

水路システムへの放射性 Cs の堆積の特徴と今後の課題

Feature and Future Tasks of Sedimentation of Radioactive Cesium
in Irrigation Canal System久保田 富次郎[†]
(KUBOTA Tomijiro)樽屋 啓之[†]
(TARUYA Hiroyuki)田中 良和[†]
(TANAKA Yoshikazu)濱田 康治[†]
(HAMADA Koji)

I. はじめに

東日本大震災に起因する東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴って福島県地方を中心に放射性物質が拡散することにより、第一次産業への広範な被害が懸念されたが、震災後3年を経てさまざまな対策が実施される中で、その影響範囲は縮小傾向にあるものの、まだ課題も多い。

水田農業においても当初は、水田への農業用水を通じた放射性物質の流入が懸念されたが、これまで調べられた中では、営農が継続または再開しているところでは、灌漑用水中の放射性セシウム (Cs) 濃度はおおむね低く¹⁾、こうした結果であればコメへの影響は限定的と考えられている²⁾。一方、用排水路などの農業水利施設には、土砂が堆積しているところがあるが、被災地においてこれまでに調べられた用水路などの農業水利施設に堆積している底質の放射性 Cs 濃度は一部で数万 Bq kg⁻¹を超える比較的高いものも確認されている³⁾。そのため、今後の維持管理や配慮すべき事項を考えるには、水路システム内での放射性物質の堆積特性を把握する必要がある。

そこで本報では、被災地に立地する水路システム内の堆砂発生量と底質に含まれる放射性物質の調査事例を紹介するとともに、原発事故後における水路システムの維持管理への課題について考察する。

II. 農業水利施設における放射性物質の状況

これまでのところ、農業水利施設を巡る放射性物質の問題は、比較的高濃度の放射性 Cs が検出されるため池底質の対策が中心となっている。

水路の底質に含まれる放射性 Cs の調査では、村松³⁾によれば、2011年12月に伊達西根堰土地改良区で38 kmの幹線用水路のうち5カ所で調査され、最大5.4 kBq kg⁻¹であった。また、廃棄物であれば通常の処理ができる基準が8 kBq kg⁻¹となっているが、県が実施した県北管内33カ所の水路底質調査では、これを超

える箇所が1/3あり100 kBq kg⁻¹を超える箇所も2カ所あった。

福島県内では2012年の水稲作に向けて、2012年3月6日に用水路に堆積した土砂について、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なされた³⁾。そのため、堆積物が取水や通水の障害となっている水路を除き、多くの用水路で放射性物質はそのまま残された。

水路除染が、環境省通知により対象が明確化(除染関係ガイドライン⁴⁾の改訂は2013年5月)されたのち、2013年の水稲作付け前に、福島県の指導のもと、水路除染を進めるよう指示が出された。水路除染は避難区域外で40市町村が対象となるが、そのうち帰還困難区域を取り巻く市町村、特に放射性 Cs 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(2013年10月末現在)で取り組まれている。また、水路除染の進捗は、住宅地の除染などと同様に仮置場の確保に見通しがついた市町村、地域から進められているのが実態である。仮置場が確保できない場所では現場仮置きで対応しているところもある。実際には2013年の水稲作付け前の数カ月程度では、対象となる用水路の除染を完了するのは困難であったので、多くの市町村では、2014年度も引続き作付け前に水路除染を行うよう計画が進められている。

一方、用水路では、灌漑期と非灌漑期で通水と落水を繰り返し、水路に流入した土砂の一部は水路内に新たに堆積する。また、水路除染はすべての用水路が対象となるわけではなく、ガイドラインに提示された3条件をすべて満たす箇所に限定されている。3条件とは、①例年、泥上げが行われている水田近傍の水路、②事故の影響で例年どおり泥上げができなかった地域、③農閑期の水路で水による遮蔽効果が見込めず周囲の空間線量率に影響すること、である。

このように、水路除染の対象が限定されていることに加えて、水路は通水に伴い必然的に土砂の再堆積を伴うので、今後は除染対象水路の拡大や水路除染後に

[†]農村工学研究所水利工学研究領域

水路システム、堆砂、放射性 Cs、空間線量、堆積物、底質、除染ガイドライン

における放射性物質の再堆積にも留意する必要がある。

III. 水路システムにおける空間線量分布, 堆積物量および放射性 Cs の堆積実態

1. 調査方法

取水口から幹線用水路, 支線用水路までの水路を対象として, 空間線量分布, 堆積物量および堆積物の放射性 Cs 濃度を以下の方法で調べた。

まず, 調査対象地区として, 福島県中通り地方に立地し, 阿武隈川より取水する幹線用水路および支線用水路を含む総延長約 25 km の水路システムを選定し, 2012 年 11 月 14 日から 16 日にかけて現地調査を実施した。水路は, 全区間が開水路である。図-1 に水路システムの平面図, 勾配, 設計値による平均流速および調査地点を示す。調査地点は, A から G までの 7 地点で, このうち, A から C までは幹線水路上の地点で, A は水路橋の直上流に接続する越流型余水吐, B は越流型余水吐, C は分土工 (円筒分水) であり, C で用水路は二方向に分岐し支線水路となる。D は支線用水路 1 上の, E・F・G は支線用水路 2 上の地点である。

空間線量率の測定では, 施設内外の空間線量を, 施設内では底面もしくは水面から 10 cm および 100 cm, 施設周辺では地面から 100 cm の空間線量率を測定した。測定には, CsI シンチレーション式検出器 (クリアパルス, A2700 型) を用い, 60 秒移動平均が安定したところで $0.01 \mu\text{Sv h}^{-1}$ の単位で読んだ。

堆積物量は, A~C の施設内では, 堆積深の分布を測定して求めた。また, D~F の水路では 125~360 m 程度の範囲を対象に選定し, その中で, 代表的な堆積状況を示す区間や横流入による堆積区間などを抽出して, 長さ方向にはほぼ一定間隔で横断方向に堆積物の測量を行うことで, 堆積量を算出した。

また, 放射性 Cs の分析のため, 代表的または特徴的な堆積物を採取し, 105°C で乾燥した上で U8 容器に詰めて, ゲルマニウム半導体検出器で分析した。なお, 一部の試料では, 採取面積が把握できるよう角型スコップや内径 5 cm の円筒管を用いて水路底まで採取することにより, 単位面積当たりの放射性 Cs 量が把握できるよう配慮した。

2. 農業水利施設および周辺の空間線量率

空間線量率の測定結果を表-1 に示す。地点 A と C では, 周辺と比べて顕著に低い空間線量が測定されたが, これは, 施設内の湛水の影響が大きい。一方, 地点 B では, 施設内の 10 cm 空間線量率が 100 cm より高く, ほぼ周辺の空間線量と同程度となっている。施設内は, コンクリート構造物で囲まれており, 周辺の線量の影響を受けにくい構造となっている。そのため 10 cm の空間線量率が 100 cm より高いのは, 堆積物の影響によるものと考えられる。

同様に, 地点 D や F の一部でも堆積物の影響が見られるが, そのほかの地点では, おおむね周辺の空間線量率よりかなり低い値である。

3. 堆積物の分布

堆積量の測定結果を表-2 に示す。取水口から分土工 C までは, A および B 地点を除くと水路に顕著な堆砂, 堆積物はみられなかった。幹線用水路で水路勾配が $1/2,500$ とやや緩和する B 地点の下流水路の代表点における堆積物は砂質であり, 平均堆積厚は 0.3 cm ときわめて小さい値であった。

一方, 地点 A と B では, 余水吐の掘込み部に局所的な堆積がみられた。堆積は A 地点の掘込み部で主に砂質の堆砂で 0.83 m^3 , よどみ部には泥質で 0.14 m^3 の堆積がみられ, 計約 1.0 m^3 の堆積物がみられた。

施設内の平均堆積厚は, 掘込み部に限ると 3.2 cm, 掘込み部以外では, よどみ部の堆積を平均化すると

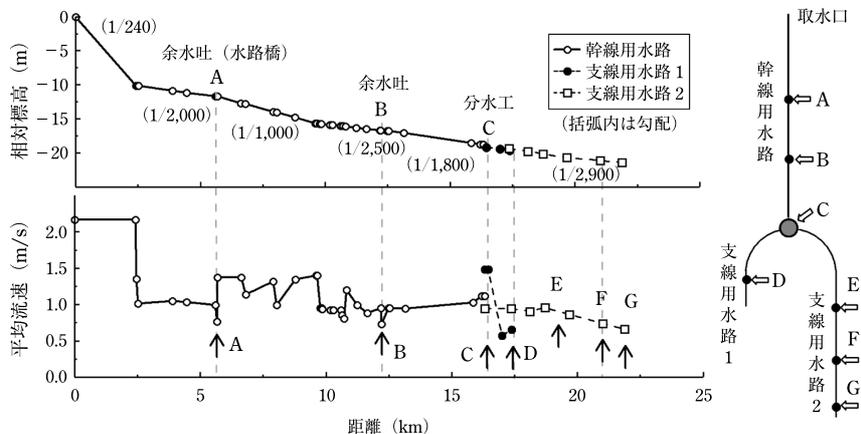


図-1 調査水路の概要, 勾配, 平均流速および調査地点 (A~G)

表-1 水路および周辺の空間線量率 (単位: $\mu\text{Sv h}^{-1}$)

地点	測定箇所	水路内の空間線量率			周辺の空間線量率			湛水状況*3
		10 cm	100 cm	n * 1	10 cm	100 cm	100 cm * 2	
A (余水吐)	掘込部	0.10	0.13	3				○
	水路橋入口	0.19	0.19	1				△
	側道 (歩道)					0.78	1.1	
B (余水吐)	施設内	0.62	0.39	1				△
	周辺水路	0.18	0.19	1				×
	管理道路					0.62	0.65	
C (分水工)	施設内	0.12	0.14	4				○
	管理道路				0.45	0.60	0.78	
D	水路 (堆砂部)	0.65	0.41	3		0.66		△
	水路 (その他)	0.33	0.48	7		0.99	0.77	△
E	水路	0.28	0.38	2			0.68	○
F	水路 (堆砂部)	0.49	0.28	1			0.55	△
	水路 (ゴミ堆積)	0.29	0.26	1				△
	水路 (その他)	0.13	0.22	3				○
G	水路	0.13	0.20	1		0.48	0.56	○

* 1: 測定地点数, * 2: 文部科学省航空機モニタリング (平成 24 年 12 月 28 日)

* 3: 水路の湛水状況: ○湛水, △一部湛水, ×湛水なし

表-2 堆砂量と堆積物

地点	測定箇所	堆砂量		主堆積物	堆砂発生の要因
		局所 (m ³)	平均厚 (cm)		
A (余水吐)	施設	1.0	2.8 (0~35)	砂, 泥, ゴミ	掘込み, 断面拡大
B (余水吐)	施設	1.9	4.9 * (0~29)	砂, 貝, 泥, 枝葉, ゴミ	掘込みなどによる
	周辺水路		0.3	砂	
C (分水工)	施設	1.6	1.1 (0~1.8)	砂	掘込み, 断面拡大 2012 年 6 月に堆砂除去
D (水路) 360 m	区間 1 (6 m)		1.4 (0~6.5)		横流入
	区間 2 (1 m)		1.1 (0~3.0)		
	区間 3 (1.8 m)	0.25	8.0		掘込み (余水吐)
	区間 4 (5 m)		2.8 (1~18)	砂利, 砂	横流入
	区間 5 (12 m)		1.6 (0~3.5)		
	区間 6 (12 m)	0.52	2.1 (0.5~6.0)	泥	断面拡大, 曲線部
	区間 7 (1.5 m)	0.07	1.8 (0~8)	泥	断面拡大など
E (水路) 200 m	区間 1 (2 m)		4.2 (0~13)		土砂流入, 粗大有機物
	区間 2 (1.5 m)		1.0 (0~3.0)		土砂流入, 粗大有機物
F (水路) 125 m	区間 1		0		
	区間 2 (11 m)		0.6 (0~8.5)	泥	曲線部
	区間 3		0		
	区間 4 (8 m)		0.9 (0~5.0)	小礫, 砂	小河川の合流
	局所堆積	0.38		枯草	粗大有機物あり
	区間 5 (8 m)		0.8 (0~5.0)	泥	曲線部

*: 水路幅拡大部および縮小部の底面積は除いて計算

1.6 cm であった。

また, 地点 B では, 施設内に厚さ 0~29 cm の範囲で主に砂質堆積物がみられ, 一部は, 枝葉などの未分解有機物を含む泥状の堆積物で構成され, 総堆積量は 1.9 m³であった。これを余水吐施設の底面積で除して求めた堆積厚さは 4.9 cm である。

また, 地点 C では, 円筒分水内に 1.6 m³の堆砂がみ

られたが, 管理者からの聞き取りによれば, 同地点では 6 月下旬に堆砂の搬出を実施しており, 観測値は約 4 カ月間に発生した堆積量ということになる。

一方, 地点 C より下流の支線用水路では, 平均堆積厚をみると地点 D で 1.1~2.8 cm, 地点 E で 1.0~4.2 cm, 地点 F では 0~0.9 cm であった。この中で横流入の影響を除くと地点 D の特に断面が拡大

する区間6~7で泥状の堆積物の形成が顕著であった。この区間は、上流での分水による流量減少とともに断面拡大、および水路の連続した曲がりによる流速低下が要因と考えられる。曲線部内側における泥状堆積物の形成が目立つ状況であった。下流水路では、ほかの地点でも曲線部内側への泥状堆積がみられた。

4. 用水路内の放射性Cs濃度分布

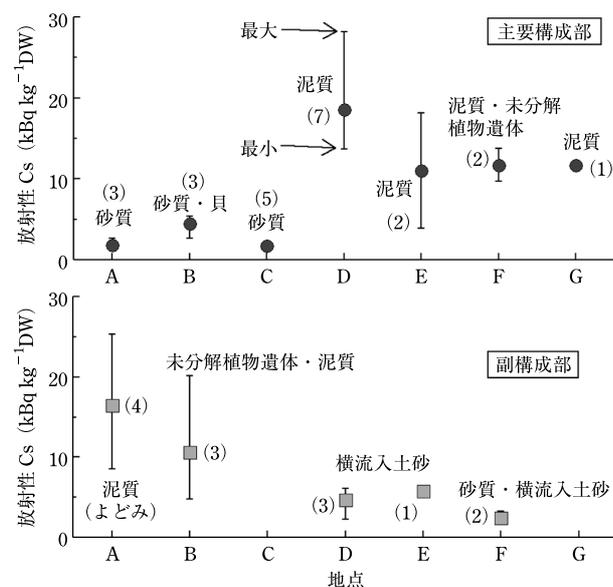
堆積物の放射性Cs濃度の測定値の範囲を図-2に示す。図-2は、堆積物を粒径から、便宜的により体積的に多い主要構成部と少ない副構成部に分けて結果を示したものである。上流部は砂質の堆積物が過半を占め、量的には少ないものの一部に泥質もしくは未分解植物遺体などもみられた。

地点Aの掘込み部にみられる砂質物は放射性Cs濃度が2.1 kBq kg⁻¹であるが、よどみ部の泥質物は16.5 kBq kg⁻¹と高い。同様に地点Bでは、砂質物で4.5 kBq kg⁻¹、泥質物で10.6 kBq kg⁻¹である。

地点Cでは、泥質物はほとんどみられず砂質物が主体を成し、5カ所で採取された底質の分析値のばらつきは小さく平均で1.7 kBq kg⁻¹であった。

下流部の支線用水路では、上流部とは反対に堆積物は主に泥質であり、一部に横流入を起源とする放射性Cs濃度が低い土砂の堆積がみられた。

地点Dでは、横流入の土砂を含む堆積物が2.3~6.1 kBq kg⁻¹であるのに対して、そのほかの泥質物では13.7~28.2 kBq kg⁻¹と高い。地点E、Fでも同様の傾向がみられる。このように下流水路では、泥状堆積物が卓越し放射性Csが比較的高い傾向であった。



* () 内の数字はサンプル数

図-2 堆積物の放射性Cs濃度 (Cs134 + 137)

また、地点Dの比較的形狀が安定した泥状の堆積部で採取された2本のコアサンプル(長さ3~4 cm、厚さ1 cmごとに切断)の分析値の範囲に大差はなく(14.0~19.6 kBq kg⁻¹, 19.6~20.5 kBq kg⁻¹)、鉛直方向に明確な堆積構造は認められなかった。

以上を水路縦断勾配および平均流速と併せて考察すると、勾配が比較的大きな上流部では砂質物を主体とする堆積が、掘込み部など流速が一時的に低下する地点で発生し、一方、勾配が緩やかで流速が低下する下流部の支線用水路では、泥質物を主体とした堆積が生じている。すなわち、一連の水路システムの中で、用水の流下過程で放射性Csを含む土砂が運搬され、土砂の沈降特性に応じた場で堆積することによる分級作用が放射性Csの濃度分布を支配している可能性を示唆している。

ところで、現在水路内に堆積している放射性Csについて、原子力災害当初のフォールアウトの影響か、それとも、その後流水で運ばれてきたものであるか、このことを直接示すデータはない。そこで、手がかりとして、水路内の単位面積当たりのCs137の堆積量を、それぞれの場所へのCs137の沈着量と比較してみる。放射性Cs沈着量は、放射線量等分布マップ^{5),6)}において調査日時が近い2012年12月28日時点(6次調査)のCs137沈着量と比較を行う。

その結果、地点Aで沈着量210 kBq m⁻²に対して堆積量が44~86 kBq m⁻²、同様に地点Cで150 kBq m⁻²に対して8~17 kBq m⁻²、地点Dで140 kBq m⁻²に対して25~315 kBq m⁻²、地点Eで120 kBq m⁻²に対して55 kBq m⁻²となった。このように地点Dの一部を除くと多くの地点で、水路内への放射性Csの堆積は周辺への沈着量より小さい値を示すことがわかった。

以上のように、被災直後に水路内に沈着した放射性Csの多くは用水とともに流下したと考えられ、一部が水路の掘込み部や下流の勾配が緩く流速が遅い水路に堆積した可能性も指摘されるものの、取水によって水源域から流入する放射性Csとの関係性は明確でなくこの点の解明は今後の課題として残される。

IV. おわりに

本報では、福島県中通りに立地する一連の水路システムを対象として、空間線量率や堆積物の発生量、堆積物に含まれる放射性物質の分布の定量化を行うとともに、水路・施設の立地条件と関連づけて解釈することを試みた。その結果、以下が明らかとなった。

- 1) 対象水路への堆砂は、平均堆積厚で上流水路では数mm程度、余水吐や下流水路では1~5cmの範囲であった。

- 2) 水路勾配が比較的大きい幹線用水路上流では掘込み部を中心として、砂質堆積物がみられ、それらの放射性Csは1~5 kBq kg⁻¹と比較的低かった。
- 3) 水路勾配が緩やかで流速が低下する支線用水路では泥状物の堆積が卓越し、それらに含まれる放射性Csは、3~28 kBq kg⁻¹と全般に高かった。
- 4) 水路内の空間線量率は、一般的に湛水の影響を受けて低かったが、堆積面が露出した水路では、空間線量率に堆積物の影響が認められた。
- 5) 水路内の単位面積当たりのCs137の堆積量は、同じ場所へのCs137の沈着量と比較すると、下流水路の一部を除き小さい値を示した。

以上を踏まえて今後の課題を総括すると、①勾配が緩く堆砂が発生しやすい水路では、堆積物の管理作業のあり方が放射性物質の拡散や飛散につながる点に留意が必要である。また、②水源域における放射性物質の沈着量が多い地域を中心に、水路除染後のさらなる堆積の影響を見極める必要がある。さらに、③長期的には除染対象水路の拡大や、水路の複数回除染の制度検討が必要となる可能性がある。なお、以上は、用排水路における継続的な放射性物質の挙動調査の実施を前提とすることに留意されたい。

謝辞 調査実施に当たっては、土地改良区の全面的な協力に加え、東北農政局水利整備課の高橋課長補佐、福島県農地管理課ならびに県北農林事務所の各位にお世話になった。また、多くの関係者に原稿に目を通していただいた。記して謝意を表す。

引用文献

- 1) 東北農政局：福島県内のため池（3回目）及び農業用水路における放射性物質の測定結果について、プレスリリース（2012年9月5日）
- 2) 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）

- 3) 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回研究発表会講演要旨集，農業農村工学会東北支部，pp.138~141（2013）
- 4) 環境省：除染関係ガイドライン第2版（2013）
- 5) 文部科学省：①第6次航空機モニタリングの測定結果，および②福島第一原子力発電所から80km圏外の航空機モニタリングの測定結果について，プレスリリース（2013年3月1日）
- 6) 文部科学省：放射線量等分布マップ，<http://ramap.jaea.go.jp/map/>（参照2013年12月20日）

[2014.1.20.受稿]

久保田 富次郎（正会員）



略歴
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，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所現在に至る

樽屋 啓之（正会員）



1959年 東京都に生まれる
1983年 京都大学農学部農業工学科卒業
農林水産省入省
2012年 農研機構農村工学研究所水利工学研究領域
現在に至る

田中 良和（正会員）



1972年 鹿児島県に生まれる
1997年 筑波大学大学院バイオシステム研究科修士課程修了
農林水産省入省
2012年 農研機構農村工学研究所水利工学研究領域
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