

野洲川下流地区における循環かんがい方式の水質汚濁成分 排出削減効果

誌名	滋賀県農業試験場研究報告
ISSN	0388855X
巻/号	33
掲載ページ	p. 63-70
発行年月	1991年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



野洲川下流地区における循環かんがい方式の水質汚濁成分排出削減効果

柴原藤善・小林正幸・田中靖志

The Effect of Return Flow Irrigation on Reduction in the Outflow of Eutrophic Materials from a Group of Paddy Fields in the Lower District of the Yasu River

Fujiyoshi SHIBAHARA, Masayuki KOBAYASHI
and Yasushi TANAKA

農業排水を広域的に反復利用することにより、水田群からの水質汚濁成分の流出を削減するため、野洲川下流の琵琶湖辺に整備された循環かんがい施設の排出削減効果を、夏期の33日間調査した。

- 1) 排水の集水面積は用水供給面積の15%であった。また、排水の循環量は、 $1.9 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{日}$ で、全用水量のわずか4.4%であった。
- 2) 再利用される排水と琵琶湖水とが混合された循環かんがい用水の平均水質は、T-N 0.27, T-P 0.029, COD 3.1, SS $3.2 \text{ mg}/\ell$ と農業用水水質基準値よりも低かった。
- 3) 農業排水の反復利用モデルを考案し、循環かんがいによる水質汚濁成分の排出負荷削減効果を評価したところ、33日間の差引き排出負荷の削減量は、T-N 50, T-P 5, COD $70 \text{ g}/\text{ha}$ と低かった。

1. 緒 言

滋賀県では琵琶湖の富栄養化防止の観点から、農業排水についても施肥および水管理の改善等による様々な水質保全対策が講じられている。

また、水田では硝酸態窒素の除去能が高いことから⁵⁾、地形連鎖を利用した農業排水の反復利用が提唱されている⁶⁾。従来は主たる用水源を河川・地下水・溜池に依存していたため、上流の排水が頻りに反復利用され、現在でも中山間地域の谷津田において、茶園排水が集水された溜池を水源とした場合には、高い硝酸塩除去効果が認められている²⁾。

しかし、近年では湖水を利用する逆水かんがい区域

が増加したと併せて、圃場整備事業の進展により用排水路が分離されたこと等により、農業排水が反復利用される機会が減少している。また、湖辺地域からの農業排水は琵琶湖への流達距離が短く、排水路での浄化がほとんど期待できないという問題点がある。

これらの対応策には、揚水機場の給水槽へ、隣接する排水路から農業排水を導入して循環再利用する「循環かんがい」が考えられる。長谷川ら¹⁾は、湖辺の水田群で、循環かんがいによる排出負荷削減効果を調査し、排水の循環率によって効果が左右されること、また水稲への影響が少ないことを報告している。現在、琵琶湖へ直接排水している地域のうち、その半分の5500 ha、25揚水機場で循環かんがいが可能とみら

れることから、滋賀県では、1985年に野洲川地区、石田川地区で施設整備に着手し、その後も順次事業を推進している。

そこで筆者らは、野洲川地区の循環かんがい施設について、実態調査を行うとともに、循環かんがいによる排出負荷削減効果を評価するため、モデル解析を試みたので報告する。

なお、本調査は農林水産省の農村地域水質広域管理計画調査の一環として行った。

2. 方法

2.1 調査地区の概要

調査地区の概要を図1に示す。琵琶湖の南東部湖辺の野洲郡中主町に位置する野洲川下流平坦地域の水田群であり、土壤統群名は細粒グライ土および中粗粒グライ土である。揚水機場の用水供給面積は2,209haであり、そのうち342ha（排水集水面積）からの排水が、揚水機場周辺にある八軒堀および江口川の排水路を経て琵琶湖に流入している。揚水機場に取水する排水は八軒堀と江口川が合流したものであり、ひ門を閉じて排水路の水位を上昇させ、さらに導水ゲートを開けて給水槽に流入させ、琵琶湖水と混合させる。

排水と湖水が混合した循環かんがい用水は、パイプライン方式で圃場に供給されている。

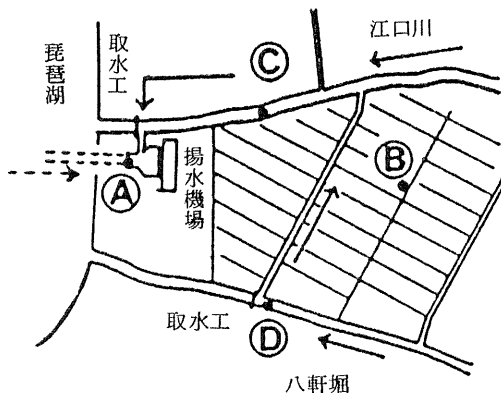


図1 調査地域の概要と採水地点

注: 1) 調査場所

野洲郡中主町（野洲川下流地域）
 循環用水供給面積 2209 ha
 排水集水面積 342 ha
 （江口川、八軒堀流域）

2) 採水地点

① 琵琶湖水、② 循環かんがい用水
 ③ 江口川合流排水、④ 八軒堀排水

2.2 水質調査

採水は、琵琶湖水（A）、循環かんがい用水（B）、江口川合流排水（C）および八軒堀排水（D）の4カ所において1986年7月14日～9月14日の間に6回行い、分析に供した（図1）。分析項目は、pH、EC、T-N、T-P、CODおよびSSとした。分析方法は、環境庁告示140（1983）に準拠したが、T-Nについては微量窒素分析装置（Yanako Model TN-7）により測定した。

2.3 水量調査

排水の循環量および循環かんがい用水量（揚水量）を8月13日～9月14日の33日間にわたって調査した。排水の循環量は、導水ゲートの開度、幅および上下流の水位差から算出し、循環かんがい用水量は、送水パイプに設置した超音波流量計の記録を用いた。

3. 結果および考察

3.1 用排水の水質

循環かんがいに使用される江口川合流排水の水質は、pH 6.6～7.3、EC 188～232 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、T-N 0.88～1.76、T-P 0.056～0.232、COD 2.9～7.3 mg/ℓ の範囲にあり、採水時期が遅くなるにつれて濃度が低下する傾向にあった。また、八軒堀排水では江口川合流排水よりも濃度が低かった（図2）。

循環かんがい用水は、排水が混合されているため、琵琶湖水よりもやや濃度が高いものの大差なく、平均水質がpH 8.4、EC 121 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、T-N 0.27、T-P 0.029、COD 3.1、SS 3.2 mg/ℓ と低かった。これらの値は、pHを除いて農業用水基準以下であることから、循環かんがいによって水稻の生育収量に悪影響を及ぼすことはほとんどないと考えられる（表1）。

3.2 循環かんがい用水量および用水流入負荷量の推移

循環かんがい用水量は、 $60 \sim 129 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{day}$ で推移し、期間計で $3141 \times 10^3 \text{ m}^3$ であった。また、期間中の用水流入負荷量は、T-N 827、T-P 88.8、COD 9840 kg となり、排水の循環量が循環かんがい用水量に占める割合は、水量が4.4%で、成分でみるとT-N 19.3%、T-P 17.5%、COD 6.0%であ

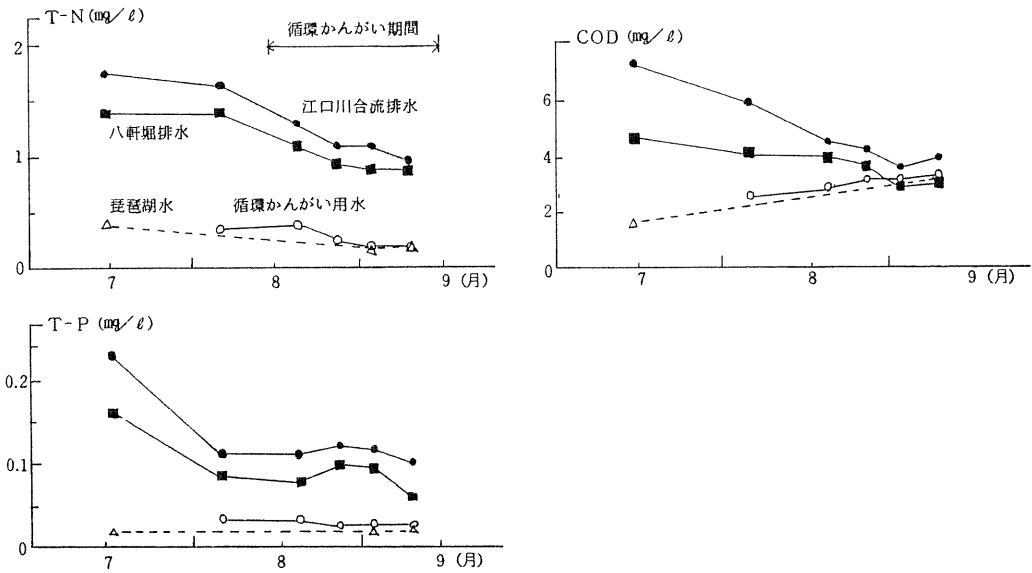


図2 循環かんがい地区における用排水質の推移

表1 循環かんがい地区における用排水の平均水質

採水地点	pH	EC	T-N	T-P	COD	SS
		$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/ℓ			
A 琵琶湖水	8.6	113	0.25	0.020	2.6	2.7
B 循環かんがい用水	8.4	121	0.27	0.029	3.1	3.2
C 江口川合流排水	7.0	202	1.31	0.133	5.0	10.8
D 八軒堀排水	6.9	197	1.10	0.095	3.8	7.0

表2 循環かんがいによる用水流入負荷量の内訳 (2209 ha当たり)

用水	用水量 ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	用水流入負荷量 (kg)		
		N	P	COD
琵琶湖水の用水量 (A ₀)	3004	667	73.3	9250
排水の循環量 (A)	137	160	15.5	590
(総)循環用水量 (B=A ₀ +A)	3141	827	88.8	9840

った(図3, 表2)。

単位面積当りの排水の循環負荷量を表3に示す。まず、排水集水面積当りでみると、排水の循環負荷量は、長谷川ら¹⁾が調査した能登川町福堂地区で、本調査とはほぼ同時期(7月20日~9月17日, 60日間)の値(T-N 60.9, T-P 5.95, COD 258.3 g/ha・日)

に比べて明らかに低かった。また、循環かんがい用水供給面積当りでみると、排水の循環負荷量は、さらに低下した。これらの結果は、福堂地区の揚水場は揚水時に常時排水が導入される構造であるのに対し、本地区では、排水の導入ゲート開放時間を1日当り最大で6時間に限定したため、排水の循環量が低下(排水集

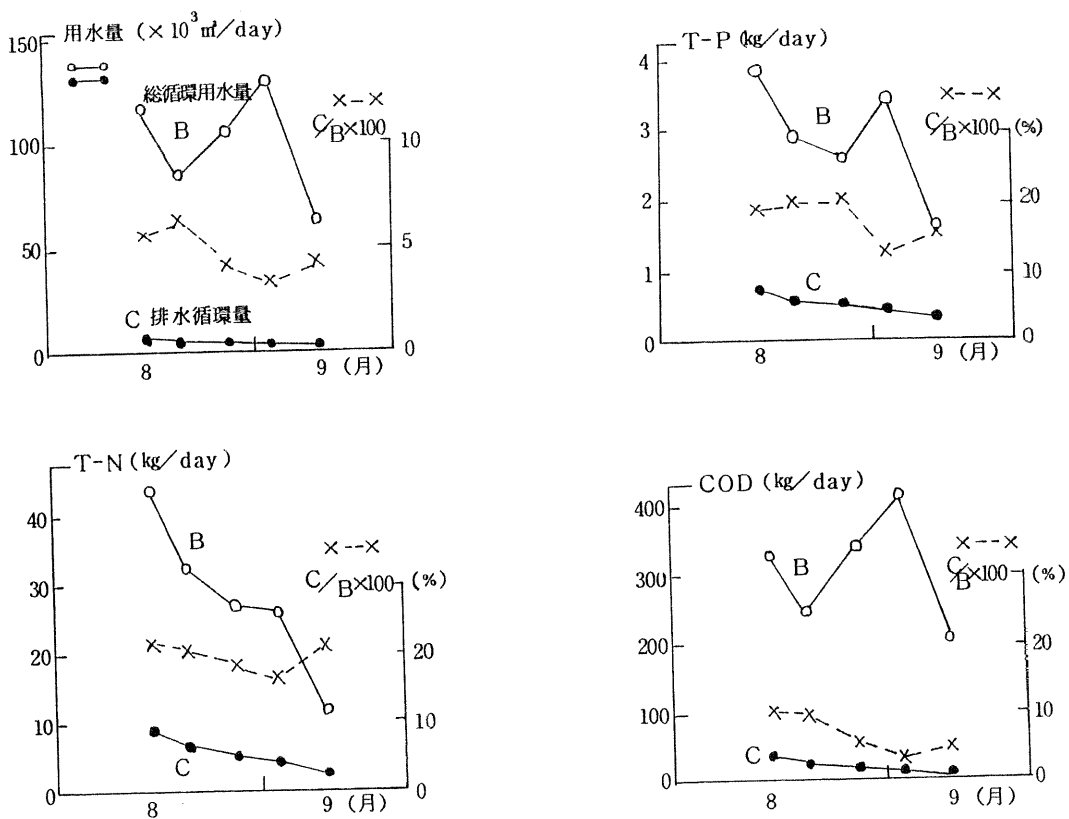


図3 日当たり用水流入負荷量の推移

表3 単位面積当たりの排水循環負荷量

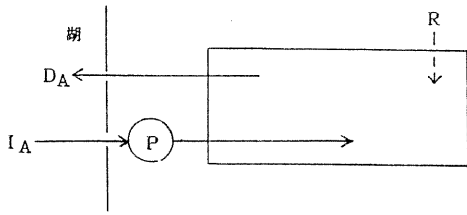
対象地域	排水の循環量 ($\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{日}$)	排水の循環負荷量 ($\text{g}/\text{ha} \cdot \text{日}$)		
		N	P	COD
排水集水面積当たり	1 2.1	1 4.2	1.3 6	5 1.5
循環用水供給面積当たり	1.9	2.2	0.2 1	8.2

水面積当りで福堂地区の30%)したことが、また排水の集水面積率が15%と低いのが大きな理由であると考えられる。

3.3 循環かんがいによる排出負荷削減効果の評価

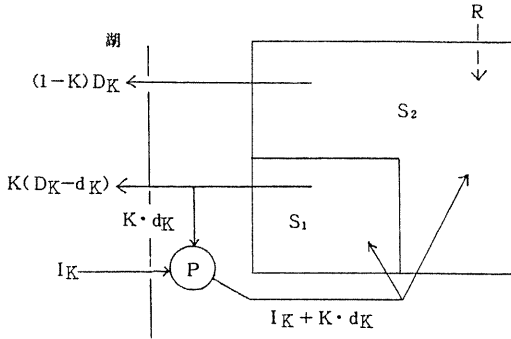
水田における用排水の利用形態には、大きく分けて用排水分離型、循環かんがい型、上流排水の反復利用

型の3種類が考えられる。この場合、同一の気象および環境条件で、しかも同一の施肥および水管理を行うことができる用排水分離型および循環かんがい型の水田群が存在すれば、循環かんがいによる排出負荷削減効果を正確に評価することが可能であるが、現実には非常に困難である。そこで、図4に示すように「農業排水の反復利用モデル」を提案し、排出負荷削減効果を左右する要因を解析して、循環かんがいの方式を評



用排水分離型 (対照)

$$P_A = D_A - (I_A + R)$$

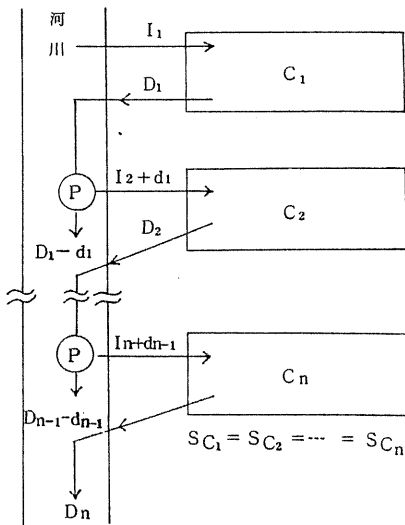


循環かんがい型

水田群面積 $S_K = S_1 + S_2$

排水の集水率 $K = S_1 / (S_1 + S_2)$

$$P_K = D_K - (I_K + K \cdot d_k + R)$$



上流排水の反復利用型

$$P_{ci} = D_i - (I_i + d_{i-1} + R_i)$$

$$P_c = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n P_{ci} \right)$$

$$= \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n D_i - \left(\sum_{i=1}^n I_i + \sum_{i=1}^{n-1} d_i + \sum_{i=1}^n R_i \right) \right]$$

$$= D_c - \left(I_c + \frac{n-1}{n} \cdot d_c + R \right)$$

図4 農業排水の反復利用モデル

注: (P) ポンプによる揚水

価した。

ここで、P：差引き排出負荷量

I：用水流入負荷量

R：降水負荷量

D：流出負荷量

d：循環かんがいに再利用する排水の負荷量

K：排水の集水率

S：水田群面積

とすると、差引き排出負荷量は次のとおりとなる。

対照 (循環かんがい前の用排水分離型)
$$P_A = D_A - (I_A + R) \quad (1)$$

循環かんがい型

$$P_K = D_K - (I_K + K \cdot d_k + R) \quad (2)$$

上流排水の反復利用型

$$P_C \approx D_C - \{I_C + d_C \cdot (n-1) / n + R\} \quad (3)$$

よって、差引き排出量の削減量は、

循環かんがい型

$$P_A - P_K = \{ (I_K + K \cdot d_k) - I_A \} - (D_K - D_A) \quad (4)$$

上流排水の反復利用型

$$P_A - P_C \approx \{ (I_C + d_C \cdot (n-1) / n) - I_A \} - (D_C - D_A) \quad (5)$$

ここで、 $K=1$ 、 $n \rightarrow$ 無限大とすると、 $P_K = P_C$ すなわち、 $P_A - P_K = P_A - P_C$ となり、循環かんがい型と上流排水の反復利用型とは同一の差引き排出の削減効果を示すことになる。

つぎに、流入負荷量と流出負荷量との関係から、循環かんがいによる排出負荷削減率と水田の水質浄化率をみたのが図5である。

一般的に、循環かんがいを行えば、排水が用水に再利用されるため、用水水質および排水水質が悪化し、

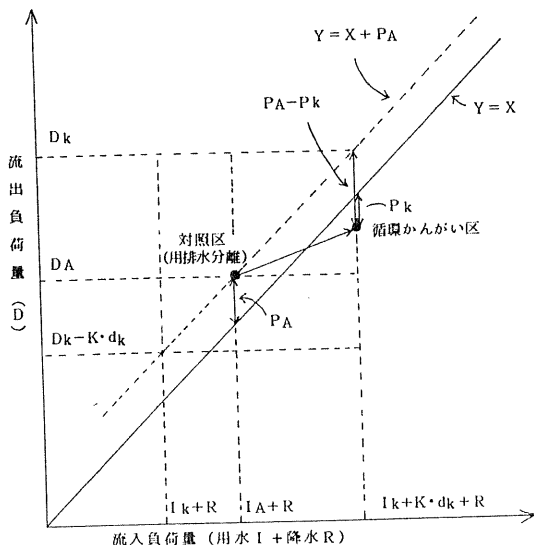


図5 農業排水の反復利用モデルによる排出負荷削減効果の評価

$I_K + K \cdot d_k > I_A$ 、 $D_K > D_A$ となるが、水田の水質浄化機能が発揮されて $P_K < P_A$ となる。この場合、水田の水質浄化能が最大限に発揮されれば、 $D_K = D_A$ となり、差引き排出の削減量 $P_A - P_K$ は最大値を示す。しかし、循環かんがいによって増加した流入負荷が全く浄化されずに、流出負荷が同量だけ増加した場合 ($I_K + K \cdot d_k - I_A = D_K - D_A$)、すなわち図中で $Y = X + P_A$ の線上にあるとき、 $P_K = P_A$ となり、排出削減効果は生じない。また、 I_A と D_K の水質が同じであれば、用水量は変わらないので $I_K + K \cdot d_k = I_A$ 、 $D_K = D_A$ となり、排出負荷削減効果は生じない。

したがって、循環かんがいによる排出負荷削減率 (E) は、排出負荷量に対する差引き排出負荷量の削減量の割合によって評価すれば、湖辺で整備される様々な循環かんがい方式を比較検討できるものと考えた。

すなわち、循環かんがいによる排出負荷削減率を、
$$E = \frac{\{ (I_K + K \cdot d_k) - I_A \} - (D_K - D_A)}{D_A} \quad (6)$$

また、循環かんがいに対する水田の水質浄化率を、

$$f = \frac{\{ (I_K + K \cdot d_k) - I_A \} - (D_K - D_A)}{\{ (I_K + K \cdot d_k) - I_A \}} \quad (7)$$

とする。

本調査では、琵琶湖を水源としているため用水水質が低濃度であること、また排水の集水面積率 (K) が 15% と低いことにより、表1からも明らかなように、循環かんがいによる用水水質の悪化はほとんど認められない。小林ら⁴⁾は、琵琶湖から揚水している彦根市薩摩地区での水田群発生負荷量調査で、出穂期～出穂30日後の時期には差引き排出量が $N - 73 \sim -126$ 、 $P - 0.3 \sim -4.9 \text{ g/ha} \cdot \text{day}$ となり、3か年とも吸収浄化がみられたと報告している。また、これらの時期について、野洲川地区と薩摩地区の用水量および用排水の水質を比較すると、ほぼ同じ値であることから、野洲川地区でも水田の水質浄化能が十分期待でき、 $D_A \approx D_K$ すなわち $f \approx 1$ になるものと考えられる。

以上の仮定にたてば、(4)式は近似的に

$$P_A - P_K = (I_K + K \cdot d_k) - I_A \quad (8)$$

となり、循環かんがいによる排出負荷削減量 (33日間) は、 $N 50$ 、 $P 5$ 、 $COD 70 \text{ g/ha}$ と試算された (表4)。また、本調査では対照区の排出負荷量 (D_A) が把握

表4 循環かんがいによる差し引き排出量の削減効果 (kg/ha)

用水流入負荷量						差し引き排出量の削減量		
対 照			循環かんがい			N	P	COD
N	P	COD	N	P	COD			
0.32	0.035	4.38	0.37	0.040	4.45	0.05	0.005	0.07

できなかったので、薩摩地区の値 (N 1560, P 69 g/ha) と同一と仮定すると、排出負荷削減率 (E) は N 3%, P 7% になるものと推定される。

さて、長谷川ら¹⁾が調査した福堂地区では、循環かんがい区での排水の集水面積率が100%であり、稲作期間中の差し引き排出N負荷量が、対照区 (P_A) の2.62 kgN/ha に対し、循環かんがい区 (P_K) では -2.15 kgN/ha と、排出型から吸収浄化型に転じている。また、本調査とほぼ同時期 (7月20日~9月17日, 60日間) にあたる福堂地区の排出負荷削減量を、33日間に換算すると、N 1230, P 66, COD 5030 g/ha となる。今回調査した野洲川地区の排出削減量は、福堂地区のその値に比べてかなり低い値であったが、その大きな理由として、排水の循環量 (K・d_K) の低いことがあげられる。そこで、野洲川地区の排出削減量を、排水集水面積当りの排水循環量の低下率 (福堂地区の30%), 排水の集水面積率 (15%) で除すると、先に算定された値の2.2倍となり、N 1150, P 110, COD 1540 g/ha と算出された。この値は上述の薩摩地区での差し引き排出負荷量の吸収浄化にあたる値の範囲内であった。したがって、排水の循環量を福堂地区と同一にしても、その流入負荷量は十分に除去可能な負荷量であると考えられる。

金木³⁾は、筆者らと同様に、野洲川地区で1987および1988年の稲作期間において調査し、排水集水域での排出負荷削減率がわずかN 3%, P 8%であったと報告している。しかし、この場合、排水導入ゲートを常時開放し、排水循環量が約4倍に増加すれば、排水集水域の排出負荷量をN 10%, P 25~29%削減することが可能であると試算している。

以上のことから、N, Pについて、福堂地区と野洲川地区の水田群が持つ潜在的な排出負荷削減効果 (水質浄化能) には大差がないことを示唆しているものと推察される。そして、本調査時点での野洲川地区の循環かんがい方式は、排水の集水面積率が低いこと、ま

た排水集水面積当りの排水循環量の低いことが、大きな制限要因となって排出負荷削減効果を低下させているものとみられた。

ところで、福堂地区では流出削減率が、排出負荷量の削減割合すなわち $(D_A - (D_K - K \cdot d_K)) / D_A$ によって評価され、N 36%, P 26%, COD 51%であったと報告されている。しかし、 $(D_A - (D_K - K \cdot d_K)) / D_A$ による評価では、水田の水質浄化能が全く発揮されない場合 ($I_K + K \cdot d_K - I_A = D_K - D_A$ すなわち $E = f = 0$, $P_K = P_A$) や、用水水質と排水水質が同じ場合 ($I_K + K \cdot d_K = I_A$, $D_K = D_A$ すなわち $P_K = P_A$) でも排出削減効果が存在することになるため、循環かんがい方式、水田の浄化能および用排水水質の異なる条件に対する評価法としては適用範囲に限界がある。

筆者らの評価法によれば、福堂地区での循環かんがいによる排出負荷削減率 (E) は、N 12%, P 18%, COD 27% となり、また水質浄化率 (f) は N 39%, P 36%, COD > 100% と算出される。したがって、長谷川らが求めた流出削減率は、流出負荷の観点から考察したものであり、流入負荷および流出負荷の総合的な観点からみれば、過大評価であったと考えられる。また、ここに提起する「農業排水の回復利用モデル」による解析は、幅広い循環かんがい方式における排出負荷削減効果を評価する上で有効であると考えられる。

謝辞 本調査は、近畿農政局計画部資源課、滋賀県農林水産部農村整備課および野洲川下流土地改良区との共同で実施したものであり、御協力頂いた関係機関各位に厚く感謝する。また、本報告をまとめるにあたり、御助言をいただいた滋賀県農業試験場 長谷川清善博士に感謝する。

引用文献

- 1) 長谷川清善・小林正幸・中村 稔・中田 均：水田における循環かんがいと水質汚濁成分の収支（第1報）富栄養化成分の流出と水稻の生育について。滋賀農試研報 24, 65 - 78, 1982.
- 2) 長谷川清善・奥村茂夫・小林正幸・中村 稔：茶園・水田連鎖地形における富栄養化成分の行動。滋賀農試研報 26, 34 - 41, 1985.
- 3) 金木亮一：循環かんがいによる琵琶湖への流入負荷削減効果。農土誌 57, 599 - 604, 1989.
- 4) 小林正幸・長谷川清善・宮崎秀也・西川吉和・中田 均：農耕地における肥料成分の行動に関する研究（第6報）琵琶湖湖辺水田群における窒素とリンの流出について。滋賀農試研報 22, 72 - 78, 1980.
- 5) 小川吉雄・酒井 一：水田における窒素浄化機能の解明。日土肥誌 56, 1 - 9, 1985.
- 6) 田淵俊雄・鈴木誠治・高村義親：非稲作期の谷津田における畑地流出水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ の除去について。農土論集 104, 9 - 15, 1983.

Summary

To reduce the load of eutrophic materials reaching Lake Biwa from paddy fields, the effect of the return flow irrigation was studied on the generated load in the lower district of Yasu River. The investigation was carried out over 33days during the summer of 1986.

The results obtained were as follows;

- 1) The paddy field area reusing outflow water was only 15% of the area of source of supply. The volume of reused outflow water for irrigation amounted to only 12.1m³/ha/day or 4.4% of total irrigation water.
- 2) The concentration of elements of the irrigation water mixed with outflow water and pumped up lake water were T-N 0.27, T-P 0.029, COD 3.1 and SS 3.2mg/l, lower than the water quality standard for paddy field irrigation.
- 3) The models of "Repeated use of outflow water from paddy fields" was proposed, and the reduction effect of eutrophic materials was analyzed. The estimated value of the reduction in the generated loads for 33days were only N 50, P 5 and COD 70g/ha. This was calculated by subtracting the input (irrigation water and rain) from the output (outflow) over 33days period.