

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26511007

研究課題名(和文)なぜ水口のイネは放射性セシウム濃度が高いのか?

研究課題名(英文)Why is the concentration of radiocesium in rice near water inlet high?

研究代表者

吉川 夏樹 (Yoshikawa, Natsuki)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：90447615

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：浜通り地方の3地区に合計13の試験水田を設け、田面水、土壌、イネに含まれるCsの水田内空間分布を把握し、水口側のイネの放射性セシウムの移行係数が高くなる現象の発生機構を観測および数値モデルによって検証した。研究の結果、水口近傍において特異的にイネの放射性セシウム濃度が高くなる理由として、溶存態の放射性セシウムではなく、生物学的利用能の比較的高い懸濁態の画分の蓄積によって発生することが示唆された。このことから、水口近傍におけるイネ密植によってCsの吸収をこの範囲にとどめる対策を提案し、試験を行ったものの、効果は確認できなかった。

研究成果の概要(英文)：This study aimed at investigating the phenomenon of higher transfer factor of radiocesium from soil to rice plants near water inlets by quantifying spatial distribution of radiocesium in paddy field water, soil and rice plants at 13 experimental paddy fields in Hama-Dori district in Fukushima prefecture, and developing a numerical simulation model. In consequence, it was suggested that the cause of specifically high concentration of radiocesium in rice near the water inlet may be due to the suspended form of radiocesium accumulated near the water inlet but to the dissolved form. Based on this result, densely transplanting near the water inlet to control the diffusion of suspended solid was attempted as a countermeasure for producing low contamination rice. However, this proposal was found to be failure.

研究分野：農業土木学

キーワード：放射性セシウム 水田 農業用水 移行係数 溶存態セシウム 懸濁態セシウム

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我々の研究グループは、2011年から2013年までの水田圃場内における放射性セシウム（以下、Cs）の水稲への移行係数に空間的な偏りがあることを明らかにした。2012年度の調査の結果、東和地区に設定した5箇所の試験水田で農業用水の取入れ口（水口）近傍の移行係数が有意に高いことが示され、2013年度に3年ぶりに水稲作付を再開した南相馬市太田地区の試験水田においても同様の結果が得られた。イネに蓄積されるCsの多くは土壌からではなく、水中のイオン態Csの吸収であること（Nakanishi et al. 2013）からも、用水経路のCsの影響が疑われたが、移行のメカニズムは未解明であった。現在作付を行っている地域農家の汚染抑制対策だけでなく、今後稲作を再開する地域においても、そのメカニズムの解明と対策案の提示は、農家の意思決定の上で重要と考える。

2. 研究の目的

(1) 高濃度汚染森林域を起源とする灌漑用水のCs負荷量の定量

灌漑用水の流量観測およびCsの濃度測定によって流域から水田に流入するCs負荷量をモニタリングし、逐次抽出法によって存在形態別のCsを把握する。

(2) Csのイネへの移行係数の定量と水口近傍の移行係数上昇のメカニズムの解明

水田の田面水流化過程における溶存態Cs濃度の低下および懸濁態Csの水口近傍への蓄積量を定量し、水口近傍の移行係数上昇のメカニズムを解明する。

(3) 移行係数の推定モデル構築による空間的偏在の再現と予想

上記観測結果に基づき、イネへの移行係数の空間的な偏りを推定するモデルを構築する。

(4) 安全性の高いコメの生産・出荷に向けた対策の提案と実証実験

(2)における観測結果と(3)で構築するモデルの結果に基づき、コメへのCs移行抑制策を提案し、現地圃場を使って実証する。

3. 研究の方法

福島県浜通り地域の南相馬市原町区中太田地区（3圃場）、同市小高区耳谷地区（1圃場）、浪江町酒田地区（9圃場）に試験水田を設け、イネ、土壌、田面水、用水の採取ならびに1次元流下実験を行った。

研究目的(1)

それぞれの地区の用水を取水し、溶存態Csと懸濁態Csに分画し、Cs濃度を定量した。中太田地区の試料については、さらに逐次抽出法によってCsの存在形態を把握し、作物への移行可能性を検証した。

研究目的(2)

田面水の1次元流下実験（図1、図2）を実施した。水田内の取水口から主流方向に

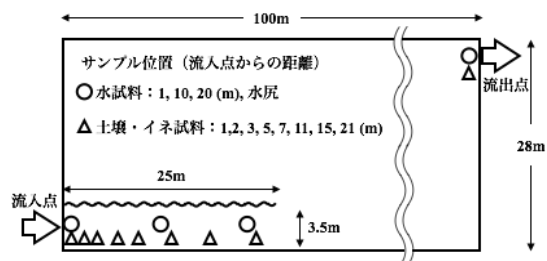


図1 一次元流下実験の概要（中太田地区）

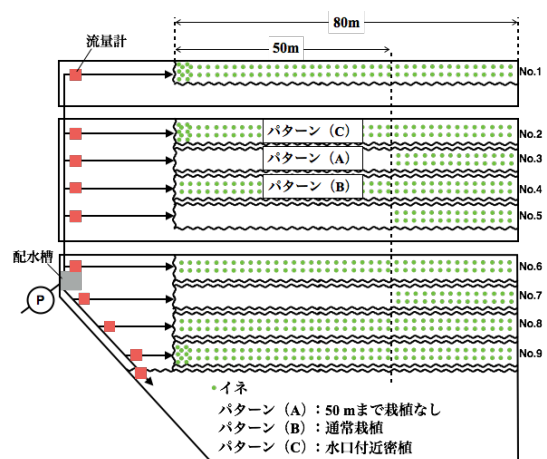


図2 一次元流下実験（酒田地区）

対して波板を設置し、田面水を一次的に流下させ、距離に応じてイネ、土壌、田面水を採取し、流下過程におけるそれぞれのCs濃度変化を測定した。

加えて、イネによる灌漑水中のCs濃度低減への影響度合いの検証のため、酒田地区において、イネの栽植密度を(A)栽植なし、(B)通常栽植、(C)水口密植の3パターン設定した。(A)はイネによる吸収がないため、水田土壌による溶存態Cs低減の基礎データとして扱った。(C)はイネによるCs吸収があるとすれば3パターン中で溶存態Cs濃度低減量が最も大きくなることが予想された。(B)とあわせて(A)と比較することで、イネによる溶存態Cs吸収の可能性を検証した。また、懸濁態Csについては、栽植密度によって田面水の流れてに差が生ずると考え、懸濁態Cs濃度変化について検証した。流入点からの距離に応じて田面水、イネおよび土壌を採取し、Cs濃度を定量した。

また、もし、水口近傍の密植によって、Csが選択的に吸収されるのであれば、水口周辺以外のコメへの移行が抑制されるため、研究目的(4)のCs移行抑制対策の提案につながると思った。

研究目的(3)

灌漑水に伴って水田へ流入する懸濁態Csによる水田土壌Cs濃度への影響を検証することを目的に、試験水田の耕区を対象として、流入する浮遊物質の動態（浮上・沈

降・輸送)を表現する二次元モデルを構築した。モデルの妥当性検証として、モデルによって再現された懸濁物質の沈降に伴う水田土壌のCs濃度変動値と現地試験の観測値を比較検討した。その後、試験流路が存在しない通常の水耕栽培環境を想定し、試験水田の灌漑期間を対象とした懸濁物質の動態シミュレーションを行った。モデル中の各パラメータについては適宜、分析・現地観測によって設定した。

4. 研究成果

(1)高濃度汚染森林域を起源とする灌漑用水のCs負荷量の定量

3地区の灌漑用水の¹³⁷Cs濃度は、0.2–0.6Bq/L程度で、いずれの地区においても全体に占める溶存態の濃度が懸濁態濃度と比較して高く、また、灌漑期(5–9月)に高くなる傾向があった。高温期に水源あるいは流下過程で有機物の分解が促進され、水中のイオン態の放射性Csが増加したためと考えられる。用水に含まれる懸濁物質の¹³⁷Cs濃度は常に10,000Bq/kg以上で、

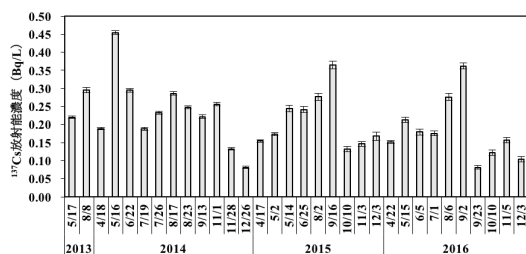


図3 中太田用水中の全¹³⁷Cs濃度

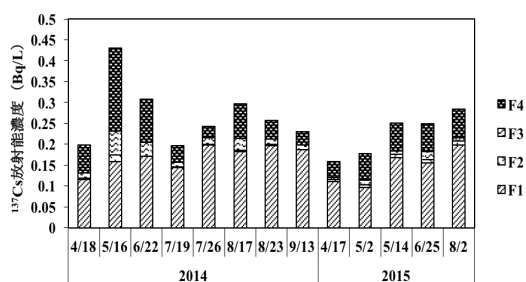


図4 中太田用水の存在形態別の¹³⁷Cs濃度

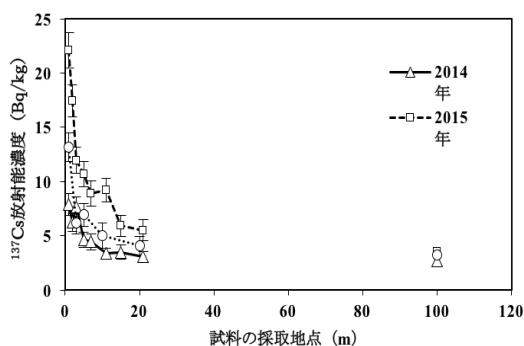


図5 中太田地区の玄米の¹³⁷Cs濃度

40,000Bq/kgを超える月もあった。1,000–3,000Bq/kgの圃場土壌と比較し、1オーダー大きい濃度の物質が流入することが明らかとなった。

存在形態としては、水溶性(F1)、イオン交換態(F2)、有機物結合態(F3)を合わせた可給態Csが7割以上を占め、中通過り地方の用水と比べて、可給態の割合が大きいことが明らかになった。

(2)Csのイネへの移行係数の定量と水口近傍の移行係数上昇のメカニズムの解明

一次元流下実験の結果、中太田地区では、2014年の土壌中の¹³⁷Cs濃度は、各採取地点でほぼ同等の値だったが、2015年は水口からの距離に応じて低下する傾向があった。経年的に水口近傍にCsが蓄積する傾向があることが明らかになった。玄米の¹³⁷Cs濃度はいずれの年も水口近傍が高く、水尻方向に低下する傾向があった(図5)。田面水中の¹³⁷Cs濃度も水口近傍が高く、流下過程で低下する傾向があった。また、SS単位重量あたりの平均¹³⁷Cs濃度は、1m地点で $1.41(\pm 0.714) \times 10^4$ Bq/kg、100m地点(流出点付近)で $1.96(\pm 1.07) \times 10^3$ Bq/kgと、水口近傍は水尻と比較して1オーダー大きかった。中太田用水中のSS単位重量あたりの平均¹³⁷Cs濃度は $1.94(\pm 1.01) \times 10^4$ Bq/kgであることから、1m地点の田面水中のSSは用水由来のものである可能性が高い。一方で、土壌中の¹³⁷Cs濃度は $0.8\text{--}1.8 \times 10^3$ Bq/kgであり、100m地点の田面水中のSSは水田土壌由来である可能性が高い。以上のことから、水田土壌と比較して生物学的利用能が高く、かつ単位重量あたりの¹³⁷Cs濃度が1–2オーダー高い用水由来の懸濁物質が水口近傍に沈降したことが示唆された。また、逐次抽出の結果、流路区間では比較的生物学的利用能が高いF2およびF3が全体の約5–20%存在するのに対し、100m地点ではF1とF4のみであった。この結果は、田面水中のSSの由来が流下過程で変化するとした仮説を支持するものである。

酒田地区に設けた(A)栽植なし、(B)通常栽植、(C)水口密植の3パターンの観測の結果、土壌および稲わら・玄米中の¹³⁷Cs濃度は栽植密度に関わらず、水口からの距離に応じた低下傾向が示された。

田面水中の溶存態¹³⁷Cs濃度は全てのパターンで、水口からの距離に応じた低下傾向が確認された(図7)。しかし、栽植密度による優位な差はなかった。

イネが溶存態¹³⁷Csを吸収するならば、栽植の有無により溶存態¹³⁷Cs濃度に差がみられるはずであるが、一次元流下実験では栽植の有無により溶存態¹³⁷Cs濃度の低下傾向に差は認められなかった。この原因を検証するため、酒田地区の通常作付けの実験区において、灌漑期間中に捕捉された(流下過程で減少した)全溶存態¹³⁷Cs量とイネ

体（稲わら・玄米・籾殻）の ^{137}Cs 全吸収量を試算し、比較した。

試算の結果、イネ体による ^{137}Cs 全吸収量は溶存態 ^{137}Cs の全捕捉量と比較して1オーダー小さく、イネが吸収した ^{137}Cs が全て溶存態 ^{137}Cs 由来であったとしても溶存態 ^{137}Cs 濃度低下に与える影響は微小であることが明らかとなった。こうした結果から、溶存態 ^{137}Cs 濃度低減の主要因はイネではなく土壌への移行であることが示された。

また、溶存態 ^{137}Cs の流下過程における濃度低下傾向が緩やかで線形的なのに対し（図6）、懸濁態 ^{137}Cs のそれは、水口付近で濃度低下が大きく、20m以遠でほとんど変化しない傾向があった（図7）。なお、玄米中のCs濃度の変化は懸濁態Cs同様、水口近傍で濃度低下が大きい（図8）。こうした観測結果から、イネへのCs移行は、用水経路で運搬され、水口近傍に蓄積した懸濁態Csの寄与が大きいことが示唆され

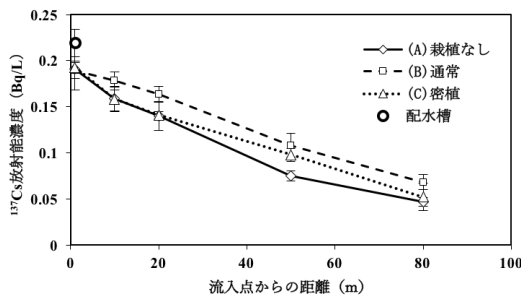


図6 酒田地区の田面水の溶存態 ^{137}Cs 濃度

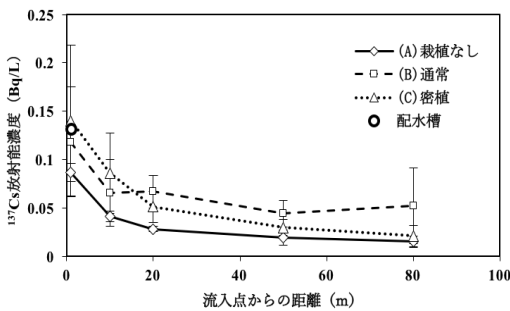


図7 酒田地区の田面水の懸濁態 ^{137}Cs 濃度

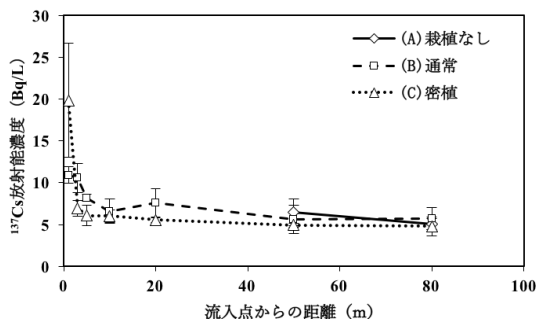


図8 酒田地区の玄米の ^{137}Cs 濃度

た。

（3）移行係数の推定モデル構築による空間的偏在の再現と予想

以上の結果に基づき、系外から灌漑水に伴い水田へ流入する懸濁態 ^{137}Cs による水田土壌 ^{137}Cs 濃度への影響を検討するために、中太田地区の試験水田の耕区を対象として、流入する浮遊物質の動態（浮上・沈降・輸送）を表現する二次元モデルを構築した。

数値モデルによる計算の結果、流入点近傍における灌漑水中の懸濁物質の沈降・堆積に伴う水田土壌の ^{137}Cs 濃度上昇が再現された。水田土壌の ^{137}Cs 濃度変動の再現値と実測値は、その程度・傾向ともにおおむね一致した（図9）。試験水田と同様の灌漑期間を対象とした再現結果では、流入点を中心とした2m程度の範囲に懸濁物質の沈降に伴う水田土壌の ^{137}Cs 濃度上昇がみられ、最も変動値が大きかった計算格子では340 Bq/kgの濃度上昇が確認された。この値は、耕起前の試験水田土壌の平均 ^{137}Cs 濃度810 Bq/kgを1.4倍にも上昇させる。

流下過程における田面水の溶存態 ^{137}Cs 濃度には低下傾向があることが明らかとなり、イネへの移行可能性が示された。現地試験において流路区間の水田土壌の ^{137}Cs 濃度変化と溶存態Csの濃度変化の傾向が異なっていたことに加え、数値モデルによる再現結果において水田内流入後の灌漑水に含まれる懸濁物質が流入点近傍へ局所的に堆積したことから、水田土壌のCs濃度上昇の主要因が灌漑水中の懸濁態 ^{137}Cs であると推測した。また、濃度変化がみられた範囲は実測値・再現値ともに流入点近傍の2-3m程度であり、その影響が局所的であることが明らかとなった。今後は灌漑水中に含まれる懸濁物質の組成を特定する予定である。

（4）安全性の高いコメの生産・出荷に向けた対策の提案と実証実験

水口近傍で局所的にイネ体および玄米へのCs移行が高く、懸濁態の影響が大きいのであれば、ここにイネを密植し流水の疎通を制限したうえで、懸濁態物質の拡散範囲を限定することが、下流側のイネへの移行を抑制することにつながると考えた。前述

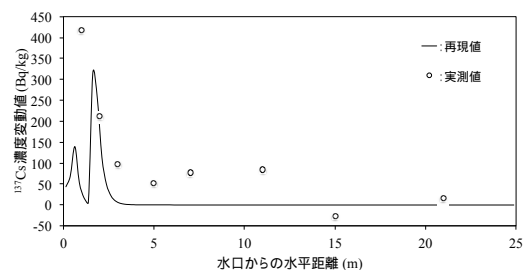


図9 流路横断面の ^{137}Cs 濃度変動値

の酒田地区のパターン(C)は、水口にイネを密植することで、Cs 移行低減を狙ったものである。

懸濁態 Cs 濃度の空間的变化は通常植栽のパターン(A)と差がなかったものの、単位面積あたりの玄米への¹³⁷Csの移行量(Bq/m²)は1m地点でパターン(A)と比較して有意に高く、3m地点以遠では減少した。このことから水口付近でのイネの密植は、それより遠方の玄米へのCs移行を抑制できる可能性が示唆された。酒田地区における試験は2017年度も継続しており、新たな対策につながる試験を実施する予定である。

<引用文献>

Nakanishi TM., Kobayashi NI., Tanoi K., 2013, Radioactive cesium deposition on rice, wheat, peach tree and soil after nuclear accident in Fukushima. J Radioanal Nucl Chem, 296, 985 - 989.

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 1 件)

Miyazu S., Yasutaka T., Yoshikawa N., Tamaki S., Nakajima K., Sato I., Nonaka M., Harada N., 2016, Measurement and estimation of radiocesium discharge rate from paddy field during land preparation and mid-summer drainage, Journal of Environmental Radioactivity, 査読有, Vol. 155-156, pp23-30.

〔学会発表〕(計 17 件)

鈴木啓真・中島浩世・鶴田綾介・吉川夏樹・石井秀樹・野川憲夫・原田直樹・野中昌法, 水田の水口付近における土壌及びイネの放射性セシウム濃度の分布, 2016年度日本土壌肥料学会佐賀大会, 佐賀県佐賀市, 佐賀大学農学部, 2016年9月20日, 口頭(一般)

鶴田綾介・吉川夏樹・中島浩世・原田直樹・鈴木啓真・野川憲夫・野中昌法, 灌漑水取水に伴う放射性物質の水田内動態, 平成28年度農村工学会大会講演会, 宮城県仙台市, ハーネル仙台, 2016年8月31日, 口頭(一般)

中島浩世・吉川夏樹・坂場将人・鶴田綾介・宮津進・保高徹生・鈴木啓真・原田直樹・野中昌法・野川憲夫・伊藤久生, 水田を介した放射性セシウムの動態と水田の役割, 平成28年度農村工学会大会講演会, 宮城県仙台市, ハーネル仙台, 2016年8月31日, 口頭(一般)

Tsurumaki T., Suzuki Y., Shoji R., Tamaki S., Sato I., Nakajima K., Ishii H., Nogawa N., Yoshikawa N., Harada N.,

Nonaka M., Behavior of radioactive cesium in paddy fields in Fukushima prefecture, RIHN Workshop on "Food Sovereignty, Sustainable Agriculture and Fukushima Accident", 福島県福島市, 福島大学金谷川キャンパス, 2015年9月16日, 口頭(一般)

Suzuki Y., Shoji R., Tsurumaki T., Yoshizawa R., Tamaki S., Ishii H., Nogawa N., Yoshikawa N., Harada N., Nonaka M., Does irrigation water affect ¹³⁷Cs uptake in rice?, RIHN Workshop on "Food Sovereignty, Sustainable Agriculture and Fukushima Accident", 福島県福島市, 福島大学金谷川キャンパス, 2015年9月16日, 口頭(一般)

荘司亮介・鈴木啓真・弦巻貴大・田巻翔平・吉川夏樹・石井秀樹・野川憲夫・原田直樹・野中昌法, 水田における層別土壌中放射性セシウムの分布, 2015年度日本土壌肥料学会京都大会, 京都府京都市, 京都大学吉田キャンパス, 2015年9月9日, ポスター(一般)

鈴木啓真・荘司亮介・弦巻貴大・吉澤涼太・田巻翔平・吉川夏樹・石井秀樹・野川憲夫・原田直樹・野中昌法, 農業用水がイネの放射性セシウム濃度に与える影響 流下試験による検討, 2015年度日本土壌肥料学会京都大会, 京都府京都市, 京都大学吉田キャンパス, 2015年9月9日, ポスター(一般)

鶴田綾介・吉川夏樹・佐藤郁・中島浩世・田巻翔平・原田直樹・野中昌法, 水田を介した放射性セシウムの動態, 平成27年度農業農村工学会大会講演会, 岡山県岡山市, 岡山大学津島キャンパス, 2015年9月2日, 口頭(一般)

中島浩世・田巻翔平・吉川夏樹・原田直樹・野中昌法, 灌漑用水中の放射性セシウムがイネに与える影響, 平成27年度農業農村工学会大会講演会, 岡山県岡山市, 岡山大学津島キャンパス, 2015年9月2日, 口頭(一般)

Suzuki Y., Shoji R., Tsurumaki T., Yoshizawa R., Tamaki S., Yoshikawa N., Ishii H., Nogawa N., Harada N., Nonaka M., Changes of soil properties by irrigation water elevate rice ¹³⁷Cs activities, KAAB International Symposium 2015, "Frontiers in Plant Science and Biotechnology", 新潟県新潟市, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2015年7月29日, ポスター(一般)

Nakajima K., Yoshikawa N., Tamaki S., Harada N., Nonaka M., Influence of radioactive cesium via irrigation water on paddy rice, The 5th Asian Conference on Green Technology in Agriculture: Chances and Challenges for a Better Life, Chiang Mai City, Garden Hotel and Resort,

Thailand, 2015年7月21日,ポスター(一般)

Tsuruta R., Yoshikawa N., Sato I., Tamaki S., Nakajima K., Harada N., Nonaka M., Miyazu S., Yasutaka T., Behavior of radiocesium through irrigation of paddy fields, The 5th Asian Conference on Green Technology in Agriculture: Chances and Challenges for a Better Life, Chiang Mai City, Garden Hotel and Resort, Thailand, 2015年7月21日,ポスター(一般)

Tsurumaki T., Suzuki Y., Shoji R., Tamaki S., Sato I., Nakajima K., Ishii H., Nogawa N., Yoshikawa N., Harada N., Nonaka M., Distribution of radioactive cesium in rice fields in Fukushima prefecture, 13th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, 福岡県福岡市, 福岡国際会議場, 2015年7月15日,口頭(一般)

野川憲夫・石井秀樹・朴相賢・林薫平・吉川夏樹・原田直樹・野中昌法,放射性セシウムの稲内分布,第52回アイソトープ・放射線研究発表会,東京都文京区,東京大学弥生キャンパス,2015年7月9日,口頭(一般)

荘司亮介・片桐優亮・小笠真理恵・田巻翔平・奥村健郎・石井秀樹・野川憲夫・吉川夏樹・原田直樹・野中昌法,太田川流域水田における放射性セシウムの挙動と水稲への吸収,2014年度日本土壌肥料学会関東支部大会,山梨県甲府市,山梨大学甲府キャンパス,2014年12月6日,口頭(一般)

田巻翔平・小笠真理恵・吉川夏樹・原田直樹・野中昌法,農業用水由来の放射性セシウムのイネへの影響,平成26年度農業農村工学会大会講演会,新潟県新潟市,朱鷺メッセ,2014年8月28日,口頭(一般)

荘司亮介・片桐優亮・小笠真理恵・奥村健郎・吉川夏樹・原田直樹・野中昌法,カリウム施肥した水田におけるイネへの放射性セシウムの移行,第51回アイソトープ・放射線研究発表会,東京都文京区,東京大学弥生キャンパス,2014年7月7日,ポスター(一般)

〔図書〕(計 1件)

内藤眞・青木萩子・野中昌法(編), BISHAMONの軌跡-II ~福島支援5年間の記録~,新潟日報事業者(第4章を吉川夏樹,原田直樹が担当),2016年,pp314-332.

〔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

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉川 夏樹(YOSHIKAWA, Natsuki)
新潟大学・自然科学系・准教授
研究者番号:90447615

(2)研究分担者

原田 直樹(HARADA, Naoki)
新潟大学・自然科学系・准教授
研究者番号:50452066