

放射性セシウム濃度が高くなる 要因とその対策について

大豆

(中間取りまとめ)

～現地調査と試験研究等の結果～

1. 平成24年産大豆の放射性セシウム検査の結果
2. 大豆の加工による放射性セシウムの濃度変化
3. 大豆の放射性セシウム濃度に影響する要因
4. 放射性セシウム濃度が高い大豆の発生要因に関する考察
5. 総括

平成25年3月

農林水産省

(独)農業・食品産業技術総合研究機構

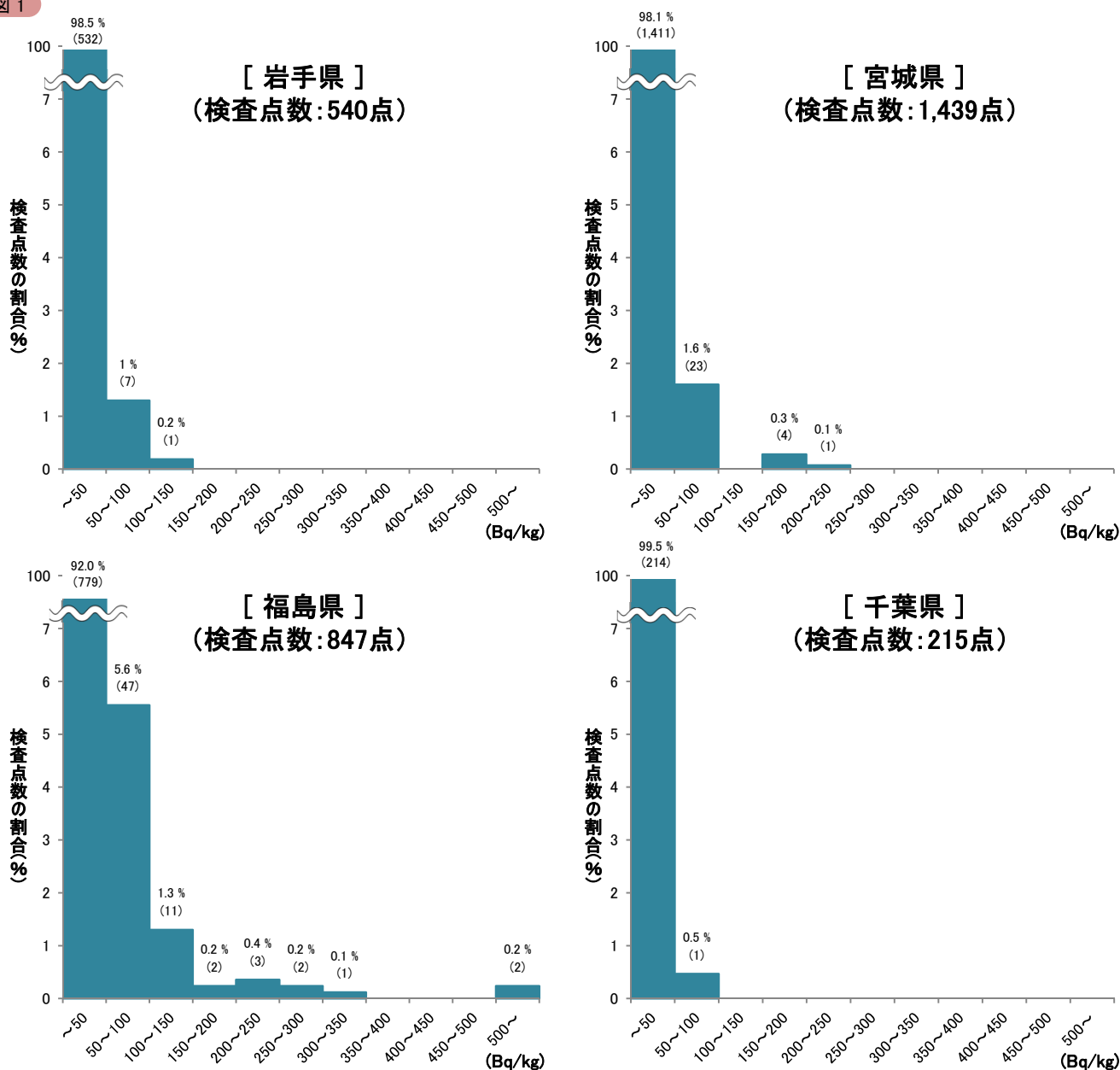
(独)農業環境技術研究所

1. 平成24年産大豆の放射性セシウム検査の結果

- 平成24年産大豆の放射性セシウム検査によると、検査対象である17都県の全検体のうち、放射性物質の基準値(100 Bq/kg)を超過したものは0.6%とわずかであった。
- また、全検体のうち、50 Bq/kg以下のものが97.7%と大部分を占めた。
- 基準値を超過する放射性セシウムを含む大豆は、他の農産物に比べ、より広い地域で見られた。

平成24年産放射性セシウム検査における濃度別割合の分布

図 1



【解説】

- ・ 24年産放射性セシウム検査において、50 Bq/kgを超える放射性セシウムが検出された岩手県、宮城県、福島県、千葉県について、放射性セシウム濃度の階層別に全検査点数に占める各階層の検査点数の割合を整理したもの(平成25年3月25日現在)。

2. 大豆の加工による放射性セシウムの濃度変化

- 国産大豆は、その約9割が豆腐、煮豆等の食品に加工された上で消費されている。
- 放射性セシウム濃度は、原料の大豆と比較すると、加工した後の豆腐及び副産物のおからで約1/5に、煮豆で約1/3に低下した。
- 放射性セシウム濃度が基準値を超えない大豆を原料として使用すれば、加工品及び副産物において放射性セシウム濃度が基準値を超過しない。

大豆の加工による放射性セシウムの濃度変化

表 1

品目	大豆との比
大豆 (原料:水分10%)	1
豆腐	0.17
おから (水分8%換算値)	0.23 (0.81)
煮豆	0.35

【解説】

- ・ 本試験は、①大豆の放射性セシウム濃度と比較すると、加工品等の放射性セシウム濃度は低くなることが予想されたが、これを確認すること、②原料大豆と加工品等の放射性セシウム濃度の比(加工係数)を得ること、を目的に行った。
- ・ 大豆の放射性セシウム濃度と、加工品である豆腐及び副産物(おから)、煮豆の放射性セシウム濃度との関係について確認するため試験をしたもの。濃度の違う大豆3検体(34 Bq/kg、163 Bq/kg、270 Bq/kg)を用いて、実際の製造工程を小規模に再現して、試験を実施した。
- ・ 豆腐及び副産物(おから)の放射性セシウム濃度は、ともに大豆の0.2倍、乾燥おから(水分8%換算値)の放射性セシウム濃度は、大豆の0.8倍、煮豆の放射性セシウム濃度は大豆の0.4倍(いずれも定量された2検体の平均値)となっている。
- ・ 試験の妥当性を確認するため、原料洗浄後の排水、煮豆の煮汁等に溶出したものを含め、加工前後の放射性セシウム全てについて収支を算出し、いずれの加工試験でも放射性セシウムの回収率は9割以上であった。

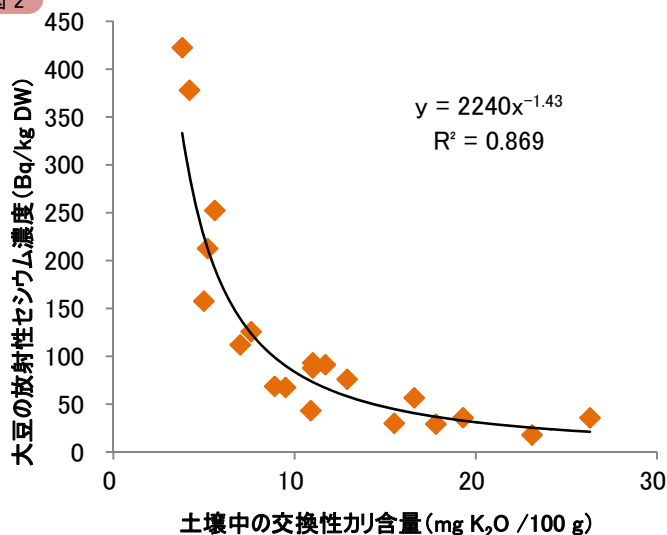
3. 大豆の放射性セシウム濃度に影響する要因

① 土壌中の交換性カリ含量の影響

- 土壌中の交換性カリ含量が低いほど、大豆の放射性セシウム濃度が高い傾向がみられた。特にポット試験においては、この傾向が顕著であった。
- 土壌中のカリウムは、セシウムと化学的に似た性質を有しており、作物が吸収する際に競合する等から、セシウム吸収を抑える働きがあると考えられる。

土壌中の交換性カリ含量(栽培後)と大豆の放射性セシウム濃度の関係

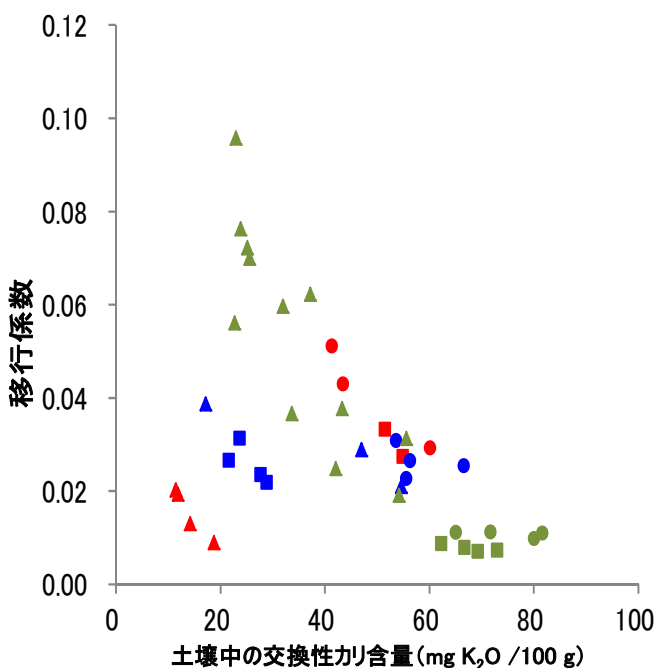
図 2



【解説】

- ・ 平成24年に(独)農環研においてポット試験を実施し、土壌中の交換性カリ含量と大豆の放射性セシウム濃度との関係を整理したもの。なお、大豆の放射性セシウム濃度は、乾物重当たりで計測した。
- ・ 土壌中の交換性カリ含量と大豆の放射性セシウム濃度との間には、負の相関関係が認められた。

図 3

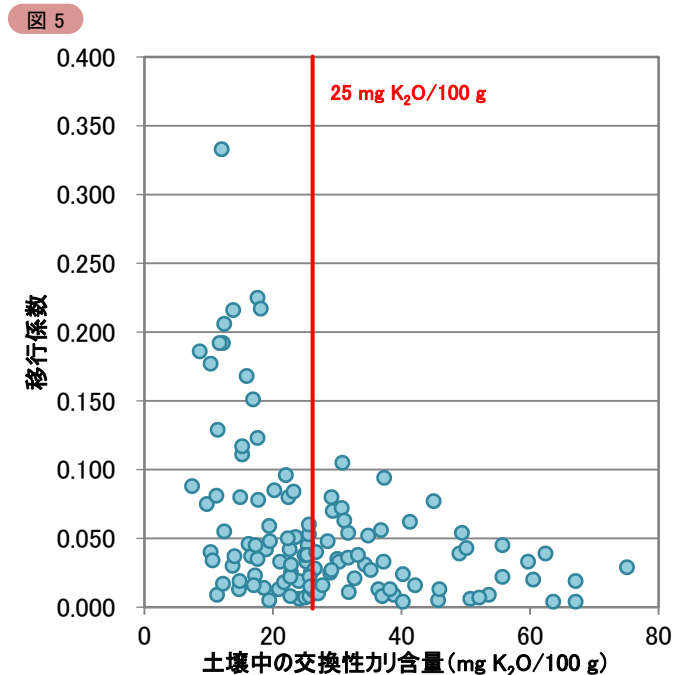
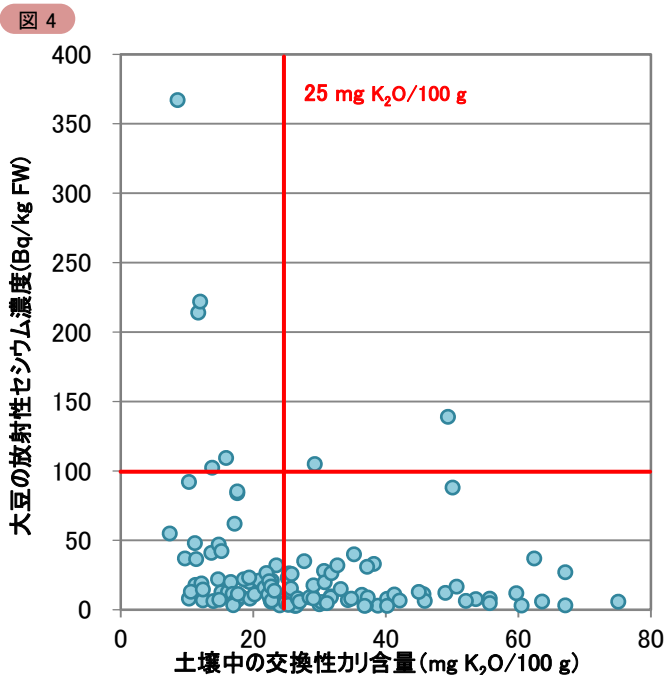


【解説】

- ・ 平成24年に4県の9地点では場試験を実施し、土壌中の交換性カリ含量と土壌から大豆への放射性セシウムの移行係数を整理したもの。なお、大豆の放射性セシウム濃度は、乾物重当たりで計測した。
- ・ 移行係数とは、作物の可食部の放射性セシウム濃度を栽培土壌の放射性セシウム濃度で除した値。この値が大きいほど、放射性セシウムが土壌から可食部に移行しやすいことを示す。
- ・ 色と形が同じプロットは、同じ地点で得られたデータであることを示している。
- ・ 各地点で土壌等の条件は異なるため、土壌中の交換性カリ含量に対する移行係数の挙動も各地点で異なる。
- ・ ただし、60 mg K₂O/100 gまでの範囲では、土壌中の交換性カリ含量が高いほど移行係数が低く、60 mg K₂O/100 g以上の範囲では、土壌中の交換性カリ含量が高くなっても移行係数は同じ傾向が共通してみられた。

- 平成24年産の現地調査によると、土壤中の交換性カリ含量が、基準値を超えない米を生産するための目標水準である25 mg K₂O/100 g以上であれば、大豆の放射性セシウム濃度は96.8 %が基準値以下であった(25 mg K₂O/100 g 未満では91.2 %)。
- さらに、図3に示したデータと同様に、60 mg K₂O/100 g程度までは、土壤中の交換性カリ含量が高いほど移行係数が低い傾向がみられた。
- 基準値を超えて放射性セシウムを含まない大豆を生産するためには、以下のことが必要である。
 - ① 交換性カリ含量が低いほ場では、交換性カリ含量が25 mg K₂O/100 gになるよう土壌改良した上で、地域の施肥基準に応じた施肥を行うことを基本とする。
 - ② また、過去に大豆の放射性セシウム濃度が高かった地域、土壤中の放射性セシウム濃度が高い地域など、放射性セシウム濃度が高い大豆が生産される可能性のある地域では、吸収抑制を徹底するため、交換性カリ含量50 mg K₂O/100 g程度を目標として土壌改良をする。ただし、陽イオン交換容量(CEC)が小さい土壌が多い地域については、生育に影響が出ないよう施用量を設定する。
 - ③ なお、カリ肥料の施用量が多いと、大豆のマグネシウム吸収を阻害する場合があるため、播種前の酸度矯正の際に苦土石灰を施用し、あらかじめ十分なマグネシウム補給を行う。

土壤中の交換性カリ含量(栽培後)と大豆の放射性セシウム濃度・移行係数の関係



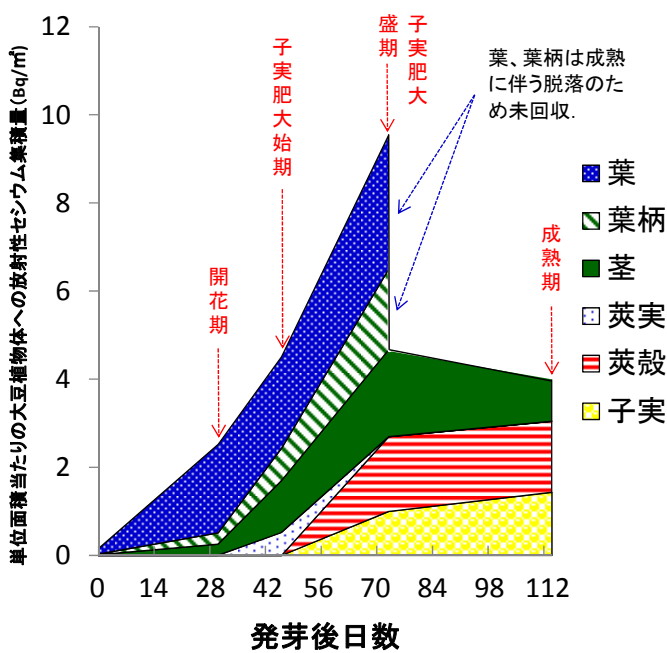
【解説】

- ・ 平成23年産の大豆から50 Bq/kgを超える放射性セシウムが検出された地域について、24年産において119地点で大豆及び土壤中の放射性セシウム濃度を調査した結果(¹³⁴Csと¹³⁷Csの合計値を「○」でプロット(一方が検出下限値未満の場合は、検出下限値を利用して合計値を算出))。
- ・ 栽培後に土壤中の交換性カリ含量が25 mg K₂O/100 g以上あれば、大豆の放射性セシウム濃度は96.8 %が基準値以下であった(25 mg K₂O/100 g 未満では91.2 %)。
- ・ 図3に示したデータと同様に、60 mg K₂O/100 g程度までの範囲では、土壤中の交換性カリ含量が高いほど移行係数が低い傾向がみられた。

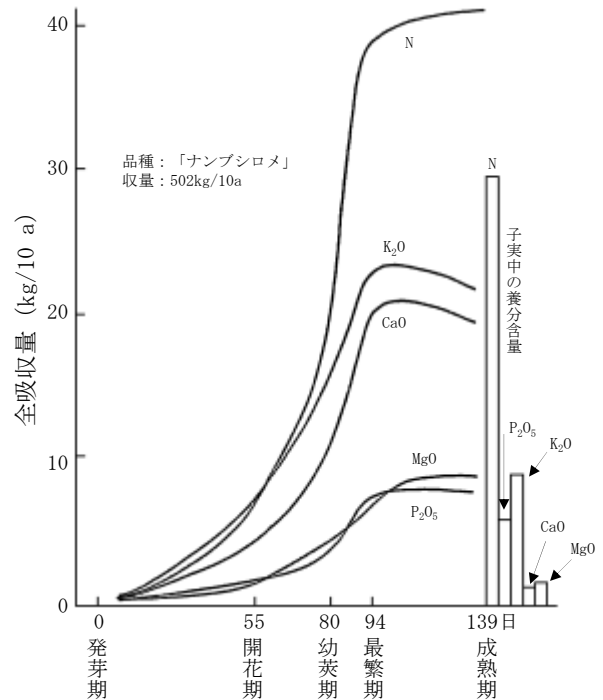
- 大豆による放射性セシウム吸収は、カリウムの場合と同様に、主として開花期から子実肥大盛期までに起こると考えられる。
- 基準値を超過しない大豆を生産するためには、以下の施肥方法が必要である。
 - ① ケイ酸カリよりも、速効性である硫酸カリまたは塩化カリを利用する（塩化カリの多量施用は、窒素固定を行う根粒の着生を阻害し大豆の生育を抑制するため、控えることが望ましい）。
 - ② 生育初期から土壌中の交換性カリ含量を高めるため、カリ肥料の施用時期は基肥を基本とする。

大豆の植物体に含まれる放射性セシウム量の推移(生育時期別の吸収パターン)

図 6



参考: 生育時期別のカリウム吸収パターン(石井1983)
※ 落葉、落葉柄中の養分を含む

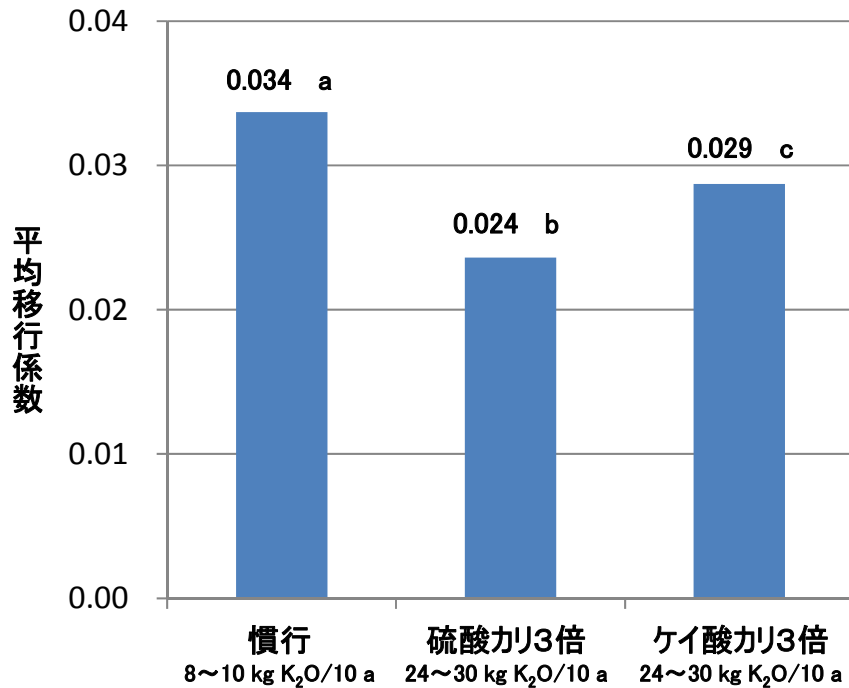


【解説】

- ・ 平成24年に(独)農研機構・中央農研の畑ほ場(淡色黒ボク土、土壌の放射性セシウム濃度187 Bq/kg DW、交換性カリ含量68 mg K₂O/100 g)において、7月19日に播種し、8月22日から11月14日まで4回にわたり大豆の放射性セシウム吸収量を測定した試験結果。(参考の図については、[石井和夫 1983. 東北地域におけるダイズに対する肥培管理[3]. 農業及び園芸. 58:1500-1502]による)
- ・ 放射性セシウムは子実肥大盛期までに、茎、葉柄、葉などの栄養器官や子実において蓄積されており、カリの吸収と似たパターンとなっている。

硫酸カリとケイ酸カリの吸収抑制効果の比較

図 7



※ 図中のa、b、cは、Tukey法による多重比較において、5%水準で有意差があることを示す

【解説】

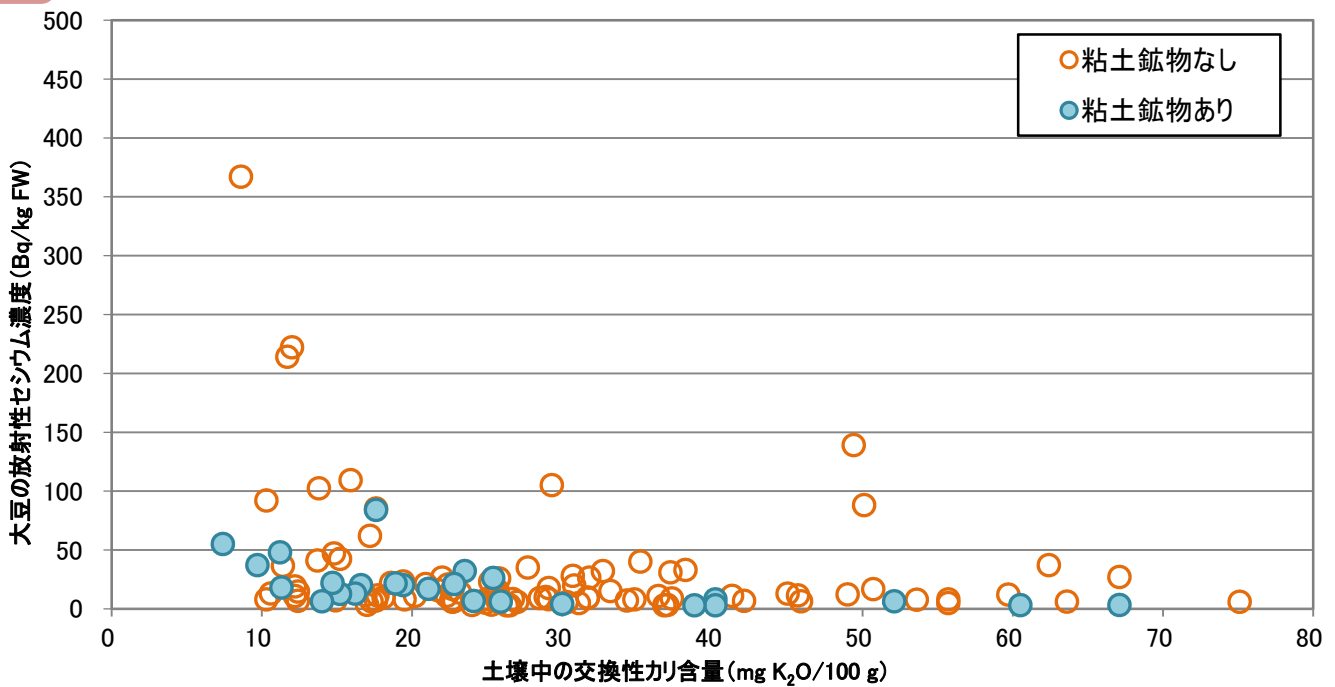
- ・ 移行係数は、3県において実施された延べ7試験(各3反復)の結果の平均値。カリ肥料の慣行施用量は8~10 kg K₂O/10 a、3倍区は24~30 kg K₂O/10 aで、いずれも全量を基肥で施用した。なお、大豆の放射性セシウム濃度は、乾物重当たりで計測した。
- ・ カリ肥料を慣行の3倍量で基肥施用することにより、移行係数が低減。速効性の硫酸カリの効果が高かった。
- ・ この他、平成23年、24年に実施したほ場試験の結果によると、追肥の実施による移行係数に対する低減効果は認められなかった。
- ・ 大豆では、塩化カリの多量施用は初期生育や根粒着生に悪影響を与えるので、施用量が概ね30 kg K₂O/10 aを超える場合は硫酸カリの使用が望ましい。

② 土壌の性質による影響

- 土壌中の放射性セシウムは、時間の経過とともに、土壌中の粘土鉱物による固定が進み、作物が吸収しにくくなると考えられるため、粘土含量の少ない砂質土等の固定力の低い土壌は注意が必要である。
- また、粘土含量の多い土壌であっても、放射性セシウムの固定力の弱い粘土鉱物の場合は、作物は土壌の放射性セシウムを吸収しやすくなると考えられる。
- こうした固定力の弱い土壌(砂質土、腐植質の多い黒ボク土等)では、吸収抑制対策の徹底が必要である。

雲母由来の粘土鉱物の土壌中における存在の影響

図 8



【解説】

- ・ 図4と同じ現地調査のデータを用いて、雲母由来の粘土鉱物が存在するか否かにより、プロットを色分けして整理。
- ・ 雲母由来の放射性セシウムの固定力がある粘土鉱物が土壌中に存在する場合は、土壌中の交換性カリ含量が低くても、相対的に大豆の放射性セシウム濃度が低い傾向がみられた。

セシウムの吸着・固定力

図 9

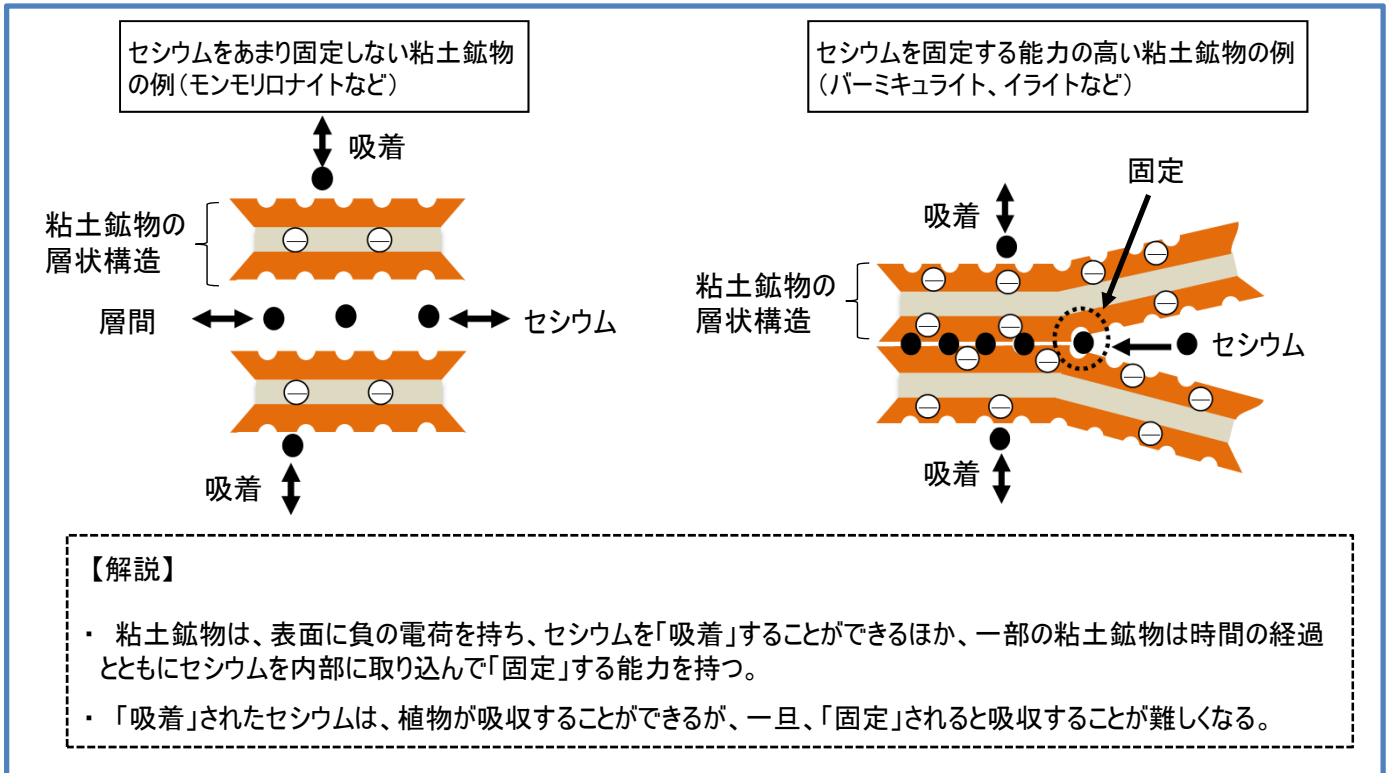


表 2

土壌構成成分	Cs吸着	Cs固定
土壌有機物	高い	低い
粘土鉱物(非雲母由来)		
カオリナイト、ハロイサイト	高い	低い
アロフェン、イモゴライト	高い	低い～中程度
モンモリロナイト	高い	低い
粘土鉱物(雲母由来)		
バーミキュライト	高い	高い
イライト	高い	中程度～高い
アルミニウムバーミキュライト	高い	中程度～高い
ゼオライト	高い	高い(注)

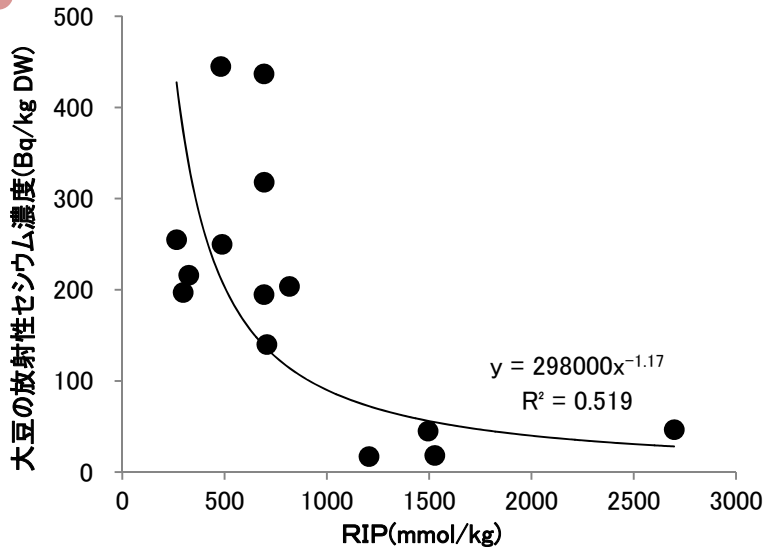
【解説】

- 土壌有機物や粘土鉱物であっても雲母由来でないモンモリロナイト等は、セシウムを固定する能力が低い。
- バーミキュライトやイライトなど雲母鉱物由来の粘土は、セシウムを固定する能力が高い。

(注)産地や品質によって固定力の低いものもある。

大豆の放射性セシウム濃度と土壌のセシウム固定力(RIP)との関係

図 10



【解説】

- ・ RIPとは、Radiocesium Interception Potentialの略で、放射性セシウム捕捉ポテンシャルと訳される。風化した雲母等、粘土鉱物の層末端にはフレイドエッジサイト(Frayed Edge Site)と呼ばれ、セシウム選択性が高く、いったん保持した放射性セシウムを容易に放出しない微小部位がある。
- ・ RIPは、フレイドエッジサイトの¹³⁷Csに対する親和性を示し、土壌が放射性セシウムを固定する能力の指標として用いられる。

土壌のセシウム固定力(RIP)と土壌タイプとの関係

表 3

土壌タイプ	試料数	RIP平均値 mmol/kg	RIP最小値 mmol/kg	RIP最大値 mmol/kg	備考
多腐植質黒ボク土・多湿黒ボク土・黒ボクグライ土	29	352	152	1,570	多腐植質:腐植含量10%以上
腐植質黒ボク土・多湿黒ボク土・黒ボクグライ土	45	1,010	73	3,500	腐植質:腐植含量5~10%
淡色黒ボク土	3	1,340	154	2,140	淡色:腐植含量5%未満
褐色森林土	18	2,500	563	5,980	
灰色台地土・グライ台地土	13	1,670	818	2,740	
赤色土・黄色土	13	1,720	74	3,330	
褐色低地土	13	1,710	490	3,970	
灰色低地土	102	1,860	318	5,320	
グライ土	40	2,320	530	7,410	
黒泥土・泥炭土	11	1,440	494	1,890	客土等を含む

③ 土壌のpHによる影響

- 大豆の生育にとって、土壌のpH(H₂Oにより抽出する方法で計測した値)が6.0～6.5であることが望ましい。
- 24年産の現地調査では、土壌のpHが6.0以上のほ場で生産された大豆は、基準値以下のものが97.6%であった。土壌のpHが6.0以上で基準値を超えたものは1点であったが、これが生産されたほ場は、土壌中の交換性カリ含量が8.6 mg K₂O/100 gと低かった。
- このため、pHが6.0以下の土壌については、pHを6.0～6.5に矯正しておけば、大豆の生育のみならず、放射性セシウムの吸収抑制にもそれなりの効果があると考えられる。

土壌のpHと大豆の放射性セシウム濃度との関係

図 11

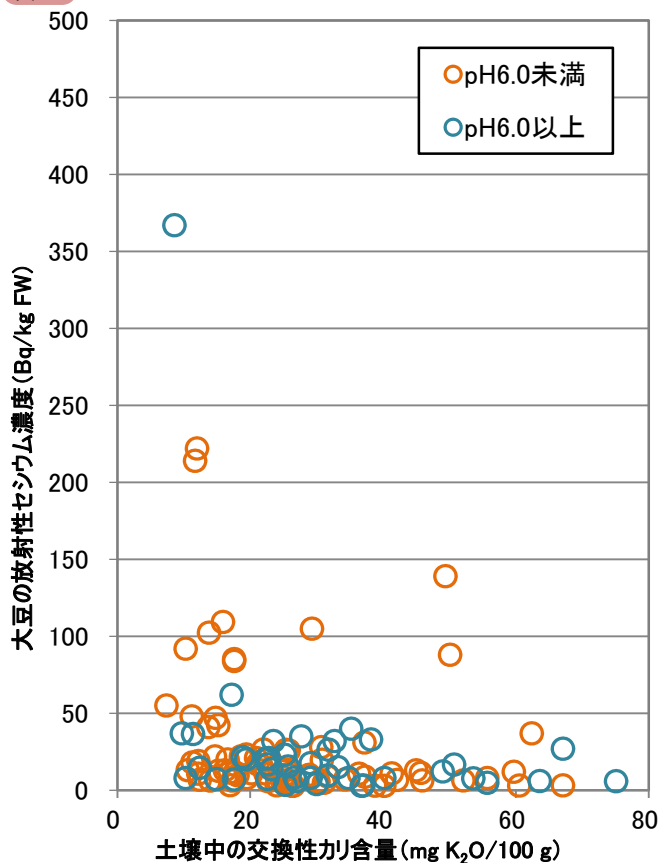
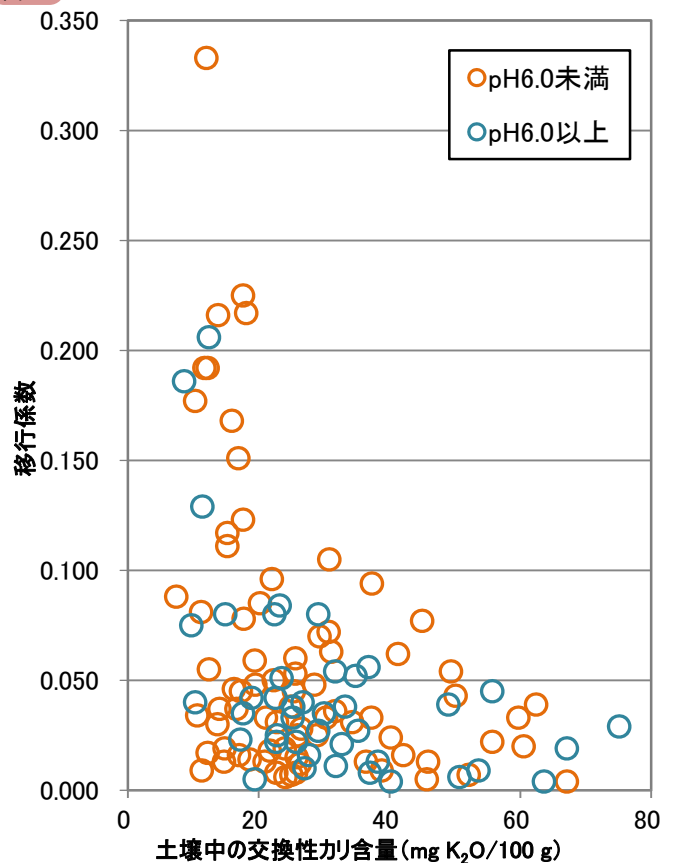


図 12



【解説】

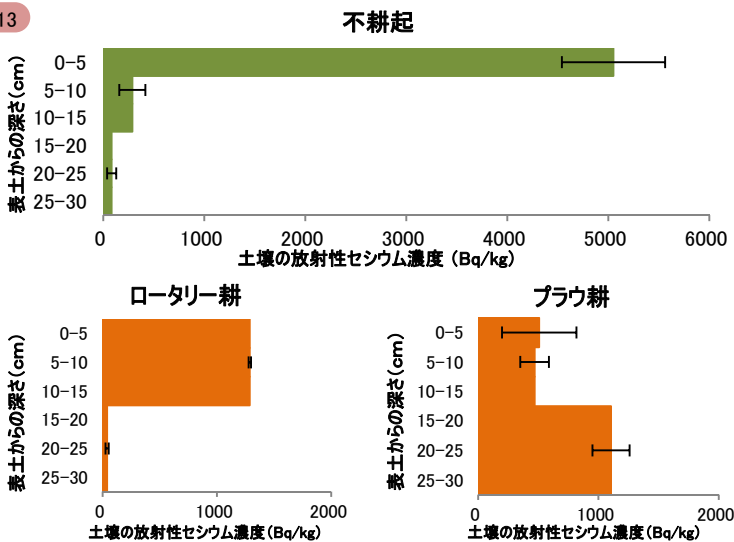
- ・ 図4、図5について、土壌のpHの値により、プロットを色分けして整理。
- ・ 24年産の現地調査では、土壌のpHが6.0以上のほ場で生産された大豆は、基準値以下のものが97.6%であった。土壌のpHが6.0以上で基準値を超えたものは1点であったが、これが生産されたほ場は、土壌中の交換性カリ含量が8.6 mg K₂O/100 gと低かった。

④ 栽培管理の影響

- 耕うんが浅い場合は、土壌表層に放射性セシウムが留まる。また、土壌表層に根張りが集中するため、大豆が放射性セシウムを吸収しやすいと考えられている。
- こうした作土層の浅いほ場では、深耕等により放射性セシウムを土壌中のより深い部分まで分散させるとともに、作土層を拡大して大豆の根張りが深くなるよう改善することが重要である。
- 特に不耕起栽培は、大豆の放射性セシウム濃度が高かった地域では避けた方がよいと考えられる。
- なお、放射性セシウムを含む土壌が大豆に付着することによる汚染を防ぐため、コンバイン収穫時に刈り取る高さを調節し、土の巻き込みを避ける等、対策を講じることが必要である。

耕起による土壌中の放射性セシウムの鉛直分布の変化

図 13

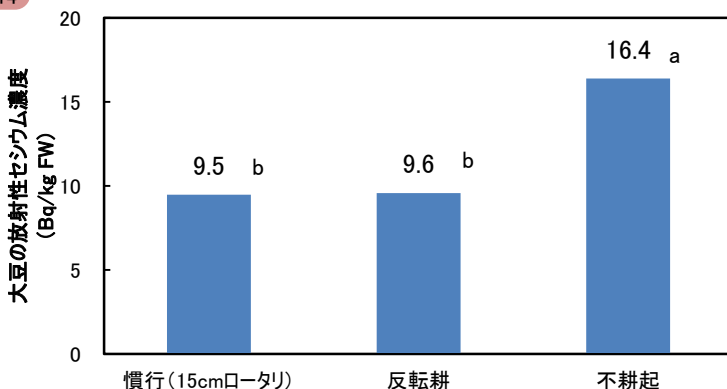


【解説】

- ・ 淡色黒ボク土の畑ほ場で、平成23年に大豆を不耕起栽培または播種時にロータリー耕（耕深約15cm）、プラウ耕（耕深約30cm）を行なって栽培した後に、深さ別に放射性セシウム濃度を測定した。
- ・ 土壌表層の放射性セシウムは耕すことによって、より深い部分まで分散される。

大豆の放射性セシウム濃度への耕起・反転耕の効果

図 14



【解説】

- ・ 淡色黒ボク土の畑ほ場で、平成23年に大豆を慣行（ロータリー耕15cm）、反転耕実施後または不耕起で栽培し、大豆の放射性セシウム濃度を測定した。
- ・ 不耕起では大豆への放射性セシウム吸収が高まる。

4. 放射性セシウム濃度が高い大豆の発生要因に関する考察

- 放射性セシウム濃度の高い大豆が発生したほ場については、①土壤中の交換性カリ含量が低い、②土壤に雲母由来の粘土鉱物がみられない、③砂質土である等、大豆が放射性セシウムを吸収しやすくなると考えられる土壤の特徴がみられる。
- また、土壤のpHが低い、耕起せずに大豆を作付けている等の特徴もみられる。

放射性セシウム濃度が高い大豆が発生したほ場等の状況

表 4

番号	大豆の放射性Cs濃度 (Bq/kg)	ほ場の土壤の状況							営農上の特徴
		放射性Cs濃度 (Bq/kg)	交換性放射性Cs濃度 (Bq/kg)	土壤100mg中K ₂ O含量	雲母由来の粘土鉱物の有無	粒径組成(粘土割合)	pH	全炭素	
1	367	1,978	43	8.6 mg	×	36.4 %	6.3	2.1 %	・前3年は大豆作付 ・ケイ酸カリ40kg施用
2	223	666	112	12.0 mg	×	22.6 %	5.2	2.5 %	・前3年は不作付地
3	214	1,115	101	11.7 mg	×	30.5 %	5.7	4.6 %	・前3年は大豆作付
4	139	2,565	114	49.4 mg	×	39.0 %	5.9	2.4 %	・ケイ酸カリ40kg施用
5	109	652	135	15.9 mg	×	21.1 %	5.2	5.0 %	・前3年は大豆作付
6	105	1,504	94	29.3 mg	×	18.5 %	5.1	1.8 %	
7	102	473	91	13.8 mg	×	39.9 %	5.4	2.1 %	・前3年は大豆作付
8	92	520	43	10.3 mg	×	13.9 %	5.4	3.0 %	
9	88	2,046	244	50.1 mg	×	38.1 %	5.6	1.9 %	・前3年は大豆作付 ・ケイ酸カリ40kg施用
10	84	685	150	17.6 mg	○	19.4 %	4.5	2.2 %	・麦後不耕起栽培

【解説】

- ・ 図4、図5と同じ現地調査のデータにおいて、放射性セシウム濃度が比較的高い大豆が生産されたほ場の土壤分析結果と生産者からの聞き取りによる特徴的な営農情報をとりまとめたもの。

5. 総括

- 土壌中の交換性カリ含量が低いほど、大豆の放射性セシウム濃度が高い傾向がみられた。特にポット試験においては、この傾向が顕著であった。
- 24年産の現地調査の結果によると、
 - ① 土壌中の交換性カリ含量が、基準値を超えない米を生産するための目標水準である25 mg $K_2O/100$ g以上であれば、大豆の放射性セシウム濃度は96.8 %が基準値以下
 - ② 土壌中の交換性カリ含量が60 mg $K_2O/100$ g程度までは、土壌中の交換性カリ含量が高いほど移行係数が低い傾向であったことが確認された。
- このため、基準値を超える放射性セシウムを含まない大豆を生産するためには、以下のことが必要である。
 - ① 交換性カリ含量が低いほ場では、交換性カリ含量が25 mg $K_2O/100$ gになるよう土壌改良した上で、地域の施肥基準に応じた施肥を行うことを基本とする。
 - ② また、過去に大豆の放射性セシウム濃度が高かった地域、土壌中の放射性セシウム濃度が高い地域など、放射性セシウム濃度が高い大豆が生産される可能性のある地域では、吸収抑制を徹底するため、土壌中の交換性カリ含量50 mg $K_2O/100$ g程度を目標としてカリを施用することが必要である。ただし、陽イオン交換容量(CEC)が小さい土壌が多い地域については、生育に影響が出ないように施用量を設定する。
 - ③ なお、カリ肥料の施用量が多いと、大豆のマグネシウム吸収を阻害する可能性があるため、播種前の酸度矯正の際に苦土石灰を施用し、十分なマグネシウム補給を行う。
- 大豆による放射性セシウムの吸収は、主として開花期から子実肥大期盛期までに起こると考えられるため、カリ肥料の施用に当たっては、ケイ酸カリよりも、速効性である硫酸カリまたは塩化カリを利用し、生育初期から土壌中の交換性カリ含量を高めるため、基肥を基本とすることが必要である。
- 大豆のセシウム吸収には、土壌中の粘土鉱物のセシウム固定力が影響している可能性があり、砂質土、腐植質の多い黒ボク土等の固定力の弱い土壌は注意が必要である。
- 土壌のpHが6.0以上のほ場で生産された大豆は、基準値以下のものが97.6 %であったため、pHが6.0以下の土壌については、pHを6.0～6.5に矯正しておけば、大豆の生産のみならず、放射性セシウムの吸収抑制にもそれなりの効果があると考えられる。
- 耕うんが浅い場合は、土壌表層に放射性セシウムが留まる。また、土壌表層に根張りが集中し、大豆が放射性セシウムを吸収しやすくなるため、深耕等により放射性セシウムを土壌中のより深い部分まで分散させるとともに、作土層を拡大して大豆の根張りが深くなるよう改善することが重要である。また、土壌が大豆に付着することを防ぐため、コンバイン収穫時に土の巻き込みを避ける等の対策も重要である。
- 大豆について、25年作の作付準備に資するよう、現段階での知見を基に考える対策の考え方を整理した。しかしながら、基準値超過がみられたほ場の中には、要因が十分説明できないものも残っており、現在進めている戦略推進費や25年作における調査により関係機関でさらなる検討を行い、要因の解明や対策の確立を進め、順次、成果を公表することとしたい。

【協力機関】

岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県