

平成 30 年 9 月 7 日現在

機関番号：11601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26870071

研究課題名(和文)全袋検査と環境モニタリングによるセシウム吸収リスクの地理的解明と福島稲作復興

研究課題名(英文) Geographical Analysis of Cesium Absorption Risk and the Recovery of Rice Cultivation in Fukushima Based on All-Bag-Inspection and Environmental Monitoring

研究代表者

石井 秀樹 (ISHII, Hideki)

福島大学・うつくしまふくしま未来支援センター・特任准教授

研究者番号：70613230

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：福島県産のコメは、カリウム肥料による低減対策や全量全袋検査による放射能対策が講じられているが、本研究では土壌・水・大気がセシウムの供給源となる場合のリスクを評価することにより、諸対策の合理化を図るとともに、持続可能な放射能汚染対策の提言を目的とした。特に土壌からセシウムが供給される場合について、地質の違いによるセシウム吸収動態を評価するとともに、ソバの幼苗の栽培による土壌リスクの評価手法を提案し、県内土壌のリスク評価を実施した。これらの知見は、自治体やJAなどの営農指導や検査体制に対する有用な知見となると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Multiple measures - including all-bag inspection of cultivated rice and potassium fertilizer application to prevent cesium absorption by planted rice - have been implemented to ensure the safety of rice cultivation in Fukushima Prefecture. This study aims to make these multiple measures more effective by assessing the risks posed by cesium absorption from soil, water and the atmosphere and by making concrete proposals for sustainable radiation countermeasures. In particular, in regard to cases where cesium is absorbed from the soil, this study assesses the mechanism behind this process in different soil types and advances the risk evaluation of soils in the prefecture by making proposals for assessment methods utilizing the cultivation of buckwheat seedlings to assess soil risks. These findings provide highly useful knowledge for the farming guidance efforts and inspection systems of local municipalities and JA cooperatives.

研究分野：環境農学

キーワード：放射性セシウム 交換性カリウム リスク評価 ソバスプラウト 全量全袋検査 外れ値 土質

## 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日の東日本大震災による地震と津波により、福島第一原子力発電所事故が発生し、我が国は未曾有の原子力災害を被った。

原子力災害により、福島県をはじめ東日本各地が放射性セシウム汚染を被り、農地・森林、河川や溜池などの陸水が汚染された。その結果、農林水産物の汚染リスクが高まり、風評被害が生じた。そして農林水産業が停滞しただけでなく、離農による耕作放棄地の増加が顕著となり、農林水産業とともにある地域社会・経済が立ち行かなくなった。福島県は農林水産業が主要産業の一つであるため、食料生産が危機に瀕しただけでなく、生活基盤としての地域の危機にも直面した。

特にコメの場合は、2011年は伊達市小国・月舘地区、福島市大波・渡利地区などで、暫定基準値500Bq/kgを超えるコメが確認され、福島県産米が全て出荷停止となるなど、社会的に大きなインパクトがあった。こうした中で、原子力災害直後から食の安全・安心を確保する取り組みが進められた。

### (1) 生産環境の汚染実態の把握

避難指示の根拠となる汚染実態の把握として、航空機モニタリングによる放射能汚染の実態が把握され、放射性セシウムの国土的スケールでの汚染実態が判明した。より小さなスケールでは、自治体・JA、農業者をはじめとした市民による土壤中の放射性セシウム濃度の計測が行われた。筆者をはじめとした福島大学の研究グループも県内各地で計測の指導や実践をした。JA新ふくしま(現、JAふくしま未来)と福島県生活協同組合連合会の協同組合間連携による「土壌スクリーニングプロジェクト」は、福島市内を対象とし、JA組合員が保有する全水田、全果樹園の放射能計測をした。生協の参画は、不足する計測の担い手確保だけでなく、農協と生協という立場と利害の異なる協同組合が放射能計測をとにもすることで、放射能計測の客観性・透明性を担保する積極的意義があり、信頼関係の再構築を通じた風評被害の払拭を目指す取り組みであった。

### (2) 農林水産物の汚染実態の把握

福島県をはじめ日本各地で、農協、生協、市民団体、流通業者など様々な主体により、農林水産物の放射能計測をする体制がとられた。消費者庁は、自治体や公民館などに食品のベクレルモニターの導入をさせて、市民が日常生活の中で放射能計測できる態勢の構築も進んだ。

またコメは2011年に暫定基準値500Bq/kgを超過するものが確認され、社会的インパクトが大きかったが、福島県内で生産されたコメは全量全袋検査する体勢が整えられた。

2015年以降、3年連続で基準値100Bq/kgを超過するコメは確認されず、福島県産のコ

メの安全性は確認された。2018年度も実施されるが、全量全袋検査には膨大な費用と手間がかかっており、コメの安全性も確認されたため、今後縮小の可能性が議論されている。

### (3) 農林水産物のセシウム吸収機構の解明

農林水産物の汚染実態の把握を元に、土壤中の放射性セシウム濃度と農作物中の放射性セシウム濃度の比で求められる「移行係数」が作物毎に求められた。

また水稲では、2011年に交換性カリウム濃度と玄米中の放射性セシウム濃度の関係性が明らかにされた。その結果を踏まえ2012年からは、作付時に土壤中の交換性カリウム濃度が25mg/100g(乾土)を超えるように施肥をする対策が全国的に義務付けられた。

2011年に暫定基準値500Bq/kgを超過するコメが発見された伊達市小国地区では、2012年より東京大学と福島大学の筆者らのグループが協力し、伊達市の管理の下で、カリウム肥料やゼオライト等を投じずに、ありのままの水田生態系の下、セシウム吸収の動態を探る試験栽培が実施された。その結果、セシウム吸収が進む圃場の特定、ならびにセシウム吸収が進む生産条件の特定が進められた。

### (4) 2013年のコメ汚染

2013年に基準値100Bq/kgを超えるコメは、南相馬市を中心に確認された。これらの事例は、行政に指導に基づいた必要かつ十分な交換性カリウム濃度があった事、井戸水など元来放射性セシウムが混入しがたい水で栽培された水田からも汚染米が確認されたこと、原子力災害が生じた2011年、2012年産米よりも汚染が顕著であった事など、2012年までの知見では説明がつかない事例であった。原子力規制委員会は否定しているが、出穂前後に大気からフォールアウトした放射性セシウムが汚染要因となった可能性が指摘された。

### (5) 安全対策の現状

2012年より進められた全量全袋検査の結果によれば、2012年、2013年、2014年と基準値100Bq/kgを超過するコメ、ならびに25Bq/kgを超過するコメの割合は、年を追うごとに減少した。

これは、甚大な放射能汚染があったエリアは作付制限とし、安全性が確認されてから作付許可をするゾーニング、生産段階での塩化カリウム肥料などによる低減対策、が功を奏したからだと考えられる。

一方、生産段階での塩化カリウム肥料による低減対策、全量全袋検査には、膨大な費用と労力がかかっている。本研究を構想した時点では、将来的にその社会的コストの高さが問題となり、持続可能な対策の構築が求められると考えた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、放射能汚染に見舞われた地域の稲作復興に向けて、土壌や水源の多様性に適った極細かな営農指導と、将来的な低減資材使用量の削減を視野に入れて、持続可能なイネのセシウム低減対策のあり方を検討することである。イネのセシウム吸収の全貌が解明されておらず、カリウム肥料やゼオライト等の低減資材を地域ごとに定められた分量だけ一律に散布する以外の有効な低減対策が無い。

水稻試験栽培やコメの全量全袋検査の結果などから、セシウム吸収の高い水田を特定し、土質や水源の分析を通じて圃場毎のセシウム吸収要因を解析することから、要因別に地理的特性を明らかにすること、低減対策として有効かつ適正な交換性カリウム量を検討する事、等を通じて現状の低減対策を見直すための知見を得る。また生産工程管理の考え方を提唱し、持続可能で実践的な「稲作復興プラン」を提唱することである。

## 3. 研究の方法

コメを汚染させるセシウム供給源を土壌、水、大気、の3要素に分けて、それぞれのコメのセシウム吸収経路、吸収メカニズムを踏まえて、既存の放射能汚染対策のあり方を精査した。

### (1) モニタリング体制の検討

放射能汚染対策を持続可能なものにするには、土壌・水・大気のモニタリングを簡便な方法でできるようにすることが戦略上、重要であることを鑑み、土壌中の放射性セシウム濃度を簡便に計測する土壌スクリーニング法の提案、水中の放射性セシウム濃度の計測法の標準化、大気中の放射性セシウム濃度の計測事業を進め、モニタリング体制のあり方を検討・提言した。

### (2) 土壌の多様性によるリスク評価

震災から6年が経過した現状では、水・大気からの放射性セシウムの供給は限りなく少なく、コメのセシウム汚染源となることは考えにくいと、土壌のリスク評価に重きを置くこととした。

具体的には、福島県内各地から土壌を幅広く採取し、ソバスプラウトを栽培し、ソバに放射性セシウムを吸収させることにより、土壌の化学的状況も加味して、放射性セシウムの吸収量を地理的把握をすることとした。

## 4. 研究成果

### (1) 土壌のモニタリングについて

土壌中の放射性セシウム濃度と、土壌中の交換性カリウム濃度は、コメのセシウム吸収を予測する最重要データとなる。これら二つだけではコメのセシウム吸収を全て説明することはできないが、実際のコメのセシウム濃度が予測値から大きく外れる場合は、別途

セシウム吸収が促進する要因があるとみなせるため、土壌中の放射性セシウム濃度と交換性カリウム濃度を把握することが重要である。

本研究では、2014年度にJAグループと連携し、県内1728地点の土壌中放射性セシウム濃度の計測と、約1000地点の交換性カリウム濃度の計測を行った。また地権者にデータを開示するとともに、作付判断に資する指針ペーパーを作成し、営農指導の一環とした。また約1000地点で、交換性カリウム濃度が維持されているか検証をした。

作付再開していない水田では、交換性カリウムが不足する水田も見られたが、営農再開され低減対策を講じた水田においては十分な交換性カリウム量が保持されていることが明らかとなり、カリウム肥料サンプルによる低減対策の効果が確認された。

またこれらの実績を踏まえ、JAグループとしての交換性カリウムのモニタリングのあり方、営農指導のあり方を指導した。

### (2) 土質評価によるリスク評価

福島県内各地から約600地点の土壌を収集し、ソバスプラウトのポット試験をすることにより、セシウム吸収をしやすい土壌を特定し、その化学的性質や土質からセシウム吸収が促進される条件を検討した。

福島県内各地の土壌のソバスプラウトによるリスク評価

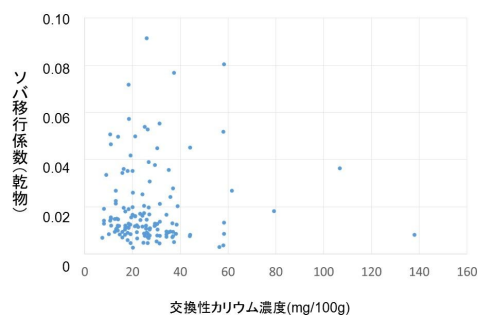


図1 交換性カリウム濃度別のソバ移行係数

従来知見では、ソバは土壌中の交換性カリウム濃度が30~50mg/100g(乾土)を維持する施肥管理が推奨されている。本研究では、交換性カリウムが50mg/100g(乾土)を超える場合でもセシウム吸収が顕著に進む事例が10例確認された。こうした事例からリスクが高まる地域の絞り込みを進めた。

またソバのセシウム吸収が進む地域であってもイネのセシウム吸収が確認されない事例があった。それは花崗岩を特徴とする地域に強く認められたが、これはソバとイネではセシウム吸収メカニズムに違いがあることが関連している可能性があり、今後の課題としたい。

### (3) 土壌スクリーニング法の評価

ATOMTEX 社の AT6101DR を対象に、土壌中の放射性セシウム濃度を簡便に計測する「土壌スクリーニング法」の評価をした。当該機器は、土壌を採取することなく、現地リアルタイムに短時間で計測できる手法であり、福島県内でも JA 新ふくしまの「土壌スクリーニングプロジェクト」、JA 中央会による福島県内土壌調査（2014 年・2017 年）等でも利用されている。当該機器の長所には、3 点あることが判明した。

AT6101DR による土壌スクリーニング法は、一般的に使われる「5 点法」と比較しても、極めて良い相関関係があり、土壌中の放射能計測手法として一定の再現性があることが明らかとなった。当該手法は、ガンマ線スペクトラムから土壌中の放射性セシウムの鉛直方向の分布を推定することにより、土壌を採取しない間接的計測方法でありながら、定量的評価ができることが明らかとなった。

AT6101DR(横軸)と5点法(縦軸)との関係

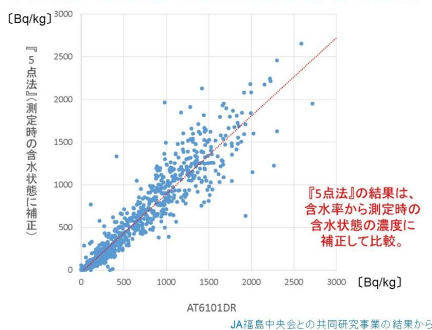


図2 土壌スクリーニング法と5点法の比較

当該手法は、土壌表層の放射性物質の偏在があっても、現地の代表性の高い放射性セシウム濃度が計測できる事が明らかとなった。土壌コアサンプラー等で土壌を採取する場合は局所的偏在の影響を受けることで代表性の高い計測ができない可能性があるが、当該手法はセンサーの半径 1m 余りの領域から発せられるガンマ線を受けて計測するため放射性セシウムの局所的偏在の影響は受けにくい。

当該手法は土壌を採取しない手法であるため、前処理（土壌採取、小石や粗大有機物の除去を目的とした篩がけ、土壌乾燥、重量計測、均質化、パッキング）と、放射能計測に伴う手間と時間が大幅に低減できる手法であることが確認された。

以上のことから AT6101DR による「土壌スクリーニング法」は、膨大な土壌の放射能計測をするための手法として極めて有効であることが確認された。また本研究では、AT6101DR を用いた土壌中の放射性セシウム濃度の計測手法の「手引書」を作成し、普及

活動も行った（福島大学での記者会見は 2017 年 8 月 2 日に実施し、地元 2 社の新聞紙に取り上げられた）。

### (4) 水

田面水の放射性セシウム濃度が高い場合、コメのセシウム吸収が進む可能性がある。しかし福島県下は溜池除染などが進んでおり、営農再開が進む地域では、現状、水中セシウム濃度が 0.1Bq/kg 以下と放射能不検出となり、現状は陸水が汚染源となる可能性は考えにくいと判断した。

ただし原子炉の事故などで放射性セシウムが拡散し、大気から降下した場合は、陸水が再び汚染し、イネを汚染する可能性がある。こうした場合は、一次的出荷停止となる場合があるが、気象予測システムなどを用いて放射性物質の拡散予測を行い、水系毎に水とイネのモニタリングできる態勢を構築することで、全量全袋検査の対象とするエリアの絞り込みができることを検討した。

### (5) 大気

南相馬市原町区と小高区にて、大気中の放射性セシウム濃度のモニタリングを一週間単位で行い、農林水産省のホームページで公開された。

([http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/fukushima/taiki/h26\\_8.html](http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/fukushima/taiki/h26_8.html))

その結果においては、大気中の放射性セシウム濃度が有意に高まった時期は確認されなかった。また 2014 年、2015 年、2016 年と新潟大学と連携し南相馬市原町区と小高区で水稻実証試験を実施してきたが、大気中の放射性セシウムが原因でセシウム吸収が進むことはなかったと結論付けた。

大気降下物による汚染が懸念される場合でも、実測値があればその影響があったのか、なかったのか検討することができるため、風評被害対策としても有用である。一方、計測には膨大な手間や費用がかかるため、広域でのモニタリング体制の構築は難しいが、計測地点の不足は気象予測モデルとの併用で扱う可能性を検討した。

### (6) まとめ

本研究では、土壌・水・大気がセシウム供給源となる場合のリスクを評価し、それぞれの低減対策のあり方を検討した。またモニタリング体制のあり方を検討し、持続可能な放射能汚染対策のあり方を示した。

これらの知見は、カリウム肥料などによる低減対策や、全量全袋検査における縮小・停止に関わる議論に有用な示唆を与えておいている。

### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計8件)

石井秀樹、原子力災害からの土地利用型農業の振興施策に求められる視座 南相馬市における菜の花・トウモロコシ・ソルガム栽培からの考察、福島大学地域創造、査読有、29-1、2017、36-45

石井秀樹、トウモロコシ・ソルガム栽培による相双地区の土地利用型農業の復興-飼料栽培・耕畜連携・再生可能エネルギーを視野に-、農林金融、査読無、2017巻、2017、22-30

石井秀樹、服部正幸、棚橋智春、小松知未、後藤淳、内藤航、上坂元紀、原田直樹、野中昌法、守友裕一、住民と大学・研究機関との連携による放射線計測と試験栽培、福島大学地域創造、査読無、29-1、2017、46-56

石井秀樹、復興支援・政策の課題とその持続可能性を問い直す 福島の原子力災害から4年を迎えて、サステナビリティ研究、査読無、5巻、2015、3-4

石井秀樹、生産から検査までの持続可能で体系立った放射能対策の構築、サステナビリティ研究、査読無、5巻、2015、37-50

山川充夫、小山良太、石井秀樹、唐木英明氏「福島県産農産物の風評被害に関する日本学術会議『緊急提言』の疑問点」への回答、アイソトープ研究、査読無し、723巻、2014、1-6

内藤航、上坂元紀、石井秀樹、小型個人線量計とGPS・GIS技術を活用した外部被曝線量の評価、電気通信学会誌、査読無、Vol198No2、2014、144-150

Wataru Naito, Motoki Uesaka, Chie Yamada and, Hideki Ishii, Evaluation of Dose From External Irradiation for Individuals Living in Areas Affected by The Fukushima Daiichi Nuclear Plant Accident. Radiation Protection Dosimetry. 査読有, Vol. 163No.3, 2014, 353 - 361

〔学会発表〕(計3件)

Hideki Ishii, The Significance of Citizen-led Voluntary efforts. NERIS-WP3 Workshop (招待講演) 2015年11月12日、OECD本部(フランス・パリ市)

石井秀樹、小山良太、林薫平、朴相賢、棚橋知春、産消連携による土壌放射能計測から営農指導データベースの構築、協同組合学会、2014年10月25日、愛媛大学(愛媛県松山市)

石井秀樹、野川憲夫、林薫平、則藤孝志、表層設置型 NaI (TI) スペクトロメーターを用いた土壌中放射性セシウムの測定、アイソトープ研究会、2014年7月7日、東京大学(東京都文京区)

〔図書〕(計4件)

根本圭介、高田大輔、小松知未、三浦覚、眞鍋昇、石井秀樹、東京大学出版会、原発事故と福島の農業、2017、171

Hideki Ishii, Rebuilding Fukushima : Edited by Mitsuo Yamakawa and Daisaku Yamamoto, Routledge, 2017, 182

除本理史、渡辺淑彦(編)、土井妙子、藤川賢、頼金大輔、尾崎寛直、渡邊真也、松本寛之、足立龍太、石塚政人、斎藤好明、片岡直樹、高木竜輔、平岡路子、小海範亮、森川清、山川幸生、磯野弥生、石井秀樹、原子力災害はなぜ不均衡な復興をもたらすのか、ミネルバ書房、2015、280

水中の放射性モニタリング手法に関する技術資料検討委員会(編)、青野達雄、飯島和毅、石井秀樹、内田滋夫、江口定夫、大野浩一、恩田雄一、上東浩、北村清司、久保田富次郎、小林政広、佐藤睦人、斎藤隆、信濃卓郎、申文浩、塚田詳文、坪山良夫、難波謙二、野川憲夫、林誠二、村上道夫、吉川夏樹、山口裕顕、吉田幸弘、環境放射能モニタリングのための水中の放射性セシウムの前処理法・分析法、2015、100

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕ホームページ等  
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石井秀樹 (ISHII, Hideki)  
福島大学・うつくしまふくしま未来支援センター・特任准教授  
研究者番号: 70613230