

農業用水の放射性 Cs のリアルタイム予測と水管理への展開

Deployment to Water Management and Real-time Projection of Radioactive Cesium in Agricultural Water

申 文 浩[†] 久保田 富次郎^{††} 濱 田 康 治^{††} 人 見 忠 良^{††}
 (SHIN Moono) (KUBOTA Tomijiro) (HAMADA Koji) (HITOMI Tadayoshi)

I. はじめに

東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故では、放出された放射性核種が福島県を中心とした地域に沈着し、降雨などによる河川やため池などの農業用水源への移行や農業水利施設内の新たなホットスポットの出現が懸念されている^{1),2)}。

これまで実施された現地調査では、農業用水中の放射性物質の影響は今のところ少ない³⁾が、旧警戒区域など、より大きな影響が懸念される地区の営農再開に向けて検討することが必要である。

政府、自治体、大学などにより河川やため池などの農業用水源や用水路で実施された調査では、平水時の水からの放射性セシウム（以下、「RCs」という）は、ほとんど検出限界以下であり、降雨時に、一部の濁水より検出されると報告されている^{3),4)}。

一方、農業用水を通じて流入した放射性物質が水路の掘込み部や下流の勾配が緩く流速が小さい水路に堆積するなどの再汚染が指摘されているものの農業用水から農地へ流入する放射性物質の影響は明らかになっていない^{1),5)}。

したがって、農業用水における放射性物質の動態を解明するとともにその経年変化を予測する技術を開発することは、作付けの再開に向け、今後の震災復興に欠かせない重要な課題である。

そこで、本研究では、浮遊物質を含んだ濁水から放射性物質の検出が多いことに着目し、用水中の濁度と簡単に連続的な測定が可能な水質項目を中心に RCs 濃度との相関を調べ、農業用水に含まれる RCs を連続的かつリアルタイムでモニタリングする手法について検討する。

これにより、土地改良区などの管理者が自ら、RCs 濃度をモニタリングし、そのデータに基づく管理対策が行えるようなシステムを開発することを目指す。

このため、福島県中通り地方北部の灌漑地区を対象に、濁度モニタリングシステムを試験的に導入した。

本研究の目的は、農業用水の濁度が高い場合に用水中の放射性物質が高まると仮定し、①農業用水中の濁度を含む水質項目などによる簡易的な RCs 濃度のモニタリング手法を検討し、② RCs 濃度の経時変化の予測可能性について検討するとともに、③ RCs のモニタリングにおける今後の課題について考察することである。

II. 研究対象地区と検討項目

1. 対象地区

対象灌漑地区（以下、「H 地区」という）は、東京電力福島第一原子力発電所から北西約 60 km 圏に位置し、福島県阿武隈川を水源としており、土地改良区組合員が約 1,900 人、受益農地面積が約 730 ha である。

H 地区は、河川から幹線用水路への取水量については土地改良区が決定し、取水ゲートの操作は水力発電所を持つ東北電力にその都度依頼している。

2. 調査・分析の概要

平成 25 年度灌漑期（4 月 26 日～9 月 25 日）に幹線用水路内の上流地点において、濁度と水位を連続観測するとともに定期的な採水、流量観測を行った（図-1）。

バケツで幹線用水路において、流心の表層から採水し、試水に携帯濁度計（東亜 DKK 製、TB-25A）と電気伝導度計（HORIBA 製、D-54）のセンサーをそれぞれ浸漬させ、十分攪拌を行いながら安定した濁度、電気伝導度（EC）を測定した。

試水をポリ容器に採取し、実験室に持ち帰り、浮遊物質濃度、全窒素（T-N、燃焼触媒酸化法）、全リン（T-P、ペルオキシ二硫酸カリウム分解法-モリブデン青法）、全有機炭素（TOC、燃焼触媒酸化法）、カリウムイオン濃度（K⁺、イオンクロマトグラフ）を分析した。

なお、本研究では、通常より細かい懸濁物質の画分を捕捉することを目的として、孔径 0.4 μm のガラス繊維ろ紙（ADVANTEC 製、GB-140）を用いて、用水

[†]東北農業研究センター

^{††}農村工学研究所



放射性物質、除染、震災復興、灌漑管理、農業用水、濁度、水環境

中の懸濁物質濃度を測定した。本来のSS測定法とは異なるため、本報では便宜上、SS_{0.4}と呼ぶこととする。一部の試水でSSとSS_{0.4}の値は大差ないことを確認した。

調査地点の水路側壁に固定型濁度計（ウイジン製、UIZ-TC500）を設置し、10分ごとに濁度観測を行った。センサーは水路底から最大水深の1/2~2/3の位置に固定した。固定型濁度計で得られた濁度を濁度_s、携帯濁度計で得られた濁度を濁度_Hと記す。

用水中の放射性物質の測定（n=22）は、農業用水に含まれるRCsは低濃度であることが多いため、低RCs濃度が予想される30NTU以下の濁度の試水は、前処理として、2ℓのビーカーとホットプレートを用いて、ドラフトチャンパー内で約10~20ℓを2ℓまで穏やかに蒸発濃縮し、2ℓマリネリ容器とゲルマニウム半導体検出器（Canberra製）を用いて核種別に分析した。RCsは全放射性セシウム（¹³⁴Cs+¹³⁷Cs）である。

III. 結果および考察

1. 水質項目とRCsの関係

河川の水域で測定されるSSと濁度は、一般的に相関が強いと言われている⁶⁾。H地区においても、用水中のSS_{0.4}と濁度_Hに強い相関がみられた（図-2）。

試水のRCs濃度と水質分析結果を比較した相関を表-1、図-3~7に示す。SS_{0.4}・濁度_HとRCs濃度に強い相関がみられ、SS_{0.4}・濁度のモニタリングで、RCs濃度を推測することが可能であり、用水中のRCs濃度の予測手法として有効であることが明らかになった。

これは、環境水中の放射性物質が主に懸濁態由来である⁴⁾ことから、用水中のRCsが降雨時に流出する土砂を起源とする懸濁態成分とともに供給されることに起因すると考えられる。

採水、ろ過、乾燥が必要なSS_{0.4}の分析に対し、濁度測定は比較的容易であるため、農業用水における濁度とRCs濃度の関係を特定できれば、簡易なRCs濃度の推定と水管管理に活用できると考えられる。

一方、濁度_Hよりやや相関が低いものの、連続測定が容易なECもRCs濃度と一定の関係性がみられた。これは、SS_{0.4}・濁度_HとECに負の相関がみられたことに起因する可能性があるが、さらに検討する必要がある。

降雨流出の影響が大きい河川水は、流量や水位が上

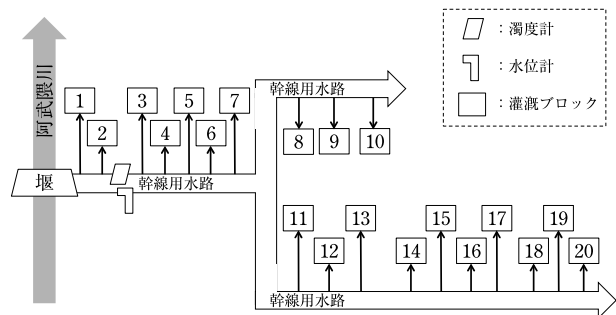


図-1 研究対象地区の用水系統図

表-1 水質項目間の相関係数 (r)

	SS _{0.4}	濁度 _H	EC	T-N	T-P	TOC	K ⁺
RCs濃度	0.82	0.87	-0.76	-0.60	0.86	0.28	0.30
SS _{0.4}		0.99	-0.87	-0.50	0.93	0.30	0.02
濁度 _H			-0.89	-0.66	0.96	0.28	-0.31

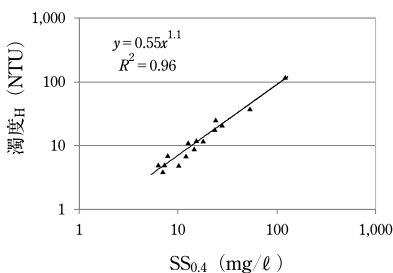


図-2 SS_{0.4}と濁度_H

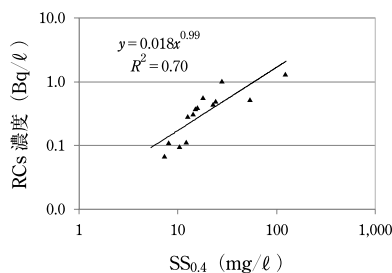


図-3 SS_{0.4}とRCs濃度

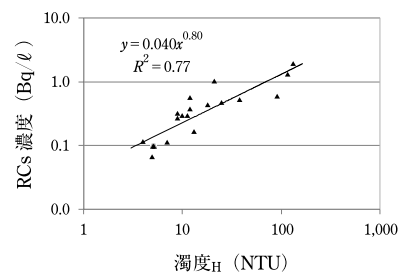


図-4 濁度_HとRCs濃度

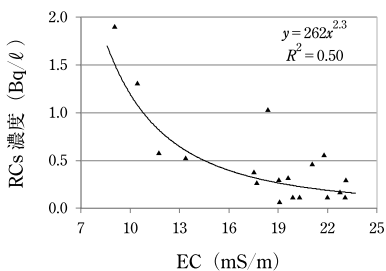


図-5 ECとRCs濃度

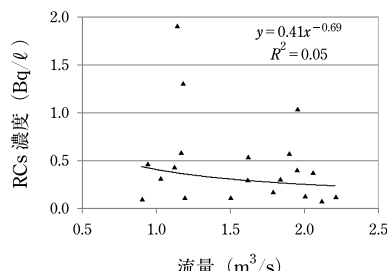


図-6 流量とRCs濃度

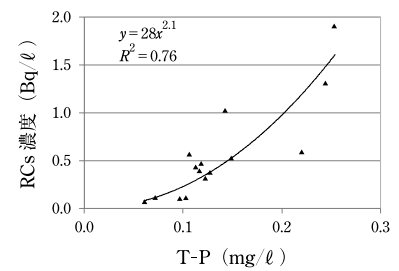


図-7 T-PとRCs濃度

昇すると濁度も上昇する傾向がある⁷⁾が、H地区の用水路では、流量や水位と濁度やRCs濃度との相関が高くなかった。これは、農業用水では取水量が管理者の操作などによって変動するため、河川流量との直接関連性が薄いことによるものである。したがって、水路の流量や水位によるRCs濃度の予測は一般に困難であると考えられる。

また、現地での連続観測が困難であるため、本研究の目的にそぐわないが、そのほかの水質項目では、T-P濃度がRCs濃度や濁度と高い相関を示した。T-Pは土粒子に固定されやすく、一般にSSとの相関があるため、RCsとも相関がみられたと考えられる。

このほか、T-N、TOCおよびK⁺濃度とRCs濃度や濁度との相関係数が-0.66~0.30であった。

2. RCsの流入量

幹線用水路で観測した連続水位と流量の関係から作成した水位・流量曲線により求めた流量、用水中の濁度_HとRCs濃度の関係($y=0.040x^{0.80}$, 図-4)と連続観測した濁度_Sを用いて算出したRCs濃度の経時変化およびRCsの流入量を図-8、表-2に示す。

ここで、濁度_Hと濁度_Sの関係は、同時刻における両濁度の値から、関係式(濁度_H=0.542×濁度_S, n=16, R²=0.98)により変換した。また、固定型濁度計の欠測期間は、算定対象外とした。

これらの試算をもとに幹線用水路を流下したRCsの流入量を試算すると灌漑期において20~120 MBq/d(平均30 MBq/d)であった。非灌漑期は取水がないため、RCsが流入していないと考えると年間流入量は約4.9 GBqであったことが示された。用水に含まれる平均のRCs濃度は、0.24 Bq/lであった。

損失水量(施設管理用水)は一般的に10~25%とされている⁸⁾。H地区の取水量の8割が受益農地に均等に流入するものと考え、用水による農地への流入量は、539 Bq/(m²・year)となり、東京電力福島第一原子力発電所から60 km圏内のRCsの沈着量(60~100 kBq/m²)⁹⁾と比較しても十分に少ない。

IV. リアルタイムモニタリングへの展開

1. 濁度モニタリングシステム

調査地点に設置した固定型濁度計は、携帯回線を通じて、観測値がサーバーに蓄積され、専用ウェブページから濁度と水位がリアルタイムで閲覧できる機能を有する。また、用水中の濁度が事前に設定した閾値を超過すると自動的に濁度警報メールが管理者へ通知される仕組みを持つ(図-9)。

本システムの導入により、土地改良区などの水路管理者がいち早く用水中の濁度の上昇を把握すること

で、水路や農地へ流入するRCsを低減できる可能性があり、高濁度時に取水を停止することで、放射性物質の流入低減が期待される。

放射線量が高い地域における作付け再開や用水を通じた再汚染防止に向け、本システムを導入し活用することは、震災復興に有効となる可能性がある。

2. システムに対する今後の課題

本システムを導入する際には、東京電力福島第一原子力発電所からの距離、地形条件、水源によって、用水中の濁度とRCs濃度の関係が変わってくると考えられるため、各灌漑地区の環境条件の検証が必要であり、一地点当たり60万円程度の導入コストと通信料

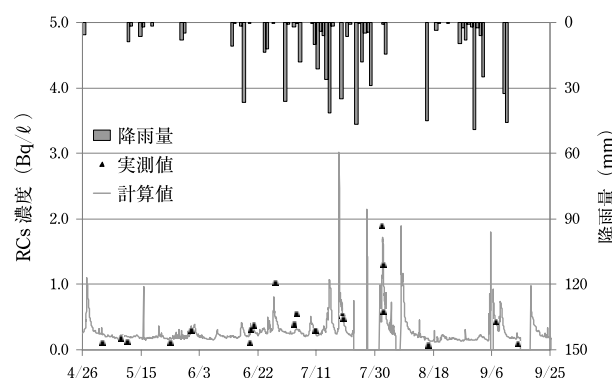


図-8 RCs濃度の経時変化(平成25年度)

表-2 RCsの流入量

	積算流量 (万 m ³)	RCs 流入量 (MBq)	
		幹線水路	農地 (80%)
4月	36	132	106
5月	535	994	795
6月	539	1,283	1,026
7月	288	945	756
8月	477	1,077	861
9月	195	489	391
計	2,070	4,920	3,935
RCs 流入量×0.8÷730 ha (受益面積)		539 Bq/(m ² ・year)	

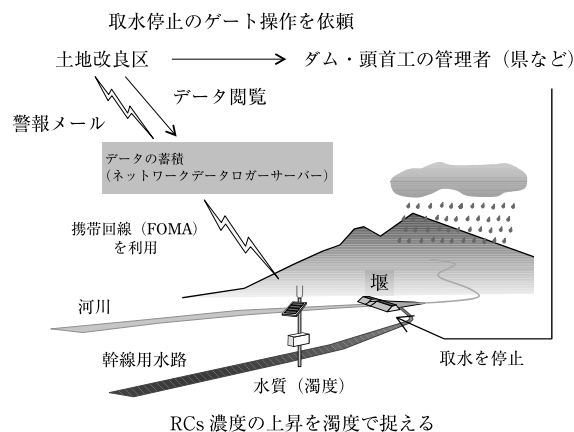


図-9 濁度観測によるRCsの簡易警報システム

などの維持管理費用が年間10万円程度発生する。

現在のシステムでは、用水中のゴミなどの影響により濁度指示値が一時的に上昇し、誤警報メールが送信されるなどの課題を抱えている。さらに、濁度とRCs濃度の関係は年々変化するものと考えられ、定期的な関係式の見直しも必要である。

濁度センサーによるRCs流入削減の効率を上げるためには、土地改良区などの水路管理者に加えて実際に水管理操作を行う水路監視員、分水工管理者、農業者に用水中の濁り成分に放射性物質が多く含まれることの理解を深める必要がある。

水管理主体が堰を直接管理していない場合など、堰の操作が迅速にできない場合があるため、施設の管理形態ごとに管理手法を確立・検証することや、実際の効果について定量的に検討することなどが今後の課題である。

V. おわりに

本研究では、福島県中通り地方北部の灌漑地区を対象に、用水中の濁度とRCs濃度の関係を調べるとともに濁度モニタリングシステムを試験的に導入し、農業用水における他の水質水文指標によるRCsのモニタリング手法の可能性について検討した。

その結果、濁度とRCs濃度に高い相関があるという知見が得られ、この関係を用いて、幹線水路に流入する農業用水の濁度を連続的にモニタリングし、リアルタイムで管理者に通知することで、放射性物質の水路や農地への流入量の低減につながる可能性が示された。

取水量から最大8割が農地へ流入すると考えると、事例地区において、その総量は約540 Bq/(m²・year)のRCsが受益農地に流入したと試算された。

今後の課題として、農業用水の濁度とRCs濃度の関係の経時変化などを含め、さらに詳細な検討を行うため、継続して十分なデータを採取し蓄積を図っていくこと、土地改良区の管理者および農業者が自ら放射性物質の流入を低減できる管理手法を確立すること、システム導入により実際にどのような効果があるのかを定量的に検討すること、などが必要である。

謝辞 本研究の実施に当たっては、土地改良区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

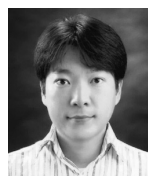
1) 久保田富次郎, 人見忠良, 濱田康治, 吉岡邦雄, 佐藤睦人,

齋藤 隆: 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)

- 2) 申 文浩, 久保田富次郎, 濱田康治, 人見忠良: 水田地域への放射性物質の流入を削減する濁度モニタリングシステムの導入, 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.148~151 (2013)
- 3) 農林水産省: 福島県内におけるため池中の放射性物質に関する実態と対策について, pp.1~20 (2013)
- 4) 森林総合研究所: 8~10月における渓流水中の放射性物質の観測結果, <http://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2012/20121220/> (参照2013年8月21日)
- 5) 久保田富次郎, 樽屋啓之, 田中良和, 濱田康治: 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)
- 6) 国土交通省: 道路環境影響評価の技術手法, 国土技術政策総合研究所資料 594, pp.108~114 (2013)
- 7) 綾 史郎, 岩佐義朗: 濁度の流出・分散と河川の特性について, 第26回水理講演会論文集, pp.577~582 (1982)
- 8) 農業農村工学会: 改訂七版農業農村工学ハンドブック本編, p.148 (2010)
- 9) 文部科学省: 航空機モニタリングの測定結果の修正について, http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/5000/4933/24/1940_0831.pdf (参照2013年8月21日)

[2014.6.19.受稿]

申 文浩 (正会員)



略 歴
 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 筑波大学大学院生命環境科学研究科博士後期課程修了
 2013年 農研機構東北農業研究センター
 現在に至る

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, 農研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所
 現在に至る

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, (独) 農業工学研究所を経て, 農研機構農村工学研究所
 現在に至る

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
 (独) 農業工学研究所を経て, 農研機構農村工学研究所
 現在に至る