

原発事故後の初期における農業用水に関する調査研究と教訓

Research and Lessons Learned on Irrigation Water in the Early Period after the Nuclear Power Plant Accident

久保田 富次郎* 濱田 康治* 人見 忠良*

(KUBOTA Tomijiro)

(HAMADA Koji)

(HITOMI Tadayoshi)

I. はじめに

2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所（以下、「原発」という）の事故に伴う放射性物質の放出と陸域への沈着は、農林水産業に大きな影響を与えた。放射性物質への対処が求められる中、農業用水に関連する対応は主に2012年に始まった。それは、2011年に作付け制限区域外で生産されたコメから暫定基準値を超える放射性セシウム（以下、「RCs」という）が検出されたことに起因する。2011年の水稲作は土壌からコメへのRCsの移行を考慮し、土壌のRCs濃度が $5,000 \text{ Bqkg}^{-1}$ 以下の水田で行われたものの、福島市や伊達市の一部等でRCsの暫定規制値である 500 Bqkg^{-1} （注1）を超過する玄米が見つかった¹⁾。そのため、2012年には、用水の影響など土壌以外の要因についても調べられることとなった。一方、2012年以降の水稲作では、コメのRCsの吸収抑制対策が進み、高い効果が得られるカリ肥料の増肥が実施されたことで、基準値超過米の発生件数も2011年産と比較して激減することとなり、2015年以降は基準値超過米が見られなくなった。

このような状況の下で、2012年から2013年ごろにかけて、農業用水と関連したRCsの対応に関するさまざまな取組みを行った。その中には、結果的に失敗や的外れなことも少なくなかった。本報では、原発事故後の比較的初期に農研機構を中心に取り組んだ農業用水に関わる研究について総括するとともに、経験を書き残すことで今後の教訓としたい。

II. 農業用水の除染の試み

前述のように、2012年度から用水の影響について対応が検討されることになった。福島県農地管理課では、2012年の水稲作に向けて、2012年2月末に用排水路の土砂上げ時の留意点と堆積した土砂が用水路や

農地に流入しにくい施設運用法について各農林事務所へ指示を行った。それを受けて福島県県北農林事務所では、2012年3月に管内の自治体や土地改良区に対して農業用排水路とため池の堆積土対策に関する留意事項を伝えるとともに、水田の取水口に土砂溜めを設けて上澄みを水田に取り入れるなど土砂流入防止への配慮を求めた。さらに、2012年4月には農業用水の管理に関する当面の留意事項についてJAを通じて農家に通知を行ったが、その中で水田水口や沢水、ため池掛かりの用水路にもみ殻をフィルター材とした対策を推奨した。これは、福島県生活環境部が2011年に実施した除染技術実証事業の中で安価で入手容易なもみ殻に着目し、それを吸着資材として水中の放射性物質を低減する技術²⁾として検討されたものである。

以上を背景として、農研機構ではもみ殻を中心にゼオライトやプルシアンブルー不織布³⁾等の濾過・吸着資材を用いた用水中のRCs除去の試験を行った。もみ殻、くん炭、ゼオライト、プルシアンブルー不織布等の資材について、環境同位体である ^{133}Cs を用いて溶存態画分の吸着特性を実験的に調べたところ⁴⁾、単位質量当たりの ^{133}Cs 吸着量は ^{133}Cs 濃度が $1\sim 10 \text{ mgL}^{-1}$ の場合で、ゼオライト<くん炭<もみ殻<プルシアンブルー不織布の順に大きかった。また、もみ殻とくん炭では吸着試験の前後で液相の K^+ 濃度が上昇したことから、陽イオン交換による吸着の可能性が示唆された。一方、くん炭、ブナおよびオークのおがくず、ならびにスギの木炭の4つの自然素材の ^{133}Cs の吸着特性を調べたところ⁵⁾、くん炭とブナおがくずがCs吸着材として有効性が高かった。これらの物質は、異なる初期 ^{133}Cs 濃度に対して連続的かつ安定した ^{133}Cs 吸着率を示し、併せて吸着等温線はフロイントリッヒモデルに従うことがわかった。また、水田の水口に吸着資材を設置した用水中のRCsの現地除去試験⁴⁾では、もみ殻とゼオライト（細粒および粗粒の2種）およびくん炭が比較された。その結果、単位体積当たりの回収効率で比較するとゼオライトの効果が

注1) 暫定規制値は、2012年3月31日までで、それ以降は、コメを含む一般食品のRCsの基準値は 100 Bqkg^{-1} となった。

*農研機構農村工学研究部門



東日本大震災、原発事故、放射性セシウム、農業用水、ため池

最も高く、次いでもみ殻、くん炭の順であった。その後、現地では使用済みのもみ殻などの吸着資材の処分方法や引受先がないことが支障し、福島県ではモデル的な取組みを除くと農家に普及することはなかった。一方、複数の地区で進めていた用水を通じたRCsの水田流入量の調査⁶⁾において用水からのRCs流入量は限定的であることが確認されたため、用水に含まれるRCsの直接除染の必要性は薄れた。これは、調査地域の用水のRCs濃度が最大でも1 Bqkg⁻¹程度と低濃度であり、灌漑水量や移行係数を考慮しても玄米のRCs濃度に与える影響は問題にならないとした塩沢⁷⁾の予測に沿ったものである。

また、2012年に、ため池の斜樋流出口においてもみ殻とプルシアンブルー不織布をフィルターに用いて水の直接除染を試みた。ため池斜樋の流出口に簡易な濾過装置を取り付け、流出水の濾過を試みたが、流量にもよるが増水時だけでなく平水時においても、短時間で目詰まりを生じフィルター交換が必要となった。このことを踏まえると、流出水の濾過を連続的に行うためには、ゴミ対策を含め十分な濾過面積を確保した専用の施設が必要となろう。しかし、施設を作ったとしても、濾過材の交換などに要する労力や資材費、さらに使用後の濾過材の処分など多くの課題が残るものと考えられる。一方、水田の水口では、条件によっては流量は小さく抑えられるので、濾過材の交換等の維持管理に十分な労力を確保でき、かつ使用済みの資材を適切に処理することができれば、緊急時に実質的な効果が得られる可能性がある。

III. 用水路におけるRCsの堆積と水路除染

農業用水路では、河川や貯水池から水を運搬し水田に配水する過程において、頭首工から流入する浮遊物質とそれに含まれるRCsの一部が水路内に堆積する。通常、水路の堆積物は土地改良区による土砂上げなどの維持管理活動により水路脇に積まれたり、農地等に投入され拡散することになる。そのため水路堆積物のRCs濃度が高いと水路周辺で2次的に空間線量が上昇することが懸念された。被災地では2012年に放射性物質の拡散防止のため土砂上げを制限する通知が行われ⁸⁾、多くの水路では放射性物質がそのまま残された状態であった。

当初、除染関係ガイドラインに水路除染は位置付けられておらず、まだ水路除染が行われるかどうか、そして、恒常的に堆砂が生じることが想定される水路において複数回除染が行われる見通しが無い状況であった。そこで、一つの用水系統の中で堆砂とともにRCsがどのような場所に蓄積するか詳細に調べるこ

とにした。調査地は、福島県中通り北部の阿武隈川から取水する用水系とし、2012年の灌漑期間の終了後に堆積物の調査を実施した⁹⁾。その結果、水路勾配が比較的大きい幹線水路の上流では、掘込み部を中心として砂質堆積物が見られ、そのRCs濃度は1~5 kBqkg⁻¹と比較的低かったが、水路勾配が緩やかで流速が低下する支線水路では、泥状の堆積が卓越し、そのRCsは3~28 kBqkg⁻¹と比較的高いことがわかった。また、水路内の単位面積当たりの¹³⁷Csの堆積量は、同地点周辺への¹³⁷Csの平均沈着量と比較すると、下流の支線水路の一部を除いて小さかった。さらに、同地区において、毎年土砂上げが行われる幹線水路の余水吐と土砂上げが行われていない支線水路下流の2カ所において、堆積土のRCs濃度を2012年から2015年まで経年的に調べたところ、どちらの地点においてもRCs濃度は自然崩壊を超えて大きく低下していることがわかった¹⁰⁾。

水路除染は、環境省通知¹¹⁾に基づいて、福島県の指導のもと¹²⁾、2013年の水稲作付け前から進められることになった。除染関係ガイドラインには、2013年5月の改訂で水路除染が追記された¹³⁾。当初の対象は避難区域外の40市町村であったが、2013年10月までにRCsの沈着量が比較的多い中通り北部を中心とした8市町村で先行して着手された。

南相馬市内の新田川下流の用水路では、水路除染が行われた後の用水路の新規堆積物が調査された¹⁰⁾。2015年5月に水路除染が行われた用水路において、2015年の灌漑終了後に水路堆積物のRCs濃度を調べたところ、取水堰の近くに立地する沈砂池の底質のRCs濃度は2~4 kBqkg⁻¹と低かったが、下流に向かって徐々に濃度が上昇し、水路末端では指定廃棄物の基準となる8 kBqkg⁻¹をやや下回る7.5 kBqkg⁻¹であった。水路内ではRCsを含む懸濁物質が用水路を流下する過程で、主に流速条件によって粒径や比重の違いによる分級が生じ、水路堆積物のRCs濃度の違いに反映されたものと考えられた。

IV. 貯水池のRCs堆積への対応

ダム、ため池など貯水池の底質の一部から比較的高いRCs濃度が検出されたことが調査より明らかになっており懸念材料となっていた。2012年春に、農林水産省本省と東北農政局、福島県ならびに農研機構の関係者で中通り地方のため池に集まり、今後の対応を検討した。その結果、谷池と皿池ならびに開発された集水域をもつ谷池の3タイプの農業ため池を対象に調査を行うこととなり、研究面からサポートすることになった。当時、原発から距離が離れていた中通り

地方でも底質中の RCs 濃度が高いため池が見いだされてきた。

吉永ら¹⁴⁾は、タイプの異なる3カ所のため池を対象として RCs の堆積状況を調べた。その結果、山あいに立地する谷池では、底質の RCs 濃度に大きなばらつきが見られたが湖底の起伏が影響した可能性が考えられ、また、皿池では流入地点近傍と最深部で RCs 濃度が高いことがわかった。濱田ら¹⁵⁾は、ため池底質から水中に回帰する RCs を見積もるため、ため池底質の未攪乱コアを採取し RCs の溶出速度を実験的に求めた。その結果、比較的高い RCs 濃度が得られたため池であっても、溶出に起因する RCs 濃度の上昇が 1.0 BqL^{-1} を超えることはなかった。また、ため池内の滞留時間が RCs 濃度に影響していて、滞留時間が長い場合に湖水の RCs 濃度が高くなる可能性があることが示された。これらの成果の一部は行政によるため池放射性物質対策に活用された。

一方、福島県では、ため池の底質除去工事の実施の準備を進めていたが、ため池の底質除去は前例のない工事であり課題が山積していた。ため池の多くはアクセスが難しい山中や谷頭に立地し、足場確保も困難だった。また、規模の小さなため池が多いため工事の規模も小さくなる。そのような中で、迅速にため池の除染を進めるために、工法の検討や積算に必要な歩掛かり等を早急に決める必要があった。そのため福島県では特命チームが動いており、これを研究面からサポートするよう可能な限り調査や実験に同行するようにした。その後、福島県では放射性物質の拡散防止技術の一環として、ため池の底質中から放射性物質を除去する工法を完成させた¹⁶⁾。

V. 放射能対策における経験と教訓

放射能の問題に接するのは多くの研究者にとって初めてであり、想定外の事態であった。もちろん、住民にも農家にも役所でも初めての経験であった。それゆえ、皆、勉強しながら走ることとなった。圃場試験をやっている最中も、現地で一緒になった他の研究所の研究者達と情報交換をしながら進めていくような状態であった。先行して放射能対策に取り組んでいた福島県農業総合センターや農研機構東北農業研究センター福島研究拠点等の研究者に教えを請い、また、各所の技術支援職員には実験器材の試作や調査補助を依頼した。そして、所属する研究部門では、度重なる至急の物品調達や年間150日を超えた出張などの事務手続き、その他のリスク共有など多様なサポートを受け、総力戦で望むことができた。

他研究機関や大学等との連携も重要であった。濃縮

などの複雑な前処理を含むゲルマニウム半導体検出器による低濃度 RCs 分析には、測定値の信頼性確保が課題であった。そのため、農研機構内では、食品総合研究所（現食品研究部門）が高精度の RCs 分析やクロスチェックを担当することで信頼性の高い分析値を得ることができた。また、産業技術総合研究所や筑波大学などの呼びかけで2014年に始められた「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」は、測定技術の習得や得られたデータの検証などで放射能の初学者には貴重な場となった。

現地では、圃場においてもため池においても水路においても、農家の方や地元住民によく話しかけられた。何をしているのか、水は大丈夫かと。その度、作業を止め向き合って答えた。仕入れたばかりの知識を総動員し、不安を少しでも払拭できるよう、できるだけ実直に丁寧に答えるよう心がけた。そして、データを取ることもよりも、多くの場合で地元住民とのやりとりを優先し、相手が納得するまでこちらからは話を切らないようにした。

2012年秋に、ある集落で営農再開に向けた放射性物質対策に関する説明会があり福島県の研究者とともに出席したが、説明を行っていた自治体担当者は、住民から百出する意見への対応に追われていた。先の見えない理不尽な災害に対して、不満や不信感の矛先は必然的に国や自治体の職員に向かっているような状態であった。発言の一つ一つに細心の注意が必要であった。

2013年3月、福島県によるため池の放射性物質拡散防止工法の試験施工の第一号地区において、県の担当者とともに受益者への説明会に出席することとなった。当時、ため池から取り出した底質の処分先がなかったので、ため池の周辺に一時的に保管する計画であった。そのため、受益者の一部からは消極的な意見が出されていた。それでも、ため池除染は重要であり効果が大きいと考え、研究者の立場から説明を尽くした。そして、その後は反対意見もなく了承が得られ安堵した。これまで、研究者としてこのような形で直接被災者と向き合った経験はなく、その後も長く携わった原発事故対応の中で一番緊張を強いられた局面であった。この経験から、被災者に科学的な見地から正しい知識を丁寧に説明し理解を得て合意形成に導くリスクコミュニケーションの重要性を再認識した。また、2013年夏には調査における手続き上の不手際で管理者よりお叱りを受け、避難先の自宅までお詫びに赴いたこともあった。2013年ごろまで現場は緊張感に包まれていた。

VI. おわりに

もし、この災害においてRCsの沈着量がさらに多かつたら、または、集水域に湿地や泥炭などの有機質土壌が多かつたらどうなっていたらだろうか。後者のケースでは、RCsが粘土粒子に吸着されることなく、腐植などの有機物表面に弱い結合¹⁷⁾でRCsが吸着され循環するため、RCsが水から取り除かれることなく、長期にわたって溶存態RCsが検出されつづけた可能性がある。日本をはじめとするアジアモンスーン地域におけるRCsの環境動態にはまだわからないことも少なくない。得られた科学的な知見とともに、国際的に発信し今回の経験を継承していくことは引き続き重要な課題である。

タイトルに教訓と書いたものの、何が教訓になるかは正直わからない。どう対応するのが正解だったのかは今も自信はないが、今回のような未曾有の事態において、所属する農研機構は国の研究機関として存立しているのだから、農研機構と農林水産省の方針の下で動くことはいうまでもない。しかし、その中で研究職に与えられた自由度を生かし、県や市町村と連携、協力し、他分野の研究者等とも繋がることで科学技術面から対策を考えると同時に、微力でも農家や地域住民の不安を払拭するよう動くことが求められるように思う。災害大国である日本において、今後もさまざまなタイプの災害に複合的に見舞われることも想定される。どのような状況におかれても、その時々^{ふか}の局面を俯瞰しながら、研究者として必要なことを考え臨機応変に行動することが求められよう。

謝辞 本報の執筆に際して、東北農政局の遠藤 泰 前福島復興対策官ならびに石川建設工業(株)の村松秀則参事(元福島県)に原稿に目を通していただき貴重なコメントをいただいた。また、匿名の査読者には示唆に富むご指摘をいただいた。記して謝意を表す。

引用文献

- 1) 福島県水田畑作課：米の放射性物質緊急調査の結果について(取りまとめ)(訂正)(2012), <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/43728.pdf> (参照2020年8月3日)
- 2) 庄建技術(株)：水田土壌のための農業用水のモミガラ除染, 放射性物質除染法解説シリーズ2 (2012)
- 3) 産業技術総合研究所：プルシアンブルーを利用して多様な形態のセシウム吸着材を開発 (2011), https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2011/pr20110824/pr20110824.html (参照2021年3月28日)
- 4) 久保田富次郎ほか：水田水口におけるモミガラ等を用い

た用水中の放射性Csの除去効果, 農村工学研究所技報214, pp.123~133 (2013)

- 5) Miura, A. et al.: Adsorption efficiency of natural materials for low-concentration cesium in solution, *Water Science and Technology* 73(10), pp.2453~2460 (2016)
- 6) 久保田富次郎：水系における放射性セシウムの動態と農業用水への影響, 農研機構研究報告(印刷中)
- 7) 塩沢 昌：水田の放射能汚染と稲への移行, *水土の知* 80(7), pp.15~18 (2012)
- 8) 村松秀則：農業土木施設の放射線対策に至るまでの経緯と現状について「原子力災害で起こったこと」, 第56回農業農村工学会東北支部研究発表会講演要旨集, pp.138~141 (2013)
- 9) 久保田富次郎ほか：水路システムへの放射性Csの堆積の特徴と今後の課題, *水土の知* 82(3), pp.33~37 (2014)
- 10) 久保田富次郎ほか：農業用水路への放射性Csの堆積状況と経年変化の特徴, 平成28年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.835~836 (2016)
- 11) 環境省：事故由来放射性物質に汚染された廃棄物の処理に係る留意事項について(平成24年1月20日)(2012)
- 12) 福島県農林水産部：福島県農林地等除染基本方針(農用地編)(平成25年3月27日一部改訂)(2013)
- 13) 環境省：除染関係ガイドライン第2版(2013), <http://josen.env.go.jp/material/index.html>(参照2020年9月4日)
- 14) 吉永育生ほか：ため池底質におけるCsの堆積状況と粒径別Cs濃度の比較, *水土の知* 81(9), pp.19~22 (2013)
- 15) 濱田康治ほか：汚染されたため池底質からのCs溶出と湖水濃度の関係, *水土の知* 81(9), pp.23~26 (2013)
- 16) 荻野隆男, 金成麻里：ため池における泥土の放射性物質除去システム, *水土の知* 82(1), pp.58~59 (2014)
- 17) 中尾 淳：セシウムの土壌吸着と固定, *学術の動向* 17(10), pp.40~45 (2012) [2021.5.19.受理]

紹介

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士
九州農業試験場, 農業工学研究所, 農研機構九州沖縄農業研究センターを経て, 農研機構農村工学研究部門

濱田 康治(正会員)



1975年 鹿児島県に生まれる
1998年 九州大学工学部卒業
2004年 九州大学大学院工学府単位取得退学
九州大学大学院工学研究院, 農業工学研究所を経て, 農研機構農村工学研究部門

人見 忠良(正会員)



1979年 福島県に生まれる
2002年 明治大学卒業
農業工学研究所を経て, 農研機構農村工学研究部門