

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年9月3日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25252006

研究課題名(和文)水田生態系における放射性セシウムの動態とイネへの移行の解明

研究課題名(英文) Dynamics of radiocesium in paddy-field ecosystems including its transfer to rice

研究代表者

根本 圭介 (NEMOTO, Keisuke)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授

研究者番号：40211461

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,400,000円

研究成果の概要(和文)：福島原発事故でセシウム汚染米が収穫された水田(伊達市小国)を対象に、翌年(2012年)以降も継続的に試験栽培を行い、セシウム吸収の経年変化を追跡した。セシウム吸収の減少は緩慢であり、未だに100ベクレルを超える玄米が収穫されている。主要な要因は、土壌へのセシウム固定が2012年以降ほとんど進行していないことと考えられる。かたや灌漑水からの水田へのセシウム流入は、2013年以降は玄米への蓄積にとって問題とならないレベルにまで下がった。なお、2011年の汚染米の産出はきわめて局所的であったが、この局在性には土壌の母材の種類が強く影響していることがポット実験より確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水田地帯が原発被害を被った事例は、今回の福島が史上初である。その中でも、吸収抑制対策を一切施していない農家水田でモニタリングを継続した研究事例は、本研究がほとんど唯一ではないかと考えられる。本研究を通じて得られた成果は、福島県伊達市を中心に施策に活用されてきた。本研究結果を踏まえ、稲セシウム吸収のリスクマップ作成を今現在も進めており、その成果は将来にわたって福島の食の安全に資するものと考えている。

研究成果の概要(英文)：Rice contaminated with high concentrations of radiocesium was found in some local areas after the nuclear accident in Fukushima in 2011. Since 2012, we have continued to cultivate rice experimentally in paddy fields in one of these areas, Oguni, to trace the annual change of radiocesium uptake. To our surprise, the radiocesium concentration in rice cultivated in the experimental paddy fields has seen only a little change since 2013. One of the reason for this is that radiocesium fixation in soil has hardly progressed in these paddy fields. On the other hand, the inflow of radiocesium via irrigation water to the paddy fields has been much lower than the amount absorbed by rice since 2013. Of course, not all paddy fields in Fukushima are in the same situation: our pot experiments showed that parent material of the soil is the most important factors for uptake in rice grown in different areas.

研究分野：栽培学

キーワード：放射性セシウム 水田 イネ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2011年3月に発生した福島第一原子力発電所事故により、環境中に多量の放射性物質が放出され広範囲の地表面に降下した。これらの放射性物質は、環境中の放射線量の増大を通じて人体の外部被曝をもたらすだけでなく、土壌および農業用水から農作物への移行を通して人体に取り込まれ、内部被曝を引き起こすリスクが懸念されている。これらの問題は、風評被害も含めて福島の一次産業に大きな打撃を与えてきた。今回漏出した放射性核種のうち農業への影響が特に問題となるのは、漏出量が多く半減期も長いセシウム放射性同位体、すなわちセシウム134とセシウム137である。セシウムは植物の必須元素であるカリウムと同族であり、カリウムと同様に植物にも容易に吸収される。事実、原発事故当年には福島県北部を中心に、当時の暫定規制値である500Bq/kgを超える放射性セシウムを含む玄米が多数収穫され、社会に大きな衝撃を与えた。

筆者は福島大学、東京農業大学および伊達市と連携して、事故翌年の2012年に伊達市小国地区の現地水田モニタリング(試験栽培)を実施した。この試験では地区全域で41筆60枚の水田を対象に、イネへの放射性セシウム移行が土壌の交換性カリウム濃度に大きく影響されることなどを確認した。これは、セシウムの吸収はカリウムと競合することから土壌中で放射性セシウムの割合がカリウム(交換性カリウム)に対し大きくなると植物体に放射性セシウムがより吸収されるためであるが、60枚の中には交換性カリウム濃度が低いにもかかわらずセシウムがイネに吸収されない水田も存在することも明らかとなり、吸収要因の多様性の可能性が示唆された。

2. 研究の目的

こうした複雑なセシウム吸収の様相は水田生態系固有の物質循環に起因している可能性がある。そのため、現地モニタリングを継続し、用水-土壌-イネを通じた放射性セシウムの動きや、水田生態系内の各種の環境要因とイネの放射性セシウム吸収との関係を解明することを通じて、被災地の稲作復興に資するとともに、チェルノブイリ事故の類推では説明がつかない今回の稲作被害の栽培学的本質を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本計画の最大の特色は、本研究の調査フィールドである伊達市小国地区の試験水田が備える希有の条件にあると言える。一般に、規制値越え水田での試験栽培の主たる目的は、「珪酸カリウムやゼオライトによる吸収低減対策を水田に多量に施して、玄米への放射性セシウム移行における低減効果を確認すること」であった。しかし、いったん水田にこうしたセシウム吸収の低減資材を大量投入してしまうと、その水田は放射性セシウムの本来の移行を示さなくなってしまい、結果的に吸収の原因解明が難しくなってしまう。そのため、申請者が市政アドバイザーとして指揮を取っている伊達市小国地区の試験作付けでは、申請者および地権者の強い意向により、これらの吸収低減対策なしに60枚の水田の試験栽培を敢行した。実際、こうした「あるがままの水田生態系」での放射性セシウムの移動が継続調査できるフィールドは今や他所にはほとんど残っていない。

かくして、2012年に試験栽培を実施した小国地区の水田から、その多様性を代表する4水田を厳選し、モニタリングを継続した。具体的には、これらの水田を対象として、水田の環境中の放射性セシウムの動態を5カ年に亘って調査した。また、イネへの放射性セシウムの移行の機構、とくにカリウムが移行に及ぼす影響を、ポット実験も併用しながら解析した。供試した土壌には、必要に応じて山林土壌も含めた。

4. 研究成果

(1) 試験田におけるイネへの放射性セシウム移行の経年変化

新規に土壌に降下した放射性セシウムは時間経過とともに粘土鉱物と結合していくことから、土壌から植物体へのセシウム移行も時間とともに減少していくと考えられてきた。このことは、主にチェルノブイリ事故の知見に基づいているが、水田という特殊な生態的環境についても同様の傾向が見られるかどうかは農業復興にとってきわめて重要な問題である。このことを明らかにするため、小国地区の水田のうち2012年の試験において玄米中の放射性セシウムが100Bq/kgを越えた4筆5枚において、2013年以降も継続して試験栽培を行った。実施にあたっては、塩化カリウムなどの増肥によるセシウム吸収抑制減対策は一切行わず、慣行的な栽培条件でのイネへの放射性セシウム移行の長期的な傾向が明らかにできるように配慮した。植物体のサンプリングは生育途中で定期的に行い、収穫期のサンプルと合わせて放射性セシウム濃度を測定した。予想に反して、生育途中の植物体、収穫期の植物体・玄米いずれについてのサンプルとも放射性セシウム濃度の減少は緩やかであり、玄米中の放射性セシウム濃度は未だに現在の出荷制限基準である100Bq/kgを超えるという状況が続いている。

(2) 農業用水に含まれる放射性セシウムの経年変化

2012年の試験栽培では、農業用水がイネの放射性セシウム給源として働いた可能性が示唆された。そのため、2012年以降も小国の主要農業用水について継続して用水調査を実施した。と

くに2013年4月から2015年3月までの2年間はサンプリングを毎月実施し、用水中の放射性セシウム濃度の詳細な季節変化も調査した。調査にあたっては、フィルター濾過を行って放射性セシウムを懸濁態と溶存態とに分画して測定した。

秋口のデータで用水中の放射性セシウム濃度の推移を瞥見すると、2012年から2013年にかけて放射性セシウム濃度は急減し、その後は低い濃度（通常のゲルマニウム測定では検出限界前後となるような濃度）で安定している。ただし季節変化を詳細に調べてみると、ため池の放射性セシウム濃度は秋から冬にかけて通常の数倍のレベルに上昇する傾向が見出されたが、この時期はイネの収穫はすでに終了しているため実害はないものと考えられる。実際、2012～2015年の各年における水田全体の放射性セシウム収支を、2013年と2014年の田面水の水位データを援用して推定してみると、2012年には植物体の吸収したセシウム総量（約600Bq/平米）を上回るセシウム（約800Bq/平米）が用水から流入した水田もあったと推定された。しかし2013年以降は、いずれの水田でも用水からの放射性セシウムの流入はおおむね100Bq/平米前後と、イネ植物体に吸収されることによる水田からの消失量に比べて格段に低くなった。

結論として、2012年の試験栽培のときのように用水がイネへのセシウム給源となるリスクは、現在ではほとんど解消していると判断された。



小国の試験田における田植え

(3) 土壌中の放射性セシウムの経年変化

用水は現時点ではイネへのセシウム給源となっている可能性が低いと判断されたため、次に土壌中の放射性セシウムの動態を調査した。上記したように、降下した放射性セシウムは時間経過とともに粘土鉱物と結合していき、その結果土壌中の交換態の放射性セシウムも時間とともに減少していくと考えられてきた。しかし、試験田で7カ年にわたって採取した土壌サンプルを対象に、酢酸アンモニウム抽出によって交換性セシウムの濃度を測定したところ、土壌中のセシウムの粘土鉱物への固定はほとんど進行していないことが判明した。そのため、土壌からイネへの放射性セシウムの移行は原発事故直後の水準をいまも維持し続けているものと考えられた。

(4) 小国水田土壌の分析

2012年の小国試験栽培では、全体的にみると土壌の交換性カリウム濃度が高いほど玄米への移行係数が低くなる傾向があった。しかし試験田のなかには土壌100g中の交換性カリウム濃度が10mg以下と極めて低いにもかかわらずセシウムがほとんど移行しない水田もあるなど、セシウム吸収の様相はかなり多様だった。この差異をもたらした要因を解明するため、試験栽培を行った60水田から採取した土壌の分析を行った。試験田のうち特にセシウムが移行しやすかった水田と移行しにくかった水田とをそれぞれ複数選び、鉱物分析を行ったところ、前者では花崗岩に由来する風化鉱物の特徴が明瞭であったのに対し、後者では花崗岩の特徴が明瞭でなかった。小国地区の位置する阿武隈山地は白亜紀花崗岩を基盤岩としているが、その表面は部分的に第三紀玄武岩（霊山層と名付けられている）で覆われている。しかし、水田土壌は沖積土壌であるため母岩との厳密な対応づけが難しいことから、これら土壌の供給源である山林土壌を用いた実験を通じてさらなる検討を行った。

阿武隈山地北部の山林を対象に、1)花崗岩が露出している地域と、2)地表が霊山層に覆われている地域から、それぞれ土壌を採取した。これらの土壌を用いてイネの幼植物をポット栽培し、土壌から植物体へのセシウムの移行を調査したところ、イネへのセシウムの移行係数は土壌の交換性カリウム濃度が低いほど高くなる傾向があったが、霊山層土壌と花崗岩質土壌を比較すると、霊山層土壌の方が花崗岩質土壌よりも移行係数が顕著に高かった。この理由として、2つの要因が考えられた。第一の要因は土壌に含まれる緩効性カリウム量である。花崗岩質土壌に豊富に含まれている雲母やカリ長石といった鉱物は、イネ科作物のカリウム供給源となることが知られているが、土壌の交換性カリウム濃度が同程度の場合、確かに霊山層土壌で栽培したイネは花崗岩質土壌栽培したイネよりも体内カリウム濃度が低かった。第二の要因は土壌中のセシウムの固定割合である。土壌中の全セシウム137に占める交換態セシウム137の比率を調べたところ、花崗岩質土壌では0.3～4%だったのに対し、霊山層土壌では3～13%と高かった。

それでは小国地区の水田におけるセシウム吸収被害の違いについても、母岩の違いから説明できるだろうか。緩効性カリウム濃度を指標として、60水田を花崗岩質土壌と霊山層土壌とに分けて解析し直したところ、予想された通り、雲母鉱物が多くイネへの移行係数が低かった土

壤は、緩効性カリウム濃度から見ても花崗岩質土壌の特徴をよく示していた。反対に、雲母鉱物が少なくイネへの移行係数が高かった土壌は、緩効性カリウム濃度から見ても霊山層土壌の特徴を示していた。

(5) 伊達市水田土壌の分析

以上の結果をふまえると、今後もセシウム吸収のリスクが高い水田とは「霊山層土壌からなり、かつセシウムの降下量が多かった水田」であろう。この基準に基づき、2018年の春に伊達市内の各所から水田90枚を選んでセシウム吸収リスクの評価を試みた。緩効性カリウム濃度が低く交換態セシウムの比率が高い水田土壌を霊山層土壌とみなすと、その分布は地質図上の霊山層の分布域に沖積層の一部を加えた領域を占めていた。また小国試験栽培の結果に基づき、伊達市の水田における移行係数の上限を0.06と仮定すると、土壌のセシウム濃度が2000Bq/kgを超える水田では玄米のセシウム濃度が100Bq/kgに達すると試算される。こうした水田では現在でも、交換性カリウムの欠乏時に基準値を超える米が生産されてしまう危険性がある。そこで霊山層土壌の分布域のうち土壌のセシウム濃度が2000Bq/kgを超える地域を「セシウム吸収リスクが高い地域」と考えると、小国地区を中心とした伊達市西部の丘陵地帯を含む3か所がこれに該当した。この結果を事故当年の伊達市における玄米のセシウム吸収被害の分布と比較したところ、事故当年に300Bq/kgを超える玄米が収穫された水田の分布は、今回の分析によりリスクが高いと判断された地域とよく一致していた。

このように、広域にわたる水田土壌の分析により、セシウム被害の地域間差をもたらす最大の要因が地質的条件であることが明らかになった。セシウム吸収リスクの高い地域にある水田では、今後も低減対策を継続し、土壌からイネへのセシウムの移行を注視していく必要がある。

謝辞：小国試験田地権者の皆様のご協力に心より感謝申し上げます。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

田野井慶太郎・小林奈通子・小野勇治・藤村恵人・中西友子・根本圭介, 2011年における福島県の汚染された農地における収穫期イネの放射性セシウム濃度分布, RADIOISOTOPES. 62. 25-29, 2013 査読有

根本圭介, 放射性降下物の農畜水産物等への影響 8. 放射性セシウムのイネへの移行, 化学と生物. 51. 43-45, 2013 査読有

〔学会発表〕(計 1 件)

根本圭介 水田生態系中の放射性セシウム - 伊達市の水稻試験栽培3年間の記録 - . 日本農学会平成27年度シンポジウム 2015年10月3日 東京大学

〔図書〕(計 5 件)

Keisuke Nemoto and Naoto Nihei, Transfer of radiocesium to rice in contaminated paddy fields. In T.Nakanishi, M. O'Brien and K.Tanoi (eds.) Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident (III): After 7 years. p.9-14. Springer, 2019.

根本圭介 稲作 - 伊達市小国でイネの放射線被害を追う. 根本圭介(編)原発事故と福島の農業 p.1-35. 東京大学出版会 2017年

根本圭介 水田生態系中の放射性セシウム - 伊達市の水稻試験栽培3年間の記録 - . 日本農学会(編)国際土壌年2015と農学研究 - 社会と命と環境をつなぐ - p.111-124. 養賢堂 2016年

根本圭介 作物吸収の新知見. 日本学術協力財団(編)放射能除染の土壌科学 - 森・田・畑から家庭菜園まで - p.51-61. 東京大学出版会 2017年

Keisuke Nemoto and Jun Abe, Radiocesium absorption by rice in paddy field ecosystems. In T.Nakanishi and K.Tanoi (eds.) Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident. p.19-27. Springer, 2013.

〔その他〕

ホームページ等

第13回放射能の農畜水産物等への影響についての研究報告会 2017年1月21日 東京大学

<https://www.a.u-tokyo.ac.jp/rpjt/event/20170121.html>

第十回放射能の農畜水産物等への影響についての研究報告会 2014年11月9日 東京大学

<https://www.a.u-tokyo.ac.jp/rpjt/event/20141109.html>

第5回放射能の農畜水産物等への影響についての研究報告会 2012年12月8日東京大学

<https://www.a.u-tokyo.ac.jp/rpjt/event/20121208.html>

6. 研究組織

(1) 研究協力者

黒沢 崇 (KUROSAWA, Takashi)
伊達市産業部農林整備課・課長

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。