

## 請戸川の水を用いた水稻栽培における放射性セシウムの影響

*Influences of Radiocesium in Rice Cultivation Using Irrigation Water  
from the Ukedo River in Fukushima Prefecture*

申 文 浩\*  
(SHIN Moono)

久保田 富次郎\*\*  
(KUBOTA Tomijiro)

## I. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所（以下、「第一原発」という）の事故で、放射性物質の影響が大きかった地域では、放射性核種の農産物への移行が懸念され、作付け制限とともに避難指示が発令された。作付け制限地域では、水源である未除染のため池や河川水に由来する放射性セシウムから玄米への影響が懸念され、除染後の水田において、営農再開に向けた安全確認の実証栽培が行われてきた。

2013年から2014年にかけて、川俣町山木屋の2地区、飯館村内の3地区などの除染水田において水稻試験栽培と併せて放射性セシウムの動態や用水の水質が調べられた。調査の結果、すべての地区において灌漑水を通じて水田に流入する放射性セシウムの量は限定的で、玄米の影響も小さいことが確認された<sup>1)</sup>。

2014年には、第一原発からの直線距離が約10kmと近く、放射性物質の影響がより大きいと考えられていた浪江町酒田地区の除染後の水田において、水稻の試験栽培が始められることになった。酒田地区の用水は、通常、近くを流れる二級河川の請戸川（延長44.8km、流域面積428km<sup>2</sup>）から取水するが、請戸川の集水域は、第一原発から北西方向に帯状に伸びる放射性セシウムが濃く沈着した範囲とおおむね重なる（図-1）。そのため、請戸川の水は、その下流域だけではなく大柿ダムにより双葉町から南相馬市小高地区にわたる広域の水源としても利用されていることから、河川水の利用の可否への関心が高い地域であった。

2014年の試験栽培では、用水に地下水を用いたところ、玄米の放射性セシウム（<sup>134</sup>Cs + <sup>137</sup>Cs。以下、「RCs」という）濃度は、3Bq/kg程度と十分に低い濃度であった。そして、次の段階として請戸川の水を用いたときの農地の再汚染や玄米への影響解明が課題となり、翌2015年に従来の河川水を用いた栽培試験を行うことになった。

本報では、震災後、初めて請戸川の水を利用した2015年の水稻栽培試験において、用水を通じて流入するRCs量をはじめとするRCsの動態や生産された玄米への影響について報告する。

## II. 研究対象地区と検討項目

## 1. 対象地区の概要

研究対象地は、第一原発から北西約10km圏に位置する福島県浪江町酒田地区であり（図-1）、試験が実施された2015年には居住制限区域に指定されていた。浪江町は第一原発の事故後、全町民に避難指示が発令されたが、2014年から2016年にかけて農地除染が実施され、除染後農地の維持管理と営農再開に向け復興組合が発足していた。

## 2. 試験栽培と現地調査

栽培試験は、請戸川の河川沿いの水田圃場で行った（図-2）。圃場は直角三角形の形状を持ち面積は約11aであり、水田土壌は粗粒質灰色低地土であった。試験当時は、既存の灌漑施設である頭首工や用水路が震災により損傷し使用できなかったことから、本研究では、請戸川の水を堤防に設けた仮設ポンプ（工進製、

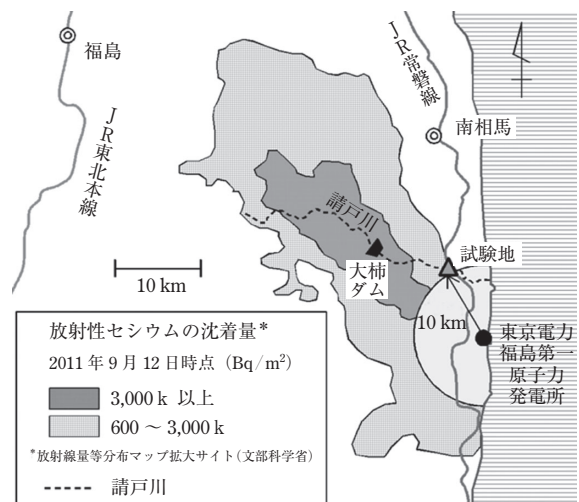


図-1 放射性セシウムの沈着量と試験地の位置

\* 福島大学農学群食農学類

\*\* 農研機構農村工学研究部門



放射性物質、放射性セシウム、営農再開、震災復興、農業用水

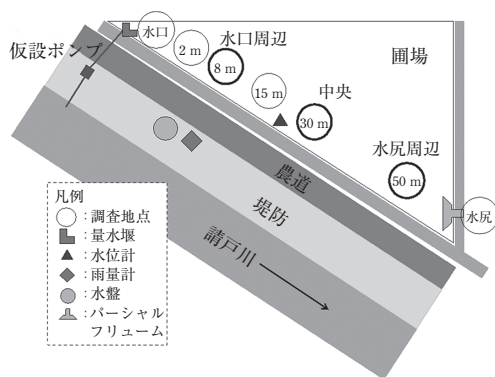


図-2 調査圃場の略図 (mは水口からの距離)

KR-80) を用いて直接揚水し灌漑した。

栽培試験では、慣行の施肥に加えてRCsの吸収抑制対策によるカリ増肥が実施され、5月22日に田植え、7月5～20日に中干し、9月30日に分析用の坪刈りを行った。残った稲は持ち出さずにすき込み処分を実施した。本研究では、代かき時の用排水量の測定はできなかったため、田植え(5月22日)から玄米試料採取(9月30日)までを灌漑期間と設定した。

圃場の水収支とRCsの流入流出量を計測するため、以下の観測および採水を行った。まず、水口には、水位計(応用地質製, S&DL mini. 以下同様)を備えたH Flume型量水堰と自動採水器(ISCO製, 3700. 以下同様)を設置した。用水量は、量水堰の水位流量曲線を求めた上で10分ごとの水位値から算定した。採水器は、取水時に10分ごとに1L採水する設定とした。同じ日に採水された試料は、すべて混合しバケツ内で攪拌しながら、用水中のすべてのRCs(懸濁態RCs+溶存態RCs. 以下、「全RCs」という)と溶存態RCs分析用に分けてポリコンテナに採取して持ち帰り、分析試料とした。

用水量と用水の採水試料のRCs濃度を用いて、水田に流入した形態別RCs流入量を算出した。なお、灌漑時に対応する水質試料が得られなかった場合は、試料前後のRCs濃度の平均値で補間した。

水尻には、水位計を備えたパーシャルフリュウムと自動採水器を設置し、水位は10分ごとで測定し、採水器は排水時に20分ごとに1L採水するよう設定した。

また、圃場に隣接する河川堤防上に、雨量計(太田計器製, 0.5mm計)とステンレス製水盤(ウイジン製, 開口部面積 $0.5\text{m}^2$ )を設置し、雨量とともに降下物を通じて水田に流入するRCs量の観測を行った。水盤を用いた降下物の回収では、試験期間中、降下した粉塵や降雨を月1～2回程度、ポリコンテナとシリコン製ヘラを用いて回収した。

玄米のRCs濃度ならびに土壌のRCs濃度と交換性

カリ含量を調べるため、水口周辺(8m), 中央(30m), 水尻周辺(50m)において、畦畔から約5～6m離れた場所で、坪刈りと土壌採取を行った。稲は、収穫時期(9月30日)に3～4条ごとに80株ずつ刈り取り玄米試料を得た。土壌採取は、5cm径の土壌採取器を用いて、15cm深さでそれぞれ5点採取し混合試料を得た。そして、田植え期(5月27日), 幼穂形成期(7月20日), 成熟期(9月30日)の3回実施した。

このほか、灌漑により水田内に流入したRCsの短時間の動態および形態変化を把握するため、以下の調査を行った。無降雨であった7月21～22日に、まず自然落水させ田面水がほとんどない状態で水尻を閉塞した後、4時間程度灌漑を行い、その後、水口から0m, 2m, 8m, 15m, 30m, 50mの順に田面水を採水し、さらに24時間後に同地点で採水を行った。田面水の採水では、圃場外に設置した採水ポンプとホースを用いて、土壌を巻き上げないように慎重に4L/min程度の流量で約40Lを採水した。

また、9月8日午前8時から流し灌漑を行い、7月の調査と同地点において、9月8日16時から採水を行った。その後、取水を止めて水尻を開塞し、さらに17時間後の9月9日9時から再び同地点で採水した。なお9月8日17時ごろから9月9日9時までの間に90mm弱の降雨があり、2回目の試料はその影響を受けている。

### 3. RCsの分析手法

本研究では、RCsを分析するための前処理は、「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」<sup>2)</sup>の手順に従った。

全RCs分析用試料は、約10Lの試料をビーカーとホットプレートを用いて約2Lに蒸発濃縮した。また、溶存態RCs分析用の試料は、約20～40Lを孔径 $1.0\mu\text{m}$ のガラス繊維フィルター(Advantec製, GA-100)および孔径 $0.45\mu\text{m}$ メンブレンフィルター(Advantec製, A045A)を用いて固液分離し、ろ液からPBフィルターカートリッジ法を用いて濃縮した。

RCs濃度の分析については、全RCsと玄米は、2Lマリネリ容器に、溶存態RCsは、カートリッジ専用容器に、水田土壌は、U8容器に試料を入れ、ゲルマニウム半導体検出器(Canberra製, GC4020-7500SL)およびGC2520-7500SL)を用いて、RCs濃度を相対標準偏差(RSD)10%以下で測定し、比較のため、収穫後の11月1日に減衰補正した。

土壌中の交換性カリ含量は、1M酢酸アンモニウム(土壌:溶液=1:5, 1時間振とう)を用いて室温で抽出し、原子吸光度計(日立ハイテク製, ZA3000)を用いて測定した。

### III. 結果および考察

#### 1. 水収支と水田への RCs の出入りの定量化

灌漑期間の用水量は 1,406 mm、降雨量は 966 mm であった。また、圃場排水量は 223 mm (内、9月の田面水調査時が 208 mm) であり、水収支から算定される減水深は、平均 16.3 mm/d であった。対象水田に灌漑された用水の全 RCs 濃度は 0.33~0.82 Bq/L、溶存態 RCs は 0.21~0.38 Bq/L の範囲にあった (図-3)。また、排水された全 RCs 濃度、溶存態 RCs 濃度は、採水試料が 9月の田面水調査時のみで、それぞれ 0.08~0.17 Bq/L、0.03~0.06 Bq/L であった。

水田に流入した全 RCs は、約 670 Bq/(m<sup>2</sup>・灌漑期)、排水された全 RCs は、約 32 Bq/(m<sup>2</sup>・灌漑期)、大気降下物中の RCs は、15.5 Bq/(m<sup>2</sup>・灌漑期) (0.004~0.307 Bq/(m<sup>2</sup>・d) [平均 0.13 Bq/(m<sup>2</sup>・d)]) であった (図-4)。用水を通じて流入する RCs 量は、作土中の RCs 量の 0.13% 程度に相当した。除染後の水田に存在する RCs が自然減衰により低下する量より小さいため、用水や降下物による再汚染は無視できるものと考えられた。

東北農政局の調査では、作土中の RCs 濃度が 1,000 Bq/kg の水田において、5 Bq/L の用水を使い続けた場合でも土壌の RCs 濃度は物理的減衰により年とともに低下すると報告されている<sup>3)</sup>。

本報では詳細は省くが、ほかに請戸川本流の水質調査も行っている。2015 年時の調査結果によると無降雨時の全 RCs 平均濃度は 0.44 Bq/L ( $n=14$ )、降雨

時の平均濃度は 36.8 Bq/L ( $n=15$ )、最大濃度は 128 Bq/L であった。これは降雨時の濁水に含まれる懸濁態 RCs の影響であると考えられる<sup>4)</sup>。

一般に降雨時には灌漑をしないが、ここで仮に、取水堰や水口の水管理が十分にできず、降雨時の平均濃度である 36.8 Bq/L の濁水を用水として 100 mm 取水した場合を想定する。流入する RCs は、懸濁態を中心として 3,680 Bq/m<sup>2</sup> となり、流入する RCs は 5 倍以上、そして、懸濁態に限ってみると 10 倍以上になってしまう。したがって、水管理において濁水の流入には十分注意を払う必要がある。

#### 2. 灌漑直後の圃場内における RCs の動態

作物が直接吸収可能な溶存態 RCs は、水口から距離が遠いほど濃度が低下傾向にあった (図-5)。懸濁態 RCs を含めた全 RCs も水尻に向けて低下しているので溶存態 RCs の低減は、田面水が流下する過程で稲や水中の藻類への吸収や土壌への吸着、または有機物表面への吸着などが可能性として考えられる。灌漑後 24 時間以内という短時間に濃度が急速に低下したことから、土壌や有機物表面への吸着の可能性が高い。

#### 3. 土壌と玄米中の RCs 濃度

試験中に 3 回測定を行った土壌の RCs 濃度は、水口周辺、中央、水尻周辺の地点を通じて、2,700~5,500 Bq/kg の範囲にあったが、共通した傾向はみられなかった (図-6)。濃度の幅が大きいことから、用水に伴い流入した RCs の影響や、代かき、中干しなどの営農活動による可能性は低く、除染作業や採取地点によるばらつきであると考えられた。

栽培試験で得られた玄米中の RCs 濃度は、3 Bq/kg

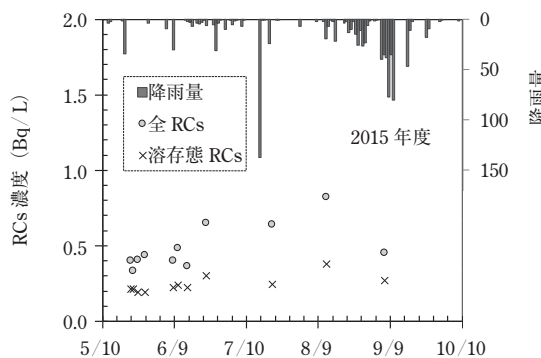


図-3 水口から流入した用水中の RCs 濃度の経時変化

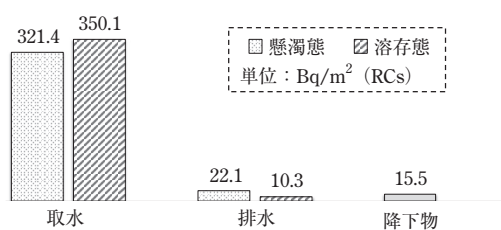


図-4 灌漑期間中に流入した RCs と降下物の総量

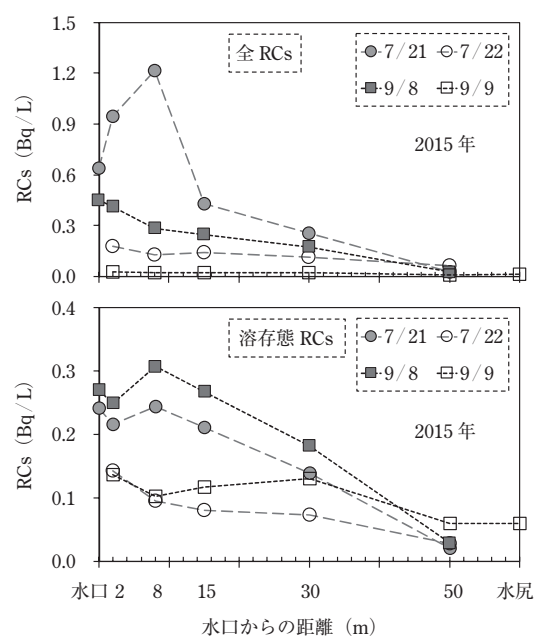


図-5 田面水中の RCs の濃度の変化

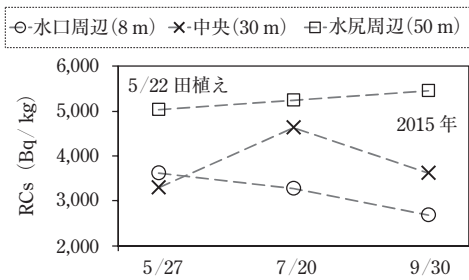


図-6 土壌中のRCsの濃度

表-1 玄米中のRCs濃度

採取日	水口周辺 (8 m)	中央 (30 m)	水尻周辺 (50 m)	平均
2015/09/30				
玄米 (Bq/kg)	3.1	2.8	3.1	3.0
収穫量 (g/m <sup>2</sup> )	359	559	612	510
面積当たり (Bq/m <sup>2</sup> )	1.1	1.6	1.9	1.5

表-2 土壌中の交換性カリ含量 (mg・K<sub>2</sub>O/100 g)

採取日	水口周辺 (8 m)	中央 (30 m)	水尻周辺 (50 m)	平均
2015/05/27	43.2	41.7	50.2	45.0
2015/07/20	29.1	34.1	41.6	34.9
2015/09/30	28.1	30.8	45.6	34.8

程度であった(表-1)。これは、2014年に同地区で地下水を用いて実施された実証栽培試験の結果と同程度であり、用水を請戸川の水に切り替えても玄米への影響は認められなかった。

また、土壌中の交換性カリ含量は、収穫時においても作付け前の水田土壌における改善目標値である25 mg・K<sub>2</sub>O/100 gを上回る28 mg・K<sub>2</sub>O/100 g以上が確保されており、カリ施用によるRCs吸収抑制対策の効果<sup>5)</sup>が十分発揮されたものと考えられる(表-2)。

一方、単位面積当たり玄米のRCs濃度は、水口周辺より水尻周辺の方が高い傾向がみられた。田面水中のRCs濃度を考慮すると水口周辺の玄米中のRCs濃度が高くなる可能性が指摘されている<sup>6)</sup>が、本研究では、玄米に移行したRCs総量は水口周辺が少ない結果となった。これは、水口周辺は比較的水温が低く、生育が遅れるため、玄米の粒が小さい傾向にあり、くず米が多く生産されることから、単位質量当たりの濃度に影響する可能性が高い。年間検査対象の約1,000万袋の内、2015年産からは基準値を超える玄米は確認されておらず<sup>7)</sup>、くず米は出荷されない<sup>7)</sup>ので、第一原発事故由来のRCsの影響により、基準値超過の可能性を評価する際にはくず米を対象から除外する必要がある。

#### IV. おわりに

本研究では、集水域のRCs沈着量が多い請戸川の

水を用いて、第一原発から約10 km圏に位置する浪江町酒田地区において水稻栽培試験を行い、灌漑に伴い水田に流入したRCsの動態や玄米への影響を検討した。

その結果、用水を通じて水田に流入したRCsによる水田の再汚染の可能性は低く、カリ増施を適切に行い、濁水の用水利用を避けることで、用水や作土に含まれるRCsの影響を受けず、食品の基準値と比べて十分にRCsが低い玄米生産が可能であることが実証できた。

**謝辞** 本報は、農林水産省委託プロジェクト研究「農地への放射性セシウム流入防止技術の開発」、JSPS科研費20K06292の助成を受けたものであり、浪江町役場の全面的な協力に加え、多くの関係者にお世話になった。ここに記して謝意を表す。

#### 引用文献

- 1) Shin, M. et al.: Dynamic analysis of radioactive cesium in decontaminated paddy fields, Journal of Water and Environment Technology 13(5), pp.383~394 (2015)
- 2) 水中の放射性セシウムのモニタリング手法に関する技術資料検討委員会：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)
- 3) 東北農政局：大柵ダムの放射性セシウムの実態と対策について、[https://www.maff.go.jp/tohoku/osirase/higai\\_taisaku/oogaki\\_kekka/index.html](https://www.maff.go.jp/tohoku/osirase/higai_taisaku/oogaki_kekka/index.html)(参照2021年4月19日)
- 4) 申文浩ほか：被災地の農業用水の安全・安心へ向けたICT活用の取組み、水土の知 86(4), pp.7~10 (2018)
- 5) 農林水産省、福島県、農業・食品産業技術総合研究機構、農業環境技術研究所：放射性セシウム濃度の高い米が発生する要因とその対策について (2014), <http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/kome.pdf> (参照2021年4月19日)
- 6) 吉川夏樹ほか：現地水田模型による懸濁態セシウムの挙動の解明、2020年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.223~224 (2020)
- 7) ふくしまの恵み安全対策協議会：玄米、放射性物質検査情報、[https://fukumegu.org/ok/contentsV2/kome\\_summary.html](https://fukumegu.org/ok/contentsV2/kome_summary.html) (参照2021年4月19日)

[2021.5.19.受理]

#### 紹介

##### 申文浩 (正会員)



1976年 韓国ソウル市に生まれる  
2003年 建国大学農工学科卒業  
2012年 筑波大学大学院博士後期課程修了  
2013年 農研機構東北農業研究センター  
2018年 福島大学農学系教育研究組織設置準備室を経て、同食農学類

##### 久保田富次郎 (正会員)

1964年 神奈川県に生まれる。1991年 東京農工大学大学院修了。農林水産省九州農業試験場、(独)農業工学研究所、(独)農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センターを経て、同機構農村工学研究部門