

令和元年6月18日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (特設分野研究)

研究期間：2015～2018

課題番号：15KT0025

研究課題名(和文) 有畜循環農業における放射性セシウムの農地、作物、畜産物、堆肥等への移行動態解析

研究課題名(英文) Analysis of radiocesium dynamics in farmland, crops, livestock products and compost in livestock farming

研究代表者

田野井 慶太郎 (Tanoi, Keitaro)

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：90361576

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：福島第一原発事故以降、放射性セシウムで汚染された堆肥の使用を差し控える傾向にある。汚染堆肥から作物への移行に関して不明であった。そこで、どの程度の汚染堆肥だとどういった量の放射性セシウムが作物に移行するのか調べた。高濃度に汚染した堆肥はソバへの移行も確認されたが、低い汚染レベルの堆肥の場合、運用してもソバへの移行は少なかった。堆肥から供給されるカリウムによる移行係数の低減効果が考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、実践的で実際の農畜産業を展開する中で、農地環境中の放射性セシウムのモニタリングを実施した。本研究期間で確立される手法は、今後当該活動を永年的に継続するための礎となることが期待される。また、本情報を基に、現況完全に断たれている物質循環が少しでも取り戻されることが重要であり、この問題に取り組むことは我々農学者の社会的役割である。

研究成果の概要(英文)：Since the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, farmers have refrained from using radiocesium-contaminated compost. We investigated how much of the radiocesium transfers from soil to crops in the fields where the contaminated compost has been applied continuously. As a result, in the field where highly contaminated compost was applied, radiocesium was transferred to buckwheat, but in the case of compost with low contamination level, the ratio of radioactive cesium transferred to buckwheat was the same as control, suggesting the decrease in the rate of transfer factor of radiocesium to crops by potassium supplied from the compost.

研究分野：環境放射線

キーワード：放射性セシウム

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

将来にわたる持続的な食糧生産と農業による環境負荷を抑制するために、残渣や家畜の糞尿をほ場に還元するなど、物質循環を活かした取り組みが広く行われている。堆肥施用は、土壌へのミネラルの供給や養分を保持する能力を向上させるとともに、土壌の排水性や通気性などの物理性の改善や、多様な微生物相の維持による病害虫の抑制といった作用がある。堆肥、作物、家畜における物質循環の化学的な評価としては、窒素を中心とした解析が進められ、堆肥施用は化成肥料施用よりも作物による利用効率の高い窒素供給方法であることが明らかになっている。全国有数の農業県である福島県では、福島第一原子力発電所事故による放射性物質の広がりにより、食の安心・安全が脅かされている。この状況は、福島県だけの問題ではなく、我が国の食料の安定供給に係る問題でもあり、世界の食料問題へも波及するものである。原発事故直後には、放射性セシウム濃度が $34,000\text{Bq/kg}$ のハウレンソウや、 $28,000\text{Bq/kg}$ のキノコ類が検出され、これらの出荷は停止された。これら直接食用に供される農産物以外でも農業現場では飼料や堆肥が影響を受けている。たとえば原発事故後に 510Bq/kg の牛肉や、 420Bq/kg の原乳が検出されたが、これは牛に給与した稲わらが放射性セシウムで汚染されていたのが原因であったことから、飼育農家へ利用しないよう注意喚起が行われている。それ以降、稲わらの家畜への利用は控えられ、農地の傍らに山積み放置されているのが散見されるように、行き場を失っている。さらに、汚染された飼料を給与された家畜の糞尿には放射性セシウムが濃縮される傾向にあることから、糞尿と作物残渣から堆肥を作ることが控えられ、たとえ作ったとしても利用はされず、やはり放置され野積みされていることもしばしばである。

このように放置される飼料・堆肥であるが、放射性セシウムの濃度が比較的低濃度でも利用が控えられてしまうのは、利用した際の影響に関する情報が少なく農家の不安を解消できないことが要因としてあげられる。一方で、汚染堆肥を土壌に施用した際に作物に与える影響についての知見は少ない。土壌から作物への移行に関する放射性セシウムのこれまでの研究は、主に土壌に直接降り注いだ放射性セシウムの挙動を対象とし、作物の種類や、土壌型、交換性カリウム含量との関係等について行われている（福島県・農林水産省 2013）。土壌に直接降り注いだ放射性セシウムは、当初作物へ利用されやすい形態で存在するが、時間の経過とともに 2:1 型粘土鉱物等に固定され、作物への移行は低くなる。一方、作物や糞尿等有機物に取り込まれた形で供給される放射性セシウムの挙動についてはわからないことが多い。すなわち分解を受けにくい有機物に含まれることで土壌への固定に時間がかかる懸念や、作物の根が土壌に触れないうちに有機物に付着した放射性セシウムを直接に吸収してしまう懸念がある。現況これらの懸念に対応する知見が不足している。

2. 研究の目的

本研究では、有畜循環農業の中で汚染堆肥を用いて、汚染された堆肥から供給される放射性セシウムの土壌内での蓄積、作物への移行を解析する。作物については飼料作物のムギ類の他、福島県が実施する緊急時環境放射線モニタリング（以下、モニタリング検査）により、比較的高放射性セシウム濃度が高いことが報告されているソバを用いて、有畜循環農業における放射性セシウム動態の経年的変化を明らかにする。

土地利用型作物でソバと共に放射性セシウム濃度が他の作物より高いサイズも含めて子実内のセシウム分布や品種間差も検討し、実際の栽培に供するデータを算出する。このことで得られた知見を基に、有畜循環農業における放射性セシウム蓄積パターンの傾向を示すことで、汚染堆肥や飼料の利用や放射性セシウム動態モデリングに資するデータを提示する。実践的に有畜循環農業を実施する中で得られる総合的な取り組みは、ある特定の目的のために整えられた圃場で得られる試験よりも、実際の現場において参考になるデータを提供できると考えられる。

3. 研究の方法

(1) 汚染堆肥の作物（ソバ）への影響

本研究は、茨城県笠間市にある東京大学大学院農学生命科学研究科附属牧場（以下、試験 A）、福島県飯舘村（以下、試験 B）の 2 箇所のフィールドで実施した。試験 A では有畜循環農業としての環を完全に保った環境で実施し、試験 B では畜産を伴わないながらも高濃度に汚染された堆肥の作物への移行解析を行う。試験 A の圃場（土壌の ^{137}Cs 濃度約 50Bq/kg 、交換性カリウム 146mg/kg 、深さ 15cm 、以下同）では、2013 年から 2018 年に事故直後に作られた汚染堆肥（原料：牛糞、牧草、1~3 年目の堆肥約 $800\sim 1000\text{Bq/kg}$ 、4~6 年目の堆肥約 500Bq/kg ）をソバ（常陸秋そば）播種前に毎年 $1\text{t}/10\text{a}$ 、 $5\text{t}/10\text{a}$ 施用（A1t 区、A5t 区）した。ソバ収穫後にはエンバク（飼料用）を栽培し一年二作体系とした。試験 B の圃場（土壌の ^{137}Cs 濃度約 8000Bq/kg ）では 2015 年に堆肥（ ^{137}Cs 約 10kBq/kg 、原料：落葉）を $1\text{t}/10\text{a}$ 施用しその後、2018 年まで 4 年間毎年ソバを栽培した（B1t 区）。両試験とも堆肥を施用しない無施用区を設けた。収穫時にソバ子実、エンバク（試験 A のみ）と土壌の ^{137}Cs 濃度（ Bq/kg ）を測定した。2015 年の試験 B ではソバと土壌の ^{90}Sr も測定した。試験区面積は試験 A は約 $1,000\text{m}^2$ 、試験 B は 100m^2 であった。試験 B の土壌では、堆肥施用が物理化学性や可給態放射性セシウムについて経年的な解析を実施した。

(2) ソバの品種間差異

ソバの品種間差を検討するため、ソバ 10 品種（高嶺ルビー、ダットンそば、キタワセソバ、階上早生、信濃一号、レラノカオリ、信州大そば、にじゆたか、しなの夏そば、グレートルビー）を育苗用ポット（5cm×5cm×5cm）に播種後、人工気象器（16h/8h、25℃）にて 21 日間栽培した。土壌（黒ボク土）の ^{137}Cs 濃度約 12000Bq/kg であった。比較として、ダイズ（エンレイ）、デントコーン、イネ（日本晴）も用いた。収穫後、地上部と地下部（一部品種のみ）の ^{137}Cs 濃度を測定し移行係数（地上部の ^{137}Cs 濃度/土壌の ^{137}Cs 濃度）、地上部/地下部を測定した。3 反復で実施したが、イネは濃度が低かったため、ひとまとめにして測定した。

(3) ソバ、ダイズ体内のカリウム、セシウム分布

ソバとダイズの子実内のカリウム分布を比較するため、それぞれの子実切断面のマッピングを Scanning Electron Microscope (SEM, Hitachi SU3500) と energy dispersive X-ray (SEM-EDX, Horiba EMAX X-Man[®]) を用いて行った。また、 ^{137}Cs のダイズ子実内での分布を検討するため、1/2Hoaland 溶液に ^{137}Cs を 100Bq/L 加えた溶液でダイズを栽培し、子実の切断面をイメージングプレート (BAS IP TR, GE Healthcare, UK) にコンタクトし、オートラジオグラフィ像を得た。

4. 研究成果

(1) 汚染堆肥とソバの子実

試験 A の圃場（図 1）の Cs 濃度は約 50Bq/kg であったが、堆肥連用により土壌中の ^{137}Cs 濃度は 1tA/10a で約 20Bq/kg、5t/10a 区で約 30Bq/kg 増加した。汚染堆肥連用により、C/N、pH に変化はなかった。ソバ子実の ^{137}Cs 濃度は、無施用区では試験を開始した 2013 年が 8Bq/kg であり、その後試験開始から試験期間中に徐々に低下し、2018 年は 2Bq/kg であった（図 2）。5tA/10a 区では 2013 年が 13Bq/kg であり、2018 年は 4Bq/kg であった。同一年度間で堆肥施肥有無によるソバ子実の Cs 濃度に有意な差はなかった。エンバクもソバ子実の Cs 濃度と同様に、年度が経過するにつれ低下し（無処理区：2013 年 8Bq/kg、2018 年 1Bq/kg）、同一年度間で堆肥施肥有無による Cs 濃度に有意な差はなかった。ソバ子実のカリウム濃度は、堆肥施用で有意に上昇しており、堆肥の影響とみられる。移行係数（子実の Cs 濃度/土壌の Cs 濃度）は試験期間経過に従いどの試験区でも低下し（図 3）、原発事故後に降下した Cs の土壌への固定の影響と考えられる。

試験 B では、堆肥施用した 2013 年のソバ収穫後の土壌中の ^{137}Cs 濃度は堆肥施用で高まり、同等の ^{137}Cs 濃度で推移した。交換性の ^{137}Cs 濃度は施用直後が高まったが、4 年度には無施用区と同等となった。2013 年のソバ播種後 15 日目のソバの ^{137}Cs 濃度は無施用区で 2000Bq/kg、1tB/kg で 3400Bq/kg であり、収穫した子実の ^{137}Cs 濃度は無施用区で 267Bq/kg、1tB/10a 区では 388Bq/kg と堆肥施用で高まった。子実への移行係数は、両試験区とも 0.03 であった。堆肥施用 4 年後の子実の ^{137}Cs 濃度は、両試験区とも約 170Bq/kg で同等となった。なお、堆肥施用後（2015 年）に栽培した土壌、ソバの ^{90}Sr は、土壌が 3.8Bq/kg、ソバが 1.0Bq/kg で試験区間の差はみられなかったが、移行係数は 0.25 で ^{137}Cs に比べ高かった。

高濃度に汚染した堆肥直後はソバへの移行も確認されたが、低い汚染レベルの堆肥であれば、堆肥から供給されるカリウムの影響もあり、連用してもソバへの移行は少なかった。



図 1. 試験 A におけるソバ(左)とエンバク (右)

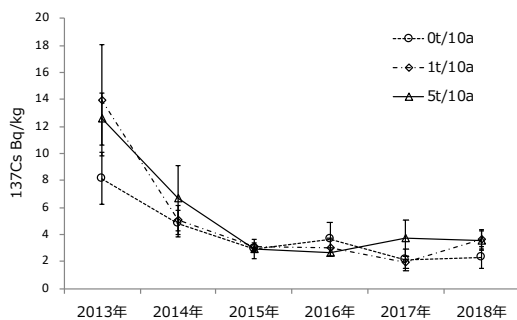


図 2 堆肥施用によるソバ子実の経年変化（試験 A）
バーは標準偏差

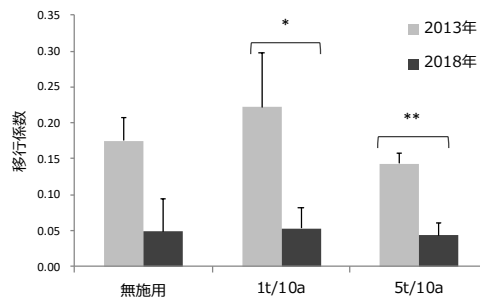


図 3 移行係数の変化（試験 A）
同一処理間で*は 5%有意、**は 1%有意 (t. tset)

(2) ソバの品種間差異

ソバ品種間差の結果を図4に示す。試験を行った品種間では品種Aの移行係数が他品種に比べ高かった。品種Aでは地上部/地下部が高く(図5)、地上部への ^{137}Cs の移行が他の品種より高いため、移行係数が高くなると推測された。

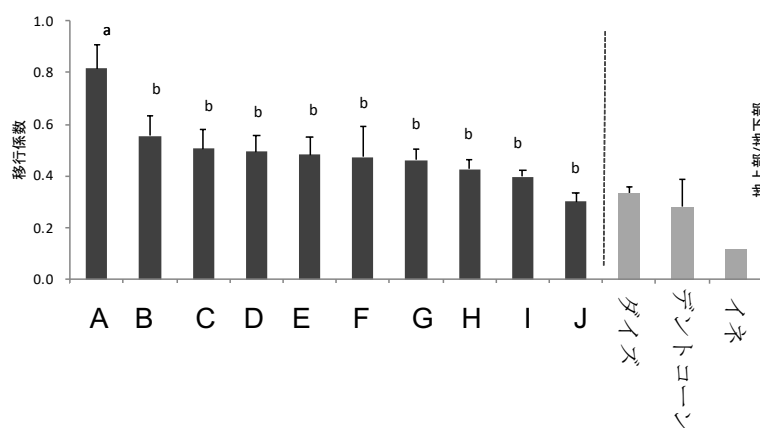


図4 移行係数のソバ品種間差

同一文字はソバ間で有意な差 ($p < 0.05$) がないことを示す (Tukey-Kramer)

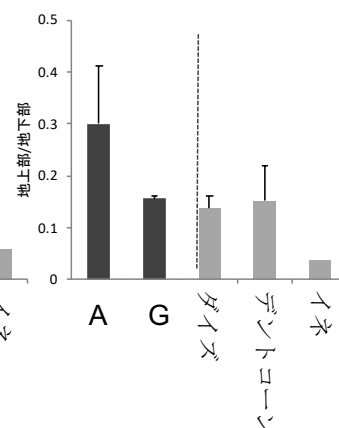


図5 地上部/地下部比

(3) ダイズ子実内分布

セシウムと同族のアルカリ金属元素で作物の三大栄養素に挙げられるカリウムのソバ子実内の分布は、デンプンやタンパク質を蓄積する子葉(胚芽)や種皮に多く、胚乳は少なかった。一方、ダイズ子実には胚乳はなく(無胚乳種子)、子実内の大部分を占める子葉にデンプンやタンパク質、栄養成分を蓄積するため、カリウムも子実内に均一に分布していた(図6)。ダイズの放射性セシウム分布も、子実切片のオートラジオグラフィ(^{137}Cs の分布像)よりカリウムと同様、均一に分布していた。植物体内でカリウムとセシウムの挙動が全く同じかどうかは不明だが、カリウムとセシウムの子実内の分布より、一価カチオンとしてある程度同じ挙動をすると仮定すると、ダイズは他の作物より放射性セシウムを子実に移行する割合が高く、可食部(ダイズの場合、子実)を検査対象とするモニタリング検査では、放射性セシウム濃度が高まったと考えられる。

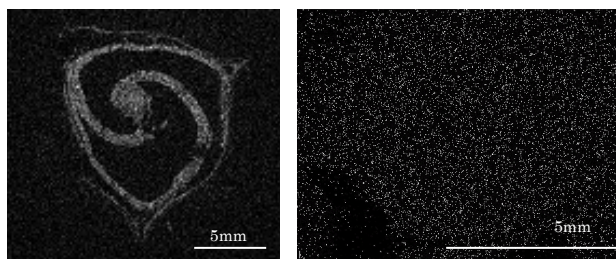


図6 子実断面のSEM-EDX画像(左;ソバ、右;ダイズ)

5. 主な研究発表等

[雑誌論文] (計 2 件)

Nihei N, Sugiyama A., Ito Y., Onji T., Kita K., Hirose A., Tanoi K., Nakanishi T.M., The Concentration Distributions of Cs in Soybean Seeds, *RADIOISOTOPES*, 66.235-242 (2017)、査読あり

Nihei N., Tanoi K., Nakanishi, T.M., Monitoring inspection for radiocesium in agricultural, livestock, forestry and fishery products in Fukushima prefecture, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 307, 2217-2220 (2016)、査読あり

[学会発表] (計 4 件)

二瓶直登・李俊佑・田野井慶太郎・中西友子 汚染堆肥施用による放射性セシウムのソバへの移行、日本作物学会、2016年

Nihei N., Tanoi K., Nakanishi T.M., Monitoring Inspection for Radiocesium in Agricultural, Livestock, Forestry and Fishery Products in Fukushima Prefecture, *JpGu*. 2017

Nihei N., Hamamoto S., Hiyayama T., Eguchi T., Kubo K., Tanoi K., Nishimura T., Nakanishi T., *Applied*

potassium behavior in some Fukushima upland soil, ICOBTE, 2017
Tanoi K., Agriculture in Fukushima, Nuclear Emergency Expert Meeting, 2017

〔図書〕(計 2 件)

Nihei N., Hamamoto S.; Absorption of radiocesium in soybean, Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident (III), Springer, 27-33, 2019

二瓶直登, 放射能の農産物への影響, 学術の動向, 2017

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：二瓶直登

ローマ字氏名：Nihei Naoto

所属研究機関名：東京大学

部局名：農学生命科学研究科

職名：特任准教授

研究者番号 (8 桁)：50504065

研究分担者氏名：李俊佑

ローマ字氏名：Ri Toshihiro

所属研究機関名：東京大学

部局名：農学生命科学研究科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁)：10313082

研究分担者氏名：西村拓

ローマ字氏名：Nishimura Taku

所属研究機関名：東京大学

部局名：農学生命科学研究科

職名：教授

研究者番号 (8 桁)：40237730

研究分担者氏名：山岸順子

ローマ字氏名：Yamagishi Junko

所属研究機関名：東京大学

部局名：農学生命科学研究科

職名：教授

研究者番号 (8 桁)：60191219

研究分担者氏名：中西友子

ローマ字氏名：Nakanishi Tomoko

所属研究機関名：東京大学

部局名：農学生命科学研究科

職名：名誉教授
研究者番号（8桁）：30124275

研究分担者氏名：広瀬農
ローマ字氏名：Hirose Atsushi
所属研究機関名：東京大学
部局名：農学生命科学研究科
職名：特任講師
研究者番号（8桁）：90708372

研究分担者氏名：小林奈通子
ローマ字氏名：Kobayashi Natsuko I
所属研究機関名：東京大学
部局名：農学生命科学研究科
職名：准教授
研究者番号（8桁）：60708345

(2)研究協力者
研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

※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。