

総 説 (特集)

農業用水に含まれる放射性セシウムのモニタリング技術

Monitoring Technique of Radioactive Cesium in Agricultural Water

申 文浩*, 久保田富次郎, 濱田 康治, 人見 忠良
MOONO SHIN, TOMIJIRO KUBOTA, KOJI HAMADA and TADAYOSHI HITOMI

(国) 農研機構東北農業研究センター 〒960-2156 福島県福島市荒井字原宿南 50

* TEL: 024-593-6178 FAX: 024-593-2155

* E-mail: moonos@affrc.go.jp

Tohoku Agricultural Research Center, National Agriculture and Food Research Organization,
50 Harajuku-minami, Arai, Fukushima, Fukushima 960-2156, Japan

キーワード: 放射性セシウム, 除染, 濁度, 農業用水, 水管理

Key words: radioactive cesium, decontamination, turbidity, agricultural water, water management

(原稿受付 2016 年 2 月 8 日 / 原稿受理 2016 年 2 月 15 日)

1. 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・拡散された放射性核種が福島県を中心とした地域に沈着し¹⁾, 放出された放射性物質の農業用水源への移行と下流への拡散が懸念されている²⁾。農業用水に含まれる放射性物質を経時的に把握し, 放射性物質を多く含む農業用水を水田に流入させないことは, 震災復興に欠かせない重要な課題であるが, そのためには農業用水を通じた水路や農地への放射性物質の流入量を明らかにすることが必要であり, 水中の放射性物質濃度の現地測定が困難であること等から, これまで検討された事例がほとんどなかった。

一方, 近年の ICT (Information and Communication Technology) 技術の発展に伴い開発されてきた比較的低コストの遠隔観測技術は, 信頼性の高いデータを低コストで安定的に取得するためには, 機器の要求性能の検討や機材の適切な設置, 維持保守管理が欠かせないが, 農業農村工学の各方面で導入が加速的に進む可能性がある^{1,4,8)}。

筆者らは, 東日本大震災の影響解明や, 農業農村整備事業の実施地区における実態把握のため, 2012 年以降, 河川や用水路, ため池施設などにおいて濁度や水位センサーなどを用いて遠隔観測と自記観測を実施してきた^{2,4,11)}。本稿では, 観測事例を踏まえて遠隔監視と濁度を中心とする筆者らが開発した濁度観測による農業用水中の放射性セシウム (以下, RCs) の連続推定技術を紹介するとともに, 農業用水中の RCs をモニタリングする際に, 本技術が抱えている問題点や課題, 今後の活用方向について概説したい。

2. 農業用水中の RCs の存在形態

農業用水中の RCs は, 浮遊する土壌粒子や有機物など不溶性の懸濁物質に固定・吸着されている懸濁態 RCs と水中にイオン等で溶けている溶存態 RCs に区別される (図 1)。懸濁態 RCs は直接水稻の茎や根から吸収され難いものであり, 溶存態 RCs は茎や根を通じて移行しやすいと言われているが, 農業用水中の RCs は, ほとんど懸濁態 RCs として存在している^{6,13)}。

農業用水中の懸濁態 RCs 濃度は RCs が固定・吸着された懸濁物質が多いほど高くなり, 特に懸濁物質の移動が多い降雨時に高くなる傾向にある¹⁰⁾。また, 溶存態 RCs は比較的濃度の変動が少なく安定している¹²⁾。

3. 農業用水中の濁度と RCs の関係

農業用水中の RCs は主に懸濁態由来であることから,

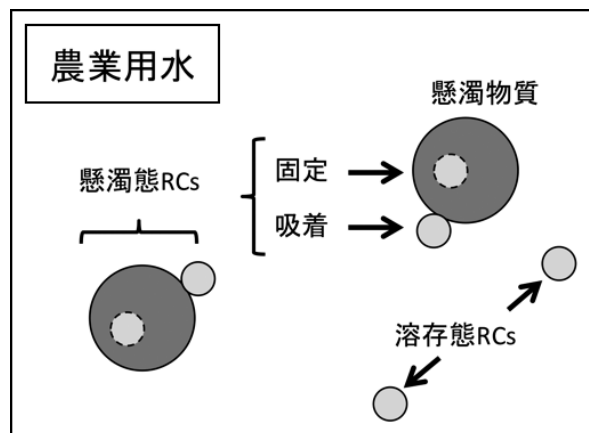


図 1. 農業用水中の RCs の存在形態

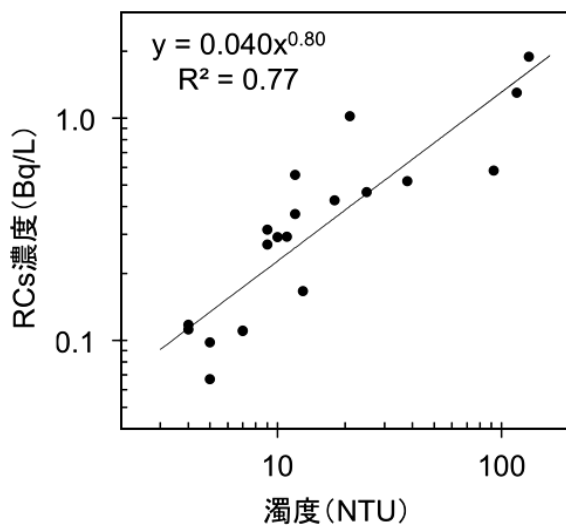


図 2. 濁度と RCs 濃度の関係

降雨時に流出する土砂を起源とする懸濁物質とともに供給されることに起因すると考えられている^{7,14)}。あらかじめ対象とする農業用水の溶存態 RCs 濃度が明らかであり、懸濁物質の RCs 濃度が分かれば、懸濁物質の農業用水中の量から農業用水中の RCs 濃度の推定が可能になる。

一方、濁度は水の濁りの程度を表すもので、標準物質であるカオリンやホルマジン 1 mg を含ませ、均一に分散させた懸濁液の濁りが濁度 1 度（単位：mg/L または NTU）と定義される。懸濁物質が多いほど高くなり、濁度計や濁度センサーを用いて比較的容易に測定できる。

筆者らは 2013 年に農業用水における RCs の動態解明を目的として、東京電力福島第一原子力発電所から北西約 60 km 圏に位置する福島県内の農業用水を対象として、灌漑期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、流量観測などを行った。その結果、農業用水中の濁度と RCs 濃度には強い相関がみられ（図 2）、濁度のモニタリングで農業用水中の RCs 濃度を推定す

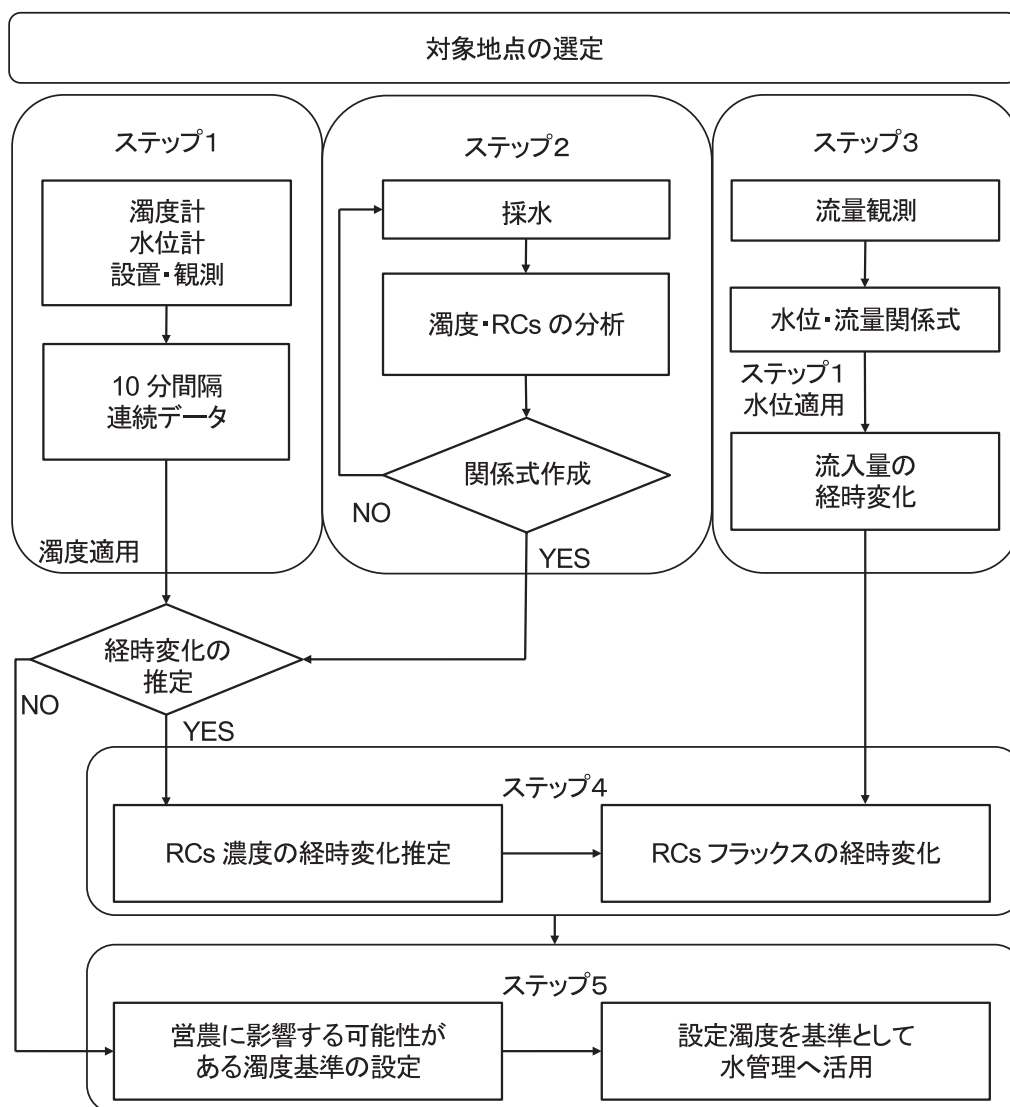


図 3. RCs 推定技術の構成

ることが可能であり、農業用水中の RCs 濃度の予測手法として有効であることが示唆された¹¹⁾。

4. RCs 濃度の推定技術

農業用水中の濁度と RCs 濃度の関係を用いて、RCs 濃度を推定する技術は、以下の 5 つのステップで構成される (図 3)。

①ステップ 1: サンプル採水地点において、濁度計と水位計を設置し、10 分毎に濁度、水位 (流量) を連続観測しデータを蓄積する。

②ステップ 2: 対象地区の用水を濁度毎に複数回採水し RCs 濃度を測定し、濁度と RCs 濃度の関係式を求める。

③ステップ 3: RCs のフラックスの経時変化を求める場合は、水位毎に複数回の流量観測を行い、得られる水位・流量の関係式とステップ 1 の水位データを用いて流入量の経時変化を求める。

④ステップ 4: ステップ 2 の濁度と RCs 濃度の関係式とステップ 1 の連続濁度データを用いて、RCs 濃度の経時変化を推定し、推定値とステップ 3 の流入量の経時変化を用いて、RCs のフラックスの経時変化を求める。

⑤ステップ 5: RCs 濃度の経時変化の推定やフラックスの経時変化を求める必要がない場合は、ステップ 1、ステップ 2 を行った後、ステップ 5 に進むことができる。ステップ 1 の関係式を参考に営農に影響する可能性がある濁度の基準を設定すれば、濁度が高くなった際に取水口を操作するなど、水管理へ活用できる。

5. RCs の簡易警報システム

農業用水中の濁度、水位をリアルタイムで連続観測することで、RCs 濃度の連続推定が可能であり、筆者らは ICT 技術を活用して RCs 簡易警報システム (以下、システム) を開発した。本システムは、農業用水の濁度を

リアルタイムで連続観測することで農業用水中の RCs の簡易濃度が推定できるとともに、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持ち、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 (図 4)。

現地で取得されたデータは基本的に 10 分毎に携帯通信を通じてデータサーバに蓄積され、PC やスマートフォンから利用者 ID でログインするとデータにアクセスができる。また、管理者 ID でログインすることで利用者の制限や濁度警報メールなどの設定ができる (図 5)。

専用ウェブページからの閲覧では、閲覧時のデータの値表示に限られ、最近のデータのグラフ化などはできないが、PC に専用ソフトウェアをインストールすれば、観測値の推移をグラフで直感的に把握することが可能である (図 6)。

本システムに関する詳細は、濁度の連続測定を利用した水中の放射性セシウム濃度予測・警報システムマニュアルを参考にされたい⁹⁾。

6. RCs 濃度の推定時の問題点と課題

6.1 システムの設置

濁度センサーによる観測は、主に①設置場所と方法、②ゴミや堆積物による光路障害、③受光部への物質の付着に起因する課題を抱えている。濁度センサーの設置では、光路部を流水が通過するように固定することが基本であるが、そのような場所は一般にゴミ等が引っかかりやすいという問題がある。また、低水時に水位が河床近くまで低下する場所では、流路の河床にセンサーを取り付ける必要があるが、その際、増水時には浮遊砂ではなく掃流砂を捉えてしまう可能性がある。このほか、出水時に堆砂に埋没してしまうケースもあるため、設置する際には注意が必要である (図 7)。

遠隔監視では、精密機器であるネットワークデータロ

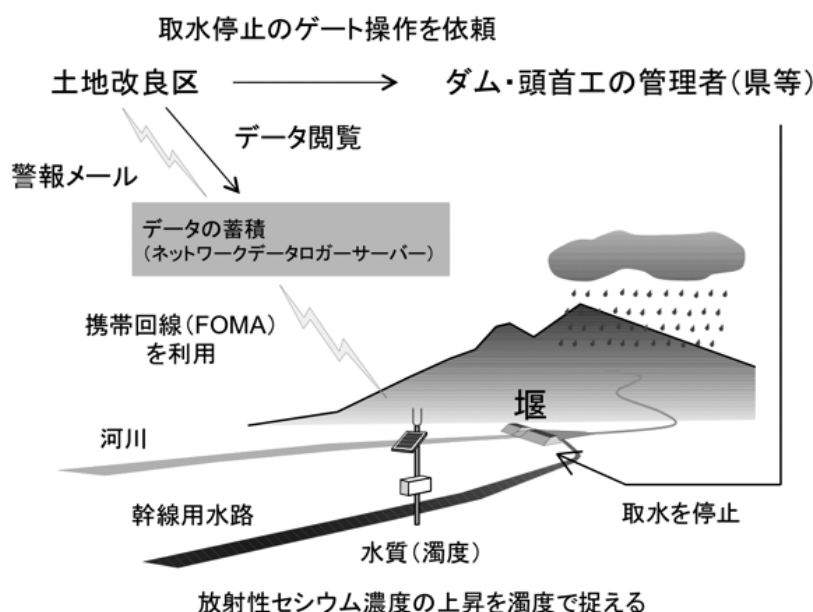


図 4. 濁度観測による RCs の簡易警報システム

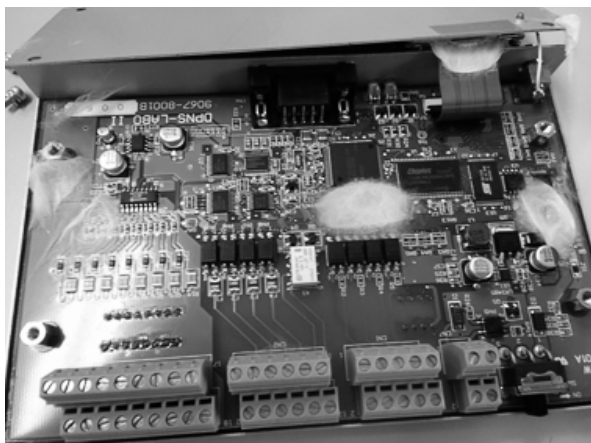


図 8. クモの巣による電子機器のトラブルの事例

ムで冬期間に温度がやや高いネットワークデータロガーにクモが入り込んで糸を張り、回路を短絡させる故障があった（図 8）。

6.2 濁度と RCs の関係式の作成

濁度と RCs 濃度の関係式を求めるためには、濁度毎に用水を採水し濁度を測定するとともに農業用水中の RCs 濃度を測定する必要がある。また、濁度を測定する際にはバケツなどで採水し十分攪拌を行いながら安定した濁度を記録する。降雨時など用水の濁度が高いサンプルを採水し分析を行うと、より正確な関係式が得られる。また、濁度と RCs 濃度の関係は東京電力福島第一原子力発電所の事故による RCs の沈着量が地域によって異なるため、モニタリング地点毎に求める必要がある、関係式は 1 年に 1 回程度更新することが望ましい。

6.3 流量観測

RCs のフラックスを推定するためには、観測地点での流量を日々把握することが必要であるため、観測地点において定期的な水位と流量を観測するとともに、水位・流量の関係式を作成しステップ 1 の水位観測データを水位・流量の関係式にあてはめて、流量を推算する（図 9, 図 10）。また、水位と流量の関係式を求める際には、水位毎に流量を観測することでより正確な関係式が得られる。

流量観測は雨量観測や水位観測と比べて危険度の高い作業であり、場所の選定にあたっては、橋の上から観測可能な地点を選択するなど特に注意を払う必要がある。

6.4 RCs 濃度の経時変化とフラックスの算定

RCs 濃度の経時変化を求めるには、ステップ 1 の濁度の連続データを濁度と RCs の関係式にあてはめることで推定できる（図 11）が、システムで使用している固定型濁度計と濁度と RCs 濃度の関係式を求める際に利用した携帯型濁度計の種類が異なる場合は、携帯型濁度計の値を採水時刻の固定型濁度計の値に変換してから関係式にあてはめる必要がある。

また、灌漑を行っていない時期や濁度センサーの誤作動などによる欠測期間は、算定対象外となり、局所的に

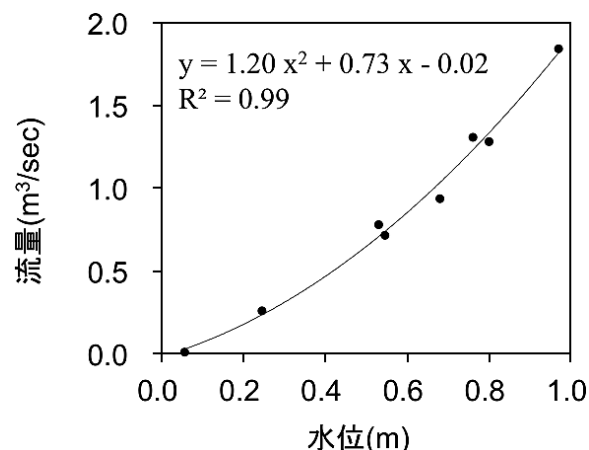


図 9. 水位・流量の関係式の例

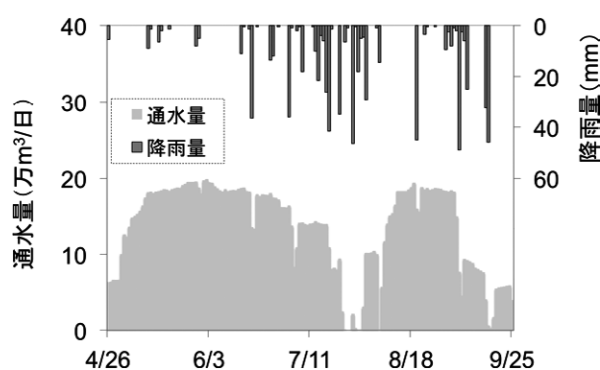


図 10. 流入量の経時変化の例

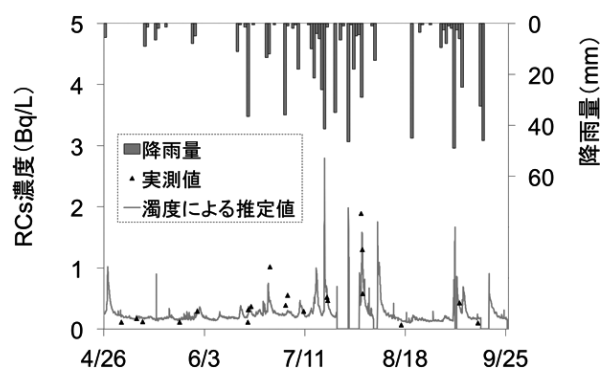


図 11. 濁度による RCs 濃度の推定例

スパイク状に発生する異常値や、ゴミの付着による欠測が生じた場合は、前後の値を参考に補正する必要がある（図 12）。

RCs のフラックスは、ステップ 3 の流入量の経時変化を RCs 濃度の経時変化にあてはめて算定できる（図 13）。

6.5 水管理への活用

ステップ 1 から求めた濁度と RCs 濃度の関係式を参考に灌漑する用水中の RCs 濃度を設け、固定型濁度計の濁度基準を設定すれば、警報メール送信の設定値に利用することができる。専用ウェブページから濁度の基準を入力することで、農業用水中の濁度が設定した値にな

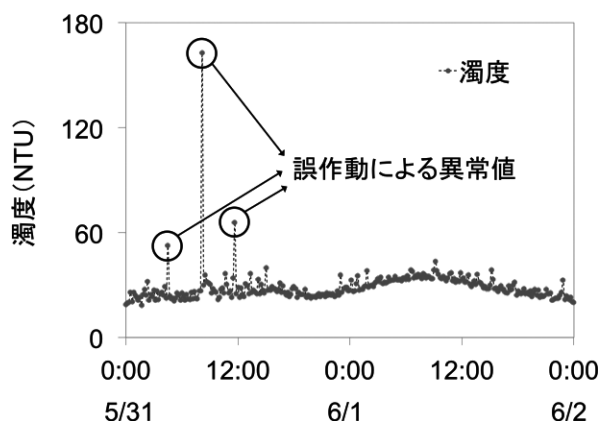


図 12. 無降雨時に濁度計の誤作動による異常値の例

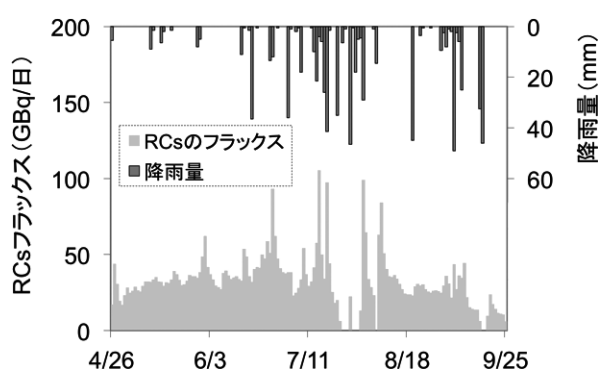


図 13. RCs のフラックスの算定例

ると指定 PC または携帯メールアドレスに警報メールが自動送信される。

図 12 のような異常値が発生した際にも警報メールが送信されるため、2つの濁度センサーを設置し2つの値が同時に上昇した際、または濁度と水位が同時に上昇した際に警報メールが送信されるように複数のセンサーで警報メールを設定することが可能であるが、異常値を減らすことが今後の課題である。

7. 土地改良区におけるシステムの活用例

7.1 A 土地改良区

福島県阿武隈川を水源としており、受益農地面積が約 730 ha である。河川から幹線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。また、水土里ネット福島会の会員となっており、管理体制が整っている。A 土地改良区の事務所には、事務局長と事務員 1 名が常駐しており、灌漑期はシルバー人材から 2 名の水路監視員を臨時採用している。

本システムの導入によって、土地改良区の事務局から組合員に対し、濁水の中に RCs 濃度が多く含まれていることについて、情報が広がる機会となり、組合員の中ではなるべく農地に濁水を入れない水管理が行われるようになるなど、効果が得られている。また、用水中の RCs 濃度が情報として得られるため、用水に対する安心感を持つようになった。

さらに、取水口の調査・管理をしている東北電力の管理者から、大雨時など、取水口の上流側が濁水になっている時は取水を止めるかについて、問い合わせがくるようになったことや、これまで取水時に管理者が幹線水路の上流地点に行き水位を記録したが、システムの導入によって、リアルタイムで水位が確認できるようになったこと、など普段の水管理にも活用される効果が得られている。

7.2 B 土地改良区の事例

福島県広瀬川を水源としており、受益農地面積が約 300 ha である。比較的小規模の土地改良区のため、事務所がなく市役所の中に事務員 1 名常駐しており、取水ゲートの操作・管理は組合員の農業者に委託している。

土地改良区にパソコンはあるもののインターネット環境が整っておらず、追加装備が必要であったが、システムの導入によって、リアルタイムで用水の濁度が分かるようになり、土地改良区の事務員は従来と比べて天気を確認するようになった。また、濁度の上昇を確認し取水口の管理者に連絡し取水を止めた事例があるなど、RCs 流入削減に活用している。

B 土地改良区も A 土地改良区と同じく、用水中の RCs 濃度が情報として得られるため、用水に対する安心感を持つようになった。

8. 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、分土工管理者、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、施設の管理形態毎に管理手法を確立・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。

9. ま と め

福島県中通り地方北部の複数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がリアルタイムでモニタリングできるシステムを試験的に導入し、農業用水における濁度の連続観測による 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繋がる可能性が示された。

本システムは、効率を高めるための課題も抱えているが、比較的低コストで農業用水中の RCs 濃度の推定値が把握できるため、土地改良区が独自にシステムを導入することが可能であり、また、行政側がシステムを河川などに導入し、一つのシステムで複数の土地改良区に情報を提供することも可能であることから、農業用水に含まれる RCs モニタリング技術は、原子力災害被災地の営農再開に向け活用され、被災地の復興に役立つことが期待される。

謝 辞

原稿執筆の機会を頂きました環境バイオテクノロジー学会誌論文編集委員の皆様へ厚くお礼申し上げます。本稿で紹介した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りました。ここに記して謝意を申し上げます。

文 献

- 1) 深津時広, 平藤雅之. 2003. 圃場モニタリングのためのフィールドサーバの開発. 農業情報研究. 12: 1-12.
- 2) 久保田富次郎, 濱田康治, 人見忠良, 申 文浩. 2016. 農業水利施設における濁度の遠隔監視と浮遊物質, 全リン, 放射性 Cs の濃度推定. 農村工学研究所技報. 218: 印刷中.
- 3) 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. 2013. 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: 123-133.
- 4) 久保田富次郎, 田渕尚一, 濱田康治, 申 文浩. 2015. 遠隔監視による濁度・水文観測の課題と今後の活用. 農業農村工学会誌. 83: 7-10.
- 5) 文部科学省. 文部科学省による第3次航空機モニタリングの測定結果について. http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/content/s/5000/4858/24/1305819_0708.pdf (参照 2016.2.2)
- 6) 農林水産省. ため池の放射性物質対策技術マニュアル基礎編. <http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/saigai/pdf/141119-01.pdf> (参照 2016.2.2)
- 7) 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. http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/pdf/tameike_tyousa25.pdf (参照 2016.2.2)
- 8) 繁永幸久, 高橋英紀. 2012. 携帯電話通信網を利用したフィールドデータ伝送システム. 農業農村工学会誌. 80: 11-14.
- 9) 申 文浩, 久保田富次郎. 2015. 濁度の連続測定を利用した水中の放射性セシウム濃度予測・警報システムマニュアル. pp. 1-38. 東北農業研究センター・農村工学研究所.
- 10) Shin, M., T. Kubota, K. Hamada, and T. Hitomi. 2013. Development of irrigation management method for reducing inflow of radioactive substances in Japan. The 12th Conf. Internat. Soc. Paddy Water Environ. Eng. Cheongju, South Korea. 12: 249-253.
- 11) 申 文浩, 久保田富次郎, 濱田康治, 人見忠良. 2015. 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. 農業農村工学会誌. 83: 35-38.
- 12) Shin, M., T. Kubota, K. Hamada, T. Hitomi, and T. Ota. 2015. Dynamic analysis of radioactive cesium in decontaminated Paddy Fields, J. Water Environ. Technol. 13: 383-394.
- 13) 申 文浩, 保高徹生, 松波寿弥, 高橋義彦, 久保田富次郎, 信濃卓郎. 2015. 農業用水中の溶存態放射性セシウムの分析における前処理方法の検討. 平成 27 年度農業農村工学会大会講演会. 岡山. 64: 584-585.
- 14) 森林総合研究所. 8~10 月における溪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 2016.2.2)