

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H03083

研究課題名（和文）気象と土壌・施肥管理を考慮した水稻のカリウム・セシウム吸収モデルの構築

研究課題名（英文）Construction of a potassium / cesium absorption model for rice plants in consideration of weather, soil and fertilizer application management

研究代表者

羽田野 麻理（Hatano, Mari）

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・チーム長

研究者番号：00343971

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、イネの生長にともなう根からのカリウム吸収増大が土壌中のカリウムレベルの低下を介してセシウム吸収を促進する可能性に着目し、イネのセシウムとカリウム吸収を解析する栽培実験で得られたデータに基づき、イネのセシウム吸収が促進される複数の要因を整理した概念モデルを構築するとともに、セシウム吸収を効果的に抑制することが可能な施肥法を探索した。その結果、水稻のセシウム吸収を効果的に抑制するためには、生育中期の土壌中の可給態カリウム濃度を高く保つことが重要である可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原発事故の影響を受けた農地では、放射性セシウムの作物への移行抑制対策技術として、カリウム肥料の増施が続けられてきた。しかし長期的に多量施用することは、コストと労力の面で大きな負担となるため、今後は作物への放射性セシウムの移行を確実に抑制しつつも、カリウム施肥量をいかに適正化できるかが重要な課題となっている。本研究で得られた成果は、放射性物質を含む土壌での栽培管理法を支援する理論的裏付けになると期待される。また、水稻による放射性セシウムの吸収を効果的に抑制するための新たな施肥法の開発に資する。

研究成果の概要（英文）： In this study, we focused on the possibility that increased potassium absorption from roots with rice growth promotes cesium absorption through a decrease in soil potassium level. Based on the obtained data, we constructed a conceptual model that organized multiple factors that promote cesium absorption in rice. Then, we examined fertilization methods that can effectively suppress cesium absorption by rice plant roots. The results suggest that it is important to keep the available potassium concentration in the soil during the middle growth period.

研究分野：農業気象学

キーワード：イネ カリウム セシウム 移行低減

## 1. 研究開始当初の背景

2011年に発生した原発事故の影響を受けた農地では、放射性セシウムの作物への移行抑制対策技術として、カリウム肥料の増施が続けられてきた。しかし長期的にカリウムを多量施用することは、コストと労力の面で大きな負担となるため、今後は作物への放射性セシウムの移行を確実に抑制しつつも、余剰なカリウム施肥量をいかに減らすことができるかが重要な課題となっている。中長期的な対策として、カリウム施肥量の適正化と効果的な施肥・土壌管理方法の提案、また「どのような条件(地域)で移行リスクが高まるのか」を的確に予測する手法の開発が必要である。

水稻では、移行低減技術の開発のために土壌特性と作物特性の双方から精力的な研究が進められ、セシウムと化学的性質が類似しているカリウム肥料の増施によってセシウム吸収を抑制できること、ただしその効果は圃場のカリウム保持力の違いによって変動すること、カリウム輸送に関係する遺伝子の発現がセシウムの経根吸収に強く影響すること、可食部(玄米)へのセシウムの分配率は施肥量に依存して変化することなど、重要な発見が続いている。しかし、これらの要因を有機的に結合し、セシウム吸収の全体像を捉える概念はまだ確立されていない。これまでに得られた優れた研究成果を活用し移行低減により有効な技術を開発するために、土壌側と作物側の要因を橋渡しする取り組みが求められている。土壌側と作物側の要因を橋渡しする上でカギとなるのは、「生長に依存した作物のカリウム吸収」ではないだろうか。これが本研究の「問い」である。セシウム吸収特性の異なる水稻品種を栽培した結果、生育中期に発生するカリウム吸収量の急増がセシウム吸収を著しく促進するという可能性が見えてきた。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、イネの生長にともなう根からのセシウム吸収増大が土壌中カリウムレベルの低下を介してセシウム吸収を促進する可能性に着目し、イネのセシウムとカリウム吸収を解析する栽培・施肥実験で得られたデータに基づき、イネのセシウム吸収が促進される複数の要因を整理した概念モデルを構築するとともに、セシウム吸収を効果的に抑制することが可能な施肥・栽培法を探索することを目的とする。まず、イネの生育中期のカリウム吸収の増大がセシウム吸収を著しく促進するという仮説を実験的に検証する。次に、得られた結果に基づきイネのセシウム吸収が促進される要因を整理した概念モデルを構築する。さらにそのモデルに基づき、イネのセシウム吸収抑制に効果的な施肥・栽培法を探索する。

## 3. 研究の方法

### (1)イネのセシウム、カリウム吸収動態の解析

農研機構東北農業研究センターの試験用水田圃場にて水稻品種を移植栽培した。カリウム施肥の実験については、処理区として基肥区(塩化カリを全量基肥で与える標準的な施肥法)、追肥区(幼穂形成期の約3週間程度前に塩化カリ肥料を田面に施用)、緩効区(緩効性カリ肥料を基肥として施用)、無カリ区(カリ肥料は無施用)を設けた。土壌の交換態カリウム濃度を測定するため、各試験区の水田土壌を採取した。また、イネ地上部における安定同位体セシウム( $^{133}\text{Cs}$ )とカリウム(K)の濃度を分析した。なお、土壌タイプ、施肥、気象条件等の違いがイネのセシウム吸収パターンに及ぼす影響を考察するため、過去に実施した圃場・ポット実験や現地試験のデータの分析も試みた。

### (2)イネ体内でのセシウム分配の解析

農研機構作物研究部門の試験用水田圃場にて水稻品種(コシヒカリ、ハバタキ)を栽培し、イネ地上部各部位の $^{133}\text{Cs}$ とK濃度、ならびにそれぞれの部位への $^{133}\text{Cs}$ とK分配の動態を生育時期別に調査した。

## 4. 研究成果

### (1) イネの生長とカリウム、セシウム吸収の関係

カリウム施肥量の異なる条件で水稻を黒ボク土の水田で栽培し、作物の生長にともなうKと $^{133}\text{Cs}$ 吸収の動態を調査した結果、イネによる $^{133}\text{Cs}$ 吸収速度は生育中期(概ね幼穂形成期から穂揃い期頃)に著しく高まる可能性が高いことが示唆された。

### (2) イネ地上部におけるカリウム、セシウムの各部位への分配

イネ地上部各部位の $^{133}\text{Cs}$ 濃度とそれぞれの部位への $^{133}\text{Cs}$ 分配の動態を生育時期別に調査した結果、各部位における $^{133}\text{Cs}$ 濃度は出穂期においては大差ないが、その後成熟期にかけて大きく変化することを明らかにした。中でも節間では登熟期における $^{133}\text{Cs}$ 蓄積が顕著であることを

確認した。また、 $^{133}\text{Cs}$  の玄米への分配の動態には、品種間差があることも見出した (Ishikawa et al. 2021)。これらの結果から、可食部 (玄米) へのセシウム蓄積には、これまでよく知られていた根による土壌からのセシウム吸収過程だけでなく、吸収されたセシウムの玄米への分配過程も重要な役割を果たすことが示唆された。

### (3) イネによるカリウム、セシウム吸収に関する概念モデル

これまでに執筆者らが実施した水稻品種の施肥・栽培実験の結果と、イネのセシウム吸収に関する文献情報に基づき、イネの根からのセシウム吸収と可食部 (玄米) への移行に關与する土壌要因と植物要因を表す概念モデルを考案した。その概要は以下の通りである。

「イネの栄養生長にともない土壌からのカリウム吸収が急増し、生育中期 (幼穂形成期から穂揃い期頃) に水田土壌中の可給態カリウム濃度が低下すると、水田土壌中の  $\text{K}^+$  と  $\text{Cs}^+$  の拮抗作用により、根からのセシウム吸収速度が増加する。またカリウム不足に対する植物の生理応答として、根でのセシウム吸収を主導するカリウム輸送関連遺伝子の発現が促進されることに加え、イネ体内では登熟期において玄米に分配される  $\text{Cs}$  の割合が相対的に高まる。これらの作用の結果、玄米中のセシウム濃度が上昇する。」

一般的に、作物のバイオマスはS字型の生長曲線を描く。すなわち、生育初期 (分けつ期) から幼穂形成期にかけて生育速度は指数関数的に増加し、生育中期 (幼穂形成期 ~ 出穂期) に最大となり、その後は登熟期から成熟期にかけて次第に減少する。イネのセシウム吸収量が最大になるのは生育中期と仮定すると、その時期は生長速度が最大となる時期とほぼ一致する。この時期は窒素など他の栄養塩類と同様にイネ根によるカリウム吸収も高まるため土壌溶液中のカリウムは急速に消費されると予想される。土壌の交換態カリウムは非交換態画分とゆるやかに平衡しているため、交換態カリウムが多量に消費されると非交換態画分由来の陽イオンが土壌溶液中に溶出すると考えられる。この際、セシウムが土壌溶液中に放出される可能性が指摘されている。さらに、この時期にカリウムが不足したイネでは、根における特定のカリウム輸送体遺伝子の活性化や、イネ地上部における転流パターンの変化などの植物がカリウムを獲得し効果的に利用するための生理応答が活発になり、その結果セシウム吸収が促進される可能性が高い。このようにセシウムに関わるイネと土壌の相互作用の要因は複数あるが、「生長によるカリウム吸収量の変化」に着目することで整理でき、吸収抑制に有効な施肥・栽培技術の開発にも寄与する可能性が高いと考えられる。

### (4) イネの土壌からのセシウム吸収を効果的に抑制しうる施肥法の探索

黒ボク土の試験水田で実施したカリの施肥実験の結果から、水稻のセシウム吸収を効果的に抑制するためには、生育中期 (概ね幼穂形成期から穂揃い期頃) の水田土壌中の可給態カリウム濃度を高く保つこと、特にカリウムの保持力・供給力の比較的低い水田ではそのことが特に重要である可能性が示唆された。

国内の水田地帯には、粘土鉱物組成の違い等に起因して、カリウム保持力・供給力の異なる様々なタイプの土壌が分布している。カリウム保持力が強い土壌では溶脱等による可給態カリウム濃度の低下が生じにくいと考えられる。また、カリウム供給力の大きい土壌ではイネがカリウムを吸収しても土壌の可給態カリウムは閾値以下に低下しにくい、カリウム供給力の比較的小さい土壌では、可給態カリウム濃度が低下しやすいと考えられる。可給態カリウム濃度は、水田のカリウム収支によって変動することや、カリウム追肥によるイネのセシウム吸収抑制の効果が土壌特性の違いによって変動する可能性などを考慮し、今後は調査事例をさらに蓄積し解析を進めることで、土壌から作物への放射性セシウムの移行抑制をより効果的・確実に実施することが可能になると期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Junko Ishikawa, Shigeto Fujimura, Mari Murai-Hatano, Koji Baba, Manami Furuya, Akitoshi Goto, Motohiko Kondo	4. 巻 469
2. 論文標題 Changes in cesium distribution in field-grown rice plants throughout the cultivation period	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 475-487
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11104-021-05189-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤村恵人、羽田野（村井）麻理、石川淳子、松波麻耶
2. 発表標題 玄米への <sup>137</sup> Cs移行に対する中干期の土壤中交換性カリ含量の寄与
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2020年度岡山大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 羽田野麻理、松波麻耶、石川淳子、藤村恵人、後藤明俊、長谷川利拡、新良力也
2. 発表標題 カリ施肥法の違いが水稻の安定同位体Cs吸収に及ぼす影響 イネのセシウム吸収における生育中期の土壌可給態カリの効果について
3. 学会等名 日本農業気象学会2021年全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川淳子、藤村恵人、後藤明俊、羽田野麻理、近藤始彦
2. 発表標題 玄米への <sup>137</sup> Cs分配割合の現地水田における変動要因の解析
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2021年度北海道大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	藤村 恵人 (Fujimura Shigeto)  (70560639)	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・グループ長  (82111)	
研究分担者	松波 麻耶 (Matsunami Maya)  (40740270)	岩手大学・農学部・助教  (11201)	
研究分担者	石川 淳子 (Ishikawa Junko)  (40343959)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・作物研究部門・チーム長  (82111)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	長谷川 利拡 (Hasegawa Toshihiro)		
研究協力者	近藤 始彦 (Kondo Motohiko)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------