

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 第2版)

1. 25年産米の放射性物質検査の結果
2. 25年産米の試験栽培等の結果
3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因
4. 基準値を超過した米が生産された要因の解析
5. 総括

平成26年3月

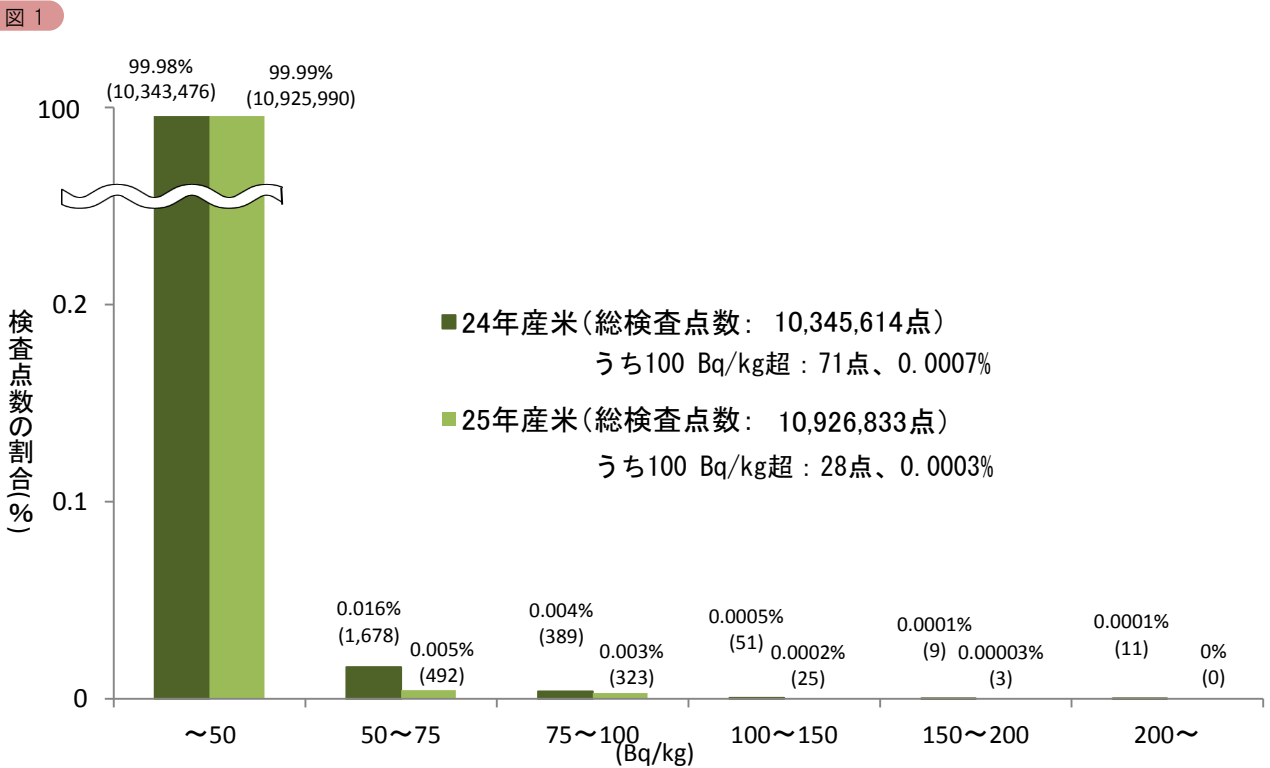
農林水産省
福島県

(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. 25年産米の放射性物質検査の結果

- 25年産の福島県の米の全袋(玄米30 kg/袋)検査の結果、約1,093万点検査を行った中で、基準値(100 Bq/kg)を超過した放射性セシウムを含む玄米は28点(超過率 0.0003%)に止まった(平成26年3月3日現在)。
- 24年産の全袋検査の結果と比較すると、放射性セシウム濃度はさらに全体的に低減し、基準値超過がみられた玄米についても、昨年の0.0007%(71点)からさらに減少しており、カリ肥料の施用などの吸収抑制対策等の効果が再確認された。

福島県における25年産米の全袋検査結果 (平成26年3月3日現在)



【解説】

- ・ 福島県において25年産米の出荷前に行った全袋検査の結果と24年産米の結果を比較。
- ・ 吸収抑制対策等の実施により、基準値を超過した検体は28点(平成26年3月3日現在)に止まった。
- ・ 基準値を超過した28点のうち27点は、基準値を下回る米が生産できるか確認するために実証栽培を行っていたほ場で生産されたもの。また、残る1点は、カリ施用が不十分なほ場で生産されたもの。
- ・ 24年産米で基準値超過が見られたほ場で生産された25年産米は、いずれも基準値を下回っていることが確認されており、カリ施肥による吸収抑制対策の効果が再確認された。

2. 25年産米の試験栽培等の結果

- 25年産米の作付制限区域内の17カ所のほ場で試験栽培を行った結果、5カ所のほ場で基準値を超過した。
- 25年産の米の作付再開準備区域内では実証栽培が行われ、全袋検査の結果、11,541点のうち基準値を超過したのは27点であった。

25年産の作付制限区域内における試験栽培の結果

表 1

| | 区域区分 | ほ場数 | うち | うち |
|------|------|-----|----------------|---------------|
| | | | 100Bq/kg 以下 | 100Bq/kg 超 |
| 南相馬市 | 作付制限 | 9 | 4 | 5 |
| 葛尾村 | 作付制限 | 7 | 7 | 0 |
| 飯館村 | 作付制限 | 1 | 1 | 0 |
| 計 | | 17 | 12 | 5 |

【解説】

- ・ 作付制限区域内の17カ所のほ場において、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し、試験栽培を実施した結果、5カ所のほ場で生産された米で基準値を超えた。

25年産の作付再開準備区域における実証栽培の結果

表 2

| | ほ場数 | 検査点数(袋数) | | | | |
|------|-----|---------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|
| | | 25Bq/kg 未満 | 25~50 Bq/kg | 51~75 Bq/kg | 76~100 Bq/kg | 100Bq/kg 超 |
| 川俣町 | 7 | 66 | 66 | 0 | 0 | 0 |
| 南相馬市 | 507 | 11,156 | 8,933 | 1,463 | 414 | 319 |
| 飯館村 | 11 | 93 | 93 | 0 | 0 | 0 |
| 檜葉町 | 15 | 226 | 214 | 12 | 0 | 0 |
| 計 | 540 | 11,541 | 9,306 | 1,475 | 414 | 319 |

【解説】

- ・ 作付再開準備区域において、カリ肥料の施用など吸収抑制対策を行い実証栽培を実施し、全袋検査(総検査点数11,541点)の結果、9,306点(81%)が25 Bq/kg未満であり、27点が基準値を超えた。
- ・ 基準値を超える玄米(110~180 Bq/kg)が検出されたほ場は、特定の地域に集中していた。

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

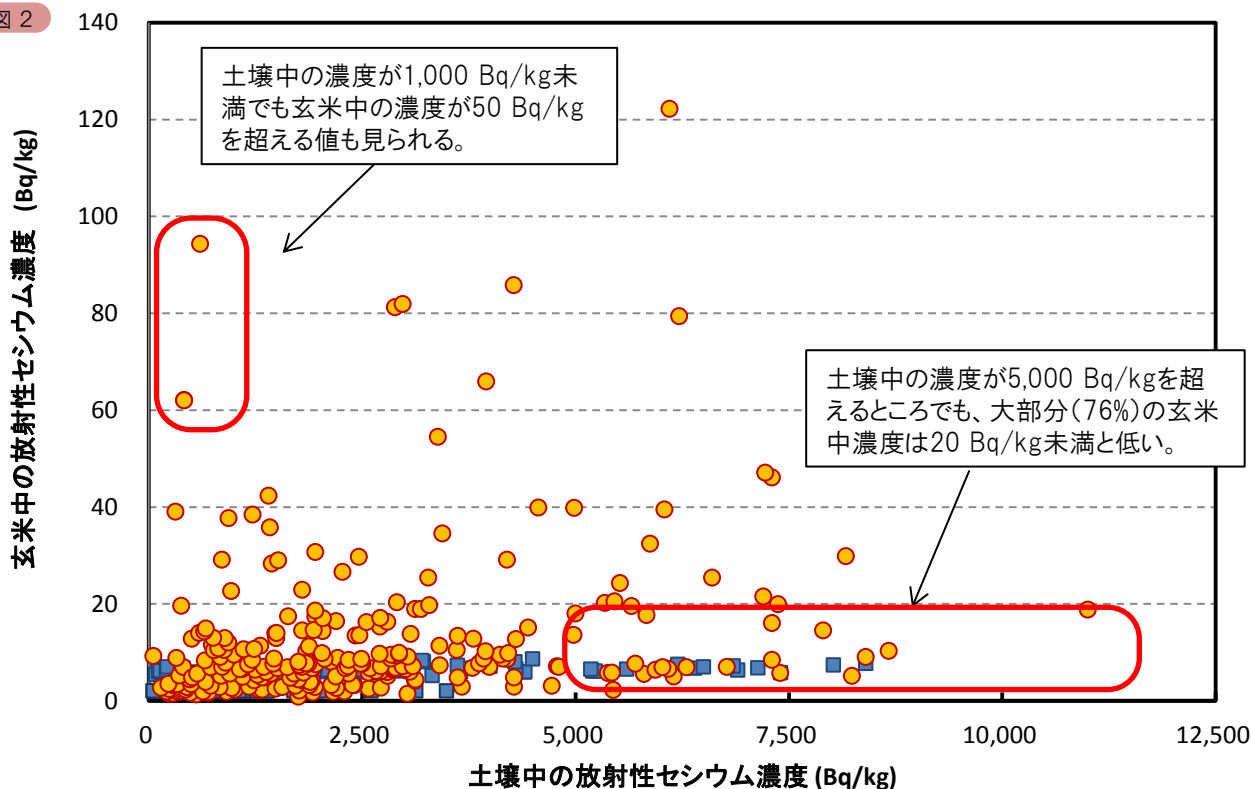
① 土壌の影響

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明確な関係は見られない。

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 2



【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です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明確な関係は見られない。

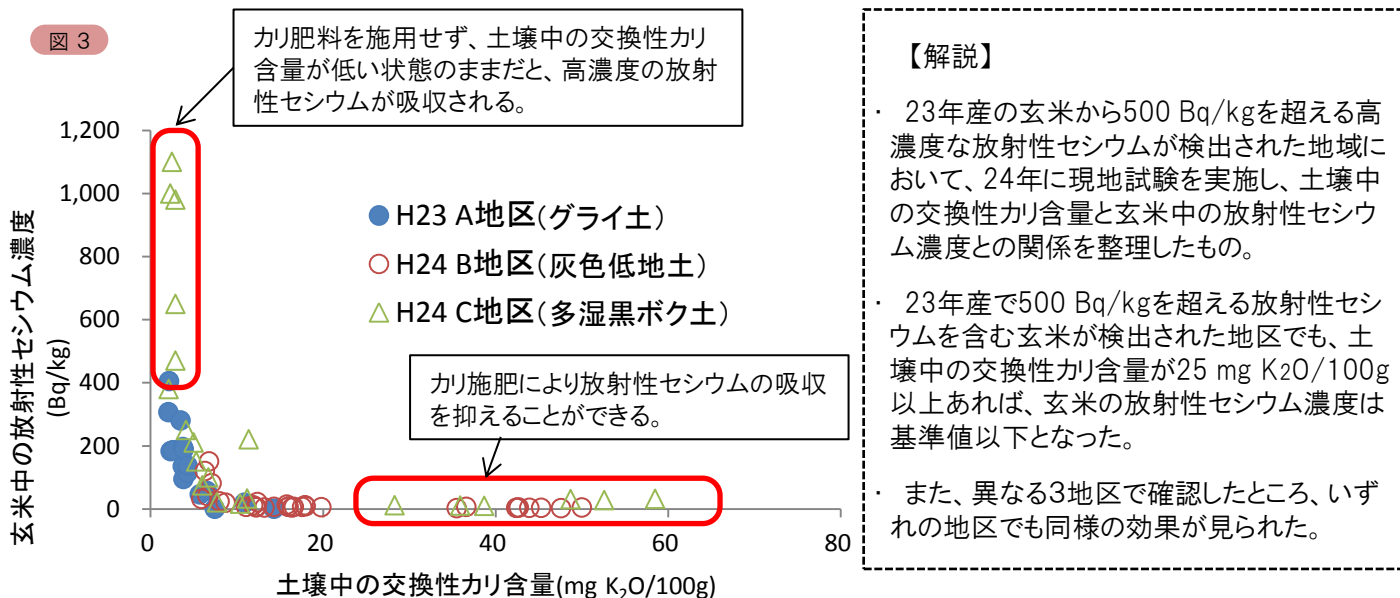
3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

① 土壌の影響

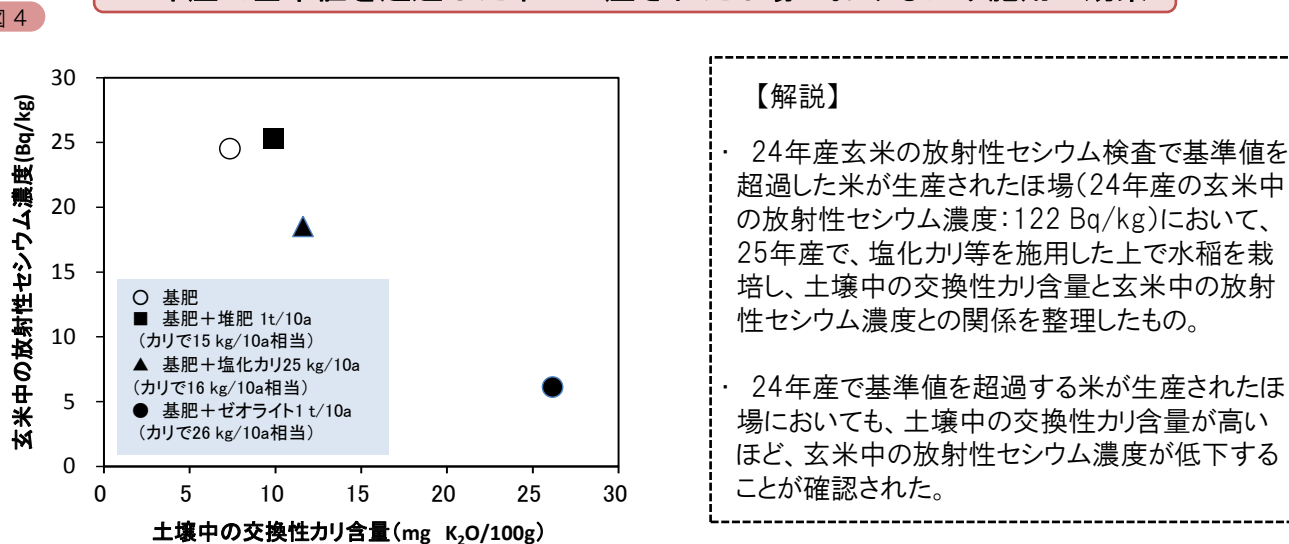
イ 土壌中の交換性カリ含量(その1:低減効果)

- 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 K₂O/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下した。
- 24年産で基準値を超過した米が発生したほ場において、土壌中の交換性カリ含量を高めることで、25年産の玄米中の放射性セシウム濃度が低下した。

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



24年産で基準値を超過した米が生産されたほ場におけるカリ施用の効果



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:食味への影響)

- カリ施用による吸収抑制対策を行っても、食味値やタンパク質含量、収量への影響は見られない。

カリ施用による食味値等への影響

表 3

| 区名 塩化カリ 施用量 | 精玄米重 (kg/10a) | 玄米 放射性Cs (Bq/kg) | 収穫後の土壌中 交換性カリ含量 (mg K ₂ O/100g) | 食味値* | タンパク質含 量* (%) | 玄米カリ含量 (%) |
|-------------------|------------------|------------------------|--|------|---------------------|---------------|
| 0 kg/10a | 591 | 112 | 8 | 81 | 6.2 | 0.23 |
| 8 kg/10a | 586 | 58 | 8 | 81 | 6.2 | 0.24 |
| 16 kg/10a | 588 | 15 | 10 | 81 | 6.3 | 0.23 |
| 32 kg/10a | 657 | 11 | 11 | 78 | 6.4 | 0.24 |
| 64 kg/10a | 629 | 3 | 25 | 80 | 6.2 | 0.23 |

注) H25年度、福島県内の灰色低地土での試験、品種(コシヒカリ)

* 近赤外線を利用した食味計で測定。タンパク質は水分15%換算。

【解説】

- ・ 食味値は、一般に80以上で「良食味米」とされており、カリ施用量を増やしても、食味値の低下は見られなかった。
- ・ なお、上記のほか、栃木県内の黒ボク土水田、茨城県内の灰色低地土水田及び黒ボク土水田においても同様の試験が行われたが、食味値などへの影響は見られなかった。

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

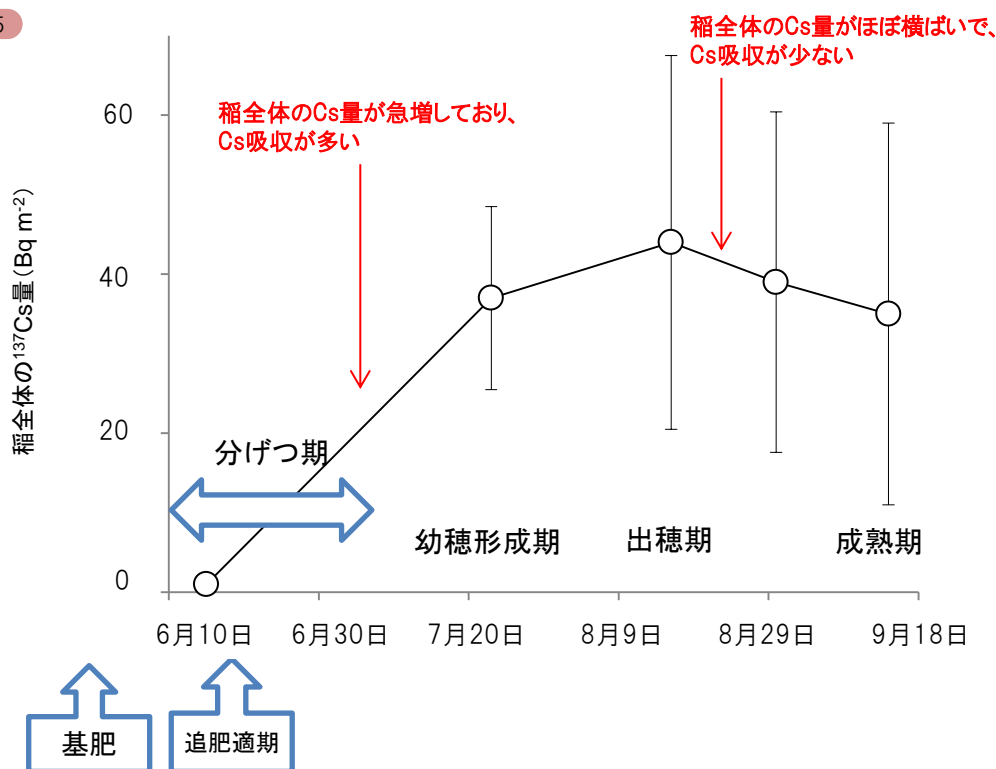
① 土壌の影響

イ 土壌中の交換性カリ含量(その3: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け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 5

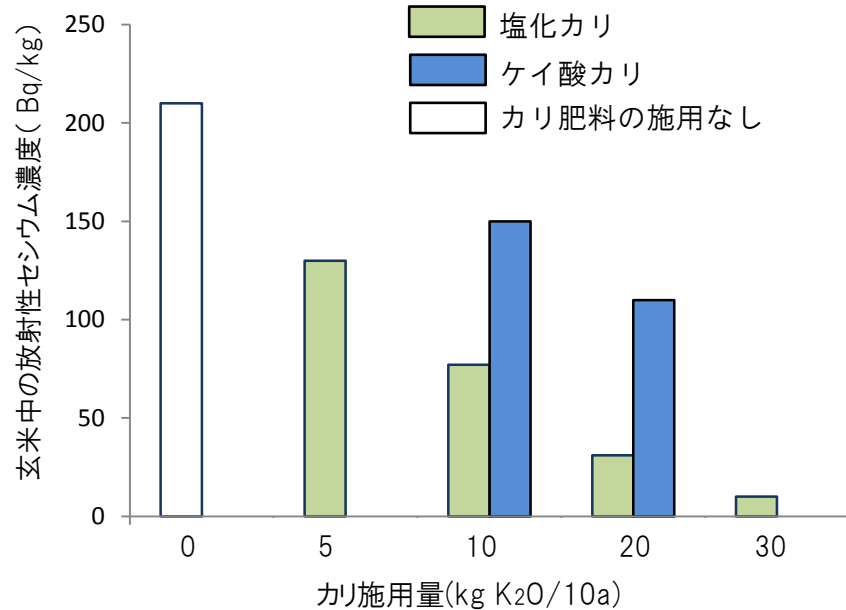


【解説】

- ・ 土壌中の¹³⁷Cs濃度が2,355 Bq/kg、交換性カリ含量が3.0 mg K₂O/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回にわたり稲体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 6

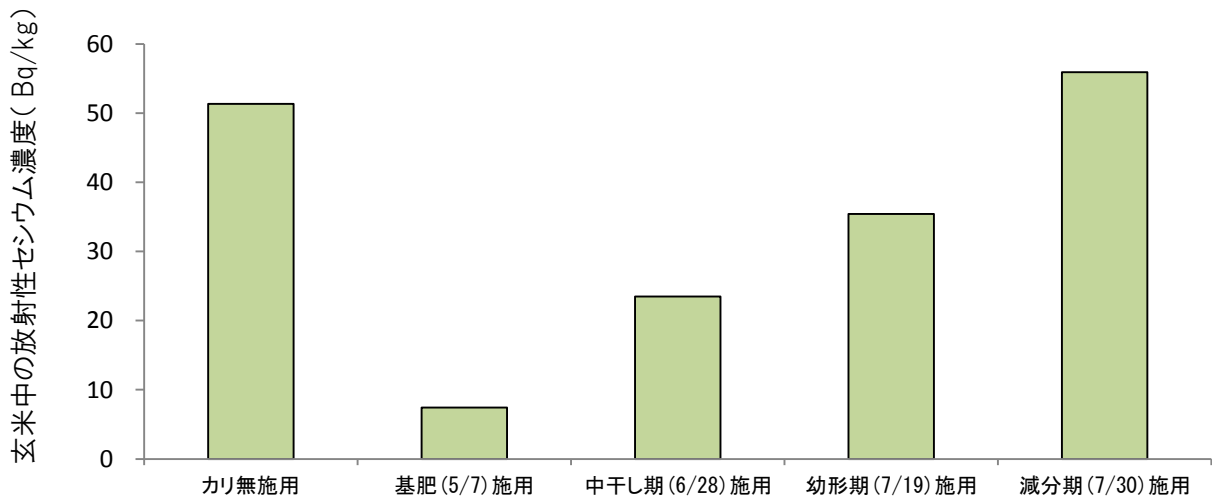


【解説】

- ・ 土壌の交換性カリ含量が3.3 mg K₂O/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 (K₂Oとして5、10、20、30 kg)、ケイ酸カリとして50、100 kg (K₂O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 7



【解説】

- ・ 土壌中の交換性カリ含量が14.7 mg K₂O/100gのグライ土水田において塩化カリ(K₂O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

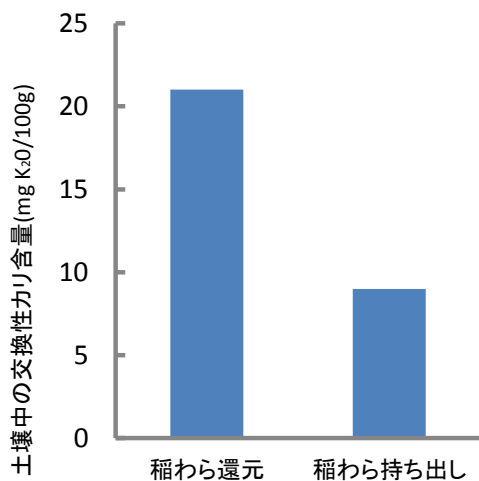
① 土壌の影響

イ 土壌中の交換性カリ含量(その4: 稲わら還元との関係)

- 稲わらの持ち出しを続けることにより、土壌中の交換性カリ含量が低下した。
- 稲わら還元をしていなかったほ場で新たに稲わらを還元すると、玄米中の放射性セシウム濃度が低下する傾向が見られた。

稲わらの持ち出しによる土壌中の交換性カリ含量への影響

図 8



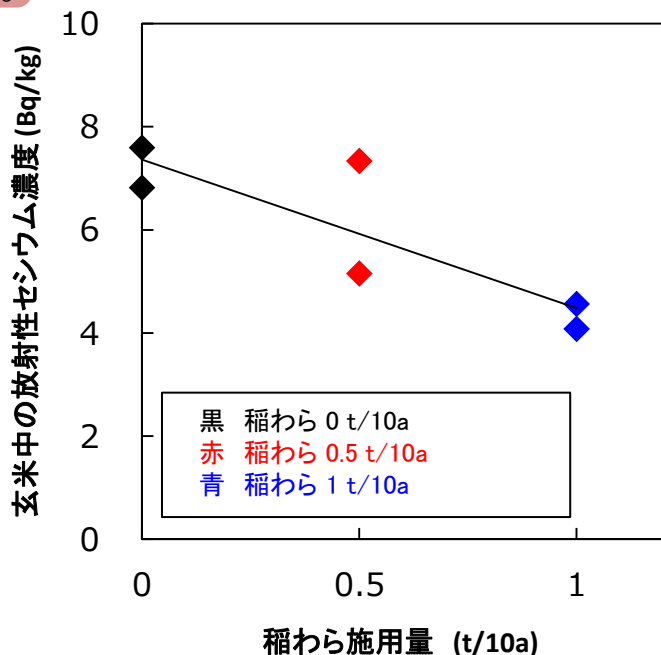
【解説】

- ・ 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

新規稲わら施用による玄米中の放射性セシウム濃度への影響

図 9



【解説】

- ・ 福島県内のこれまで稲わらを還元していなかったほ場(灰色低地土、放射性セシウム濃度: 約4,500 Bq/kg、作付前の交換性カリ含量: 8.4 mg K₂O/100g)に、10 aあたり、0.5、1 tの稲わら(長野県産)を施用した試験。稲わらのカリ含量は1.7%(乾物当たり)で、0.5 t/10a施用で7.6 kg K₂O/10a、1 t/10a施用で15.2 kg K₂O/10aのかり施用に相当する。
- ・ その結果、稲わらの投入量が多いほど玄米中の放射性セシウム濃度が低下する傾向が見られた。

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

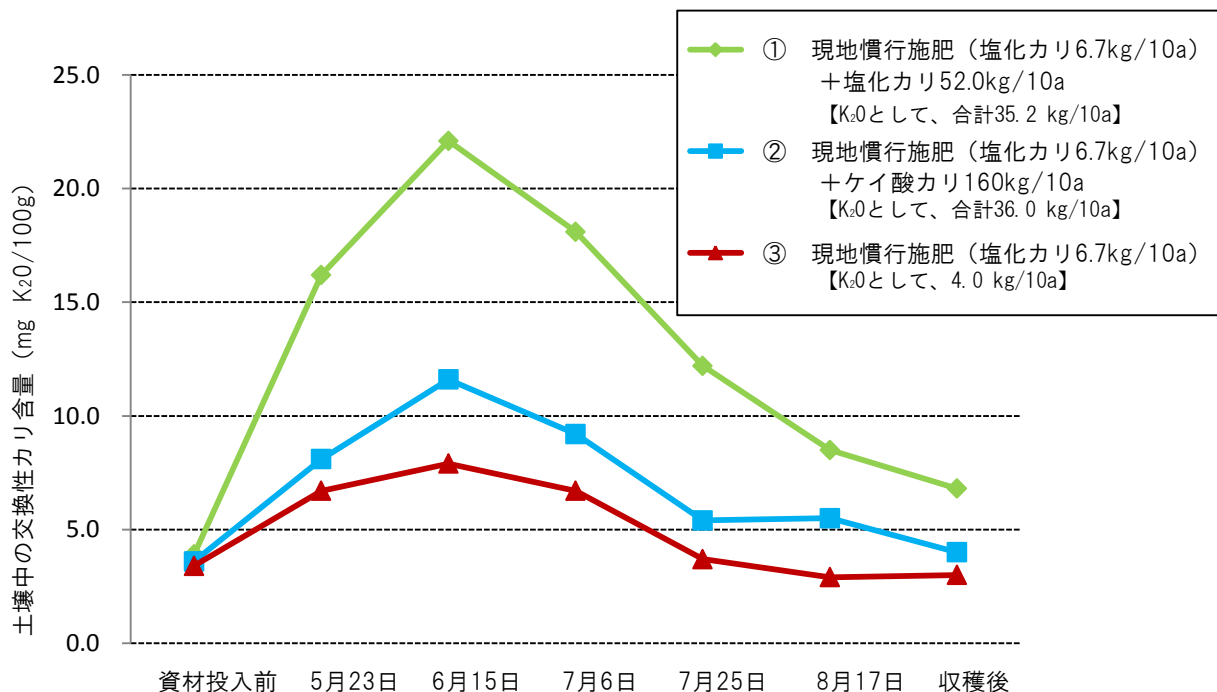
イ 土壌中の交換性カリ含量

(その5: 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、26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 K₂O/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。
(K₂O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 K₂O/100g、CEC:11.3~14.7 cmol_c/kg、粘土割合:14.4~19.3 %のグライ土)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、26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。

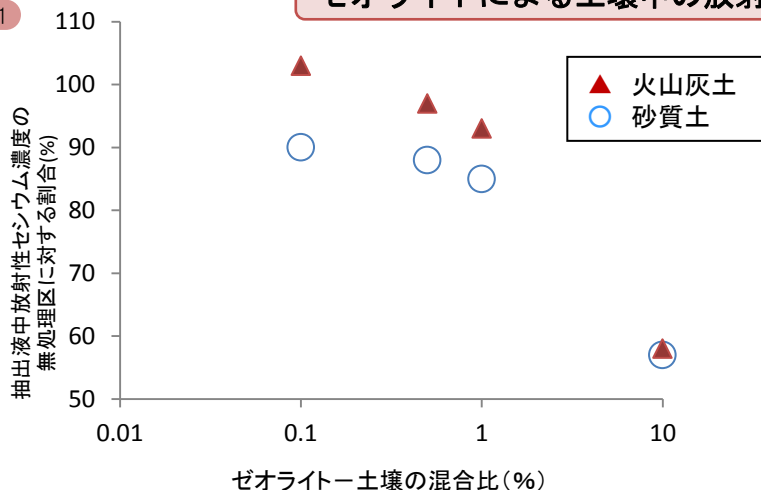
3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

① 土壌の影響

イ 土壌中の交換性カリ含量(その6: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中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。

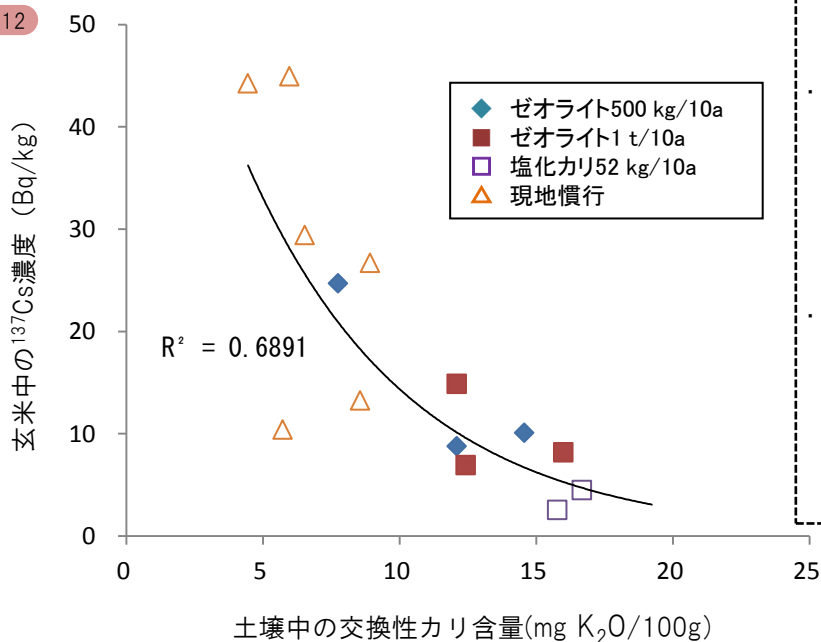
ゼオライトによる土壌中の放射性セシウム吸着効果



【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



【解説】

- ・ 土壌中の交換性カリ含量が4 mg K₂O/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、全処理区に基肥カリとして4 kg K₂O/10aを施用し、土壌中の交換性カリ含量は、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

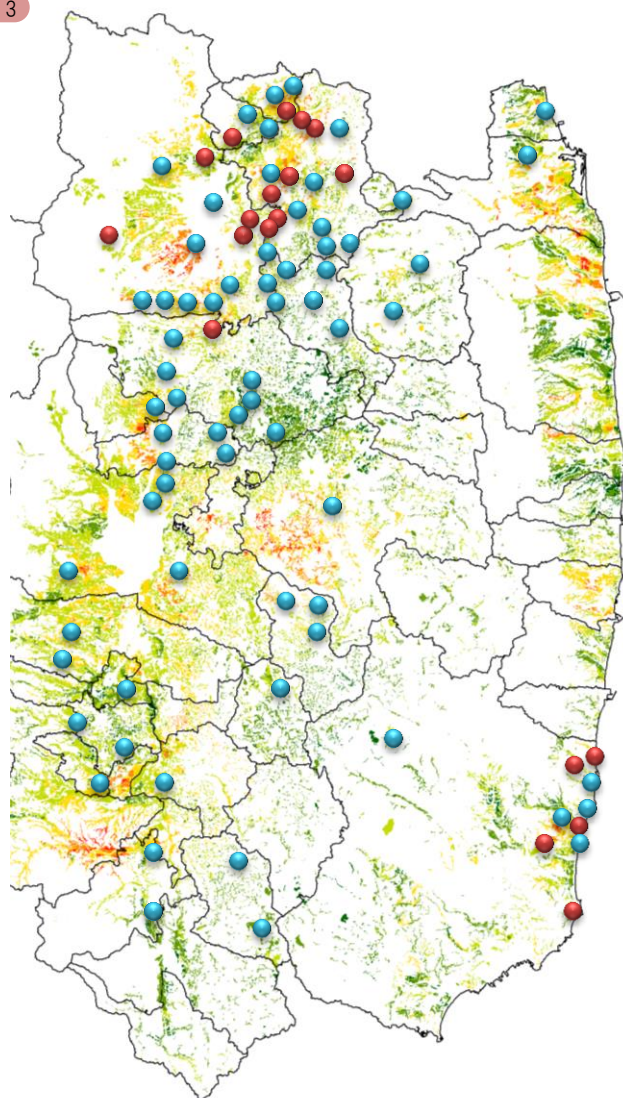
① 土壌の影響

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。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

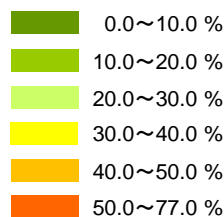
図 13



【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】



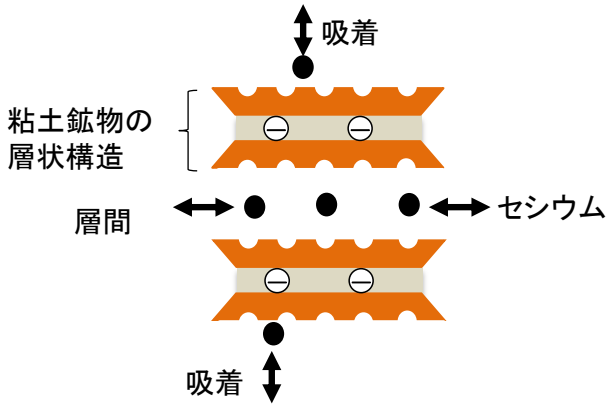
【粘土鉱物の性質】

- 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

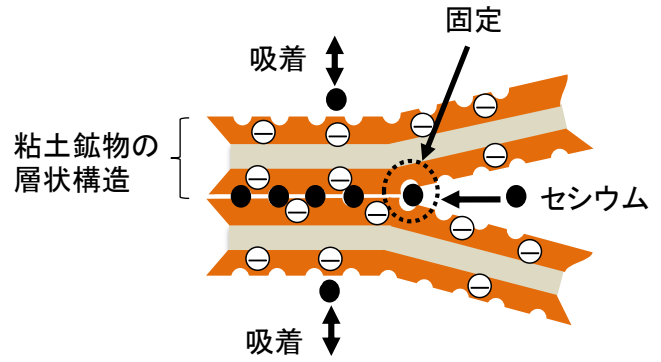
セシウムの吸着・固定力

図 14

セシウムをあまり固定しない粘土鉱物の例(モンモリロナイトなど)



セシウムを固定する能力の高い粘土鉱物の例(バーミキュライト、イライトなど)



【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 4

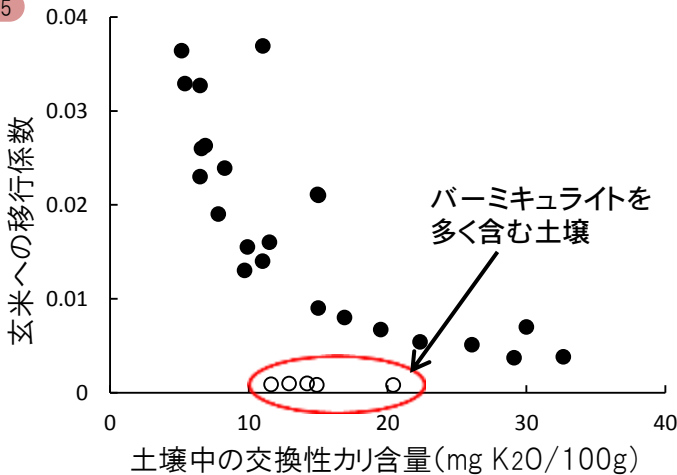
| 土壌構成成分 | Cs吸着 | Cs固定 |
|--|----------------|------------------------|
| 土壌有機物 | 高い | 低い |
| 粘土鉱物(非雲母由来) カオリナイト、ハロイサイト アロフェン、イモゴライト | 高い 高い | 低い 低い～中程度 |
| モンモリロナイト | 高い | 低い |
| 粘土鉱物(雲母由来) バーミキュライト イライト アルミニウムバーミキュライト | 高い 高い 高い | 高い 中程度～高い 中程度～高い |
| ゼオライト | 高い | 高い(注) |

(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】

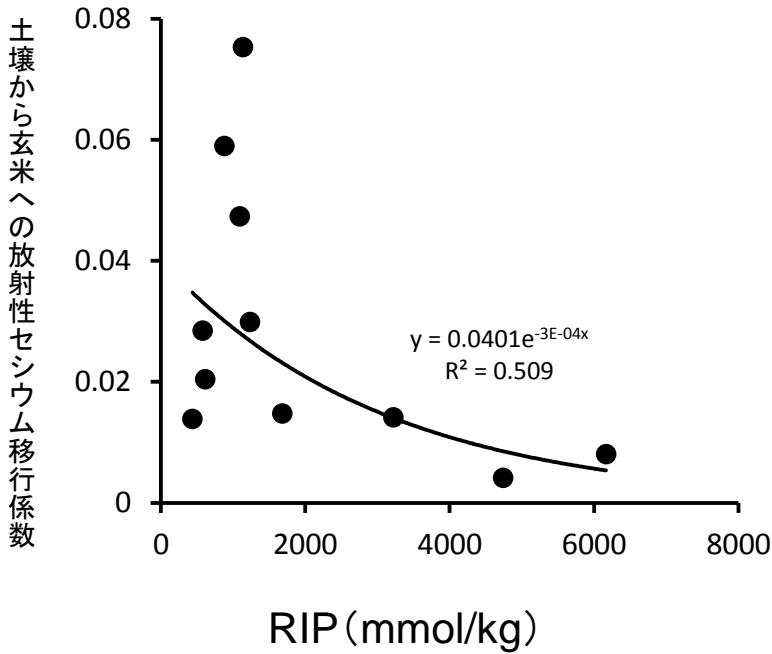
- ・ バーミキュライトを多く含む土壌では、同じ交換性カリ含量でも、放射性セシウムの玄米への移行係数(注)は低くなる。

(注) 玄米への移行係数

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

(参考) 土壌のセシウム固定力の評価指標

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。
- ・ 平成23年に福島県内の水田土壌について、RIPと玄米への放射性セシウムの移行との関係を調べたところ、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傾向が見られた。

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

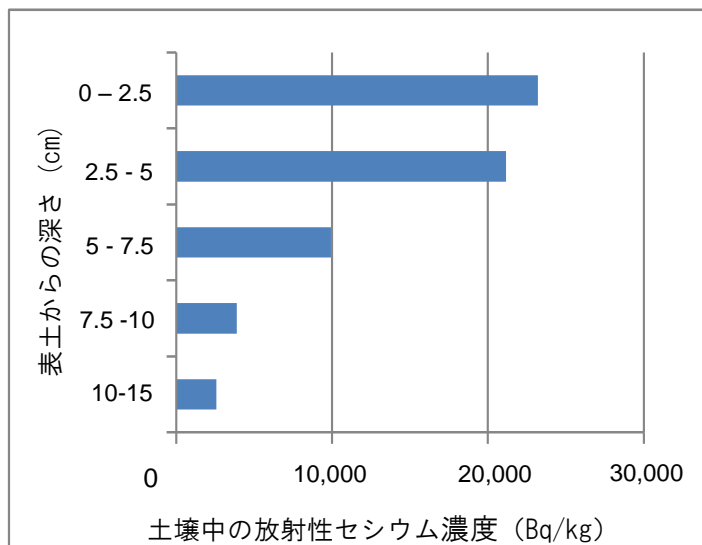
① 土壌の影響

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稻の根部
(作土の厚さ 約10cm)

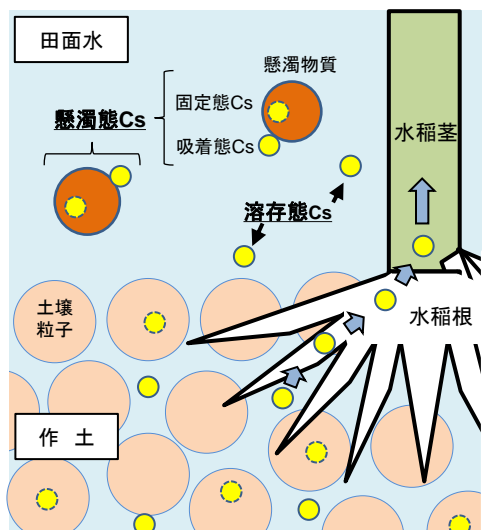
3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

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放射性セシウム濃度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

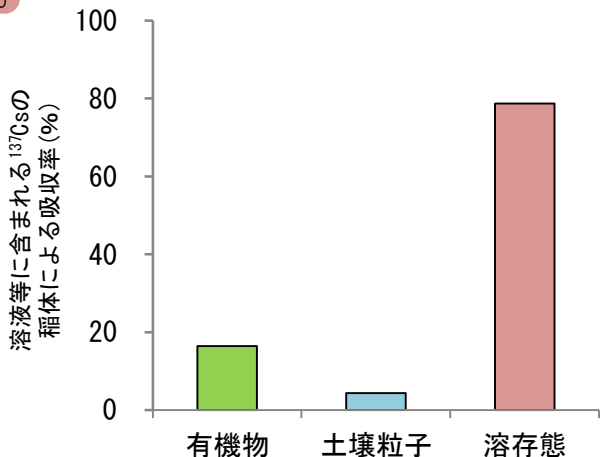


【解説】

- ・ 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、浮遊する土壤粒子や有機物などの懸濁物質に吸着・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)は直接水稻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

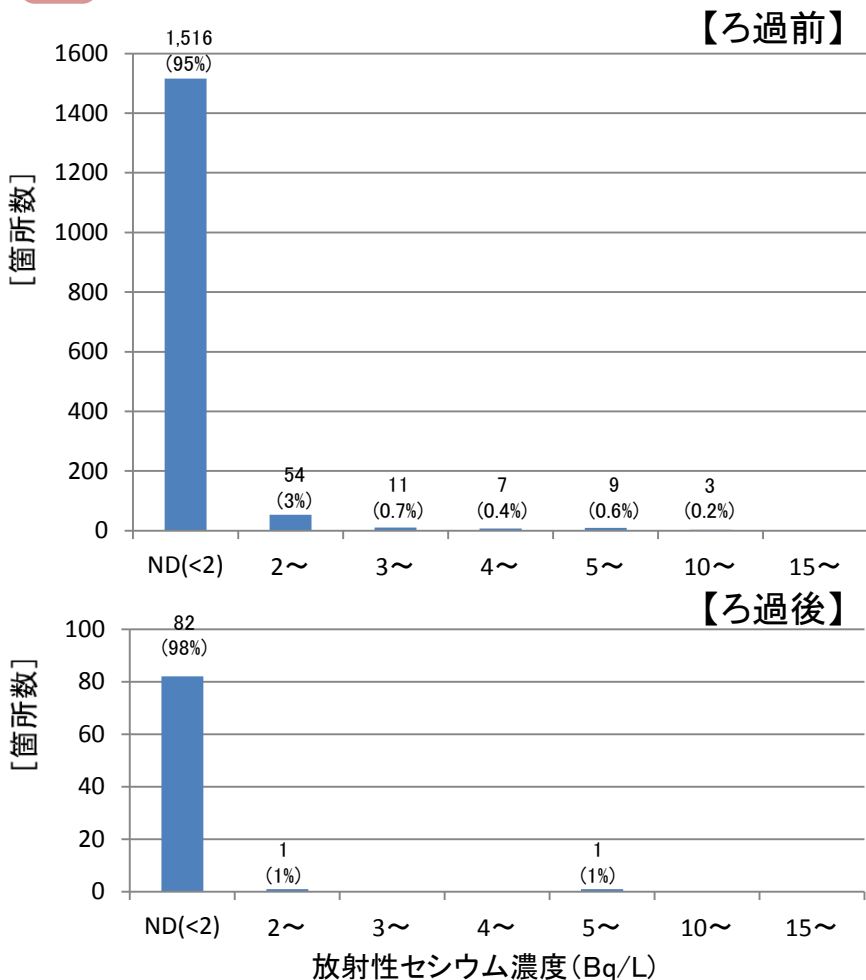


【解説】

- ・ 福島県内採取の落葉から水で抽出した溶液を、
 - 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 0.45 μm 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。

福島県内ため池の放射性セシウム の 調査結果

図21



【解説】

- 福島県内1,600箇所(避難指示区域を除く)のため池を対象に、平成25年6月～10月の期間に1回採水を行い放射性セシウムを測定。放射性セシウムが検出された水については0.45 μ mのフィルターでろ過し、ろ液についても放射性セシウムを測定(検出下限値は¹³⁴Cs、¹³⁷Csともに1 Bq/L)。
- ほとんどのため池(95%)で放射性セシウムは検出下限値未満。検出された84箇所の放射性セシウム濃度は2～13 Bq/L。これらについてろ液を測定したところ大部分(82箇所)において放射性セシウムは検出下限値未満。
- なお、避難指示区域内の利用再開されていないため池についても同様に220箇所で開催を行ったところ、75箇所(1/3程度)のため池で放射性セシウムを検出(濃度は2～19 Bq/L)。検出割合が高く、その半数はろ液からも検出されたことから、引き続き調査を行うこととしている。

図22

渓流水中における放射性セシウム の 調査結果

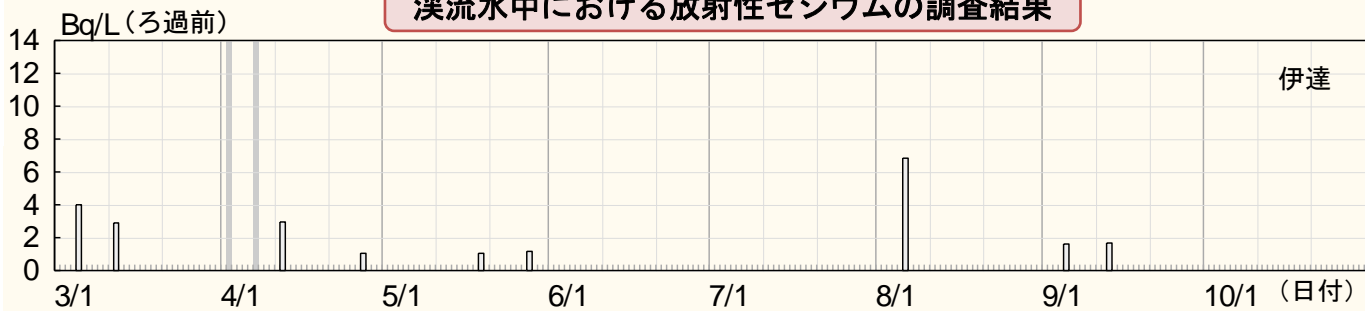


図23



【解説】

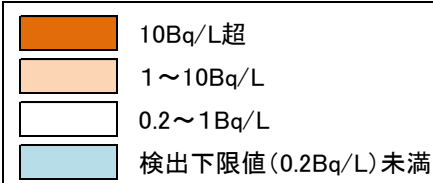
- 福島県内6箇所において、森林から流れ出る渓流水を24年3月以降、毎日採水し、放射性セシウム濃度を計測(掲載データは伊達市のもの。灰色の帯は欠測日を示す。)
- 放射性セシウムは、降雨のあった日など一部を除き、大部分の試料は検出下限値未満であった(検出下限値は¹³⁴Cs、¹³⁷Csともに1 Bq/L)。放射性セシウムが検出された試料には濁りが見られたため、0.5 μ mガラス繊維フィルターでろ過したところ、ろ過後の水は検出下限値未満であったことから、渓流水中の放射性セシウムは、主に粘土粒子や有機物等の濁り成分に含まれているものと考えられる。

水源～水路～農地の水における放射性セシウムの調査結果（かんがい水・田面水の濃度）

表 5

単位： $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ (水)[Bq/L]、(玄米)[Bq/kg]

| 形態 | ほ場 | 放射性セシウム濃度 | | | | | | | 玄米 |
|-----------|----|-----------|------|------|------|------|---------|---------|------|
| | | 採取日時 | 取水地点 | 水路A | 水路B | 水路C | 田面水(水口) | 田面水(水尻) | |
| 懸濁態 + 溶存態 | A | 2013/6/19 | 0.9 | 1.1 | 0.8 | 1.0 | 1.5 | 0.3 | 75.3 |
| | | 2013/6/25 | 2.7 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 3.2 | 0.3 | |
| | | 2013/8/6 | 0.6 | 1.1 | 0.5 | 0.4 | 41.9 | 77.7 | |
| | | 2013/8/13 | 0.4 | 0.3 | 0.9 | 0.3 | — | — | |
| | B | 2013/6/19 | <0.2 | 0.4 | <0.2 | 0.3 | 1.2 | 1.2 | <1.6 |
| | | 2013/6/25 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | 1.4 | <0.2 | <0.2 | |
| | | 2013/8/6 | 0.2 | — | — | 0.4 | 1.2 | 0.4 | |
| | | 2013/8/13 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | 0.3 | <0.2 | |
| | C | 2013/6/19 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 6.2 | 2 | 26.0 | |
| | | 2013/6/25 | 0.9 | 1.2 | 0.9 | 1.7 | 1.6 | | |
| | | 2013/8/6 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 1.8 | 0.9 | | |
| | | 2013/8/13 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 1.5 | 1.5 | | |
| | D | 2013/6/19 | 0.2 | 0.6 | 0.2 | <0.2 | <0.2 | 71.7 | |
| | | 2013/6/25 | <0.2 | 0.8 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | | |
| | | 2013/8/6 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | 0.4 | | |
| | | 2013/8/13 | <0.2 | — | — | — | — | | |
| 溶存態 | A | 2013/6/19 | 0.3 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | 75.3 |
| | | 2013/6/25 | 0.2 | <0.2 | <0.2 | 0.2 | <0.2 | <0.2 | |
| | | 2013/8/6 | <0.2 | <0.2 | 0.1 | <0.2 | <0.2 | 0.2 | |
| | | 2013/8/13 | 0.1 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | — | |
| | B | 2013/6/19 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <1.6 |
| | | 2013/6/25 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | |
| | | 2013/8/6 | <0.2 | — | — | <0.2 | <0.2 | <0.2 | |
| | | 2013/8/13 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | |
| | C | 2013/6/19 | 0.8 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.3 | 26.0 | |
| | | 2013/6/25 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.7 | 0.2 | | |
| | | 2013/8/6 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | | |
| | | 2013/8/13 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | <0.2 | | |
| | D | 2013/6/19 | 0.2 | 0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | 71.7 | |
| | | 2013/6/25 | <0.2 | 0.3 | 0.2 | <0.2 | <0.2 | | |
| | | 2013/8/6 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | <0.2 | | |
| | | 2013/8/13 | <0.2 | — | — | — | — | | |

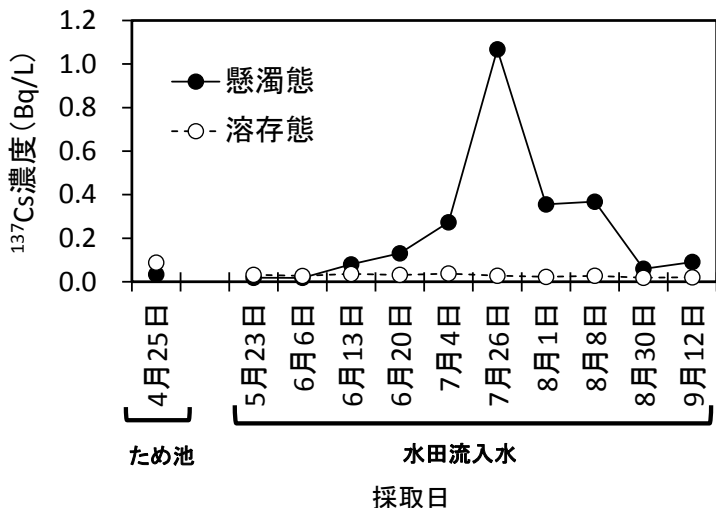


【解説】

- かんがい水(水源～水路)及び田面水(ほ場内)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を測定。溶存態は原水を0.45 μmのフィルターでろ過(斜体は ^{137}Cs は検出されたが、 ^{134}Cs が検出下限値未滿を指す)。
- かんがい水や田面水中の放射性セシウム濃度は0.2未滿～77.7 Bq/Lであったが、水稻に直接吸収されると考えられる溶存態は0.8 Bq/L以下か検出下限値(0.2 Bq/L)未滿であった。

ため池及び水田流入水の放射性セシウム濃度の形態別調査結果

図 24



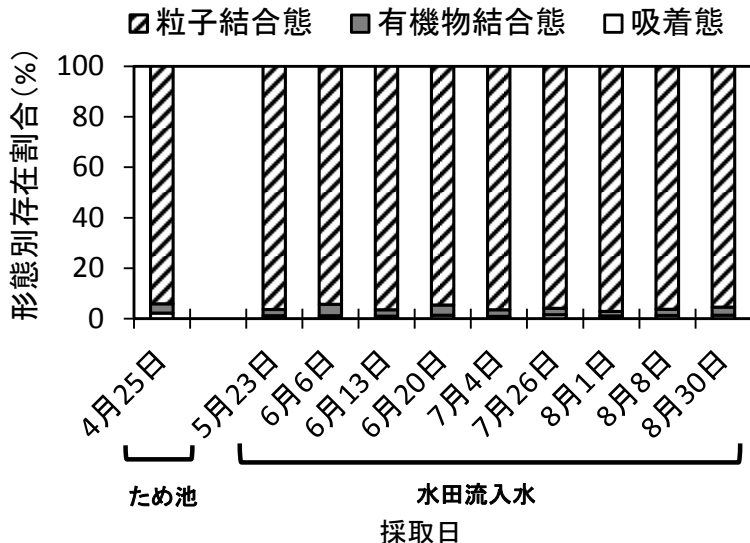
【解説】

平成24年産で基準値超過が見られた福島県内のほ場について、その水源であるため池と、当該ため池から水田に流入する水を平成25年に採取し、溶存態と懸濁態の放射性セシウム(^{137}Cs)濃度を測定した結果。

※ 溶存態は孔径0.45 μm メンブランフィルターでろ過し、懸濁態は連続高速遠心分離装置にて分離。

植物が直接吸収しやすいと考えられる溶存態の ^{137}Cs 濃度は、いずれも0.1 Bq/L以下と低かった。また、当該ほ場で生産された25年産の玄米は、カリ施用を実施したこともあり、基準値以下となった(2.1 Bq/kg)。

図 25



【解説】

懸濁態は溶存態に比べ植物に吸収されにくい、懸濁態の中でも、植物による吸収の程度が異なると考えられるいくつかの形態がある。

このため、図24の調査と同じ水から分離した懸濁態について、「吸着態」と「固定態」に分画した上で、さらに「固定態」を「粒子結合態」と「有機物結合態」に分画し、それらの存在割合を測定。

※ 吸着態は、イオン交換反応により比較的弱く粘土粒子や有機物などの懸濁物質に吸着された形態であり、粒子結合態及び有機物結合態は、それぞれ懸濁物質中の粘土粒子及び有機物に強く結合された形態。

懸濁態の95%以上が、最も植物に吸収されにくいと考えられる粒子結合態として存在しており、懸濁態から植物への放射性セシウムの移行は小さいと考えられた。

3. 玄米中の放射性セシウム濃度に影響する要因

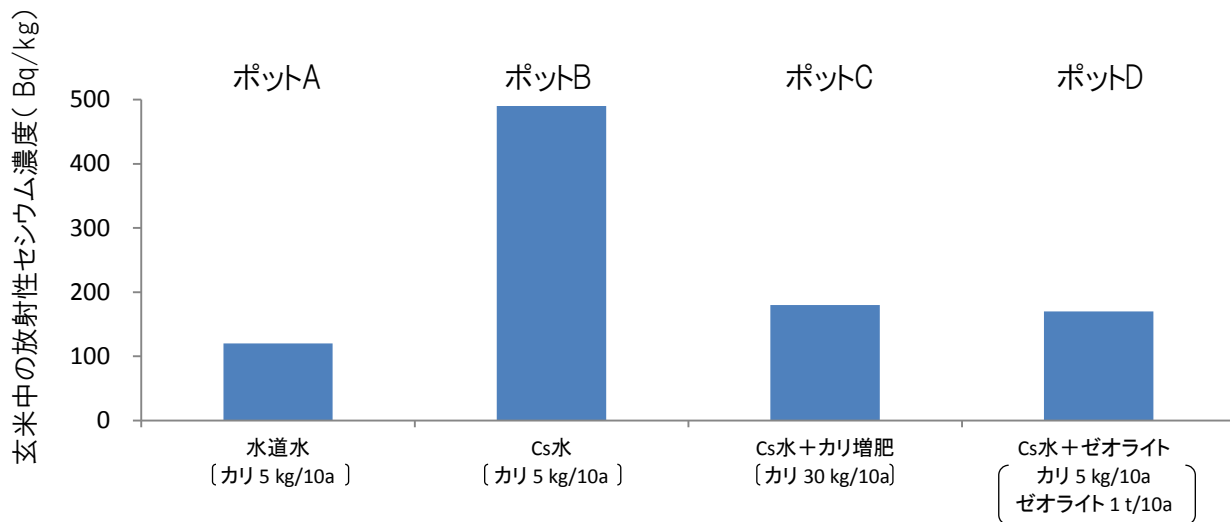
② 水田に流入する水の影響

(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。

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 26



| 土壌中の交換性カリ含量 (mg K ₂ O/100g) | ポットA | ポットB | ポットC | ポットD |
|--|------|------|------|------|
| | 2.7 | 2.1 | 3.1 | 5.9 |

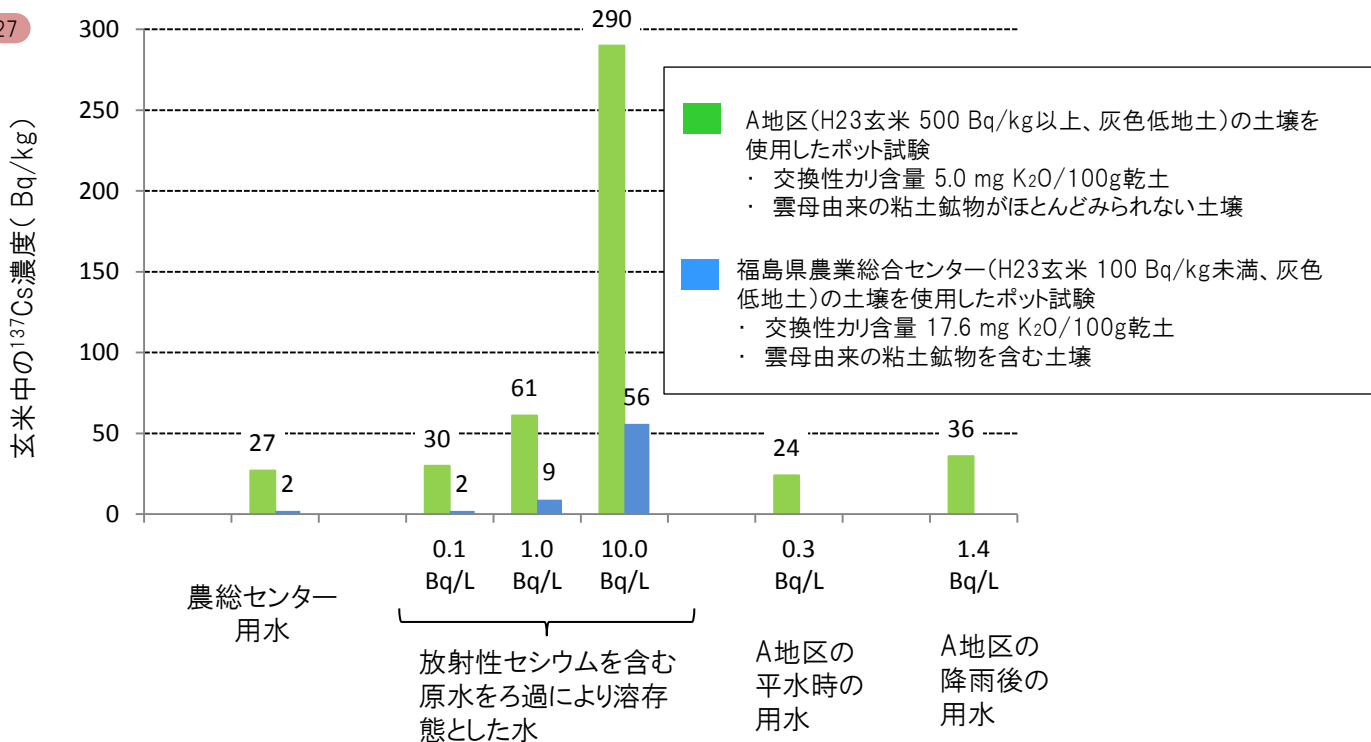
【解説】

・ 交換性カリ含量3.3 mg K₂O/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、K₂O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 K₂O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 27



研究協力(独)産総研

図 28



ポット試験の生育状況
センター土壤(左)、A地区土壤(右)
処理水の¹³⁷Cs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(いずれの土壤も放射性セシウム(¹³⁷Cs)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。

- 溶存態で¹³⁷Cs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¹³⁷Cs濃度は大きく上昇しない。¹³⁷Cs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¹³⁷Cs濃度の増加は、A地区の土壤では 34 Bq/kg、センターの土壤ではわずか7 Bq/kg程度に止まるとの結果となった。
- 実際の現場での懸濁態を含む用水では、田面水の¹³⁷Cs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地区の土壤を用いた試験において、¹³⁷Cs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¹³⁷Cs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¹³⁷Cs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。
- セシウムの固定力が強い粘土鉱物を含み、土壤中の交換性カリ含量が高い土壤の方が、田面水から玄米への移行の程度も小さい。A地区の土壤(雲母由来の粘土鉱物「少」、交換性カリ含量 5.0 mg K₂O/100g)と、農総センターの土壤(雲母由来の粘土鉱物「多」、交換性カリ含量 17.6 mg K₂O/100g)では、田面水の¹³⁷Cs濃度の増加に伴う玄米の¹³⁷Cs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・混入の影響

- 平成24年産の全袋検査では、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、汚染された粳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、以下のガイドラインに従い交差汚染防止対策を進めることが必要である。

「米の収穫・乾燥・調製工程における放射性物質交差汚染防止ガイドライン～原発事故の影響を受けた地域で米の乾燥調製を行う生産者向け～」

平成25年7月農水省 http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/kome_130709.pdf

表 6

24年産の全袋検査における交差汚染の事例

| 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粳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、粳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粳すり機、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

① 通常の清掃作業

米の収穫・乾燥・調製作業を行う作業場や使用する農機具などは、常日頃からきちんと清掃を行い、放射性物質の汚染源となりうるゴミやほこりを取り除くことが基本であり、重要である。

② 通常の清掃作業に加えて実施する「とも洗い」

粳摺機や選別・計量機は、通常の清掃では機械内部のゴミやほこりを十分に取り除くことができないため、原発事故後に初めて使用する際には、通常の清掃に加えて「とも洗い」を実施することが必要。

特に、26年度から稲作を再開する場合は、「とも洗い」の実施を含め、使用する農機具などの清掃の徹底が重要である。

4. 基準値を超過した米が生産された要因の解析

① 24年産

- 24年産で基準を超過した米が生産された13カ所のほ場について栽培状況や土壌等の調査を行ったところ、不耕起栽培の一部ほ場を除き、いずれも土壌中の交換性カリ含量が10 mg K₂O/100gを概ね下回っていた。
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、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。

表 7

100 Bq/kg超の米が検出されたほ場等の調査結果

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

※ No.5、13ほ場は不耕起栽培で水稻根域が極端に浅いことを確認。

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 8

| 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 ₂ O/100g) | カリ施肥量(kg K ₂ O/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 |

4. 基準値を超過した米が生産された要因の解析

② 25年産

- 基準値超過は南相馬市内の特定の地域に限定されており、地域特有の要素が影響しているものと推察される。
- 当該地域では吸収抑制対策としてカリ施肥が実施されていたが、土壌中の粘土の割合が低い、作物に吸収されやすい交換態の放射性セシウムの割合が高い等の特徴が見られたことから、土壌が基準値超過の要因の一つと考えられた。
- このため、当該地域では、26年産米において土壌からの吸収を抑制する対策を強化することとしているが、土壌だけでは基準値超過の発生要因を十分説明できないことから、引き続き調査を進めることとしている。

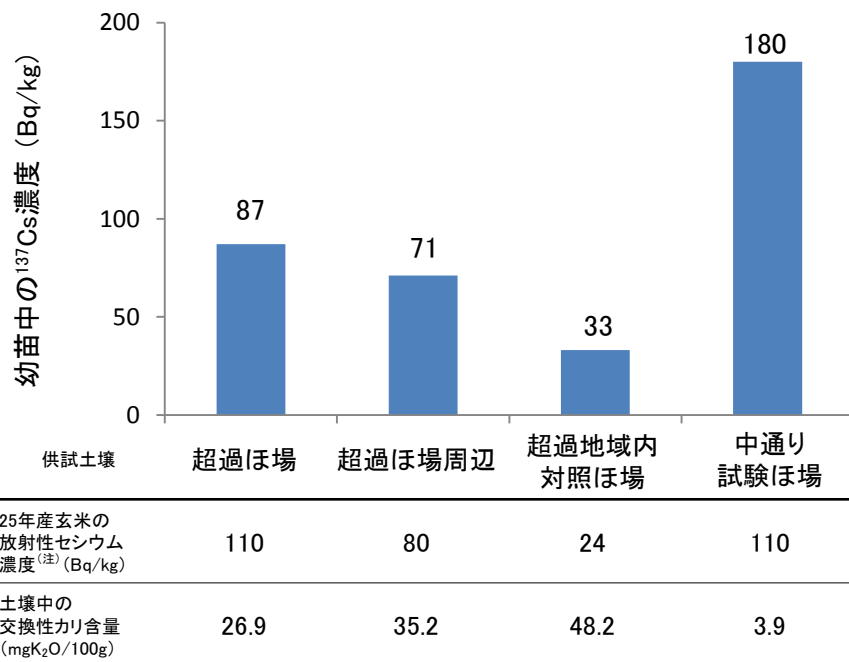
表 9

基準値超過ほ場の土壌分析結果

| ほ場 | 玄米の放射性セシウム濃度 (最高値) (Bq/kg) | 吸収抑制対策 (kg/10a) | | 粘土含量 (%) | 土壌交換性カリ (作付後) (mg K ₂ O/100g) | 土壌の放射性セシウム濃度 (Bq/kg) | | |
|----|----------------------------------|-----------------|-------|----------|--|----------------------|------------|------------|
| | | 塩化カリ | ゼオライト | | | 放射性セシウム | 交換性放射性セシウム | 交換性存在率 (%) |
| 1 | 120 | 50 | 200 | 16.8 | 32 | 2,210 | 303 | 13.7 |
| 2 | 160 | 50 | 200 | 14.0 | 28 | 2,550 | 232 | 9.1 |
| 3 | 150 | 50 | 200 | 17.6 | 42 | 1,310 | 226 | 17.3 |
| 4 | 110 | 50 | 200 | 16.8 | 28 | 1,320 | 181 | 13.7 |
| 5 | 110 | 50 | 200 | 16.8 | 34 | 1,480 | 123 | 8.3 |
| 6 | 150 | 50 | 200 | 16.2 | 45 | 1,610 | 218 | 13.5 |
| 7 | 120 | 50 | 200 | 16.3 | 49 | 1,670 | 141 | 8.4 |
| 8 | 110 | 50 | 200 | 16.8 | 34 | 1,340 | 124 | 9.2 |

図 29

基準値超過ほ場の土壌を用いた幼苗試験の結果



【解説】

- ・ 25年産米の超過要因が土壌に起因するものかどうか確認するため、基準値超過ほ場とその周辺ほ場、さらには中通りの試験ほ場の土壌を用い、栽培容器内でイネ幼苗を11日間栽培し、幼苗中の放射性セシウム(¹³⁷Csのみ)を測定。
- ・ 基準値超過ほ場の土壌では、同地域の対照ほ場の土壌に比べて放射性セシウムがより多く吸収されたことから、基準値超過に土壌の性質が影響したと考えられる。
- ・ しかしながら、中通りのほ場の土壌に比べると、玄米の放射性セシウム濃度は同程度である一方、幼苗中の放射性セシウム濃度は半分程度となっており、当該地域の基準値超過には、土壌以外の要素も影響している可能性が示唆された。

5. 総括

- 25年産の米の全袋調査の結果によると、基準値超過は約1,093万点中わずか28点(平成26年3月3日現在)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の効果が改めて確認された。
- これまでの調査研究の結果、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濃度だけでなく、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、また、カリ施肥による吸収抑制対策を行っても玄米の食味等には影響がないこと
 - ③ 稲わらの還元は土壌中の交換性カリ含量を高め、玄米中の放射性セシウム濃度を低減する効果があること
 - ④ 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
 - ⑤ 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。
- 以上を踏まえ、26年作についても、引き続き、農業現場の協力を得て、カリ施肥を中心とした吸収抑制対策の徹底を図ることとしたい。
- なお、25年産米の基準値超過は特定の地域に限定されており、地域特有の要素が影響しているものと推察され、これまでの調査の結果、土壌が基準値超過の要因の一つと考えられたが、土壌だけでは基準値超過の発生要因を十分説明できないことから、引き続き調査を進めることとしている。

[協力機関]

- ・ 宮城県
- ・ 栃木県
- ・ 茨城県
- ・ (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
- ・ 福島大学