放射性セシウム濃度の高い米が発生する要因とその対策について

～要因解析調査と試験栽培等の結果の取りまとめ～
（ 概 要 ）

1. 24年産米の放射性物質検査の結果
2. 作付制限･自粛区域での試験栽培の結果
3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因
4. 24年産で基準を超過した米が生産された要因の解析
5. 総 括

平成25年1月
福　島　県
農林水産省

1. 24年産の米の放射性物質検査の結果

○ 24年産の福島県の米の全袋（玄米30 kg/袋）検査の結果、約1,000万袋検査を行った中で、基準値（100 Bq/kg）を超過した放射性セシウムを含む玄米は71袋（超過率 0.0007 %）に止まった（平成24年12月末現在）。

○ 昨年基準値超過が見られた地域周辺の緊急調査実施地域内だけで比較すると、100 Bq/kgを超える放射性セシウムを含む玄米の割合は、昨年は1 %以上あったのに対して今年は0.002 %程度となり、カリ肥料の施用などの吸収抑制対策等の実施により玄米中の放射性セシウム濃度が大幅に低下したことが明らかとなった(※)。

（※） カリ肥料の施用効果等は後述

図 1

福島県における24年産の全袋検査結果

【解説】

・ 福島県において24年産米の出荷前に行った全袋検査の結果。

・ 吸収抑制対策等の実施により、基準値を超過した検体は71袋（平成24年12月末現在）に止まった。

図 2

23年産の緊急調査結果との比較

【解説】・ 23年産の緊急調査の調査対象地域（23年産の検査で放射性セシウムが検出された29市141旧市町村。比較のため、24年産で作付制限した旧市町村は除く。）について、23年産の緊急調査と24年産の全袋検査を比較したもの。

2. 作付制限･自粛区域での試験栽培の結果

○　24年産の米の作付制限･自粛区域内における400カ所のほ場でカリ施肥などの吸収抑制対策を実施し試験栽培を行った結果、生産された玄米の放射性物質濃度を分析できた396カ所のうち395カ所のほ場において、基準値以下の米を生産できることが実証された。

24年産の作付制限・自粛区域内における試験栽培の結果（概要）

表 1

		区域区分	ほ場数	うち 100 Bq/kg 以下	うち 100 Bq/kg 超
福島市		作付制限区域	32	31	1
伊達市		作付制限区域	75	75	0
二本松市		作付制限区域	27	27	0
田村市		作付自粛区域	43	43	0
相馬市		作付制限区域	5	5	0
南相馬市		作付自粛区域	120	120	0
		作付制限区域	6	6	0
葛尾村		作付制限区域	3	3	0
広野町	※	作付自粛区域	39	39	0
川内村	※	作付自粛区域	36	36	0
楢葉町	※	作付制限区域	10	10	0
計			396	395	1

※　町村単独事業により実施

【解説】

・　交付金事業や市町村事業等を活用し、作付制限･自粛区域内の放射性セシウムで汚染されたほ場において、深耕などの除染のほか、カリ肥料の施用など吸収抑制対策を実施することで、基準値以下の米が生産できることを実証した（全400カ所）。

・　基準値の100 Bq/kgを超える放射性セシウムを含む玄米が生産されたほ場は、全試験ほ場中1カ所のみであった。（注）400カ所中4カ所では、鳥獣被害により未計測
　このほ場は、23年産の玄米濃度が特に高い値を示した区域にあるが、吸収抑制対策により玄米濃度は昨年の1/10以下と大幅に低減した（120 Bq/kg）。本年作では、肥料の種類や施肥時期等を更に改善していくことで、一層の低減も可能と考えられる。

福島市（24年産の作付制限区域）における23年産と24年産の放射性物質調査結果の比較

図 3

【解説】

・　24年産の福島市の作付制限区域について、23年産の緊急調査の結果と24年産の試験栽培の結果を、玄米中の放射性物質濃度の割合で比較したもの。

・　除染や吸収抑制対策を施した24年産は、23年産と比べ、玄米中の放射性物質濃度が低く抑えられていることがわかる。

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

① 土壌の影響

ア 土壌中の放射性セシウム濃度

○ 土壌の放射性セシウム濃度と玄米中の放射性セシウム濃度の間には相関は見られない。

土壌中の放射性セシウム濃度と玄米中の放射性セシウム濃度の関係

図 4

【解説】

- 平成24年に福島県内432地点で玄米及び土壌中の放射性セシウム濃度を調査した結果(^{134}Csと^{137}Cs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))。また、^{134}Cs及び^{137}Csのいずれも検出下限値未満であった地点のデータは^{134}Cs、^{137}Csそれぞれの検出下限値の合計値を「■」でプロット。
- 土壌中の放射性セシウム濃度は高いが玄米中の濃度が低い検体がある一方、土壌中の濃度は低いが玄米中の濃度が高い検体もあり、土壌と玄米の放射性セシウム濃度に相関は見られない。

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

① 土壌の影響

イ 土壌中の交換性カリ含量（その1：低減効果）

○ 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してセシウム吸収を抑える働きがあり、24年産では土壌中の交換性カリ含量25 mg K_2O/100g（※農研機構が公表した米の吸収抑制対策に必要とされる水準）を目標としてカリを施用したところ、玄米中の放射性セシウム濃度が大幅に低減した。

土壌中の交換性カリ含量と玄米中の放射性セシウム濃度の関係

図 5

【解説】

- 23年産の玄米から500 Bq/kgを超える高濃度な放射性セシウムが検出された地域において、24年に現地試験を実施し、土壌中の交換性カリ含量と玄米中の放射性セシウム濃度との関係を整理したもの。
- 23年産で500 Bq/kgを超える放射性セシウムを含む玄米が検出された地区でも、土壌中の交換性カリ含量が25 mg K_2O/100g以上あれば、玄米の放射性セシウム濃度は基準値以下となった。
- また、異なる3地区で確認したところ、いずれの地区でも同様の効果が見られた。

稲わらの取扱による土壌中の交換性カリ含量への影響

図 6

【解説】

- 稲わらにはカリウムが多く含まれているため、これをほ場に還元すると土壌中の交換性カリ含量を維持しやすくなる。
- 実際に、福島県農業総合センターで、約20年間稲わらを土壌に還元した水田と、持ち出した水田各1ほ場について土壌中の交換性カリ含量を調査したところ、持ち出した水田の土壌中の交換性カリ含量は、還元した水田の約半分であった。

○ 一般に、交換性カリ含量が低くなりやすいほ場として、以下のほ場が挙げられる。
→ 長年稲わらの還元、たい肥の施用等が行われていないほ場
→ 自家用等で長い間カリ肥料の施用が行われていないほ場
→ 砂質土壌など保肥力の弱いほ場

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

① 土壌の影響

イ 土壌中の交換性カリ含量（その2：施用方法等との関係）

○ カリ肥料の施用による吸収抑制対策としては、稲による放射性セシウムの吸収は生育前半に多いため、

① ケイ酸カリより速効性の塩化カリを利用すること

② カリ肥料の施肥時期も基肥を基本とし、さらにカリ肥料を追肥する場合は分げつ期の早期に行うこと

が必要である。

稲全体に含まれる放射性セシウム量の推移
（時期別の吸収パターン）

図 7

【解説】

・ 土壌の放射性^{137}Cs濃度が2,355 Bq/kg、交換性カリ含量が3.0 mg K_2O/100gのグライ土水田において、6月10日から9月18日まで5回にわたり稲の放射性セシウム吸収量を測定した試験結果。

・ 放射性セシウムは、生育前半に多く吸収され、その後茎葉から玄米に転流していくと考えられる。このため、吸収抑制対策としてのカリの効果は、生育前半に発揮させることが重要である。

塩化カリとケイ酸カリの吸収抑制効果の比較

図 8

【解説】

・ 土壌の交換性カリ含量が3.3 mg K_2O/100gのグライ土によるポット試験。カリ肥料を10a当たり、塩化カリとして8.3、16.6、33.3、50.0 kg（K_2Oとして5、10、20、30 kg）、ケイ酸カリとして50、100 kg（K_2Oとして10、20 kg）施用し、玄米中放射性セシウム濃度をカリを施用しない処理の玄米濃度と比較した試験結果。

・ 土壌の交換性カリ含量が目標値を大きく下回る場合、毎年のカリ施肥では、土壌中でカリ成分がゆっくりと溶け出すく溶性のケイ酸カリに比べ、早く溶け出す速効性の塩化カリの方が、玄米中の放射性セシウム濃度の低減率が高いことがわかる。

塩化カリの施肥時期による吸収抑制効果の比較

図 9

【解説】

・ 土壌中の交換性カリ含量が14.7 mg K_2O/100gのグライ土水田において塩化カリ(K_2Oとして8 kg/10a)の施用時期を変えて、玄米中放射性セシウム濃度の吸収抑制効果を検討した試験結果。

・ 同量を施肥するのであれば、追肥よりも基肥として、早い時期から施肥する方が効果が高いことがわかる。

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

① 土壌の影響

イ 土壌中の交換性カリ含量
（その3：保肥力の弱い土壌での留意点）

○ カリ肥料を施用しても、保肥力の弱い土壌では、作期終了後には土壌中の交換性カリ含量は低下する。土壌のカリ供給力が適正に維持されるよう、25年産についても土壌診断に基づいた施肥を行うことが重要である。

肥料・資材施用後の土壌中の交換性カリ含量の推移

図 10

（①及び②は、現地の慣行施肥である塩化カリ6.7kg/10aに加え、交換性カリ含量を25 mg K_2O/100gとすることを目標に、それぞれ塩化カリ及びケイ酸カリを施用。③は現地の慣行施肥である塩化カリ6.7kg/10aのみを施用。
（K_2Oとしては、①35.2 kg/10a、②36.0 kg/10a、③4.0 kg/10a。）

【解説】

・ 土壌中の交換性カリ含量が低く、保肥力も比較的弱い土壌（交換性カリ含量：3.3～3.9 mg K_2O/100g、CEC：11.3～14.7 me/100 g、粘土割合：14.4～19.3 %のグライ土壌）における塩化カリ、ケイ酸カリ施用後の交換性カリ含量の変化を調査した試験結果。

・ 施用した肥料・資材の種類や量によっては、収穫後には交換性カリ含量が資材投入前の水準まで低下しており、こうしたほ場では、25年産に向けて改めて十分なカリ肥料等を投入することが重要であることがわかる。

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

① 土壌の影響

イ 土壌中の交換性カリ含量（その4：ゼオライト等の施用との関係）

○ ゼオライト、バーミキュライトの施用により玄米の放射性セシウム濃度の低減効果は認められるが、放射性セシウムの吸着効果より、むしろゼオライト等に含まれるカリウムの効果で説明できると考えられた。

○ このため、吸収抑制対策は、カリ肥料による土壌中のカリ含量の確保を基本とし、ゼオライト等については、カリ肥料だけでは効果が不十分な土壌であって、砂質土等で保肥力が問題となる場合に、保肥力の向上等を目的として投入することが適切である。

ゼオライトによる土壌中の放射性セシウム吸着効果

図 11

【解説】

・ 放射性セシウムを含む火山灰土と砂質土にゼオライトを土壌の0.1 %、0.5 %、1.0 %、10 %混合。ゼオライトを加えない土壌の放射性セシウムの抽出溶液（1M酢酸アンモニウム）の濃度を100とし、ゼオライト混合土壌からの抽出溶液濃度の低下割合で吸着効果を調査した試験。

・ 混合比が少ない1 %(1～1.5 t/10a)程度では、吸着による濃度の低下は僅かだが、10 %(10～15 t/10a)程度では濃度の低下が顕著になる。

ゼオライト等の施用による土壌中の交換性カリ含量と玄米中の放射性セシウム濃度への影響

図 12

【解説】

・ 土壌中の交換性カリ含量が4 mg K_2O/100g以下とカリが不足している水田において、ゼオライト、塩化カリを施用し、玄米への吸収抑制効果を検討した試験結果。なお、全処理区に施肥カリとして4 kg/10aを施用し、土壌中交換性カリウム含量は、5月23日時点の測定値。

・ ゼオライト等の施用による玄米中の放射性セシウム濃度への効果は、土壌中の交換性カリ含量によって説明できたことから、少量のゼオライト等の施用は、吸着による効果よりゼオライト等に微量に含まれるカリウムの効果によって吸収抑制が図られたと考えられる。

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

① 土壌の影響

ウ 土壌の放射性セシウムの吸着･固定力

○ 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、粘土含量が少ない砂質土等の固定力の弱い土壌は注意が必要である。

○ 粘土含量が多い土壌であっても、放射性セシウムの固定力が弱い粘土鉱物の場合は、作物は土壌中の放射性セシウムを吸収しやすくなる。現在、土壌の固定力を評価する取組も行われており、こうした固定力が弱い土壌では 吸収抑制対策の徹底が重要である。

土壌中の粘土の割合と雲母由来の粘土鉱物の含有状況

図 13

【解説】

・ 農地土壌中の粘土の割合の調査結果と、粘土鉱物組成をX線回折により調査し雲母由来の粘土鉱物かどうかを調査した結果を地図上で整理したもの。

・ 平成23年産において、玄米から比較的高い放射性セシウム濃度が検出された地域は、
① 粘土含量が少ない砂質土等の土壌が分布している山地及び丘陵地帯や、
② 粘土含量が多くてもセシウム固定力の強い雲母由来の粘土鉱物が検出されない地域
が多いことがわかる。こうした地域において、土壌中の交換性カリ含量が低い場合は注意が必要である。

【農地の粘土含有率】
- 0.0～10.0 %
- 10.0～20.0 %
- 20.0～30.0 %
- 30.0～40.0 %
- 40.0～50.0 %
- 50.0～77.0 %

【粘土鉱物の性質】
- 雲母由来の粘土鉱物が検出されない地点
- 雲母由来の粘土鉱物が検出される地点

セシウムの吸着・固定力

図 14

【解説】

・ 粘土鉱物は、表面に負の電荷を持ち、セシウムを「吸着」することができるほか、一部の粘土鉱物は時間の経過とともにセシウムを内部に取り込んで「固定」する能力を持つ。

・ 「吸着」されたセシウムは、植物が吸収することができるが、一旦、「固定」されると吸収することが難しくなる。

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）

（注）産地や品質によって固定力の低いものもある。

【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。

図 15

【解説】

・ バーミキュライトを多く含む土壌では、同じ交換性カリ含量でも、放射性セシウムの玄米への移行係数（注）は低くなる。

（注）玄米への移行係数

$$= \frac{\text{玄米中の放射性セシウム（Bq/kg FW）}}{\text{土壌中の放射性セシウム（Bq/kg DW）}}$$

（参考）土壌のセシウムの固定力の評価指標

図 16

【解説】

・ 放射性セシウム捕捉ポテンシャル（ＲＩＰ：Radiocaesium Interception Potential）は土壌の放射性セシウム固定能（セシウムを固定するサイトの容量（単位：mmol/kg））を評価する指標。

・ 交換性カリ含量が十分にある土壌では、RIPが高い土壌ほど玄米の放射性セシウム移行係数は低くなる。

・ 現在、本指標を用いて固定力の調査などが進められている。

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

① 土壌の影響

エ 作土の厚さ

○ このほか、耕うんが浅い場合は、土壌表層に放射性セシウムと根張りが集中するため、放射性セシウムを吸収しやすくなると考えられる。
こうした作土層の薄いほ場では、深耕等により放射性セシウムを土壌中で希釈し、作土層を拡大して根張りを改善することが重要である。

土壌中の放射性セシウムの鉛直分布

図 17

【解説】

- 23年産において玄米から高い放射性セシウムが検出された地域における土壌中の放射性セシウム濃度の鉛直分布の例。
- こうした土壌では、下の写真にあるように、根張りが浅く、表層近くに根が集中している。
- なお、畑では耕うんにより均一に放射性セシウムが存在するのに対し、水田では耕うんしても鉛直方向の濃度勾配が見られることがある。これは、代かきにより放射性セシウムを吸着した粘土が浮き上がること等によるものと考えられる。

図 18

作土層が浅い水田における水稲の根部
（作土の厚さ 約10cm）

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因
② 水田に流入する水の影響（その1：流入水の水質との関係）

○ 水田に流入する水に含まれる放射性セシウムのうち、溶存態(※1)のセシウムは作物が直接吸収できるのに対して、懸濁態(※2)のセシウムは作物が直接吸収し難く、作物への移行は基本的に小さいと考えられる。 （※1と※2は、いずれも下図19参照）

○ ため池や水路等の水質調査によると、
① 通常は検出下限値（^{134}Cs、^{137}Csとも1 Bq/L程度）未満である
② 大雨時などの濁水では懸濁態のセシウムにより濃度上昇が見られることはあるが、これは一時的なものである
③ こうした濁水をろ過した水に含まれる溶存態のセシウムは検出下限値未満であることが明らかとなった。こうした結果であれば、水からの影響は限定的と考えられる。

水中のセシウムの形態（イメージ）

図 19

【解説】

・ 水に含まれる放射性セシウムには、水中にイオン等で溶けている溶存態のほか、浮遊する土壌粒子や有機物などの懸濁物に吸着・固定されている懸濁態がある。

・ かんがい水や田面水中の懸濁物質に含まれている固定態や吸着態のセシウム（Cs）（懸濁態セシウム）は直接水稲の茎や根から吸収されることはないが、田面水中の溶存態や作土中の水溶性のセシウムは茎や根を通して移行する。

田面水の溶存態、懸濁態の放射性セシウムの稲体への吸収

図 20

【解説】

・ 県内採取の落葉から水で^{137}Cs抽出した溶液を、
① 布でろ過した後、ろ紙（No.131）でろ過した残渣を「有機物」、
② 土壌粒子を添加し20時間振とう後、ろ紙（No.131）でろ過した残渣を「土壌粒子」、
③ 0.45μmフィルターでろ過した液を「溶存態」として供試したポット試験。ポット（U8容器）にそれぞれ30 Bq添加後、葉齢3.8のイネを1本移植し、移植11日後に採取して、^{137}Cs濃度を測定した。

・ 稲全体で溶存態の吸収率が79 %であったのに対して、有機物では16 %、土壌粒子では4 %と低く、^{137}Csの様態によって吸収率に大きな差異があった。

ため池における放射性セシウムの調査結果

図 21

検出下限値は、134Cs、137Csともに1 Bq/L程度

【解説】

- 中通り･浜通り(警戒区域等を除く)の空間線量の比較的高い地域(概ね1μSv/h以上)のため池98箇所※を対象に3回(かんがい期前2回、出穂期1回)採水し放射性セシウム濃度を測定。
  ※ 貯水位不足等で採水できないため池があり、第1回～第3回は、それぞれ76箇所、86箇所、88箇所で採水。
- 3回とも調査ため池の90%以上が2.0Bq/L未満(検出下限値未満含む)であった。
- 検出された水の放射性セシウム濃度は、1.8～13.6 Bq/L。検出された水は濁っていたことから、1μmフィルターでろ過したところ、ろ過後の水は全て検出下限値未満であったことから、ため池の水の放射性セシウムは、主に濁り成分に含まれている懸濁態であると考えられる。

渓流水中における放射性セシウムの調査結果

図 22

図 23

渓流水採取現場（平水時）

【解説】

- 福島県内6箇所において、森林から流れ出る渓流水を24年3月以降、毎日採水し、放射性セシウム濃度を計測（掲載データは伊達市のもの。灰色の帯は欠測日を示す。）。
- 放射性セシウムは、降雨のあった日など一部を除き、大部分の試料は検出下限値未満であった（検出下限値は ^{134}Cs 、^{137}Csともに1Bq/L）。放射性セシウムが検出された試料には濁りが見られたため、0.5μmガラス繊維フィルターでろ過したところ、ろ過後の水は検出下限値未満であったことから、渓流水中の放射性セシウムは、主に泥等の濁り成分に含まれているものと考えられる。

水田内で採取した水における放射性セシウムの調査結果（かんがい水・表面排水の濃度）

表 3

単位：^{134}Cs + ^{137}Cs ［Bq/L］

形態	圃場	平成24年								玄米
		8月14～21日		8月23日		9月3～4日		9月4～11日		
		かんがい水（水口付近）	表面排水（水尻付近）	かんがい水（水口付近）	表面排水（水尻付近）	かんがい水（水口付近）	表面排水（水尻付近）	かんがい水（水口付近）	表面排水（水尻付近）	
懸濁態＋溶存態	A	1.1	5.5	*0.3*	<0.2	42.3	0.5	6.8	4.8	7.9
	B	1.6	*0.2*	1.2	<0.2	2.8	<0.2	6.6	1.6	*2.5*
	C	0.4	<0.2	0.5	<0.2	0.9	0.2	6.0	1.6	<2.0
	D	0.3	<0.2	0.3	*0.2*	0.8	0.3	5.7	19.1	<2.0
	E	*0.2*	<0.2	<0.2	*0.2*	1.0	0.5	1.1	0.5	62.1
	F	4.6	*0.2*	0.7	*0.2*	1.4	*0.2*	28.1	25.9	24.3
溶存態	A	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	同上
	B	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	
	C	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	
	D	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	
	E	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	
	F	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	

- 10 Bq/L超
- 1～10 Bq/L
- 検出下限値(0.2 Bq/L)未満

【解説】

・　ほ場試験でのかんがい水(水口付近の田面水)と表面排水(水尻付近の田面水)の形態別放射性セシウム濃度及び玄米中の放射性セシウム濃度(溶存態は原水を0.45 μmメンブレンフィルターでろ過。*斜体*は^{137}Csは検出されたが、^{134}Csが検出下限値未満を指す。)。

・　かんがい水や表面排水中の放射性セシウム濃度は0.2未満～42.3 Bq/Lであったが、水稲に直接吸収されると考えられる溶存態は検出下限値（0.2 Bq/L）未満であった。

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因
② 水田に流入する水の影響
（その2：水からの移行及び土壌中のカリ含量との関係）

○ 異なる濃度の放射性セシウム（溶存態）を含んだ水を田面水として用いたポット試験を行ったところ、水の濃度に応じて玄米の濃度が高まることは確認されたが、水からの移行は限定的であった。

○ また、カリ肥料等の施用による吸収抑制対策により、水からの移行についても低減できることが明らかとなった。

○ 全袋検査の結果でも、水源が原因でまとまって基準値を超過する事例はこれまでのところないが、玄米中の放射性セシウム濃度が土壌からの移行だけで説明することが難しい事例も一部にあり、水からの影響については引き続き調査を行うこととしている。

用水に含まれる放射性セシウムの資材施用による吸収抑制効果
（放射性セシウム濃度の極めて高い水を調製して用水として使用した試験の結果）

図 24

土壌中の交換性カリ含量（mg K_2O/100g）	2.7	2.1	3.1	5.9

【解説】

・ 交換性カリ含量3.3 mg K_2O/100g、2,000 Bq/kgのグライ土を用いたポット試験。各ポットには、移植前に放射性セシウム濃度390 Bq/L（溶存態）の用水を2 Lと、K_2Oとして5 kg/10a相当の塩化カリを投与。また、移植後には、水道水（ポットA）又は放射性セシウム濃度40 Bq/L（溶存態）の水（ポットB～D）を田面水として各10.5 Lずつ投与。さらに、ポットCには K_2Oとして合計30 kg/10a相当となるよう塩化カリ、ポットDには1 t/10a相当となるようゼオライトを投与。

・ 吸収しやすい溶存態放射性セシウムを極めて高濃度に含む田面水を用いた場合でも、カリ肥料等を多く施用することで、玄米中の放射性セシウム濃度を低く抑えることができる。このため、カリ施用等で交換性カリ含量を確保することにより、田面水からの吸収も抑制することが明らかになった。

田面水の放射性セシウム濃度が玄米の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

図 25

研究協力(独)産総研

図 26

ポット試験の生育状況
センター土壌（左）、A地区土壌（右）
処理水の^{137}Cs濃度は10 Bq/L

【解説】

・ 福島県農業総合センターとB市A地区の下層土(いずれの土壌も放射性セシウム（^{137}Cs）濃度は150 Bq/kg)を用いたポット試験。田面水として、
(a) 溶存態で放射性セシウムを0.1、1.0、10 Bq/L含むよう調製した水
(b) 農総センター用水（0.04 Bq/L）
(c) A地区で降雨後及び平水時に採取した水（0.3 Bq/L、1.4 Bq/L）
を用いて稲を栽培。

・ この結果、以下の点が明らかになった。

① 溶存態で^{137}Csを1.0 Bq/L含む田面水が作期を通じて流入し続けたとしても、玄米の^{137}Cs濃度は大きく上昇しない。^{137}Csをほとんど含まない農総センター用水で栽培した場合と比べ、玄米の^{137}Cs濃度の増加は、A地区の土壌では 34 Bq/kg、センターの土壌ではわずか7 Bq/kg程度に止まるとの結果となった。

② 実際の現場での懸濁態を含む用水では、田面水の^{137}Csの濃度の影響は①の結果よりも更に小さいと考えられる。A地区の土壌を用いた試験において、^{137}Csをほとんど含まない農総センター用水で栽培した場合と比べ、
（ア） 溶存態で^{137}Cs濃度が1.4 Bq/Lの水を用いた場合の玄米の濃度上昇は46 Bq/kg程度と推計されるが、
（イ） 降雨後の用水（溶存態と懸濁態の^{137}Csの合計1.4 Bq/L）を田面水として用いた場合の玄米の濃度上昇は9 Bq/kgに止まった。

③ セシウムの固定力が強い粘土鉱物を含み、土壌中の交換性カリ含量が高い土壌の方が、田面水から玄米への移行の程度も小さい。A地区の土壌（雲母由来の粘土鉱物「少」、交換性カリ含量 5.0 mg K_2O/100g）と、農総センターの土壌（雲母由来の粘土鉱物「多」、交換性カリ含量 17.6 mg K_2O/100g）では、田面水の^{137}Cs濃度の増加に伴う玄米の^{137}Cs濃度の増加量に4～5倍の差があった。

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因
③ 乾燥・調製等のプロセスでの交差汚染・混入

○ 平成24年産の全袋調査では、ごく一部の米袋で高い値を示したが、洗浄や異物を除去することにより低濃度となる事例が見られた。

○ これらは、汚染された籾すり機の利用や汚染物の混入が原因の交差汚染と考えられることから、①収穫乾燥調製機器等の清掃の徹底、②異物の混入防止等を基本として、交差汚染防止対策を進めることが必要である。

全袋調査における交差汚染の事例

表 5

地域	発生状況	要　　因
A地区	洗浄前　220 Bq/kg（参考値） ↓ 洗浄後　25 Bq/kg（確定値）	当該生産者は、原発事故当時に警戒区域にあった籾すり機を持ち出して清掃せずに使用していた。 玄米を洗浄して測定した結果、放射性物質濃度が大幅に低下したことから、籾すり機の交差汚染と考えられる。
B地区	洗浄前　118 Bq/kg（参考値） ↓ 洗浄後　38 Bq/kg（確定値）	当該生産者は、昨年使用しなかった籾すり機、乾燥機等を使用していた。 玄米を洗浄して測定した結果、放射性物質濃度が大幅に低下したことから、これら機器による交差汚染と考えられる。

汚染防止対策のポイント

（機器の清掃・管理に関するガイドラインを作成予定（年度内））

1　収穫作業開始前
- 使用する建物や収穫乾燥調製機器等は、点検を行い、故障や損壊は修理・修繕するとともに、徹底した清掃を行い、異物混入の恐れがある場合は防止措置を講じる。
- 米袋は、汚染がないように保管管理された新しいものを用意する。

2　収穫作業
- 籾に土が付着しないよう留意するとともに、倒伏した稲は区分管理する。
- トラクター、コンバイン等の格納時には、足回りの洗浄・清掃を行う。

3　籾すり作業
- 作業前・中の清掃及び異物混入防止対策を徹底し、作業場の床に落ちた籾は籾すり機に再投入しない。
- 使用後は清掃し、シートで覆う等の異物混入防止対策を講じる。

4. 24年産で基準を超過した米が生産された要因の解析

○　24年産で基準を超過した米が生産された要因を調査するため、栽培状況や土壌等の調査を行ったところ、これまで分析が終わった7カ所のほ場ではいずれも土壌の交換性カリ含量が10 mg K_2O/100gを下回っていた。
　また、各ほ場とも、稲わらをほ場から持ち出しており、これにより土壌中の交換性カリ含量が低かったものと考えられる。

○　このため、基準値を超過した要因は、土壌中に十分なカリが無かったため、放射性セシウムの移行が高まったと考えられ、25年作では、カリ施肥を徹底することで玄米の放射性物質濃度が低減できると見込まれる。

100 Bq/kg超の米が検出されたほ場等の調査結果（平成25年1月23日現在）

表 6

	玄米調査			土壌分析		施肥・土改材		稲わら還元状況	用水
No	調査数（袋）	100Bq超（袋）	最大値（Bq/kg）	土壌放射性セシウム（Bq/kg）	土壌交換性カリ（mg K_2O/100g）	カリ施肥量（K_2O-kg/10a）	土改材（kg/10a）		
1	320	1	110	分析中	分析中	6.0	－	持ち出し	ため池
2	187	7	110	2,597	4.4	8.9	80	持ち出し	ため池
3	7	1	120	2,783	5.6	3.2	－	持ち出し	河川
4	6	6	281	1,826	6.2	10.0	－	持ち出し	河川
5	3	3	360	分析中	分析中	0.5	－	持ち出し	天水
6	11	1	109	3,259～3,488	5.2～7.0	14.8	200	持ち出し	ため池、沢水
7	15	5	159	1,909～3,427	3.5～7.7	5.3	－	持ち出し	河川
8	22	2	180	3,336	7.5	14.6	200	持ち出し	沢水
9	4	1	144	分析中	分析中	3.6		持ち出し	
10	31	4	128	分析中	分析中	7.2	80	持ち出し	ため池
11	1	1	228	2,397	6.1	3.5	150	持ち出し	沢水
12	43	12	230	分析中	分析中	13.3	200	持ち出し	河川
13	2	1	114	分析中	分析中	－	－	持ち出し	河川

※　このほかの3ほ場は、現在、調査に向けて現地と調整中。

100 Bq/kg超の米が検出されたほ場と近隣の未検出ほ場との比較

表 7

ほ場		玄米の区分	土壌放射性セシウム（Bq/kg）	土壌交換性カリ（mg K_2O/100g）	カリ施肥量（K_2O-kg/10a）	稲わら還元状況	用 水
A	ア	基準値超え	1,826	6.2	6.0	持ち出し	河川
	イ	未検出	1,892	29.3	6.0	全量還元	河川
	ウ	未検出	2,234	28.7	6.0	全量還元	河川
B	ア	基準値超え	2,783	5.6	3.2	持ち出し	河川
	イ	未検出	2,088	27.6	6.4	全量還元	河川
	ウ	未検出	1,541	17.6	6.4	全量還元	河川

5. 総 括

○　24年産の米の全袋調査の結果によると、基準超過は約1,000万袋中わずか71袋と非常に限定的であり、カリ施肥をはじめとした吸収抑制対策は非常に効果があったと考えられる。

○　また、作付制限・自粛区域で行った栽培試験の結果からも、23年産で高い値が見られた地区でも、対策の実施により基準値を下回る米が生産できることが実証された。

○　一方で、平成23年12月の中間報告以降、調査研究の結果、高濃度の放射性セシウムを含む米に関して、

①　土壌から玄米への移行については、土壌中の放射性セシウムだけでなく、土壌中の交換性カリ含量や土壌のセシウム固定力が重要であること

②　対策としてはカリ施肥が重要となるが、放射性セシウムの吸収抑制の観点からは生育初期の交換性カリ含量を確保することが重要であり、速効性の塩化カリを基肥中心に施用することが基本となること

③　流入水から玄米への移行については、ため池や水路等の水質調査の結果と併せて考えると、影響は限定的と考えられる。また、土壌中の交換性カリ含量は水からの移行の抑制にも効果があることから、流入水からの影響を抑制する観点からも土壌中の交換性カリ含量の確保は重要であること

④　汚染した籾すり機等の利用による交差汚染も見られており、事故後初めて使用する際等には乾燥・調製等の機械の清掃なども重要であること

などが明らかになっている。

○　また、24年産で超過が見られた地点の要因について調査したところ、土壌中の交換性カリ含量が低く、聞き取りでもカリ施肥が不十分であった地点が多かったことから、こうした地域では適切なカリ施肥等の対策を行うことで、本年作は玄米中の放射性セシウム濃度の低減が可能と考えられる。

○　25年作については、こうした知見を基に、農業現場の協力を得て、引き続き安全な米が生産されるよう吸収抑制対策の徹底を図りたい。

　なお、玄米中の放射性セシウム濃度の基準値超過の発生には、様々な要因が複合的に関係しており、超過地点の要因の解析など残された課題もあることから、関係機関が協力して引き続き調査・要因の解明に当たることとしたい。

［協力機関］

・　福島県農業総合センター
・　（独）農業環境技術研究所

・　（独）農業・食品産業技術総合研究機構
・　（独）森林総合研究所
・　（独）産業技術総合研究所
・　学習院大学
・　東京大学