肥連用	1244 ± 74	905 ± 22	2149 ± 96
	堆肥中断	1126 ± 84	847 ± 85	1974 ± 169
	化学肥料	1183 ± 63	902 ± 51	2085 ± 57
トウモロコシ (8作目)	堆肥連用	988 ± 83	868 ± 80	1,855 ± 143
	堆肥中断	978 ± 28	822 ± 77	1,800 ± 94
	化学肥料	936 ± 84	878 ± 128	1,815 ± 177

注)区間に有意差なし

(平均値±標準偏差)

表 6-2 イタリアンライグラスの収量(7 作目) (乾物 kg/10a)

区	イタリアンライグラス	その他	計	
イタリアンライグラス (7作目)	堆肥連用	740 ± 153	68 ± 22	808 ± 175
	堆肥中断	735 ± 39	21 ± 17	756 ± 54
	化学肥料	662 ± 59	36 ± 17	698 ± 67

注)区間に有意差なし

(平均値±標準偏差)

3) 飼料作物中のセシウム濃度について

表 7 及び図 3 に 6 から 8 作までの作物中セシウム濃度(水分 80%換算値)を示した。

6 作目のトウモロコシ及び 7 作目イタリアンライグラスでは堆肥連用区が低い傾向にあったものの区間差は認められなかったが、8 作目のトウモロコシでは堆肥連用区<化学肥料区<堆肥中断区と堆肥連用区が有意に低い値となった。

作物に対するセシウム吸収抑制対策として、加里施用により土壌の交換性加里を 30~40mg/100g 乾土程度に保つことが望ましいとされている。6 作から 8 作にかけての交換性加里含量の推移を見ると、加里の供給がない堆肥中断区及び加里施用をトウモロコシ 10kg/10a、イタリアンライグラス 7kg/10a とした化学肥料区は減少傾向にあったが、堆肥連用区は増加しており、8 作目トウモロコシ作付け前の値は 60mg/100g 乾土と最も高く、次いで化学肥料区、堆肥中断区の順となっていたことから、堆肥連用区のセシウム濃度の低下は交換性加里含量の増加を反映したものと推察された(図 4)。このことから、堆肥は交換性加里の供給源としてセシウムの吸収抑制効果が期待できるものと考えられた。

表7 飼料作物(6~8作)中放射性セシウム、Ca、Mg、K、P、K/(Ca+Mg)当量比、NO₃-N値

試験区	放射性Cs Bq/kg	Ca		Mg		K		P		K/Ca+Mg当量比		NO ₃ -N					
		茎葉	雌穂	茎葉	雌穂	茎葉	雌穂	茎葉	雌穂	茎葉	雌穂	茎葉					
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%					
6作目 堆肥連用	0.23	0.26	0.01	0.13	0.07	1.70	0.53	b	0.08	0.26	1.87	2.27	0.018				
(トウモロコシ) 堆肥中断	0.38	0.24	0.01	0.12	0.07	1.42	0.53	b	0.09	0.26	1.67	2.07	0.008				
(2016年) 化学肥料	0.31	0.27	0.01	0.14	0.07	1.74	0.57	a	0.09	0.27	1.80	2.32	—				
7作目 堆肥連用	0.80	0.38		0.17		3.21		a		0.34		2.52	a	0.007			
(イタリアンライグ) 堆肥中断	1.10	0.37		0.17		2.61		b		0.32		2.14	b	0.003			
(2016年) 化学肥料	0.70	0.40		0.17		2.96		a		0.34		2.26	b	0.004			
8作目 堆肥連用	0.50	c	0.26	0.03	0.15	b	0.09	2.74	a	0.64	0.09	b	0.27	2.79	a	1.92	0.097
(トウモロコシ) 堆肥中断	1.26	a	0.28	0.03	0.19	a	0.09	1.63	c	0.61	0.14	a	0.28	1.39	c	1.75	0.006
(2017年) 化学肥料	0.88	b	0.26	0.03	0.17	b	0.09	2.14	b	0.62	0.10	b	0.27	2.06	b	1.86	0.037

1) 縦列異文字間に5%有意差有り。
2) 放射性Csは80%水分換算(茎葉+雌穂)、他は乾物中割合。

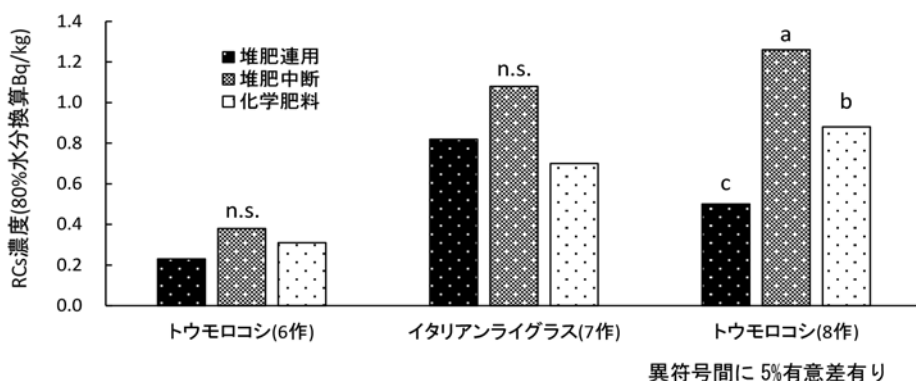


図3 トウモロコシ(6, 8作)及びイタリアンライグラス(8作)のセシウム(RCs)濃度

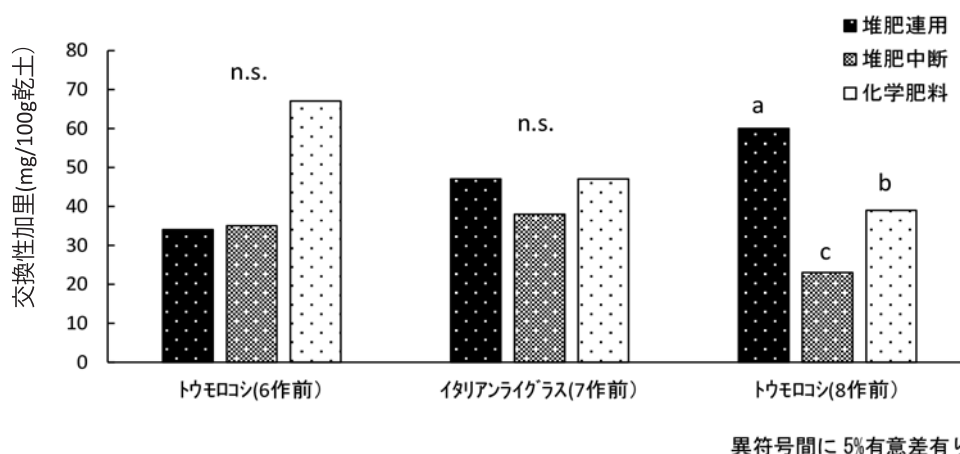


図4 トウモロコシ(6, 8作)及びイタリアンライグラス(8作)作付け前の交換性加里含量

先の地力回復事業で得られたトウモロコシ中セシウム濃度(1, 3, 5 作目)の推移と今回の追跡調査で得られたトウモロコシ(6, 8 作目)のデータを合わせて図5に、それぞれの作付け跡値の土壤中交換性加里含量の推移を図6に示した。

先の地力回復事業の実施期間(1, 3, 5 作)中 80%水分換算で約 2Bq/kg から 0.5Bq/kg まで約 1/4 まで低下した。この間、堆肥連用区(堆肥+ゼオライト散布)、堆肥中断区(この期間は堆肥のみ連用)及び化学肥料区ともに 40mg/100g 乾土以上で推移した。その後 1 年空けて実施した今回の追跡調査事業では 6 作目のトウモロコシでは各区ともに 0.5Bq/kg 以下であったが、8 作目トウモロコシでは、堆肥連用区は 0.5Bq/kg 程度と大きな変化はなかったが、加里施用を行わない堆肥中断区は 1.3Bq/kg、加里成分で 10a 当たり 10kg 施用した化学肥料区は 0.9Bq/kg と前作より高まった。このことは、加里施用の減少はトウモロコシ中のセシウム濃度を再び高めるリスク要因となることを示すものと考えられる。

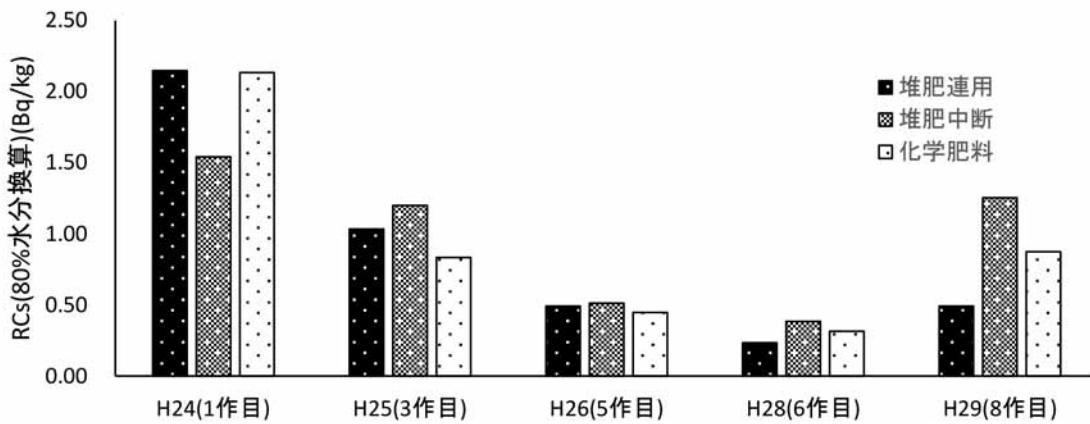


図5 トウモロコシ中セシウム (RCs) 濃度 (80%水分換算) の推移

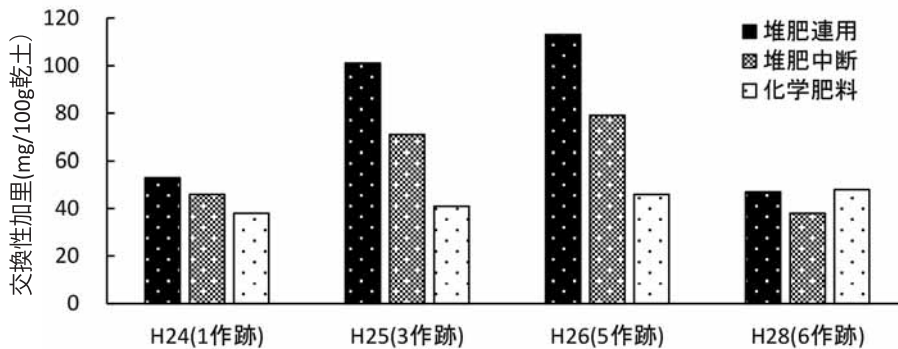


図6 トウモロコシ跡地の土壤中交換性加里含量

4) 飼料作物中のミネラル及び硝酸態窒素濃度について

開始初年目のトウモロコシ(6 作目)では、化学肥料区の雌穂中カリウム濃度が他の 2 区に比べ有意に高くなったが、他のミネラルには有意差は見られず、堆肥施用の効果は明瞭ではなかった。

後作のイタリアンライグラス(7 作目)では、カリウム濃度について、堆肥連用区及び化学肥料区に比べて、基肥に加里施用を行っていない堆肥中断区が有意に低下した。なお、堆肥連用区と化学肥料区間に有意差はなかった。また、K/(Ca+Mg) 当量比は、堆肥連用区が 2.52 と他の 2 区よりも有意に高い値となり、グラスタナー発症のリスクが高まるとされる 2.2 を上回った。

イタリアンライグラスの後作のトウモロコシ(8作目)では、雌穂中のミネラルについては、測定項目全てについて区間差は見られなかった。茎葉部分については、カリウム濃度及びK/(Ca+Mg)当量比において堆肥連用区>化学肥料区>堆肥中断区の順に高い値を示しそれぞれの間には有意差が認められた。

堆肥連用区はカリウム濃度 2.74%、K/(Ca+Mg)当量比 2.79 と初年目のトウモロコシ(6作目)に比べ上昇した。ただし、トウモロコシ雌穂部のカリウム濃度及びK/(Ca+Mg)当量比はそれぞれ 0.64%、1.92 と低いこと、トウモロコシ全体に占める茎葉と雌穂の比率はほぼ 1:1 であることから家畜への給与に際しては問題となる値ではなかった。

飼料作物中の硝酸態窒素は今回実施した 6, 7, 8 作目の栽培を通じ、堆肥連用区が他の区に比べ高い値であったが、いずれも硝酸塩中毒のリスクが高まるとされる 0.2%を下回ったことから、今回の試験では問題となる値ではなかった。ただし、トウモロコシでは 6 作目に比べ 8 作目で上昇しており、堆肥の長期連用効果については今後の課題として残る。

5) 堆肥連用による土壌成分の変化について

表 8 に今回試験を行った 5 作目トウモロコシ跡地から 7 作目イタリアンライグラス跡地までの土壌成分の推移を示した。この中で、試験開始時(6 作目トウモロコシ播種前)の土壌成分については区間に有意差はなく前作までの影響は認められなかった。

表 9 に 7 作目のイタリアンライグラス跡地の土壌成分を示した。この中で、土壌深 0~15cm 層における区間の比較をみると、炭素(有機物)、交換性加里及び加里飽和度において堆肥を 6 作、7 作で 10a 当たり計 9,000kg 投入した堆肥連用区が他区よりも有意に高い値を示した。特に、交換性加里は 60mg/100g 乾土と、他区の約 2 倍に高まった。一方、土壌深 15~30cm では、堆肥連用区の交換性加里及び加里飽和度が他区よりも有意に高まった。

他の項目については全般的に堆肥連用区が特に堆肥中断区に比較し高まる傾向にあったが有意差は認められなかった。

表 10 には 6 作目トウモロコシ作付け前、同作付け後及び 7 作目イタリアンライグラス跡地の土壌成分値を示した。なお、矢印(→)は試験前後で有意に変化した項目を示した。

土壌深 0~15cm 層をみると、堆肥連用区は EC、窒素、炭素、有機物、交換性加里、加里飽和度、石灰/苦土当量比が増加、CEC、苦土/加里当量比は低下した。特に、加里関連指標である交換性加里、加里飽和度及び石灰/苦土当量比の増加、苦土/加里当量比の低下は堆肥連用区のみで見られた。

土壌深 15~30cm 層では、堆肥連用区のみで交換性加里及び加里飽和度の増加、苦土/加里当量比の低下が見られた。

以上のことから、堆肥の連用により、交換性加里(34.2→60.1mg/100g 乾土：土壌深 0~15cm)、加里飽和度(3.1→5.8%：土壌深 0~15cm)の増加が顕著になるとともに、炭素の増加が見られた。

飼料作物へのセシウム吸収抑制対策として、牧草の場合、土壌中の交換性加里を 30~40mg/100g 乾土に維持することが望ましいとされているが、3) で示した通り、堆肥の施用はセシウム吸収抑制対策としても有効であることが確認された。一方、堆肥施用による交換性加里の増加は、作物中のカリウム濃度及びK/(Ca+Mg)当量比の上昇によりミネラルのアンバランスが懸念されることから、家畜への給与に際しては、飼料分析により適正な飼料設計を行い給与する必要がある。

表8 5作目トウモロコシ跡地(2014.9)から7作目イタリアンライグラス跡値(2017.5)の土壤成分値

分析項目	単位	福島県施肥基準 土壤改良目標値	5作目トウモロコシ跡地(2014.9.8)			6作目トウモロコシ播種前(2016.4.18)			7作目イタリアンライグラス播種前(2016.9.15)			7作目イタリアンライグラス跡地(2017.5.12)		
			堆肥ゼオ50区	堆肥区	化学肥料区	堆肥連用区	堆肥中断区	化学肥料区	堆肥連用区	堆肥中断区	化学肥料区	堆肥連用区	堆肥中断区	化学肥料区
pH	H2O	6.0~6.5	7.1	6.9	6.7	6.8	6.8	6.9	6.8	6.9	6.9	6.6	6.6	6.5
有機物	乾土%		7.8	8	7.8	8.3	7.8	8.4	8.5	8	8	9.1	8.3	8.6
窒素	乾土%		0.34	0.37	0.36	0.38	0.35	0.38	0.4	0.37	0.38	0.43	0.40	0.41
可給態リン酸	mg/100g乾土		—	—	—	41	38	46	36	33	34	43	38	44
石灰飽和度	%	50~70%	43	43	36	68	68	74	65	66	67	70	70	75
苦土飽和度	%	15~20%	19	19	10	23	22	25	19	18	17	21	19	21
加里飽和度	%	2~10%	7	5	4	3	3	6	4	4	5	6	3	4
塩基飽和度	%	70~90%	69	66	50	94	93	105	87	87	89	96	92	100
CEC	meq/100g乾土	15以上	32	30	30	24	23	24	23	22	22	22	21	22
石灰/苦土比	当量比	15以下	2.3	2.3	3.6	2.9	3.1	3	3	4	4	3	4	4
苦土/加里比	当量比	2以上	2.5	3.5	2.7	16	8.2	5.7	4	5	4	4	8	6
交換性石灰	mg/100g乾土		386	357	301	448	442	487	423	407	417	433	408	452
交換性苦土	mg/100g乾土		123	111	60	111	104	119	87	78	78	93	80	91
交換性加里	mg/100g乾土	30~40	114	75	53	33	35	66	47	38	48	60	23	39
C/N比			—	—	—	12.8	12.9	12.9	12.5	12.3	12.4	12.1	12.0	12.0
放射性セシウム	Bq/100g乾土		161	591	330	371	293	256	279	283	247	293	254	300

注1) 堆肥ゼオ50区→堆肥連用区、堆肥区→堆肥中断区

注2) 土壌深0~15cm

表9 イタリアンライグラス(7作目)跡地土壌の分析値(乾土中)

区	深さ	pH	EC	炭素	窒素	C/N比	有機物	可給態リン酸	放射性Cs
	cm			%	%		%	mg/100g	Bq/kg
堆肥連用	0~15	6.6	0.15 ab	5.3 a	0.40	12.1	9.1 a	43	293
	15~	6.6	0.13	4.5	0.40	12.2	7.8	24	77
堆肥中断	0~15	6.6	0.13 b	4.8 b	0.40	12.0	8.3 b	38	254
	15~	6.7	0.11	4.2	0.30	12.0	7.2	19	215
化学肥料	0~15	6.5	0.18 a	5.0 b	0.40	12.0	8.6 b	44	300
	15~	6.7	0.12	4.5	0.40	12.1	7.7	28	368

1) 土壌深0~15cmは縦列abc異文字間に、15cm以下は縦列def異文字間に5%有意差有り。

区	深さ	CEC	交換性石灰	交換性苦土	交換性加里	石灰飽和度	苦土飽和度	加里飽和度	塩基飽和度
	cm	me/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	%	%	%	%
堆肥連用	0~15	22.2	433	93 a	60 a	69.6 b	20.8 ab	5.8 a	96.2 ab
	15~	19.1	358	79	47 d	66.6 de	20.5 de	5.2 d	92.4 de
堆肥中断	0~15	20.6	408	80 b	23 c	70.7 b	19.3 b	2.5 c	92.4 b
	15~	18.8	344	69	26 e	65.6 e	18.4 e	3.0 e	87.0 e
化学肥料	0~15	21.5	452	91 ab	39 b	75.0 a	20.9 a	3.9 b	99.8 a
	15~	19.2	395	87	33 e	73.2 d	22.5 d	3.6 e	99.3 d

表 10 試験期間における土壌成分の変化

		土壌深:0~15cm																			
試験区	土壌採取時期	pH	EC	炭素	窒素	C/N比有機物(腐植)				可給態P2O5	交換性石灰	交換性苦土	交換性加里	石灰飽和度	苦土飽和度	加里飽和度	塩基飽和度	CEC	石灰/苦土	苦土/加里	
		H2O	mS/cm	乾土%	乾土%	乾土%	ng/100g乾土	g/100g乾土	g/100g乾土	g/100g乾土	g/100g乾土	g/100g乾土	g/100g乾土	%	%	%	%	meq/100g乾土	当量比		
堆肥連用区	試験開始前	6.6	0.08	4.8	0.38	12.8	8.3	41.0	448.1	110.5	34.2	68.0	23.3	3.1	94.4	23.5	2.9	7.6			
	トラモロシ(6作)後	6.8	0.10	4.9	0.40	12.5	8.5	35.6	422.9	87.4	46.7	64.7	18.6	4.2	87.5	23.4	3.5	4.4			
	イリアンライグラス(7作目)後	6.6	0.15	5.3	0.43	12.1	9.1	43.4	433.0	93.3	60.1	69.6	20.8	5.8	96.2	22.2	3.3	3.7			
			↗	↗	↗		↗				↗			↗			↘		↗		↘
堆肥中断区	試験開始前	6.8	0.08	4.5	0.35	12.9	7.8	37.7	442.1	103.7	34.9	68.1	22.1	3.1	93.3	23.1	3.1	7.6			
	トラモロシ(6作)後	6.9	0.09	4.6	0.37	12.3	8.0	32.9	406.6	78.2	37.8	66.1	17.7	3.7	87.5	21.9	3.8	4.9			
	イリアンライグラス(7作目)後	6.6	0.13	4.8	0.40	12.0	8.3	38.3	408.0	79.6	23.4	70.7	19.3	2.5	92.4	20.6	3.7	8.3			
		↘	↗		↗		↗										↘				
化学肥料区	試験開始前	6.9	0.09	4.9	0.38	12.9	8.4	46.3	487.2	119.1	66.5	73.7	25.1	6.0	104.8	23.6	3.0	5.3			
	トラモロシ(6作)後	6.9	0.09	4.6	0.37	12.4	7.9	31.7	405.9	75.0	46.8	66.2	16.9	4.5	87.7	21.8	4.0	3.8			
	イリアンライグラス(7作目)後	6.5	0.18	5.0	0.41	12.0	8.6	44.2	451.7	90.6	39.1	75.0	20.9	3.9	99.8	21.5	3.6	5.6			
			↗		↗	↘											↘				

		土壌深:15~30cm																			
試験区	土壌採取時期	pH	EC	炭素	窒素	C/N比有機物(腐植)				可給態P2O5	交換性石灰	交換性苦土	交換性加里	石灰飽和度	苦土飽和度	加里飽和度	塩基飽和度	CEC	石灰/苦土	苦土/加里	
		H2O	mS/cm	乾土%	乾土%	乾土%	ng/100g乾土	g/100g乾土	g/100g乾土	g/100g乾土	g/100g乾土	g/100g乾土	g/100g乾土	%	%	%	%	meq/100g乾土	当量比		
堆肥連用区	試験開始前	6.7	0.07	4.3	0.3	12.5	7.3	21.7	377.4	87.1	30.9	67.0	21.7	3.3	92.0	20.0	3.1	6.6			
	トラモロシ(6作)後	6.8	0.12	4.3	0.3	12.8	7.5	21.1	376.9	83.2	35.3	64.4	19.7	3.6	87.7	20.9	3.3	5.5			
	イリアンライグラス(7作目)後	6.6	0.13	4.5	0.4	12.2	7.8	23.6	357.8	79.4	46.8	66.6	20.5	5.2	92.4	19.1	3.2	4.0			
			↗								↗			↗							↘
堆肥中断区	試験開始前	6.7	0.07	4.3	0.3	12.3	7.4	26.5	411.1	87.6	37.7	69.1	20.5	3.8	93.3	21.2	3.4	5.5			
	トラモロシ(6作)後	6.8	0.11	4.2	0.3	12.8	7.2	17.5	364.0	72.8	28.8	65.0	18.1	3.1	86.2	20.0	3.7	6.3			
	イリアンライグラス(7作目)後	6.7	0.11	4.2	0.3	12.0	7.2	18.5	344.1	69.5	26.0	65.6	18.4	3.0	87.0	18.8	3.7	7.5			
			↗					↘									↘				
化学肥料区	試験開始前	6.8	0.07	4.2	0.3	12.5	7.2	24.6	403.1	99.5	37.5	71.1	24.6	3.9	99.6	20.1	2.9	7.0			
	トラモロシ(6作)後	6.8	0.11	4.3	0.3	12.8	7.5	20.5	380.5	80.1	37.7	64.5	18.9	3.8	87.2	21.0	3.5	5.1			
	イリアンライグラス(7作目)後	6.7	0.12	4.5	0.4	12.1	7.7	27.6	395.0	87.0	32.8	73.2	22.5	3.6	99.3	19.2	3.3	6.4			
			↗																		

第2章

暫定許容値以下の牛ふん堆肥の 水田施用調査

1. 暫定許容値以下の牛ふん堆肥の施用が食用米及び飼料用米の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

放射性セシウム濃度が暫定許容値以下の牛ふん堆肥の施用が 食用米及び飼料用米へ及ぼす影響

担 当 者：小堤悠平、畠中哲哉、田中康男、道宗直昭（畜産環境技術研究所）

【要約】

暫定許容値 400Bq/kg 以下の牛ふん堆肥の水田施用（1t/10a）は、堆肥無施用に比べて、水稲「コシヒカリ」（精玄米および稲わら）と「べこあおば」（黄熟期のイネ WCS および成熟期の粳米と稲わら）の放射性セシウム濃度を低下させる。土壌の交換性加里含量が水稲の放射性セシウム吸収抑制のための改良目標値（25mg/100g（乾土））を満たしている場合でも、堆肥の施用により放射性セシウムの移行をさらに低減できる可能性が期待できます。

1. 試験目的

平成 25, 26 年に引き続き、暫定許容値 400Bq/kg 以下の牛ふん堆肥を被災地水田に 2 年間施用した場合について、放射性セシウムの水稲（食用品種および飼料用品種）への移行、水稲の生育及び土壌中での放射性セシウムの動態を調査し、低汚染堆肥が及ぼす影響を明らかにすることを目的としました。

2. 試験方法

被災地の水田（約 22a、黒ボク土）を無堆肥区、非汚染堆肥区、低汚染堆肥区の 3 区画に畦で区切って分け、食用品種（コシヒカリ）及び飼料用品種（べこあおば）を栽培しました（図 1）。

平成 28 年度と 29 年度に行った作業日程を表 1、2 に示し、栽培に関する基本的な情報を表 3 に記載しました。移植直後の様子と波板の設置状況を写真 1 に示しました。

コシヒカリとべこあおば（黄熟期と成熟期）の栽培では、平成 28、29 年度ともに、被覆肥料（基肥エース（片倉コープアグリ(株)）、窒素 27%：りん酸 10%：加里 8%含む）を施肥しました。コシヒカリには、10a 当たり 23kg（平成 28 年度）、30kg（平成 29 年度）を田植機にて側条施用しました。べこあおば（黄熟期と成熟期）には、10a 当たり 30kg（平成 28 年度）、45kg（平成 29 年度）を田植機にて側条施用しました。いずれも追肥は行いませんでした。

コシヒカリとべこあおばの栽植密度は、18.5 株/m²（条間 30cm×株間 18cm）としました。堆肥の施用量は、10a 当たり 1t としました（参考：福島県中通り地域のコシヒカリ施用上限値）。

収量調査は、一処理区あたり 3 か所の坪刈り（60 株/4.2m²/坪）を行いました。各生産物の収量は 10a あたりに換算しました。稲わらの放射能を測定する場合は、収穫時の土壌等の混入を防ぐために、刈り取り高さを 15cm 以上が推奨されているため（文献 1）、地上 15cm 以上で刈り取りをしました。

稲刈り後の作物の風乾方法は、大型乾燥機（JMB-26DPA、株式会社カトー、埼玉）による乾燥（90℃、72 時間）を行い、粳米はデジタル熱風乾燥器（18-503、池本理化工業株式会社、東京）による乾燥（45℃、24 時間）を行いました。

低汚染堆肥の調製方法は、平成 28、29 年度ともに、高濃度に汚染された堆肥を、非汚染堆肥に混合して調製しました。また、稲刈り後の稲わらは、平成 28、29 年度ともに、水田より全量持ち出し、残った稲株のみすき込みを行いました。

調査項目は、各生産物の収量、各生産物中の放射性セシウム濃度及び水田土壌中の放射性セシウム濃度、放射性セシウムの各生産物中への移行係数、28 年度の各生産物のみ微量元素濃度（ナトリウム (Na)、カリウム (K)、塩素 (Cl)、硫黄 (S)、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg)) を測定しました。微量元素濃度から DCAD (イオン・カチオンバランス) 値を算出した。また、放射性セシウム濃度は、各生産物や土壌の採取日に減衰補正しました。

3. 試験結果

1) 牛ふん堆肥の成分分析値と放射性セシウム濃度

施用した牛ふん堆肥の成分分析値と放射性セシウム濃度を表 4 に示しました。平成 28、29 年度に使用した牛ふん堆肥は、酸素消費量が低く、発芽率が高いことから、十分に腐熟が進んだ堆肥と考えられます。この堆肥を現物で 10a あたり 1t 施用したときの肥料三要素の全量は、窒素 18.1kg、りん酸 9.7kg、加里 17.2kg (平成 28 年度)、窒素 15.3kg、りん酸 6.8kg、加里 11.4kg (平成 29 年度) になります。このうち化学肥料相当分の含量 (肥効率) を、窒素 10%、りん酸 80%、加里 90% とすると (文献 2)、化学肥料相当分は、窒素 1.8kg、りん酸 7.8kg、加里 15.5kg (平成

28年度)、窒素 1.5kg、りん酸 5.4kg、加里 10.3kg (平成 29 年度) となります。本試験では、被覆肥料を 3 つの区に同量施用したため、堆肥を施用した区は、無堆肥区に比べて、堆肥中の各成分が上乘せになっていると考えられました。

2) 水田土壌成分分析値と放射性セシウム濃度

試験期間中の成分分析結果と放射性セシウムの推移を表 5 に示しました。土壌中の交換性加里含量を 25mg/100g 程度になるように土壌改良することで、放射性セシウムの玄米への移行を低減できることが報告されており (文献 3)、平成 28 年度栽培前の交換性加里の数値は、塩化加里を施肥した後の結果です。平成 28 年度栽培後のデータは、平成 29 年度栽培前のデータとしても使用しましたが、栽培前の交換性加里含量は、すべての区で 25mg/100g を下回っていたため、塩化加里 10kg/10a を吸収抑制対策として施肥しました (施肥後の土壌データはありません)。

平成 28 年度栽培後の堆肥施用区の交換性加里含量が、無堆肥区にくらべて有意に増加していました。平成 29 年度栽培後の堆肥施用区の交換性加里含量が、無堆肥区にくらべて高い傾向がありました。平成 29 年度栽培後土壌の無堆肥区の放射性セシウム濃度は、低汚染堆肥区にくらべて有意に高くなりましたが、その他の全ての区間の放射性セシウム濃度には、大きな差は認められませんでした (表 9) が、数値のばらつきがありました。これは、農地土壌における放射性セシウム分布特性において、同一ほ場内でばらつきが相当大きいと報告されており (文献 4)、この可能性を示唆するものと考えられました。

3) コシヒカリの精玄米収量と放射性セシウム濃度

精玄米収量の結果を図2に示しました。平成28年度の低汚染堆肥施用区の精玄米収量は、無堆肥区にくらべて有意に収量が増加し、非汚染堆肥区の精玄米収量は、無堆肥区にくらべて収量が高い傾向がありました。これは、堆肥施用の効果により、収量が増加したことが考えられました。平成29年度のすべての区では、8月の台風で倒伏し（写真2）、倒伏程度は3.5/4段階でした。平成29年度の全国平均と比べても収量が明らかに低く、これは、倒伏による落粒が原因であることが考えられました。

稲わら収量の結果を図3に示しました。平成28年度のすべての区で収量に差はありませんでした。平成29年度の非汚染堆肥施用区は、先に説明したように台風の影響で倒伏しましたが、非汚染堆肥区が他の区に比べて有意に高かったです。平成29年度のすべての区で、平成28年度に比べて収量が高いのは、倒伏による落粒により、稲わら部分の生育が促進されたことが考えられました。

生産物中の放射性セシウム濃度を図4に示しました。平成28、29年度の精玄米の放射性セシウム濃度は、堆肥を施用した非汚染堆肥区と低汚染堆肥区が、無堆肥区にくらべて有意に低下しました。平成29年度の稲わらの放射性セシウム濃度は、無堆肥区が最も高く、続いて非汚染堆肥区と低汚染堆肥区と有意に低下しました。

精玄米と稲わらへの放射性セシウムの移行係数を表6に示しました。平成28年度の精玄米の放射性セシウムの移行係数は、堆肥を施用した非汚染堆肥区と低汚染堆肥区が、無堆肥区にくらべて有意に低下しました。平

成 29 年度の精玄米と稲わらの放射性セシウムの移行係数は、無堆肥区が最も高く、続いて非汚染堆肥区と低汚染堆肥区と有意に低下しました。

これらの結果より、暫定許容値 400Bq/kg 以下の牛ふん堆肥の水田施用 (1t/10a) は、堆肥無施用に比べて、水稻「コシヒカリ」(精玄米および稲わら) の放射性セシウム濃度を低下させました。

4) べこあおば (黄熟期) の稲全体の収量と放射性セシウム濃度

平成 28、29 年度のイネ WCS としての利用を想定 (稲全体) したべこあおば (黄熟期) の収量を図 5 に示しました。平成 28 年度の収量が、平成 29 年度に比べて低いのは、基肥の施用量 (平成 28 年度: 基肥 30kg/10a、平成 29 年度: 基肥 45kg/10a) が異なるためだと考えられます (表 3)。

平成 28 年度の無堆肥区の収量が堆肥を施用した非汚染堆肥区と低汚染堆肥区に比べて低い傾向がありましたが、統計上有意な差はありませんでした。平成 29 年度の無堆肥区の収量は、非汚染堆肥区に比べて統計上有意に高かったですが、低汚染堆肥区に比べて有意な差はありませんでした。

べこあおば (黄熟期) の各試験区における稲全体の放射性セシウム濃度を図 6 に示しました。平成 28、29 年度ともに堆肥を施用した非汚染堆肥区と低汚染堆肥区が、無堆肥区にくらべて有意に低下しました。放射性セシウムの移行係数でも、堆肥を施用した区が無堆肥区にくらべて有意に低下しました (表 7)。

これらの結果より、暫定許容値 400Bq/kg 以下の牛ふん堆肥の水田施用

(1t/10a) は、堆肥無施用に比べて、「べこあおば」(黄熟期のイネ WCS) の放射性セシウム濃度を低下させました。

5) べこあおば(成熟期)の生産物収量と放射性セシウム濃度

平成 28、29 年度のべこあおば(成熟期)の飼料用粳米と稲わらの各収量を図 7、8 に示しました。平成 28 年度の堆肥施用区の粳米収量は、無堆肥区にくらべて統計上有意に高く、非汚染堆肥区の稲わら収量は、無堆肥区にくらべて有意に高くなりました。平成 29 年度は、各生産物(粳米と稲わら)のすべての区において、統計上有意な差はありませんでした。

平成 28、29 年度の各試験区における生産物中の放射性セシウム濃度を図 9 に示しました。平成 28、29 年度ともに、粳米と稲わらの放射性セシウム濃度は、堆肥を施用した区が、無堆肥区にくらべて有意に低くなりました。

平成 28、29 年度の粳米と稲わらへの放射性セシウムの移行係数を表 8 に示しました。平成 28、29 年度ともに、稲わらへの放射性セシウムの移行係数は、粳米への移行係数よりも高くなりました。また、両年とも放射性セシウムの粳米と稲わらへの移行係数でも、無堆肥区に比べて堆肥施用区が統計上有意に低くなりました。

これらの結果より、暫定許容値 400Bq/kg 以下の牛ふん堆肥の水田施用(1t/10a) は、堆肥無施用に比べて、「べこあおば」(成熟期の粳米と稲わら)の放射性セシウム濃度を低下させました。

6) 加里の施用量、各生産物中の微量元素濃度及び DCAD 値

塩化加里の多量施肥や加里を比較的多く含む牛ふん堆肥の水田への施用は、飼料作物中のイオンバランスを変化させ、飼料品質や家畜の健康に影響を及ぼすことが考えられます。そこで、平成 28、29 年度の加里の施用量を表 9～12 に示し、各生産物中の微量元素濃度及び DCAD 値を表 13～17 に示しました。

平成 28、29 年度とも堆肥施用区は、無堆肥区に比べて明らかに 10a あたりの加里の施肥量が多い（表 9～12）ですが、各生産物中の K 濃度には有意な差はありませんでした（表 13～17）。また、日本標準飼料成分表（2009）との比較でも、各生産物の K 濃度は、同等か低い値でした（表 13、14、16、17）。K 濃度について、全国から収集した飼料イネ(138 点)のカリウム濃度は 1.24%(最少 0.63%~最大 2.55%)と報告されています(文献 6)。本試験では、べこあおば(成熟期)の稲わらで、カリウム濃度 2.03~2.20%と高かったが、文献 6 は稲全体（粳米+稲わら）のデータであり、本試験では粳米と稲わら部を別々に算出しているが、混合した場合、カリウム濃度は平均値程度になると考えられました。

DCAD 値は、最少 -4.3~最大 30.4mEq/100gDM でした。泌乳牛の給与飼料の DCAD 値は 20~40mEq/100gDM、乾乳牛は -5~ -15mEq/100gDM、繁殖牛は 0~-15mEq/100gDM 程度が適正とされており、本試験で得られた各生産物は、注意を要するほどではないと考えられました。

以上の結果から、土壌の交換性加里含量が、水稻のセシウム吸収抑制のための改良目標値量を満たし、さらに牛ふん堆肥を施用し、加里濃度が高い水準にある場合でも、水稻（食用米と飼料用米）の各生産物中のカリウ

ム濃度は高くないことが考えられた。また、飼料用米は、家畜の飼料作物として問題がないと考えられました。

7) 牛糞堆肥による生産物中への放射性セシウム移行低減の可能性

牛糞堆肥施用においては、土壌中の交換性加里含量が高まることにより、キャベツおよびダイズの放射性セシウム濃度が低減する傾向があること、また、3t/10a を継続的に施用することにより、土壌からの飼料用トウモロコシへの放射性セシウムの移行を、施用しない場合に比べ 40%程度抑制できたことが報告されている（文献 7、8）。今回の試験においても、生産物の放射性セシウム濃度の低下は、堆肥施用による土壌中の交換性加里含量の増加がひとつの要因であることが考えられました。今回の試験では、土壌中の交換性加里含量が、水稻の放射性セシウム吸収抑制のための改良目標値（移植時に 25mg/100g（乾土）以上）を満たしている水田では、堆肥を施用すると、生産物中への放射性セシウムの移行がさらに抑制されました。堆肥を施用した区は、栽培後の土壌の交換性加里含量が無堆肥区よりも高かったことから（表 5）、単純に堆肥由来の加里が土壌の交換性加里濃度を高めたと考えられるが、加えて、堆肥成分が加里の溶脱を低減させたことが土壌の交換性加里濃度を高めた可能性も考えられました。作用機作については解明の余地があるが、堆肥の施用で生産物中への放射性セシウムの移行をさらに低減できる可能性が示唆されました。

8) まとめ

暫定許容値 400Bq/kg 以下の牛ふん堆肥の水田施用（1t/10a）は、堆肥

無施用に比べて、水稲「コシヒカリ」(精玄米および稲わら)と「べこあおば」(黄熟期のイネ WCS および成熟期の籾米と稲わら)の放射性セシウム濃度を低下させました。

土壌の交換性加里含量が水稲の放射性セシウム吸収抑制のための改良目標値(25mg/100g(乾土))を満たしている場合でも、堆肥の施用により放射性セシウムの移行をさらに低減できる可能性が期待されました。

土壌の交換性加里含量が、水稲のセシウム吸収抑制のための改良目標値を満たし、さらに牛ふん堆肥を施用し、加里濃度が高い水準にある場合でも、水稲(食用米と飼料用米)の各生産物中のカリウム濃度は高くないことが考えられた。また、飼料用米は、家畜の飼料作物として問題がないと考えられました。

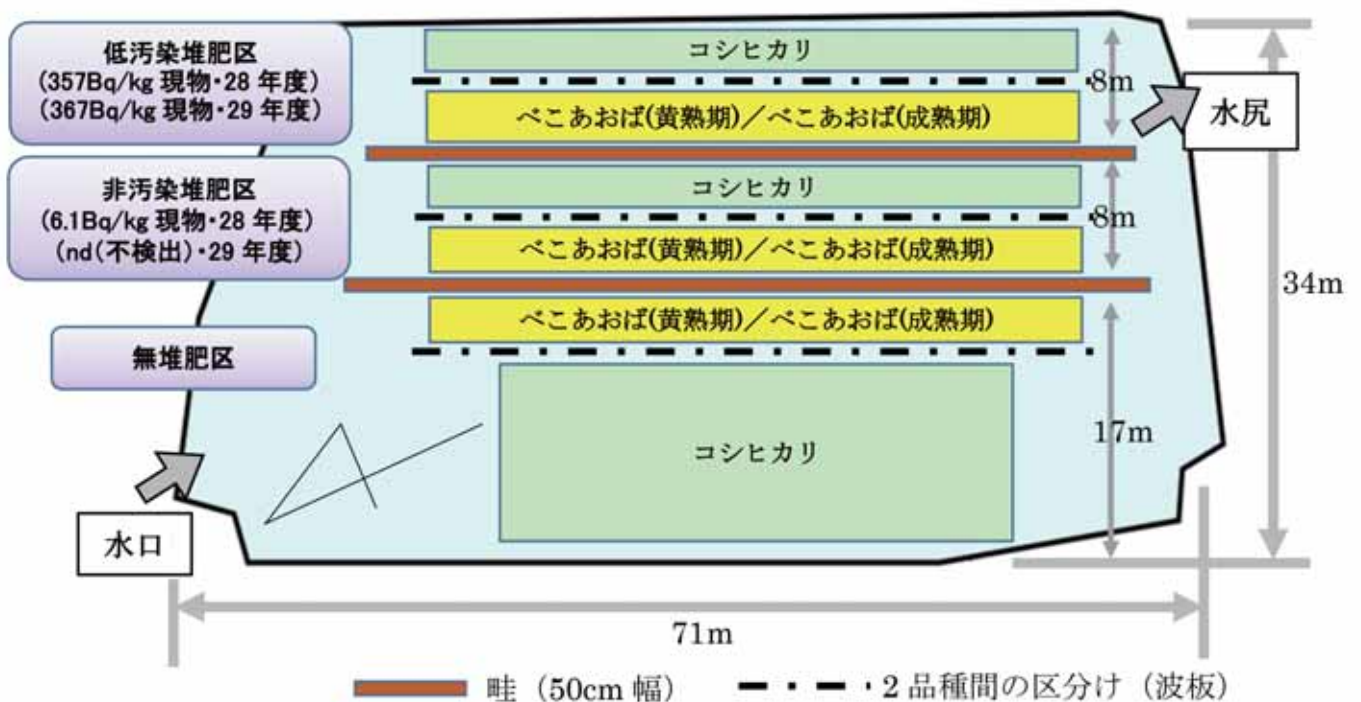


図1 試験水田の区割りと栽培品種の配置

表 1 各試験区の作業日程（平成 28 年度）

作業内容	コシヒカリ	べこあおば(黄熟期)	べこあおば (成熟期)
塩化加里施肥	4月3日		
栽培前土壌採取	4月6日		
播種	4月13日	4月17日	
堆肥施用	4月22日		
耕耘	5月10日		
水入れ	5月16日		
代掻き	5月17日		
移植施肥*	5月20日		
収穫	9月30日	9月1日	9月28日
栽培後土壌採取**	10月5日	10月4日	10月5日

*被覆肥料は、移植日に側条施肥しました。

**29年度栽培前土壌データとしても利用しました。

表 2 各試験区の作業日程（平成 29 年度）

作業内容	コシヒカリ	べこあおば(黄熟期)	べこあおば (成熟期)
塩化加里施肥	4月4日		
堆肥施用	4月17日		
播種	4月22日	4月26日	
耕耘	5月8日		
水入れ	5月12日		
代掻き	5月17日		
移植施肥*	5月19日		
収穫	9月26日**	9月19日	10月11日
栽培後土壌採取	9月29日	9月29日	10月11日

*被覆肥料は、移植日に側条施肥しました。

**倒伏のため、稲刈りを早めました。

表 3 栽培に関する情報

栽培品種	コシヒカリ		べこあおば (黄熟期)		べこあおば (成熟期)	
	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
被覆肥料名(成分 N・P ₂ O ₅ ・K ₂ O)	基肥エース (27-10-8)					
施肥量	23kg/10a	30kg/10a	30kg/10a	45kg/10a	30kg/10a	45kg/10a
塩化加里 (施肥量)	10kg/10a					
追肥の有無	無					
除草剤名 (散布量)	ソルネット (1kg/10a)	マキシー MX (1kg/10a)	ソルネット (1kg/10a)	マキシー MX (1kg/10a)	ソルネット (1kg/10a)	マキシー MX (1kg/10a)
殺虫殺菌剤名 (散布量)	Dr.オリゼ (約 50g/苗箱)					
牛ふん堆肥 (施用量)	1t/10a					
堆肥の放射性セ シウム濃度	平成 27 年度					
	(非汚染堆肥区堆肥 : 6.1Bq/kg (現物)、低汚染堆肥区堆肥 : 357Bq/kg (現物))					
	平成 28 年度					
	(非汚染堆肥区堆肥 : N.D (不検出)、低汚染堆肥区堆肥 : 367Bq/kg (現物))					
栽植密度	18.5 株/m ² (条間 30cm×株間 18cm)					
稲わらの刈り取 り高さ	地上 15cm 以上					
収穫後の乾燥方 法	乾燥機による強制乾燥					

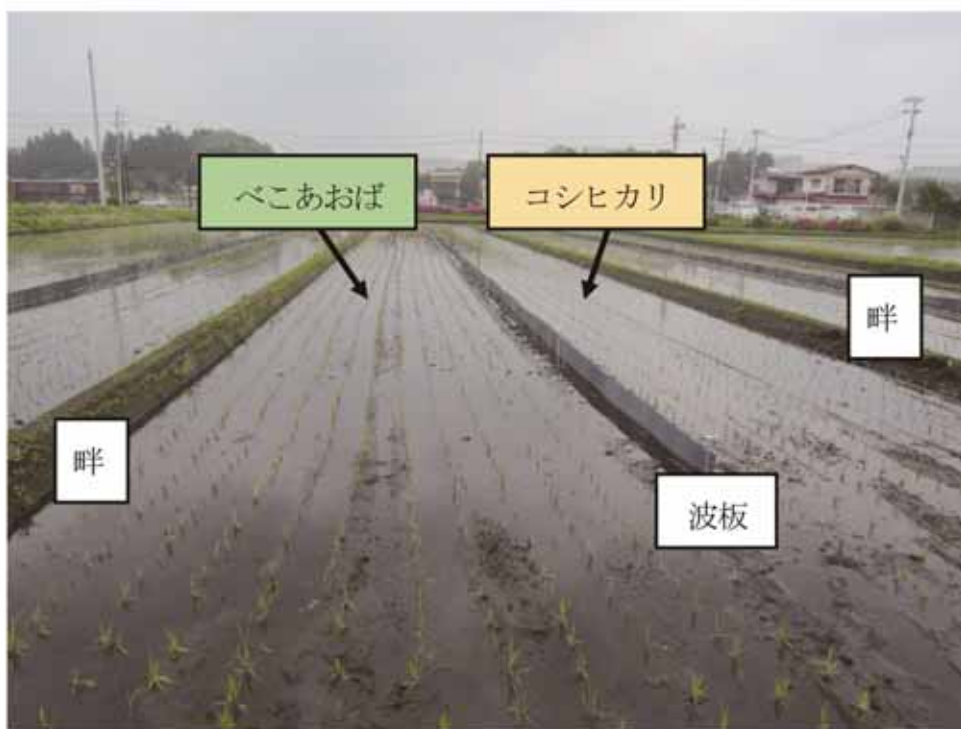


写真1 畔と波板の設置状況

表4 施用した牛ふん堆肥の成分分析値と放射性セシウム濃度

検査項目	検査結果			
	平成28年度	平成29年度		
水分	58.0	62.1	%	
粗灰分	27.0	27.4	% (乾物)	
pH	8.1	7.7		
EC (電気伝導度)	6.4	7.1	mS/cm	
窒素	4.3	4.1	% (乾物)	
りん酸	2.3	1.8	% (乾物)	
加里	4.1	3.0	% (乾物)	
石灰	5.4	4.8	% (乾物)	
苦土	2.1	2.1	% (乾物)	
ADF (酸性デタージェント繊維) *	46.8	50.1	% (乾物)	
炭素率 (C/N 比)	9.1	9.7		
銅全量	48	37	mg/kg (乾物)	
亜鉛全量	180	130	mg/kg (乾物)	
鉄全量	2,300	2,100	mg/kg (乾物)	
マンガン全量	720	710	mg/kg (乾物)	
発芽率	100	100	%	
酸素消費量**	1.3	1.3	mg/g/min	
臭気指数相当値***	11	14		
放射性 セシウム	非汚染堆肥	6.1	nd (不検出) ****	Bq/kg (現物)
	低汚染堆肥	357	367	Bq/kg (現物)

*酸性にした界面活性剤で処理して定量される繊維の量 (主にセルロース、リグニン含量)。

**コンポテスター (FHK 富士平工業) を使用して、堆肥の腐熟度を数値化したもの。

***臭い識別装置 (島津製作所) を使用して、臭いの強さを相対的に数値化したもの。

****検出下限値 1Bq/kg

表5 試験期間中の水田土壌成分分析値と放射性セシウムの推移

試料採取日*	試験区	水分(%)	pH	EC (mS/cm)	可給態 りん酸**	交換性加里**	交換性苦土**	交換性石灰**	CEC***	放射性 セシウム****
平成28 年度栽 培前	2016/4/7 無堆肥区 非汚染堆肥区 低汚染堆肥区	42.1	5.6	0.08	9.9 ^a	27.1	36.2	363.5	28.1	1504.7
		41.8	5.7	0.12	17.5 ^b	69.2	44.5	390.1	29.4	1372.9
		41.0	5.6	0.09	17.1 ^b	38.5	37.7	363.5	29.0	1379.4
平成28 年度栽 培後	2016/10/4 無堆肥区 非汚染堆肥区 低汚染堆肥区	44.1	6.0	0.10	10.3 ^a	11.2 ^a	37.1 ^a	505.6	34.4	1409.3
		44.3	6.0	0.12	13.8 ^b	20.0 ^b	41.9 ^b	500.9	33.7	1439.7
		43.8	6.0	0.12	16.1 ^b	18.5 ^b	43.5 ^b	504.0	33.8	1370.3
平成29 年度栽 培後	2017/9/26 無堆肥区 非汚染堆肥区 低汚染堆肥区	45.4	6.0	0.09	11.4 ^a	7.5	32.6 ^a	502.4	34.6	1315.5 ^a
		45.0	6.0	0.08	18.4 ^b	10.6	38.2 ^b	508.8	34.0	1274.7 ^{ab}
		43.9	6.1	0.08	17.1 ^b	12.2	38.5 ^b	512.0	34.6	1227.8 ^b

a~c: 異符号間で有意差有り(P < 0.05)。

*平成28年度栽培前土壌は試験区ごとに3地点より採取、平成28、29年度栽培後土壌は試験区ごとに9地点より採取し、データはその平均値としました。

100g(乾土)あたりのmgとしました。*100g(乾土)あたりのmeqとしました。****1kg(乾土)あたりのBqとしました。

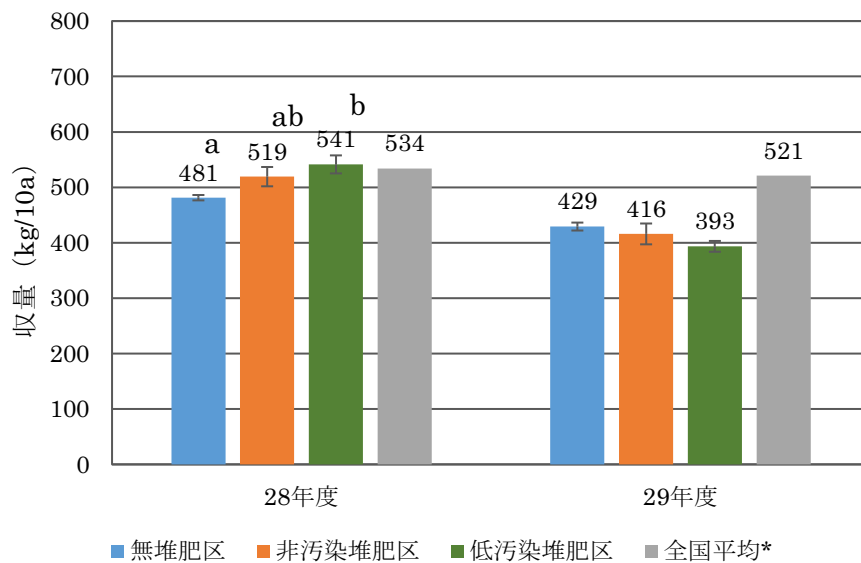


図2 各試験区のコシヒカリの精玄米風乾収量

*文献5 平成28、29年産水陸稲の収穫量（ふるい目幅1.8mm選別収穫量）を参照しました。

a~b：異符号間で有意差有り ($P < 0.05$)。

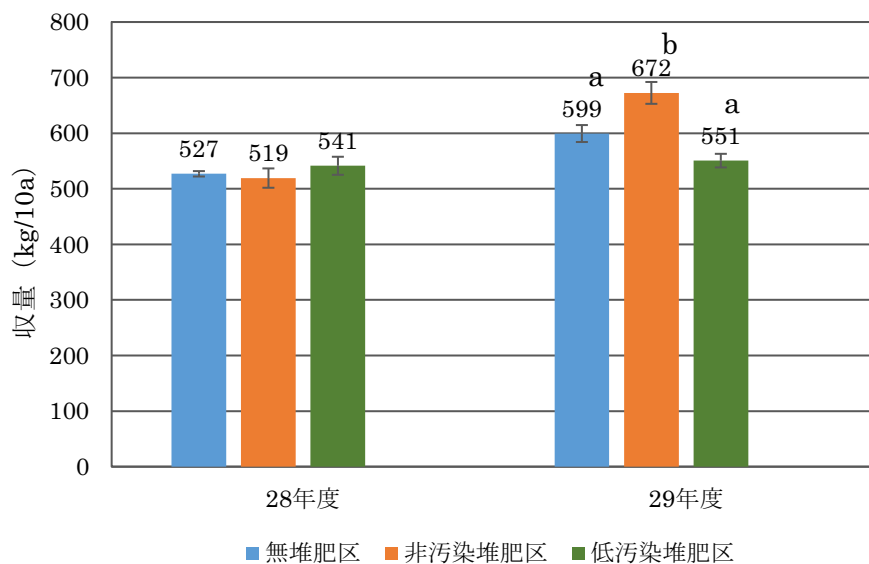


図3 各試験区のコシヒカリの稲わら風乾収量

a~b：異符号間で有意差有り ($P < 0.05$)。



写真2 平成29年度のコシヒカリ栽培区の倒伏状況

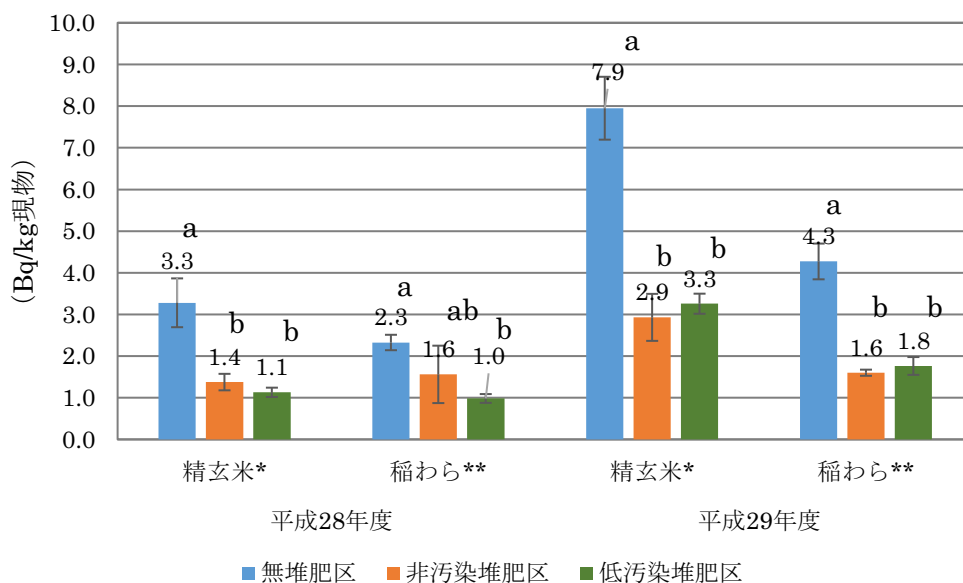


図4 コシヒカリの各試験区における生産物中の放射性セシウム濃度
a~c: 異符号間で有意差有り ($P < 0.05$)。

*水分含量を 15.0%に補正しました (文献 9、日本食品標準成分表(2016))。

**水分含量を 80.0%に補正しました (文献 10、農林水産省 牛用飼料の暫定許容値)。

表6 土壌からコシヒカリの各生産物への放射性セシウムの移行係数

試験区	移行係数			
	平成 28 年度		平成 29 年度	
	精玄米	稲わら	精玄米	稲わら
無堆肥区	0.0022 ^a ±0.0003	0.0016 ^a ±0.00021	0.0058 ^a ±0.0006	0.0031 ^a ±0.0003
非汚染堆肥区	0.0010 ^b ±0.0001	0.0012 ^{ab} ±0.0005	0.0025 ^b ±0.0005	0.0014 ^b ±0.0001
低汚染堆肥区	0.0008 ^b ±0.0001	0.0007 ^b ±0.0001	0.0027 ^b ±0.0003	0.0015 ^b ±0.0002

異符号間で有意差有り ($p < 0.05$)

*日本土壤肥料学会は、土壌からから白米へのセシウムの移行係数は0.00021~0.012と報告している。

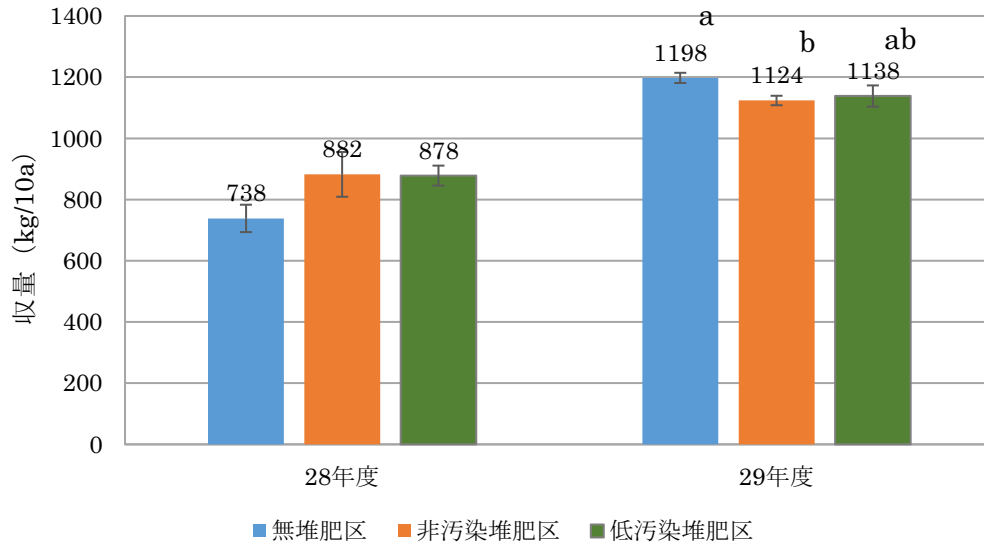


図5 各試験区のべこあおば（黄熟期）の稲全体風乾収量
a～c：異符号間で有意差有り（ $P < 0.05$ ）。

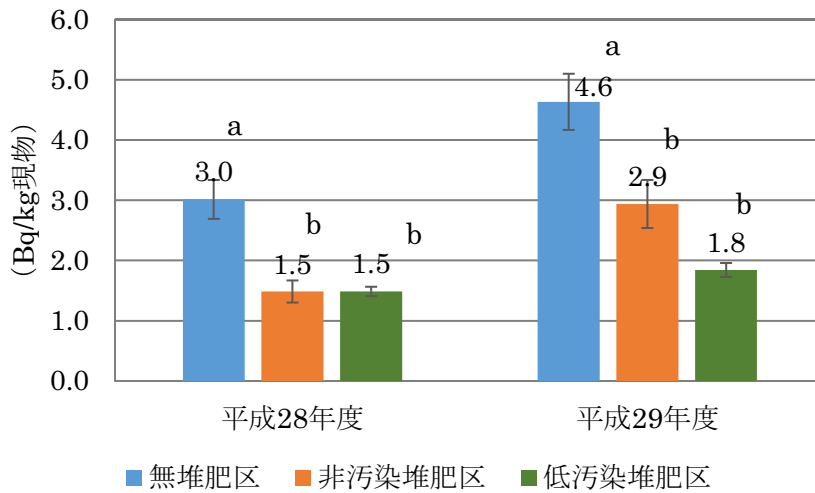


図6 べこあおば(黄熟期)*の各試験区における稲全体の放射性セシウム濃度
a~b: 異符号間で有意差有り ($P < 0.05$)。

*水分含量を80.0%に補正しました(文献10、農林水産省 牛用飼料の暫定許容値)。

表7 土壌からべこあおば(黄熟期)稲全体への放射性セシウムの移行係数

試験区	稲全体の移行係数	
	平成28年度	平成29年度
無堆肥区	0.0021 ^a ±0.00021	0.0036 ^a ±0.0005
非汚染堆肥区	0.0010 ^b ±0.00004	0.0023 ^b ±0.0004
低汚染堆肥区	0.0011 ^b ±0.00004	0.0015 ^b ±0.0001

異符号間で有意差有り ($p < 0.05$)

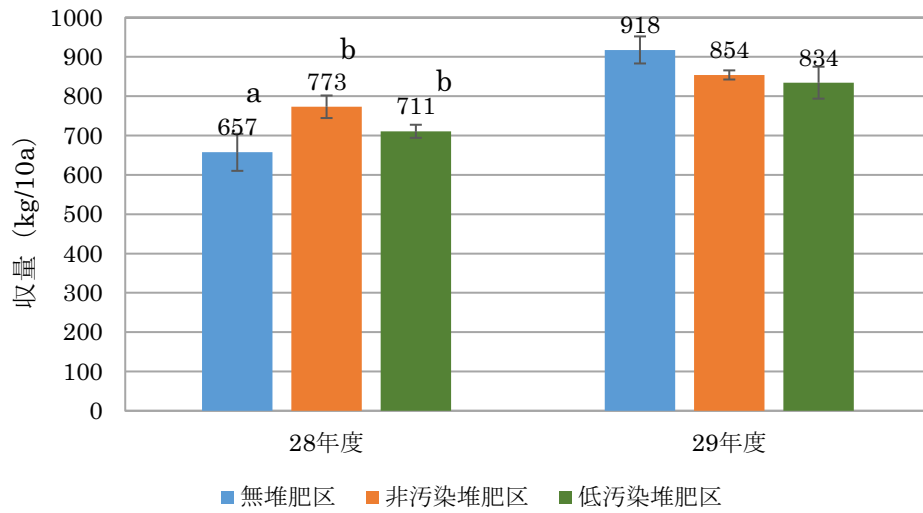


図7 各試験区のべこあおば（成熟期）の籾米風乾収量
a～c：異符号間で有意差有り（ $P < 0.05$ ）。

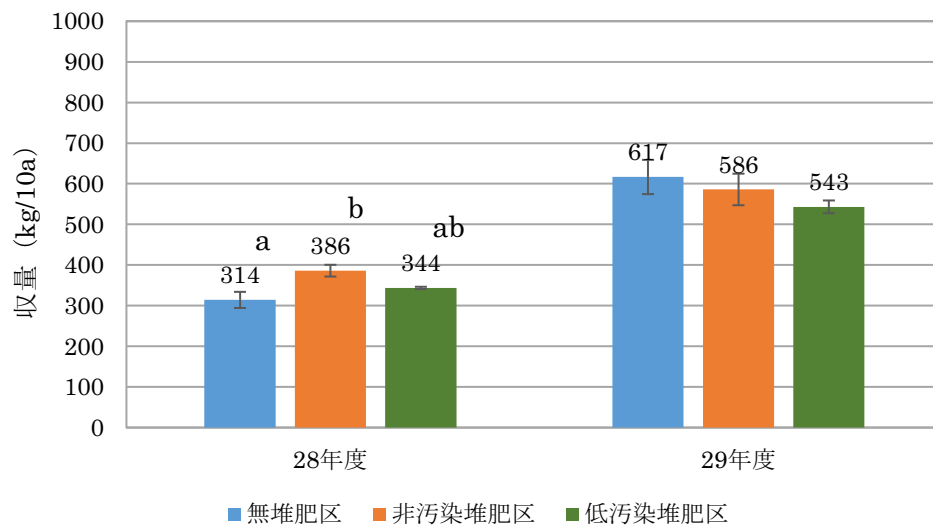


図8 各試験区のべこあおば（成熟期）の稲わら風乾収量
a～c：異符号間で有意差有り（ $P < 0.05$ ）。

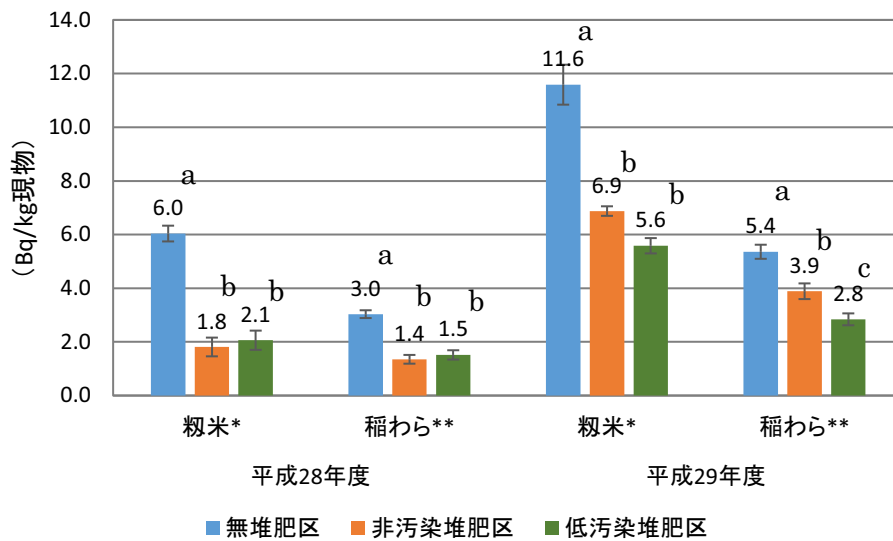


図9 べこあおば(成熟期)の各試験区における生産物中の放射性セシウム濃度
a~b: 異符号間で有意差有り ($P < 0.05$)。

*水分含量を 15%に補正しました (文献 9、日本食品標準成分表(2016))。

**水分含量を 80.0%に補正しました (文献 10、農林水産省 牛用飼料の暫定許容値)。

表8 土壌からべこあおば (成熟期) の各生産物への放射性セシウムの移行係数

試験区	移行係数			
	平成 28 年度		平成 29 年度	
	粳米	稲わら	粳米	稲わら
無堆肥区	0.0048 ^a ±0.0008	0.0024 ^a ±0.0004	0.0090 ^a ±0.0006	0.0042 ^a ±0.0001
非汚染堆肥区	0.0012 ^b ±0.0002	0.0011 ^b ±0.0001	0.0052 ^b ±0.0002	0.0029 ^b ±0.0003
低汚染堆肥区	0.0015 ^b ±0.0002	0.0009 ^b ±0.0001	0.0044 ^b ±0.0003	0.0022 ^c ±0.0001

異符号間で有意差有り ($p < 0.05$)

表9 28年度の加里の施用量（コシヒカリ）

28年度（10aあたり）	無堆肥区	非汚染堆肥区	低汚染堆肥区
塩化加里（K ₂ O 60%）	6.0kg	6.0kg	6.0kg
堆肥由来	-	17.2kg	17.2kg
化学肥料由来	1.8kg	1.8kg	1.8kg
合計（10aあたり）	7.8kg	25.0kg	25.0kg

表10 28年度の加里の施用量（べこあおば黄熟期と成熟期）

28年度（10aあたり）	無堆肥区	非汚染堆肥区	低汚染堆肥区
塩化加里（K ₂ O 60%）	6.0kg	6.0kg	6.0kg
堆肥由来	-	17.2kg	17.2kg
化学肥料由来	2.4kg	2.4kg	2.4kg
合計（10aあたり）	8.4kg	25.6kg	25.6kg

表11 29年度の加里の施用量（コシヒカリ）

	無堆肥区	非汚染堆肥区	低汚染堆肥区
塩化加里（K ₂ O 60%）	6.0kg	6.0kg	6.0kg
堆肥由来	-	11.4kg	11.4kg
化学肥料由来	2.4kg	2.4kg	2.4kg
合計（10aあたり）	8.4kg	19.8kg	19.8kg

表12 29年度の加里の施用量（べこあおば黄熟期と成熟期）

	無堆肥区	非汚染堆肥区	低汚染堆肥区
塩化加里（K ₂ O 60%）	6.0kg	6.0kg	6.0kg
堆肥由来	-	11.4kg	11.4kg
化学肥料由来	3.6kg	3.6kg	3.6kg
合計（10aあたり）	9.6kg	21.0kg	21.0kg

表 13 平成 28 年度べこあおば（黄熟期）稲全体の各試験区の微量元素濃度

	Na (Dry-%)	K (Dry-%)	S (Dry-%)	Cl (Dry-%)	Ca (Dry-%)	Mg (Dry-%)	DCAD
無堆肥区	0.01	1.30	0.09	0.60	0.18	0.12	12.1 ^{ab}
非汚染区	0.01	1.17	0.08	0.47	0.16	0.12	11.8 ^b
低汚染区	0.01	1.50	0.07	0.53	0.19	0.15	18.1 ^a
イネ（飼料用品種・黄熟期）*	—	1.40	—	—	0.21	0.15	—

*文献 11、日本標準飼料成分表（2009）青刈飼料作物類イネ参照

表 14 平成 28 年度べこあおば（成熟期）粳米の各試験区の微量元素濃度

	Na (Dry-%)	K (Dry-%)	S (Dry-%)	Cl (Dry-%)	Ca (Dry-%)	Mg (Dry-%)	DCAD
無堆肥区	0.01	0.28	0.08 ^a	0.20	0.02	0.09 ^b	-2.6
非汚染区	0.01	0.27	0.07 ^b	0.20	0.02	0.09 ^b	-3.1
低汚染区	0.01	0.37	0.07 ^b	0.20	0.02	0.12 ^a	-0.7
モミ米*	0.05	0.98	0.05	0.07	0.05	0.07	22.2

*文献 11、日本標準飼料成分表（2009）穀類モミ米参照

表 15 平成 28 年度べこあおば（成熟期）稲わらの各試験区の微量元素濃度

	Na (Dry-%)	K (Dry-%)	S (Dry-%)	Cl (Dry-%)	Ca (Dry-%)	Mg (Dry-%)	DCAD
無堆肥区	0.01	2.03	0.07 ^a	0.77	0.32	0.11 ^b	27.2
非汚染区	0.01	2.20	0.07 ^a	0.77	0.33	0.13 ^a	30.4
低汚染区	0.01	2.17	0.06 ^b	0.83	0.34	0.13 ^a	28.0

表 16 平成 28 年度コシヒカリ稲わらの各試験区の微量元素濃度

	Na (Dry-%)	K (Dry-%)	S (Dry-%)	Cl (Dry-%)	Ca (Dry-%)	Mg (Dry-%)	DCAD
無堆肥区	0.01	1.70	0.05	0.57	0.26	0.08 ^b	25.0
非汚染区	0.01	1.73	0.05	0.60	0.22	0.09 ^{ab}	24.5
低汚染区	0.01	1.63	0.05	0.57	0.26	0.09 ^a	22.8
稲ワラ (水稻) *	0.07	1.64	0.16	0.50	0.30	0.13	21.0

*文献 11、日本標準飼料成分表 (2009) 作物副産茎葉類稲ワラ (水稻) 参照

表 17 平成 28 年度コシヒカリ精玄米の各試験区の微量元素濃度

	Na (Dry-%)	K (Dry-%)	S (Dry-%)	Cl (Dry-%)	Ca (Dry-%)	Mg (Dry-%)	DCAD
無堆肥区	0.01	0.27	0.08	0.20	0.01	0.16	-3.5
非汚染区	0.01	0.26	0.08	0.20	0.01	0.15	-3.8
低汚染区	0.01	0.24	0.08	0.20	0.01	0.14	-4.3
玄米*	—	0.25	—	—	0.03	0.09	—

*文献 11、日本標準飼料成分表 (2009) 穀類玄米米参照

引用文献

(文献 1) 稲発酵粗飼料用稲の収穫時の刈り取りの高さと放射性セシウム濃度の関係、農研機構 畜産草地研究所、2013

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nilgs/047884.html

(文献 2) 主要農作物等施肥基準、千葉県、P.65、2009.

(文献 3) 玄米の放射性セシウム低減のためのカリ施用、農研機構 中央農業総合研究センター、2012

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/narc/027913.html

(文献 4) 農林水産省、2013. 農地除染対策の技術書. pp.14-18. 農林水産省 農村振興局整備部設計課施工企画調整室

(文献 5) 平成 29 年産水陸稲の収穫量、農林水産省統計、2017

http://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/sakumotu/sakkyou_kome/suiriku/h29/syukaku/index.html

(文献 6) カリ増施および堆肥施用によるキャベツの放射性セシウム低減効果、放射性物質対策特集号、福島県農業総合センター、P.66-69、2013.

(文献 7) 堆肥の継続的な施用は飼料用トウモロコシの放射性セシウム低減に有効である、農研機構 畜産草地研究所、2011

http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2011/a00a0_01_74.html

(文献 8) 低カリウム粗飼料である飼料イネを利用した乳牛の尿量低減化、農研機構 畜産草地研究所、2007.

<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2007/nilgs07-13.html>

(文献 9) 日本食品標準成分表 2015 年版（七訂）追補 2016 年、文部科学省、2016.
https://fooddb.mext.go.jp/result/result_top.pl?USER_ID=19071

(文献 10) 家畜用飼料の暫定許容値設定に関する Q&A、農林水産省、2014.

http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/siryoku_faq.html

(文献 11) 日本標準飼料成分表、社団法人中央畜産会、2009

本パンフレットは、「堆肥施用による被災地の畑地・水田の地力回復等効果の持続性追跡調査事業」の推進委員会の監修により作成されました。

【推進委員会名簿】

(敬称略、あいうえお順)

- ◎上沢正志 公益財団法人 日本肥糧検定協会 顧問
太田 健 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 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長
高橋 茂 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター 水田作研究領域長
服部 実 福島県農業総合センター 生産環境部長 (平成 28 年度)
根本文宏 福島県農業総合センター 生産環境部長 (平成 29 年度)
◎座長

【執筆者名簿】

- 小堤悠平 (一財) 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所 研究員
畠中哲哉 (一財) 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所 嘱託
國分洋一 福島県農業総合センター畜産研究所 飼料環境科 専門員

畜産環境技術研究所 所在地



堆肥施用による被災地の畑地・水田の地力回復等効果の
持続性追跡調査事業成果報告書
(平成 28・29 年度堆肥施用による被災地の畑地・水田の地力回復等効果の持
続性追跡調査事業)

平成 30 年 3 月 14 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 3 階)

TEL 03-3459-6300 / 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