

水管理への ICT 導入による水利秩序の継承と再構築の検討事例

Case Study of Inheritance and Reorganization of Local Irrigation Water Management with ICT

友正 達美*
(TOMOSHO Tatsumi)

中矢 哲郎*
(NAKAYA Tetsuo)

藤山 宗*
(FUJIYAMA So)

武馬 夏希*
(BUMA Natsuki)

I. はじめに

農業用水の送配水管理において、ダム、頭首工等の基幹的施設については従来からテレメータ・テレコントロールシステム (TM/TC) による遠方監視、制御が行われており、また、末端の圃場については、近年、耕作者が情報端末等から操作する圃場水管理システムが開発され¹⁾、普及が始まりつつある。今後は水源から圃場まで農業水利システム全体を対象とした情報通信技術 (Information and Communication Technology, 以下「ICT」という) の導入が期待されており、支線水路レベルでは試験的な導入が始まっているが²⁾、その際には、地域ごとに歴史的に形成されてきた水利秩序 (施設システムおよび社会システムによって秩序づけられる水利用の秩序)³⁾への影響を十分に考慮し、制度資本としての現在の水利秩序を継承しつつ、時代の要請に合わせて再構築することが重要な課題であると考えられる。

本報では、水管理への ICT 導入による水利秩序への影響要素を抽出し、実際の灌漑地区を対象とした ICT 導入の構想立案において、水利秩序への影響を検討した事例について紹介する。

II. ICT 導入による水利秩序の継承と再構築

水管理への ICT 導入による水利秩序への影響について、Ostrom が提示した持続的な資源管理組織の指標⁴⁾から検討する。図-1 の左列は、Ostrom の 8 指標であり、右列は各指標について、土地改良区等のわが国の農業用水の配水管理組織の構造、特徴を記載している。この中で、農業用水管理への ICT 導入と配水の秩序に関係する要素を抽出し整理した。既存の灌漑地区に ICT を導入する場合、8 指標のうち①、②、⑦、⑧は所与と見なし得る。③は、本来は規則修正への参加という規則の形成プロセスを意味するが、ここでは形成された規則が継続した結果としての配水に関する合意自体が所与の条件として機能することから、要素

持続的な資源管理組織の指標 ⁴⁾	農業用水の配水管理組織
① 組織の明確な範囲	受益地、受益者は明確
② 受益者の得る便益と受益者の負担の連動	水利費の賦課は面積割りが一般的
③ 運営規則の修正への参加	要素 1：配水に関する合意 (慣行を含む) が存在
④ 共有資源の状況と受益者の行動の監視	要素 2：合意に沿った配水操作を実施、要素 3：配水が適切かどうかを監視
⑤ 運営規則を破った受益者への段階的な制裁	要素 4：配水が適切でない場合に対応を協議
⑥ 受益者間、あるいは受益者と役職者間の紛争解決能力	
⑦ 受益者が自らの組織を作る権利の保障	耕作者を主体とする組織化
⑧ 多層化組織体制	土地改良区と下位の水利組織等、水路網の構造に応じた多層的な組織

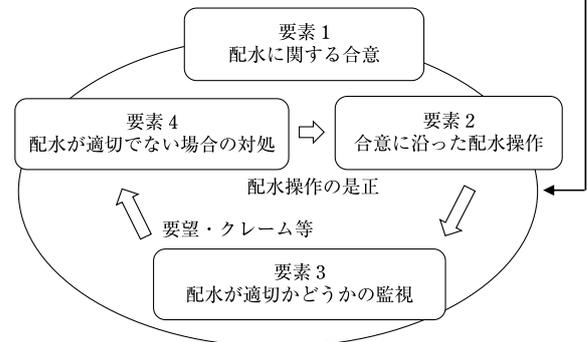


図-1 農業用水の配水管理組織の構造と配水の秩序に関する要素 1~4

1：配水に関する合意、とした。④は資源利用の状況と監視であるが、配水の水利秩序は受益者が水を農地で利用する以前の配水操作が問題となること、また ICT 導入は遠方監視のみの場合と遠方制御 (操作) を含む場合があるため、ここでは、要素 2：合意に沿った配水操作、要素 3：配水が適切かどうかの監視、の 2 要素に分けた。⑤、⑥はそれぞれ規則からの逸脱に対する罰則と紛争 (conflict) の解決であるが、わが国の配水管理組織では明示的な罰則の適応よりは組織内の協議で問題解決が図られることが一般的と考えられることから、⑤、⑥をまとめて、要素 4：配水が適切でない場

*農研機構農村工学研究部門

合の対処（紛争処理）とした。配水に関する水利秩序は、配水を巡る潜在的な対立関係を含んだ組織の内部で、要素1~4が均衡を保ちながら合意を遵守していく過程と捉えることができる。

配水管理にICTを導入する場合、技術の性格から水位等のモニタリングの導入が先行しやすい。これは水利用の“見える化”であり、図-1では要素3の監視の技術的な強化を意味する。もし、ICT導入による“見える化”が、これまで以上に多くのクレームを発生させ、潜在化していた配水を巡る紛争を表面化させることがあれば、配水管理組織は対処（要素4）を求められ、その成否は従来の水利秩序を揺さぶるものになる可能性を持つ。農業水利システムへのICT導入に当たっては、こうした水利秩序への影響を慎重に検討することが重要と考える。以下、実際の灌漑地区へのICT導入の構想立案について、その内容と水利秩序の継承・再構築の方向を検討した事例を紹介する。

III. 実際の灌漑地区における検討事例

1. 対象地域の概要と配水の現状

検討の対象は、北陸地方の低平地に位置し、河川から取水するA幹線用水路（ $L=7.4\text{ km}$ 、 $I=1/5,000$ ）およびその受益地（水田約700ha）である。A幹線用水路から分岐する主要な支線用水路は10路線程度であり、支線の受益には用水ポンプ掛りと開水路掛りが存在する。

A幹線用水路における用水の分水操作は、主に水路内に設置された堰板による水位調整（写真-1）を通じて実施されている。A幹線用水路にて流量観測を実施したところ、普通期に、中流より下流において実測が計画を下回り、末端水路では用水未到達の状況が見られ、中流域での支線への過剰分水による配水不均等の問題が顕在化した⁵⁾（図-2横軸の分水地点は図-3に対応し、-a、-bはそれぞれ分水地点上流、下流を示す。空白は分水地点以外での流量観測地点を示す）。また、A幹線用水路の最下流（図-3のQ10より下流側）では、反復利用ポンプを用いて、排水河川からの用水補給が行われている。機場の運転記録から、灌漑期間を通じてほぼ恒常的に反復利用ポンプが運転されている。幹線用水路を管理する用水管理組織、および支線用水路、機場を管理する組織（以下、「工区等」という）に聞き取り調査を行った結果、分水操作は慣行に従いおおむね一定のゲート開度で行っていること、反復利用ポンプの運転は、各工区等の判断で行っていること、配水に問題が生じた場合には、幹線用水路の組織で協議するのが原則であるが、実際には配水に関する協議はあまり行われていないことが確認された。なお、用



写真-1 堰板の設置による支線用水路への分水操作

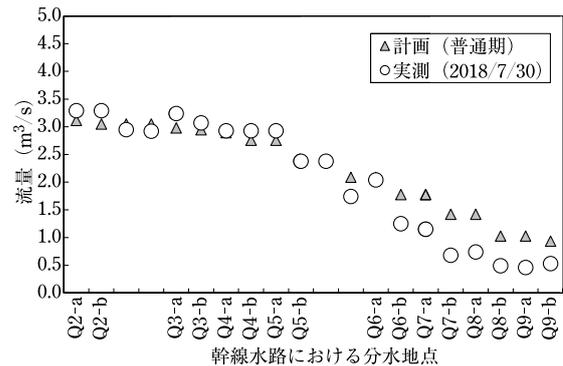


図-2 流量観測の結果に基づく配水不均等の状況

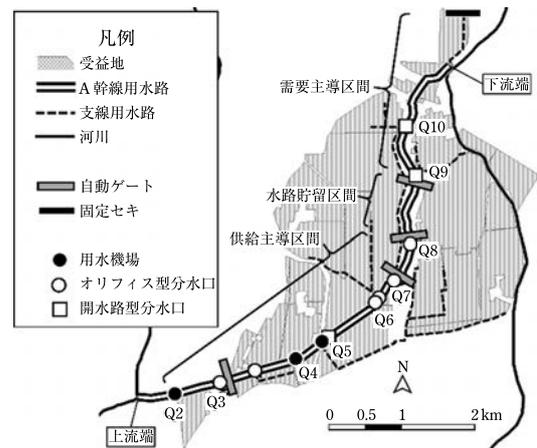


図-3 ICTを導入した配水操作方法の検討案

水不足が生じているA幹線用水路の最末端の工区等と、その上流の主要な分水工を管理する工区等との間では時折協議が行われ、一定時間、用水の融通を行うことにより配水の不均等が是正されている。具体的には、写真-1の堰板の枚数を減じて、下流への送水量を増加させており、その期間はある日の夕方から次の日の朝までといった限られた時間である。

水利秩序の観点からは、A幹線用水路は、慣行に基づいた操作を行いながらも、実際に生じている上流優位の配水不均等の問題を、幹線用水路レベルの組織での協議による分水操作の厳格化ではなく、主に反復利用ポンプを運転することで解決していると見られる。

なお、反復利用ポンプの運転費用（電気料金）は他の幹線用水路を含めて広域的に会計処理されており、ポンプ運転費用の節約が分水操作厳格化の動機づけになりにくいことも背景要因と考えられる。

2. 要素1~4を考慮したICT導入の検討結果

(1) **配水に関する合意（要素1）** 本地区では、上記のように慣行的な操作で生じる配水不均等の問題を反復利用で解消しており、長年継続している配水管理組織内に、現在深刻な対立関係は生じていない。このことから、現在の水利秩序を継承する観点から、水管理へのICT導入に際し、基本的には現在の地域の配水に関する合意に変更が生じないことを前提条件とした。

(2) **合意に沿った配水操作（要素2）** 本地区における配水不均等の問題を解消することを目的として、**図-3**に示す配水操作方法を検討した。幹線用水路内に調整ゲート⁶⁾を4門設置して、上流域を供給主導型の上流水位制御方式、中流域を水路内貯留による調整区間、下流域を需要主導型の下流水位制御方式とする⁷⁾。この方法により、次のとおり配水不均等の問題が解消すると期待される。

① 上流域では、上流水位一定制御によりこれまでの上流優位の配水操作が比較的守られる。また幹線用水路水位が必要水位に維持されるため、支線用水路への分水ゲート開度が一定であっても分水量が計画の範囲内に維持される。

② 下流域では、水路内貯留を活用し、反復利用ポンプの利用頻度が減少する可能性がある。

この配水操作方法を実現するためには、幹線用水路における水管理（ゲート操作による水位・流量の調整）をこれまでよりも厳密に行う必要がある。しかし現在の組織体制では、機側手動あるいは遠方手動のゲート操作は水管理労力の観点から困難となることが予想され、ICTを導入した遠方監視制御による自動化の検討が有用である可能性が高い。なお、アメリカ土木学会は、灌漑システムへ自動化を導入するガイドラインとして13段階のステップ（たとえば第1ステップは、受益者への配水サービスの現況の水準を確認すること）を推奨しており⁷⁾、今後このような観点から、現場へICTを導入するプロセスの検討が必要である。

(3) **配水が適切かどうかの監視（要素3）** 本地区では、A幹線用水路へのICT導入の構想を検討するため、配水の現状を観測するための遠方監視システム（クボタ社製、KSIS）を設置している（**写真-2**）。本システムは、用水路5地点、用水機場3地点の計8地点の子局から携帯端末によるデータ伝送を行いWebブラウザ上での監視を可能とするクラウド方式で構築している。用水路および用水機場の監視項目は、それぞれ



写真-2 ICTを活用した遠方監視システムの設置状況

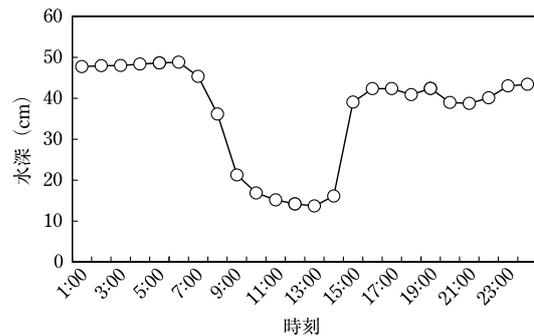


図-4 水位監視データの例（2019/7/31）

れ水位（用水路）、吸水槽水位、ポンプ運転状況ON-OFF、ポンプ流量等（用水機場）である。A幹線用水路の末端に位置する監視地点における水位監視データの例（2019年7月31日）を**図-4**に示す。7時より上流水路における支線用水路への分水操作に起因した大幅な水深低下が生じ、10～14時の間は20cm以下で推移し、水深が回復するのは15時以降である。こうした水利用の時間的な変動は、配水管理を行う組織の役員、水路近くに自宅や農地を持つ耕作者には目視で確認できた事項と思われるが、ICT導入に伴い得られたデータについて、どこまでの閲覧範囲で“見える化”を行うかは、Web監視画面へのアクセス権の設定方法など、関係者による検討が必要である。技術的には適切な配水を行うためのデータであっても、計画と実態のズレの“見える化”は、前述のように潜在的な対立関係を表面化させる可能性を持つためである。

(4) **配水が適切でない場合の対処（要素4）** 本地区では、幹線用水路の配水不均等に対して、反復利用ポンプによる用水補給で対応（是正）し、配水不均等による紛争の表面化を回避している。今後、ICTの導入によって前述の要素2、3の対策が機能した場合には、反復利用ポンプの稼働が少なくなることも効果の一つとして期待される。

3. 検討結果から抽出されたICT導入の検討方向

以上をまとめた、配水の秩序の継承と再構築を考慮したICT導入の検討方向を**表-1**に示す。本地区の配水は、合意に基づく慣行に従って行われているが、現

表-1 配水の秩序の継承と再構築を考慮した ICT 導入の検討方向

配水の秩序の要素	A 地区の現状	ICT 導入の検討方向
要素 1: 配水に関する合意	支線用水路、機場ごとの組織（工区等）がそれぞれの用水計画および慣行に従い幹線用水路から取水する。問題が生じた場合は幹線用水路の組織で協議する。	基本的に変更しない。ただし、幹線用水路のゲート操作者が幹線用水路単位の組織から土地改良区に移行する等、組織の役割分担が変化する可能性に留意する。
要素 2: 合意に沿った配水操作	灌漑期間中の支線用水のゲート操作は頻繁ではなく、幹線用水路では配水不均等が見られる。	ICT を導入したゲート操作で幹線用水路の水位を制御し、配水不均等を解消する。
要素 3: 配水が適切かどうかの監視	工区等が自地区の配水状況を確認しているが、工区等での相互監視はあまり見られない。	ICT を導入して幹線用水路内の水位を監視するが、監視情報を閲覧可能な“見える化”の範囲は、関係者で検討する。
要素 4: 配水が適切でない場合の対処	配水が不足する場合、反復利用ポンプの運転で補っている。他の工区等への取水操作の厳格化の要求等の紛争は顕在化していない。	配水不均等を幹線用水路の制御で解消し、反復利用ポンプの運転を抑制する。監視の“見える化”の範囲を適切に設定し、過度な紛争の顕在化を避ける。

状では、幹線用水路からの分水の調整はやや厳密さを欠き、その結果生じる配水の不均等を反復利用ポンプの恒常的な運転で補っている。今後、ICT を活用した、配水操作方法（要素 2）と監視システム（要素 3）の導入によって配水の不均等の解消と反復利用コストの低減が期待されるが、同時に、組織の役割分担の変化（要素 1）や“見える化”の強化による紛争の顕在化（要素 3、4）といった配水の水利秩序への影響も想定される。今後、これらの現状と課題をもとに、“見える化”の適切な範囲の設定等、水利秩序を継承しつつ ICT を活用した再構築を図る検討を進める予定である。

IV. おわりに

本報では、農業用水の配水の水利秩序の構成要素を抽出し、A 幹線用水路を対象に、水利秩序の継承・再構築に配慮した ICT 導入の構想立案の事例を紹介した。農業水利システムへの ICT 導入は、水利用の合理化、省力化を実現する有効な手段となりうるが、その技術的な性格から、現状における配水の問題点をも“見える化”し、利水者間の紛争を顕在化させるリスクを持つことに十分に注意する必要がある。本報が、現場での検討や設計の一助となることを期待する。

謝辞 本報で紹介した ICT 導入の検討は農研機構生研支援センター「生産性革命に向けた革新的技術開発事業」（2018～2020 年度）の支援を受けて実施しているものである。ご協力いただいた同事業コンソーシアムの関係各位に謝意を表します。

引用文献

- 1) 坂田 賢, 野坂浩司, 田中 正, 建石邦夫, 加藤 仁: 情報通信技術を組み込んだ給水機を利用した圃場水管理の省力効果, 農業農村工学会論文集 305, pp.I_177~I_183 (2017)
- 2) 中矢哲郎: 支線レベルの水利施設における ICT を活用した水管理システムの開発と実証, JACEM 69, pp.5~11 (2019)

- 3) 志村博康: 水利秩序論 (その 1) -1.総論-, 農士誌 48 (12), pp.60~66 (1980)
- 4) Ostrom, E.: Crafting Institutions for Self-Governing Irrigation Systems, ICS Press, pp.67~79 (1992)
- 5) Buma, N., Nakaya, T., Azechi, I., Kimura, M. and Fujiyama, S.: A numerical model for hydraulic entire irrigation canal system, Trans. of 3rd World Irrigation Forum (2019)
- 6) 藤山 宗, 中矢哲郎: 底流と越流が複合したチェックゲートの水理特性に関する実験的研究, 土木学会論文集 B1 (水工学) 75(2), pp.I_457~I_462 (2019)
- 7) American Society of Civil Engineers: Canal Automation for Irrigation Systems, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice 131, pp.12~17, 75~86, p.120 (2014) [2020.3.10.受理]

友正 達美 (正会員)



1963年 静岡県に生まれる
1988年 京都大学大学院修士課程修了
2020年 農研機構農村工学研究部門農地基盤工学研究領域
現在に至る

略 歴

中矢 哲郎 (正会員)



1974年 愛媛県に生まれる
1998年 明治大学大学院農学研究科修了
2016年 農研機構農村工学研究部門水工学研究領域水利システムユニット
現在に至る

藤山 宗 (正会員)



1981年 長崎県に生まれる
2006年 (株)三祐コンサルタンツ入社
2017年 鹿児島大学大学院連合農学研究科修了
2019年 農研機構農村工学研究部門水工学研究領域
現在に至る

武馬 夏希 (正会員)



2016年 農研機構農村工学研究部門
現在に至る