

## 印旛沼における循環灌漑の水質保全効果の評価

*Evaluating Conservation of Water Quality by the Application of Circulation Irrigation System*

永 瀧 正 夫\* 岡 田 祐 也\* 皆 川 裕 樹\*\*  
(NAGABUCHI Masao) (OKADA Yuya) (MINAKAWA Hiroki)

### I. はじめに

昭和59年7月に、全国にある指定湖沼の水質改善を目的とした「湖沼水質保全特別措置法」が制定されてから約35年が経過したが、各指定湖沼とも一部を除いて環境基準の達成には至っていない。その要因の一つとして、面源系負荷の削減が困難なことが挙げられる<sup>1)</sup>。この面源系負荷のうち、農業由来のものについては、農地の生産性を維持しつつ肥料投入量を削減するなどの対応が技術的にも難しく、また生産者にとっても収量減などの懸念があり心理的にも難しいことから、対策は困難といえる。

そのような状況の中、国営印旛沼二期農業水利事業（以下、「二期事業」という）は、全国初の水質保全型の国営かんがい排水事業「国営流域水質保全機能増進事業」として平成22年度に着工した（平成34年度に完了予定）。本地区の主な水利施設は完成後40年以上が経過しており、老朽化や機能低下が進んでいたほか、地域の用水需要変化や維持管理経費・労力の改善が課題となっていた。このため二期事業では、老朽化した用排水施設を再編し更新するとともに、新たに「循環灌漑」のための施設を整備する計画とした。限りある水資源を有効に活用する循環灌漑は、水田排水を再利用することで水需要に良い効果をもたらすと同時に、農業用水および印旛沼の水質保全に資する計画としている。

ここでは、上記事業の実施地区である印旛沼地域において、循環灌漑の実施によって発揮される水質保全効果について評価検討した取組みとその結果を報告する。

### II. 循環灌漑の水質保全効果

#### 1. 関連文献のレビュー

循環灌漑実施地区は全国にいくつか存在する。その水質保全効果についてみるため、関連文献のレビューを行った。そのうち、琵琶湖での調査事例2つと、

霞ヶ浦での事例1つについて簡単に延べる。

1つ目の事例は、循環灌漑と琵琶湖の水を揚水して利用する従来の灌漑（逆水灌漑）を実施する琵琶湖沿岸の水田流域において、窒素とリンの物質収支を調査した事例である<sup>2)</sup>。循環灌漑は代かき期から中干し前まで、逆水灌漑は中干し後から落水まで実施されているが、循環灌漑の実施により余剰水の排出が削減され、それとともに窒素とリンの流出負荷が削減されることが確認された。循環灌漑時と逆水灌漑時の物質収支の比較から、循環灌漑は少なくともT-Nで120 g/(ha・d)、T-Pで15 g/(ha・d)の流出負荷を削減したことが示された。

2つ目の事例は、同じく琵琶湖において農業排水の再利用による水稻作付時期の栄養塩類などの流出負荷低減効果について、定量的に評価した事例である<sup>3)</sup>。この地区では2カ年の調査によって、作付期間を通じた用水量全体のうち33~34%を循環水が占めていた。また、この循環灌漑によって地区外に流出される窒素の35%（2カ年平均）が削減され、リンについても60%が削減されたと評価されている<sup>3)</sup>。

3つ目は、霞ヶ浦湖岸水田地区の用排水機場を利用する地域を対象に、灌漑期における水収支と物質収支を求めた事例である。霞ヶ浦湖岸には水田が広く分布し、灌漑用水としては湖水が使用されている。農業排水は、主に堤脚水路を通して霞ヶ浦へ直接排出されるが、同時に排水の再利用もされている。湖岸水田地区の循環利水機構が整備された結果、用水の約57%が排水の循環水で占められていた。また、COD、T-N、T-Pの物質収支より、霞ヶ浦への排水負荷量から霞ヶ浦からの取水負荷量を引いた差引き排出負荷量はCODで-25 kg/ha、T-Nで-2.4 kg/ha、T-Pで-0.07 kg/haとなり、3成分とも排水負荷量よりも取水負荷量の方が大きかった<sup>4)</sup>。一方で、降雨時には霞ヶ浦への流出負荷量が増加する傾向がみられ、その原因として堤脚水路に負荷が蓄積していることが考えられた。堤脚水路の底泥を浚渫した後の循環灌漑で

\* (株)日水コン

\*\* 関東農政局印旛沼二期農業水利事業所



循環灌漑、水質保全、生態系モデル、負荷削減量、効果評価

は、T-P に関して負荷の減少が顕著にみられ、霞ヶ浦への排水負荷量が減少し、差引き排出負荷量は浚渫前で  $-0.3 \text{ g}/(\text{ha}\cdot\text{d})$  であったのに対し、浚渫後は  $-6.4 \text{ g}/(\text{ha}\cdot\text{d})$  となった<sup>5)</sup>。

このように、循環灌漑は利水や環境の面で大きな効果があることが報告されている。

## 2. 国営印旛沼二期農業水利事業における循環灌漑の仕組み

本事業地区の概要を図-1 に示す。当地区では、従来は農業用水を印旛沼から取水して農地へ配水し、最終的に末端の低地排水路に集まった排水を全量ポンプで沼へ排出する方法を取っていた。事業によって新たに整備する循環灌漑システムでは、低地排水路に戻ってきた農業排水を再度取水できる用水機場を整備することで、印旛沼→低地排水路→用水機場→農地→低地排水路→用水機場…という水の循環を構築する(図-2)。その際、低地排水路の水位が規定より低下するとその不足分を補うために水利権の範囲において沼から取水する。二期事業で整備する全体で6機の用排水機場のうち、図-1 に示す5機で循環灌漑が実施される計画である。これまでに、白山甚兵衛機場(平成27年4月～)、宗吾北機場(平成29年4月～)が完成し、すでに循環灌漑が開始されている。

## III. 印旛沼二期地区の水質状況とモデル構築

### 1. 当該地区の水質特性

これまで、低地排水路を中心に、4～8月の灌漑期に月1回の頻度で採水し、COD、窒素、リンなどの水質状況を把握してきた(平成24～29年)。その結果より、循環灌漑実施後すでに3年間が経過した白山甚兵衛ブロックの農業用水と取水源である印旛沼内の水質を比較した。比較結果を、T-N を例として図-3 に示す。図より、平成27年度以降に3年間循環灌漑を継続したものの、農業用水水質の悪化などの悪影響は現れておらず、印旛沼の水質と同等で大きな差はないことが明らかとなった( $t$ 検定でも低地排水路と沼の水質の間に有意差はない)。また循環灌漑導入前(平成26年)と導入後(平成27～29年)の水質にも大きな差はみられない。このように、当該地区の水質はおおむね印旛沼と同程度のレベルにあり、T-N についてみると、脱窒による窒素負荷量の削減効果が多くは見込めない状況にあった。一方、代かき期、田植え期および降雨時には土粒子が混ざった濁度の高い水が排水路に流入し、それに伴い肥料または土粒子に由来すると思われる T-N、T-P の上昇がみられた。

### 2. 実測値からみた機場ブロックの負荷収支

前述の白山甚兵衛ブロックを対象に、機場における

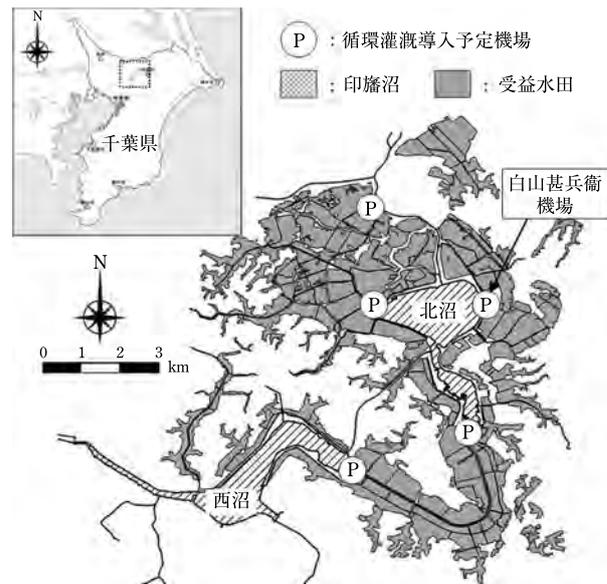


図-1 国営印旛沼二期地区の概要

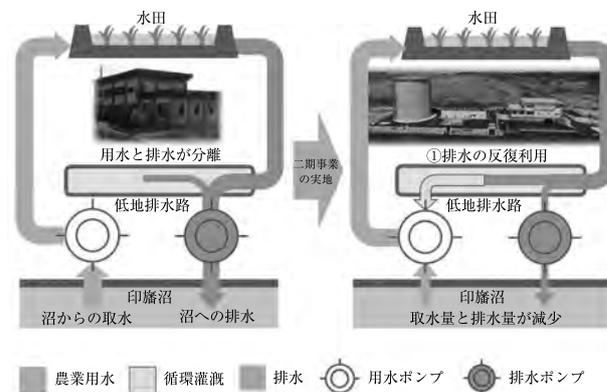


図-2 二期事業における循環灌漑の仕組み

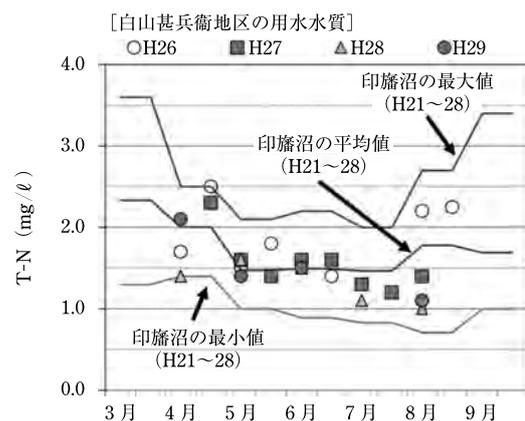


図-3 循環灌漑開始前後の農業用水と印旛沼内の水質比較(T-Nの例)

用排水量の実績と、そのときの低地排水路の水質測定結果を用いて、印旛沼からの取水と沼への排水に伴う負荷収支を推定した。表-1 は COD の例であるが、平成26年までは排水負荷量が大きく、沼に対して負荷を排出している状況であった。しかし循環灌漑が開始

表-1 観測値から推定した印旛沼と低地排水路の水収支および負荷収支（COD の例）

項目	水量 (千 m <sup>3</sup> /d)						負荷量 (kg/d)					
	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H24	H25	H26	H27	H28	H29
取水	94.5	103.2	85.9	48.2	52.8	56.2	200.9	255.1	27.6	185.5	260.1	221.4
排水	49.1	46.2	41.5	21.0	27.0	13.8	372.7	326.6	250.3	131.6	47.1	78.0
差分 (排水-取水)	-45.4	-57.0	-44.5	-27.2	-25.8	-42.4	171.8	71.5	222.7	-53.9	-213.0	-143.4

された平成 27 年以降は排水負荷<取水負荷となっており、沼から見ると水質保全に良い効果が現れている可能性が示された。一方で、実測値では年ごとの比較はできるものの、年によって気象条件なども異なることから、水質保全効果を定量的にみるためには、同じ気象、営農条件下において循環灌漑を行った場合、行わなかった場合の比較が望まれる。そのため、水質予測モデルを構築し、循環灌漑の「あり・なし計算」の結果を比較して、その効果を評価することとした。

### 3. 水質予測モデルの構築

二期事業の実施に当たり、地区調査段階である平成 15～21 年度に、循環灌漑の水質保全効果を予測するモデルが構築され、循環灌漑による窒素負荷量の削減効果が評価されている。しかしながら、下水道などの整備によって低地排水路の水質が変化してきている可能性があることから、事業着工後の平成 24 年度より、前述のように印旛沼二期農業水利事業所が継続して水質調査を実施している。その結果から明らかとなった当該地区の水質特性を踏まえて、循環灌漑導入による水質保全効果を評価するための水質予測モデルを構築するに当たり、具備すべきと判断した条件は以下のとおりである。

- ① 既往事例では、循環灌漑によって SS、T-P も削減効果ありとの報告があったことを踏まえ、保全対象の印旛沼の環境基準項目である COD、T-N、T-P、SS を評価できること。
- ② 低地排水路の水質が上昇する代かき期や降雨時

の水質変動を評価できること。

- ③ COD の増加につながる植物プランクトンによる内部生産現象を表現できること。
- ④ 降雨、印旛沼との取排水、農業用水供給を予測できること。

以上を踏まえてモデルを構築し、同一気象条件における循環灌漑「あり」・「なし」の状況をそれぞれ計算し、両結果を比較することで水質保全効果を評価した。

### 4. モデルパラメータの同定

構築した水質予測モデルの基本構成を図-4 に示す。印旛沼からの取水量および水田への給水量は、実測値から受益面積比率を用いて推定し、圃場および背後地からの水量はタンクモデルにより算出した。その際、印旛沼への排水量および低地排水路の水位変動を再現できるように、タンクモデルのパラメータを決定した。このようにまず水収支モデルを構築し、そこで算出した水田排水量に対して同地区での既往調査で得ている LQ 式（流量と排出負荷量の関係式）を適用して、水田からの排出負荷量を算定した。その後、圃場および背後地からの排水が流入する低地排水路内の水質を再現できるように、適用した低次生態系モデル<sup>6)</sup>における沈降および内部生産に関するパラメータを同定した。

## IV. 水質保全効果の評価結果

構築したモデルを用いて、平成 24～29 年のそれぞれ

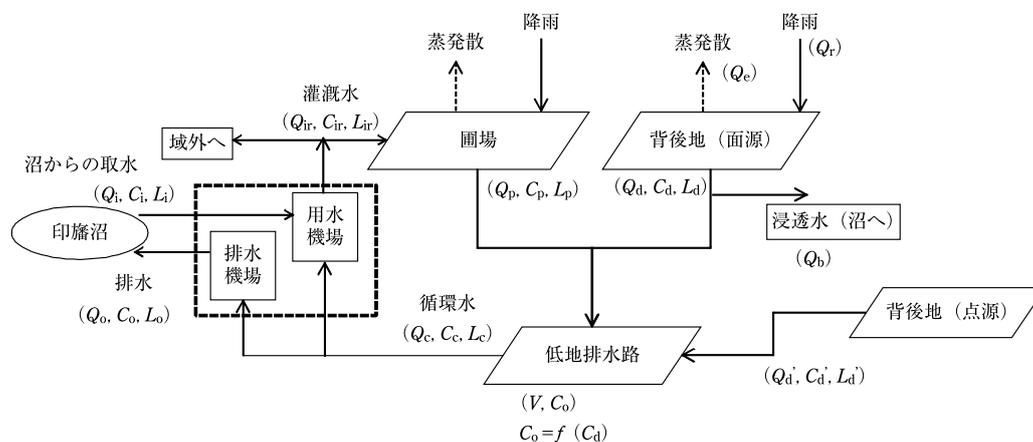


図-4 循環灌漑の水質保全効果評価のための水質予測モデル構造

れの年において循環灌漑の適用「あり」・「なし」の両方の計算を同一の気象条件で実施した。その結果より、沼からの取水負荷量（取水と共に印旛沼から除去される負荷量）から沼への排水負荷量（印旛沼への排水と共に沼へ供給される負荷量）を引いた値を負荷削減量として算定した。この値が正值であれば、印旛沼に対して負荷を削減したことになり、沼に対しては浄化の方向に働くことを意味する。また、負荷削減量を「あり」と「なし」で比較することにより、循環灌漑導入による水質保全効果の発揮について評価できる。表-2はCODについての水質保全効果評価結果である。まず「なし」の場合は、負荷削減量が負値となる年が多いが、「あり」では正值となる年が多い。次に、循環灌漑の効果量として、「あり」の負荷削減量から「なし」の負荷削減量を差し引いた値を算出すると、平成24～29年の各年において効果量は正值となり、循環灌漑を行うことによって水田灌漑に伴い印旛沼に排出される負荷量が削減される効果が確認された。循環灌漑によって印旛沼への負荷量が削減される理由として、循環灌漑によって排水量そのものが大きく減少したことに加え、降雨流入時には「なし」の方が「あり」に比べ水質が悪くなる傾向にあったことが影響していると推察される。これは、「あり」では取水に備えて低地排水路の水位を高く保つ（＝貯水量が多い）ことから、水質に影響する濁水に対する希釈効果が高いためであると推察される。

## V. おわりに

ここでは、国営事業地区において循環灌漑の導入による水質保全効果の評価する取組み事例を報告した。現在は1機場ブロックのみでの評価であるが、本手法が確立されると他ブロックでも順次評価に取り組み、最終的には地区全体の効果として国営事業などがもたらす効果を示すことが重要であると考えている。

また、この二期事業での取組みは、農業用排水と水質保全の問題が絡み合う類似地区（たとえば秋田県八郎潟など）への応用も考えられる。そのためにも、全国のさまざまな地区において利用可能となるよう、詳細な現地調査の実施や、大学の取組みなどと連携を取りながら検討を継続し、水質保全効果およびその評価精度の向上を目指していきたい。

## 引用文献

- 1) 環境省水・大気環境局水環境課：非特定汚染源対策の推進に係るガイドライン（第二版）（2014）

表-2 水質保全効果の評価結果（CODの例）

(kg/d)					
年	循環灌漑	取水負荷量	排水負荷量	負荷削減量	効果量*
H24	なし	200.9	372.7	-171.8	85.6
	あり	45.8	132.0	-86.2	
H25	なし	255.1	326.6	-71.5	175.7
	あり	181.9	77.7	104.2	
H26	なし	27.6	250.3	-222.7	155.0
	あり	10.8	78.5	-67.7	
H27	なし	331.5	493.8	-162.4	216.3
	あり	185.5	131.6	53.9	
H28	なし	455.3	377.0	78.3	134.7
	あり	260.1	47.1	213.0	
H29	なし	401.8	397.2	4.5	138.9
	あり	221.4	78.0	143.4	

\*効果量＝循環灌漑ありの負荷削減量－循環灌漑なしの負荷削減量

- 2) 濱 武英, 中村公人, 三野 徹：循環灌漑を実施する水田流域の窒素・リンの物質収支, 農業農村工学会論文集 250, pp.91～97 (2007)
- 3) 饗庭直樹, 大林博幸, 蓮川博之, 山田善彦：水田地域における循環かんがいによる流出負荷低減効果, 滋賀県農業技術振興センター研究報告 50, pp.37～45 (2011)
- 4) 北村立実, 黒田久雄, 山本麻美子, 根岸正美, 田淵俊雄：霞ヶ浦湖岸循環利水水田地区の水収支と物質収支, 農業農村工学会論文集 267, pp.35～41 (2010)
- 5) 北村立実, 吉尾卓宏, 黒田久雄：霞ヶ浦湖岸水田地帯の堤脚水路の底泥を浚渫したことによる循環灌漑の負荷削減効果, 農業農村工学会論文集 287, pp.87～93 (2013)
- 6) 土木学会：水理公式集 平成11年版 (1999)

[2018.7.2.受理]

## 略 歴

永瀨 正夫 (正会員・CPD 個人登録者)



1964年 東京都に生まれる  
1989年 筑波大学大学院環境科学研究科修了  
(株) 日本コン入社  
現在に至る

岡田 祐也



1988年 兵庫県に生まれる  
2013年 大阪市立大学大学院工学研究科修了  
(株) 日本コン入社  
現在に至る

皆川 裕樹 (正会員)



1981年 愛媛県に生まれる  
2005年 愛媛大学大学院農学研究科修了  
2007年 農研機構農村工学研究所研究員  
2017年 農林水産省関東農政局印旛沼二期農業水利事業所環境専門官  
現在に至る