

水田地帯の水文環境保全に配慮した 灌漑排水技術に関する研究 —美唄地区における開水路系農区における水収支と水質—

寒地土木研究所 水利基盤チーム ○越山 直子
大津 武士
川口 清美

生産効率を向上させるために、圃場の大区画化などが進められている。こうした基盤整備により、水稻栽培方式の多様化に伴う水需要の変化や圃場群からの流出機構の変化が生じ、水田地帯の水文環境へ影響を及ぼすと予想される。そこで、美唄地区において、開水路系で整備された農区を対象に、流入量、流出量、水質濃度等を調査した。本報では、農区における水収支および配水管理用水による水質保全機能について報告する。

キーワード：大区画水田、開水路、水収支、配水管理用水、水質

1. はじめに

北海道は、日本における主要な農業地帯の一つであり、大規模で専門的な農業が展開されている。その一方で、農業者の高齢化に伴う農家戸数の減少により、担い手への農地集積が急速に進行している。そこで、農業経営のさらなる大規模化に対応するために、労働生産性の向上をねらいとして、用水路のパイプライン化、水田圃場の大区画化および地下水水位制御システムの整備が進められている。こうした整備に伴い、圃場の用排水管理や、農区や灌漑区域における流出機構の変化が予想されている。

一般的に、開水路地区では、灌漑用水の一部は農地を経由せずに、用水路末端から排水路へ流出する。この流出水は、末端まで不足のない送配水を行うために必要な水量であり、配水管理用水という。圃場整備において、用水路が開水路系からパイプライン系へ変化する場合、この配水管理用水は消失する。その結果、排水路流量の減少やその水位の低下が生じ、農業地域の水環境にも影響を及ぼす可能性がある。例えば、石狩平野の水田地帯に点在する河跡湖では、農業用排水路からの流入量の減少やそれに伴う水質の悪化などが懸念される。しかし、配水管理用水による水質保全機能については、農業用排水路流末部が接続する湖沼の水質希釈に寄与している例²⁾があるが、その評価事例はほとんどない。圃場整備前後にわたり、農業地域の水環境を保全するためには、開水路系およびパイプライン系の農区水収支の変化を把握し、適切な対策を立案する必要がある。

筆者らは、平成28年度より、開水路系で整備された農区を対象に、流入量、流出量、水質濃度等の調査を行っている。今後、パイプラインで整備された地区においても同様の調査を行い、開水路系およびパイプライン系における水収支構造および周辺水文環境への影響を明らかにする予定である。本報では、開水路系を有する農区における農区水収支の特性および圃場整備済み農区における配水管理用水による水質保全機能について報告する。

2. 地区概要

調査対象地区は、北海道の美唄市に位置する2つの農区である。A農区は圃場整備済みであり、B農区は圃場整備が未実施（以下、未整備）であり、両者とも開水路系である。各農区の概要を以下に記す。

(1) 整備済み農区（圃場群A）

A農区の概要を図-1(i)に示す。この農区は、2015年に圃場整備が実施された。農区面積は約30haであり、圃場一筆の面積は1ha程度である。農業用水は、支線用水路から、農区内の西側および東側に位置する小用水路へ分水される。これらの用水路は開水路形式であり、圃場へ取り入れられなかった農業用水の残水（配水管理用水）は、用水路最下流部から支線排水路へ流出する。また、圃場排水はすべて、農区内の西側あるいは東側に位置する小排水路を通じて、支線排水路へ流出する。

農区内の圃場では、地下水位制御システムが整備されており、水閘の流出孔の高さを変えることにより、圃場の地下水位調節が可能である。このシステムにより、農家は、地表灌漑あるいは地下灌漑、両者併用というように灌漑方法を選択できる。

2016年および2017年における農区内の作付は、水稻移植栽培は約18ha（18筆）、乾田直播栽培は約1ha（1筆）、湛水直播栽培は約2ha（2筆）、転作田は約11.5ha（11筆）であった。耕作農家数は4名であり、圃場の水管理操作は、各農家の判断により行われた。以下、農区A内の調査対象圃場群を「圃場群A」と呼ぶ。

(2) 未整備農区（圃場群B）

B農区の概要を図-1(ii)に示す。農区内の北側および西側の水田（3.5ha、11筆）では水稻移植栽培が行われ、転作田（8.6ha、8筆）では小麦および大豆が作付けされた。水田一筆の面積は0.3ha程度である。農業用水は、支線用水路（開水路）から小用水路（開水路）を経由し、水田圃場へ取水される。農業用水の残水は、農区内の土水路を経由して、支線排水路へ流出する。農区内の一部の水田では、田越し灌漑が行われていた。圃場排水はすべて、圃場から直接、あるいは排水路（土水路）を経由して、農区北側および東側の支線排水路へ流出する。一部の暗渠排水は、水閘の故障により開放されたままとなっており、集水渠から地下排水が0.7L/s程度流出していた。農

区内で耕作する農家数は3名であり、そのうち2名が水田圃場を耕作していた。圃場の水管理操作は、各農家の判断により行われた。

農区水収支は、農区内の北側の圃場群（以下、「圃場群B」と呼ぶ）を調査対象とした。この圃場群Bの面積は4.1ha（うち水田は1.9ha）である。

3. 調査方法

(1) 農区調査

a) 水収支調査

圃場群Aおよび圃場群Bにおいて、それぞれ水収支調査を行った。各圃場群における観測地点の位置を図-1に示す。用水路および排水路の流量観測は、2017年の灌漑期間に月1回程度行った。各流量観測地点においてH-Q曲線を作成し、10分間隔で観測した水位データを用いて、灌漑期間における流量をそれぞれ推定した。圃場群Aからの排水量 D_A は、(1)式により算定した。

$$D_A = FD_{A1} + FD_{A2} \quad (1)$$

ここで、 FD_{A1} 、 FD_{A2} ：圃場群A内の各小排水路の流量で

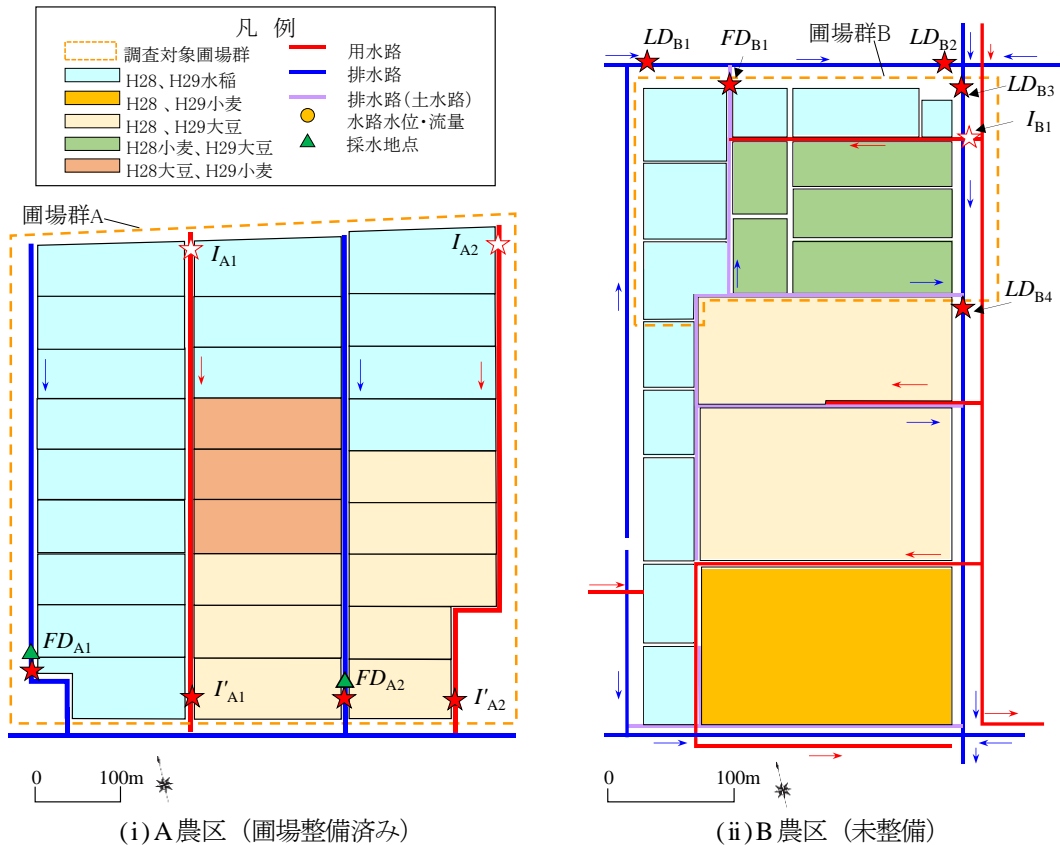


図-1 調査地区の概要

ある。

圃場群Bからの排水量 D_B は、(2)式により算定した。

$$D_B = LD_{B2} - LD_{B1} + LD_{B4} - LD_{B3} - FD_{B1} \quad (2)$$

ここで、 LD_{B1} 、 LD_{B2} 、 LD_{B3} 、 LD_{B4} ：B農区の排水が流入する各支線排水路の流量、 FD_{B1} ：小用水路からの残水量である。

気象観測は、農区A内において、調査期間中に実施した。蒸発散量は、観測データを用いてペンマン法により推定し、作物係数（陸稲）を乗じて求めた。

b) 水質調査

A農区内の各小排水路（ FD_{A1} 、 FD_{A2} ）において、農区水収支の定期調査と同日に採水を行った。また、集中調査として、2016年の代かき・田植え期間（5月13日～6月20日）において、A農区内の小排水路（ FD_{A1} ）の下流部

に自動採水器を設置し、6時間間隔で採水を行った。採水した試料について、SS、T-N、T-Pの分析を行った。

(2) 広域調査

農区Aおよび農区Bを含む集水域内に位置するN支線用水路および幹線排水路（M1、M2、M3）において、農区水収支の定期調査と同日に、流量観測および採水を行った。観測地点の位置を図-2に示す。採水した試料について、SS、T-N、T-Pの分析を行った。

4. 結果および考察

(1) 圃場群水収支と圃場水管理

各圃場群における水収支を図-3に示す。水収支の計算は、水田が湛水され、水収支が安定していると思われる



図-2 広域調査の概要

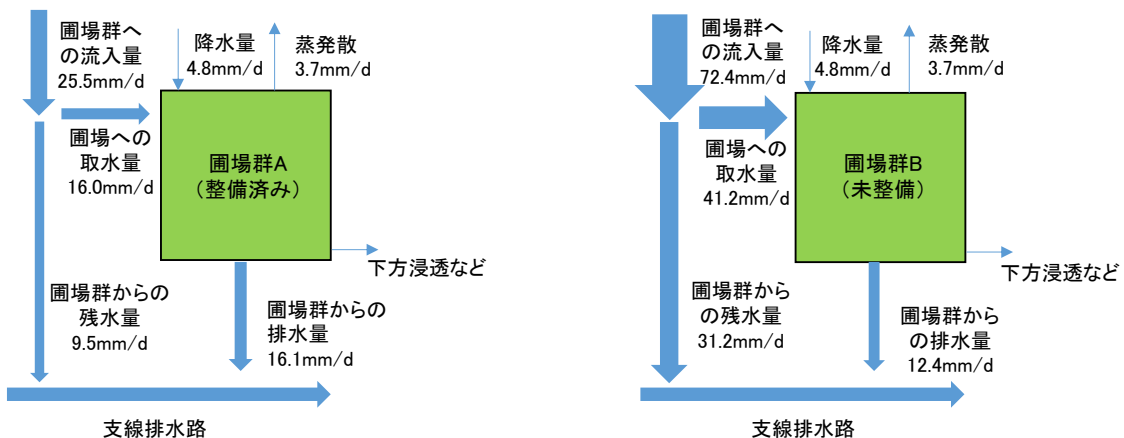


図-3 各圃場群における水収支（2017年）

6月から7月までを対象とした。各項目の水量は、対象期間における平均値である。

整備済みである圃場群Aでは、灌漑期間を通じて小用水路へ農業用水が通水されており、圃場の取水および排水の操作は圃場ごとに行われていた。これに対して、未整備である圃場群Bでは、田越し灌漑が行われている圃場のうち、最下流に位置する圃場の落口から常に排水が生じていた。これは、水管理を省力化すると同時に、各圃場へ不足なく灌漑するために掛け流しが行われていたと考えられる。圃場群Bからの排水量は、圃場群への流入量に対して小さい値であった。その理由として、圃場群からの流出量は、圃場排水のほか、水路の漏水や圃場における下方や横方向への浸透などが生じていた可能性がある。

ここで、圃場群への取水量に対する残水量の割合を「配水管理用水率」として、各圃場群について算定した。この結果、圃場群Aでは37%、圃場群Bでは43%と同程度であった。しかし、上記のように、各圃場群の水管理が異なることから、渇水の有無や気象条件などによっては、配水管理用水の発生率は異なると考えられる。この点については、今後、他年度のデータと合わせて分析を行う必要がある。

(2) 配水管理用水が排水路の水質に与える影響

A農区では、小用水路の残水 (I_{A1} , I_{A2}) と小排水路からの排水 (FD_{A1} , FD_{A2}) は、支線排水路で合流する。ここでは、主として圃場排水が流入する小排水路における水質濃度の特性について述べる。

a) 灌漑期間における小排水路の水質濃度

A農区内の小排水路 (FD_{A1} , FD_{A2}) の灌漑期間における水質濃度 (SS, T-N, T-P) の推移を図4に示す。いずれの水質項目についても、水質濃度は、代かき期 (5

月) の値が大きく、普通期の値が小さい傾向がみられた。特に、代かき期では、水田主体の小排水路 (FD_{A1}) の方が畑地主体の小排水路 (FD_{A2}) の値を大きく上回っていた。その理由として、前者では、水田面積が多いことから、水田の代かきに伴う濁水がより多く流入していたためと考えられる。

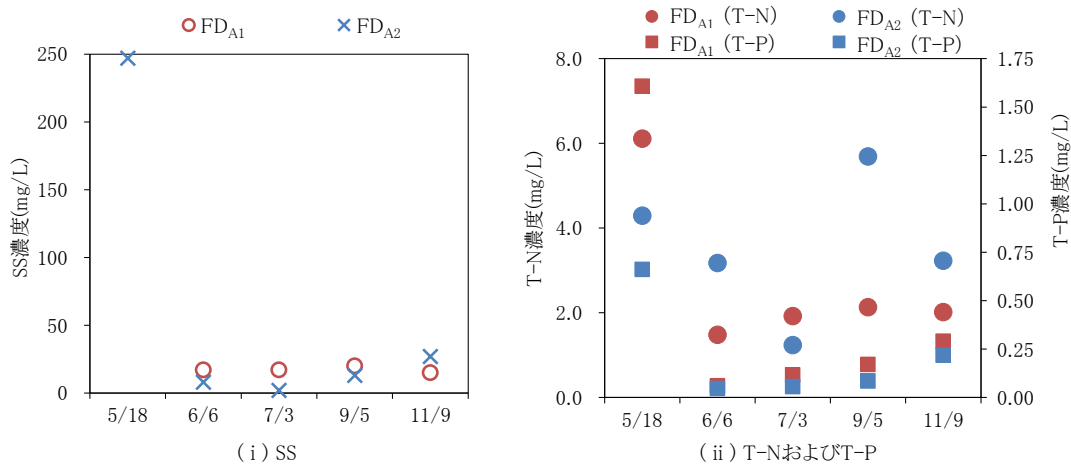
b) 代かき・田植え期間における農地排水の水質濃度

代かき・田植えが行われる5月～6月におけるA農区の小排水路 (FD_{A1}) の水質濃度の推移を図5に示す。5月10日から5月30日までの期間における平均濃度は、それぞれT-N:3.5mg/L、T-P:1.8mg/L、SS:759mg/Lであった。圃場群Aの栽培管理をみると、移植栽培では、5月14日に代かき取水が行われた後、5月17日に代かき、5月28日に田植えが行われた。湛水直播栽培では、5月13日に代かき取水、5月15日に代かき、5月17日に播種が行われ、乾田直播栽培では、5月10日に播種および初期取水が行われた。5月にみられた水質濃度の2つの上昇ピークは、代かきおよび田植えにより生じたと考えられる。代かき・田植え後の3週間における平均濃度は、それぞれ1.3mg/L、0.08mg/L、31mg/Lまで低下した。

c) 配水管理用水による農地排水の希釈効果

灌漑区域内の幹線用水路 (N) および幹線排水路 (M1, M2, M3)、小排水路 (FD_{A1} , FD_{B1}) の水質濃度を図6に示す。灌漑区域内における幹線用水路はコンクリート製であることから、調査圃場群の小用水路における水質濃度は、支線用水路における水質濃度の値と同程度であると考えられる。ここで、小排水路 (FD_{A1} , FD_{B1}) と幹線排水路 (M1, M2, M3) における水質濃度を比較すると、後者の水質濃度の値が低くなっていた。このことから、用水路の残水が農地排水の希釈に寄与していたと推察される。

そこで、配水管理用水による水質希釈効果を評価する



※ FD_{A1} の5/18におけるSS濃度=2255 mg/L

図4 A農区の小排水路における水質濃度 (定期調査)

ために、図-6中の5月18日の定期採水時の流量および水質濃度のデータを用いて、A農区の小排水路（ FD_{A1} ）と小用水路の残水（ I'_{A1} ）が合流した後の支線排水路における水質濃度 C_L を(3)式により推定した。

$$C_L = \frac{C_I I'_{A1} + C_{A1} D_{A1}}{I'_{A1} + D_{A1}} \quad (3)$$

ここで、 C_I ：農業用水の水質濃度、 C_{A1} ：小排水路の水質濃度、 I'_{A1} ：小用水路の残水量、 D_{A1} ：小排水路の流量である。

各水質濃度の推定結果を表-1に示す。また、これらの推定値は、図-6に示す5月の幹線排水路（M1、M2、M3）の値に近いものであったことから、計算結果は妥当であり、実態を反映していると考えられる。また、T-P、SSについてもほぼ同様の結果が得られた。よって、灌漑期初期において、開水路系における用水路からの残水は、小排水路における高濃度の圃場排水を希釈し、そ

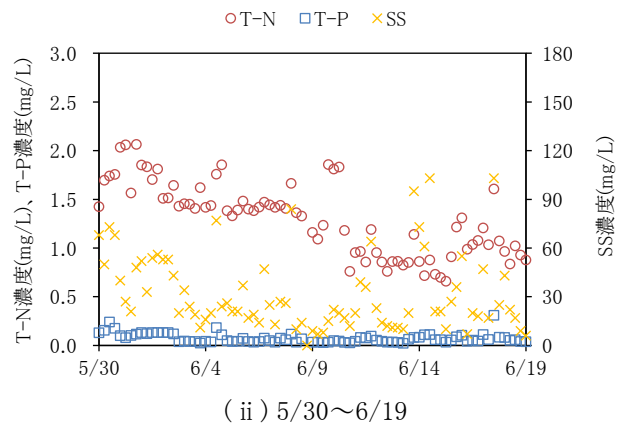
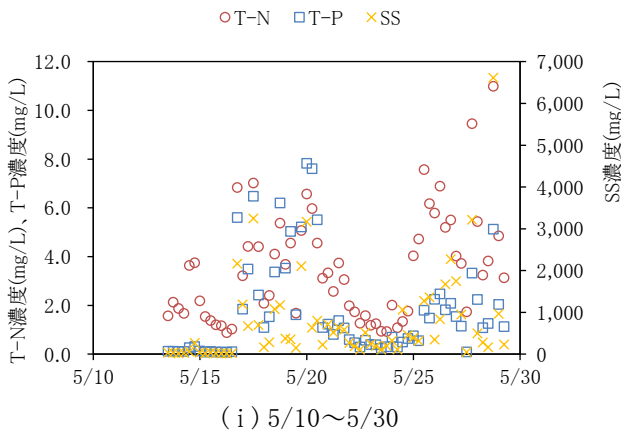
の結果、幹線排水路の水質濃度の低下させ、水質保全に寄与していることが示唆された。

(3) 水質保全機能の発揮にむけた課題

用水路形式が、開水路系からパイプライン系へ変化する地域では、配水管理用水が考慮されなくなることから、前述したような水質希釈機能が低下するおそれがある。将来、パイプライン整備された後もこの機能を維持するためには、地域環境を保全するための用水を確保することで可能であると考えられる。

5. おわりに

開水路系である整備済みおよび未整備の農区における水収支、整備済み農区における排水管理用水の水質保全機能について、それぞれ調査を行った。結果は、以下のとおりである。



注) ※(i)と(ii)では、縦軸のスケールが異なる。

図-5 A農区内の小排水路（ FD_{A1} ）における水質濃度（5月～6月）

表-1 配水管理用水合流後における推定水質濃度（農区A）

水質項目	合流前濃度* FD_{A1} (mg/L)	合流後濃度 $FD_{A1}+I'_{A1}$ (mg/L)	濃度低下割合 (%)
T-N	6.1	1.2	80
T-P	1.6	0.20	88
SS	2,255	233	90

*合流前濃度は実測値である。

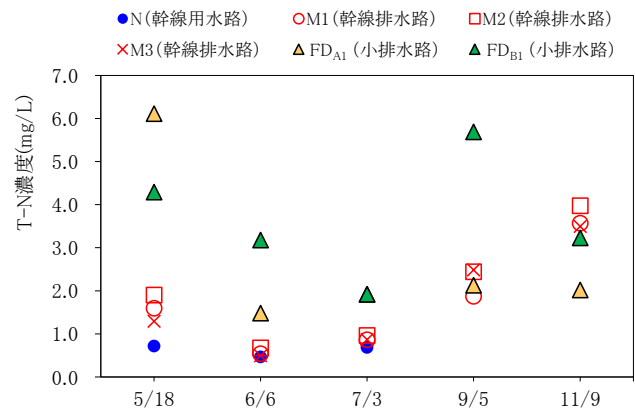


図-6 小排水路および幹線排水路における T-N 濃度

- ① 整備済み圃場群と未整備圃場群の水収支を比較した結果、配水管理用水はどちらも40%程度であった。しかし、このように、各圃場群における水管理が異なっていたことから、気象条件等によっては、各農区における配水管理用水量が異なると考えられる。
- ② 灌漑期間における幹線排水路の水質濃度（SS、T-N、T-P）は、農地排水が主体となる小排水路の値よりも低かったことから、農業用水の残水による希釈機能が示唆された。また、灌漑期初期における希釈効果を推定した結果、高濃度の圃場排水の水質濃度を90%程度低下させていることがわかった。
- ③ 用水路形式が、開水路系からパイプライン系へ変化する地域では、配水管理用水が考慮されなくなることから、前述したような水質希釈機能が低下するおそれがある。将来、パイプライン整備された後もこの機能を維持するためには、地域環境を保全するための用水を確保することで可能であると考えられる。
- 今後、パイプライン形式の事業地区における農区調査のデータを蓄積し、配水管理用水量の有無が農区の水収支および負荷収支に与える影響を明らかにする。これら

をあわせて、河跡湖が点在する大規模水田地帯における水文環境保全対策を提案する。将来的には、農地周辺の水質保全のほか、水生生物の生息空間の保全や、泥炭農地の沈下抑制するための地下水位管理などを考慮した水循環および水環境の管理手法の確立に必要となると思われる。

謝辞：本研究の実施にあたり、北海道開発局農業水産部農業振興課、北海道開発局札幌開発建設部岩見沢農業事務所、美唄市土地改良センター、北海土地改良区美唄事業所、調査協力農家の関係諸氏より多大な協力を賜った。ここに記して、深謝申し上げる。

参考文献

- 1) 丸山利輔、中村良太、水谷正一、渡辺紹裕、黒田正治、豊田勝、荻野芳彦、中曾根英雄、三野徹：水利環境工学、朝倉書店、pp. 58-70、1998.
- 2) 越山直子・三沢眞一・豊田勝：都市化農業地域を集水域とする湖沼の水質モデル、農業土木学会論文集、No. 222、pp. 47-53、2002.