

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

饗庭 直樹・大林 博幸*・蓮川 博之・山田 善彦

Runoff Load Reduction by Circulatory Irrigation in Paddy Field Region

Naoki AIBA, Hiroyuki OBAYASI, Hiroyuki HASUKAWA and Yoshihiko YAMADA

キーワード：栄養塩類，収量品質，循環かんがい，流出負荷

農業排水の再利用を行う循環かんがいの実施による水稻作付期の栄養塩類等の流出負荷低減効果について，現地調査によって定量的に評価した。また，水稻の収量と品質に及ぼす影響について検証した。

- 1) 循環かんがい地区の作付期間をとおした用水量に占める排水量の割合は，2カ年の調査において33~34%であった。
- 2) 循環かんがいによって，地区外に流出される窒素は35%（2カ年平均）が削減され，流出負荷量が低減される。同様に，リンについても60%が削減された。
- 3) 2カ年の調査結果から，循環かんがい地区精密調査ほ場における精玄米重は非循環かんがい地区と同等であり，また，整粒歩合，玄米窒素含量についても，同水準であることを確認した。

1. 緒言

琵琶湖の水質改善が重要課題である滋賀県においては，環境こだわり農業の推進を通じて発生源からの環境負荷低減を図る⁹⁾とともに，用水の節減，排水の反復利用といった流域単位での農業排水対策を進めていくことが重要である。農業排水の再利用を行う循環利水による排出負荷の削減については，久保田ら²⁾，中村ら⁵⁾，北村ら¹⁾によって，その効果が報告されている。特に，滋賀県の水田率は92%と全国第2位であり⁸⁾，水稻かんがい期間における農業排水対策として，農業排水の再利用を行う循環かんがいは，有効な対策の一つであると考えられる。また，環境保全型農業の推進において，その効果を定量的に把握することは重要である。

そこで，モデル地区における現地調査により，循環かんがいの負荷低減効果を定量的に明らかにするとともに，稲作期間を通じた排水の循環利用が水稻の収量および品質に与える影響を検証することを本研究の目的とする。

2. 材料および方法

2. 1 調査実施地区の概要

琵琶湖の東部に位置する東近江市福堂町，新宮町を循環かんがい地区として，また，隣接する東近江市栗見新田町を対

照地区として，2カ年のかんがい期間において調査した。当該地区は愛知川，大同川という二つの河川にはさまれた平坦地であり，1969年から1973年にかけて生産基盤整備（区画整理，用排水施設整備）が行われた。循環かんがい地区（福堂，新宮地区）の用水は，大同川の河川水と同地区の水田排水とを揚水してパイプラインにより各ほ場に送配水している。対照区（栗見新田地区）の用水は循環かんがい地区の1km下流から大同川の河川水を揚水し，パイプラインにより各ほ場に送配水している。両地区の排水は，いずれも取水源である大同川へ流下しており，流域単位としてとらえると対照区においても，いったん河川へ流下した農地排水の一部を再利用していることになる。

2. 2 調査ほ場の概要

2. 2. 1 循環かんがい地区調査

循環かんがい地区の実態調査は，福堂揚水機場において実施した。当該揚水機場は175haの受益面積のうち，概ね3割のはほ場で転作が実施されており，2008年および2009年のかんがい面積は128haである。揚水機の運転は，4月25日から9月15日まで間，通常は午前7時から午後6時まで揚水されており夜間は運転されていない。また，4月25日までは，代かき用水として朝1時間，夕方2時間の揚水機の運転が実施されていたが，今回の調査では対象としていない。

* 現 滋賀県愛知川流域田園整備事務所

表1 耕種実施日

年度	試験区	入水	代かき	基肥	移植	中干期間	穂肥①	穂肥②	収穫
2008年	対照区	5/12	5/14	5/10	5/16	6/20~7/5	7/20	7/28	9/7
	循環区	5/17	5/17	-	5/18	6/21~7/4	7/19	8/9	9/7
2009年	対照区	5/11	5/13	5/9	5/14	6/20~7/12	7/16	7/24	9/12
	循環区	5/15	5/16	5/2	5/17	6/24~7/10	7/19	7/26	9/5

表2 試験区の構成および施肥実績 (Nkg/10a, Pkg/10a, Kkg/10a)

	2008年						2009年					
	対照区			循環区			対照区			循環区		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
基肥	1.6	0.4	0.8	0.0	0.0	0.0	2.4	0.7	1.3	3.2	0.8	1.7
穂肥①	3.0	0.4	2.0	3.0	0.4	2.0	3.0	0.4	2.0	3.0	0.4	2.0
穂肥②	1.5	0.2	1.0	1.5	0.2	1.0	1.5	0.2	1.0	1.5	0.2	1.0
計	6.1	1.0	3.8	4.5	0.6	3.0	6.9	1.3	4.3	7.7	1.4	4.7

注) 2008年循環区は、大豆跡のため基肥なし。

2. 2. 2 単筆田調査

対照地区、循環かんがい地区(以下、対照区および循環区と表記)に精密調査ほ場を設定した。

精密調査ほ場は、対照区(2,920㎡)、循環区(4,090㎡)ともに転作大豆跡の水稻栽培であり、供試品種は「コシヒカリ」、栽培方法は滋賀県環境こだわり農産物栽培基準に従った。土壌タイプは、対照区は中粗粒灰色低地土、循環区は細粒グライト土であった。また、栽植密度は、対照区は15.9株/㎡、循環区は14.9株/㎡であった。

調査期間は、それぞれの単筆田における入水から収穫前までとした。供試ほ場の耕種実施日および施肥実績を表1、表2に示した。

2. 3 試験内容与方法

2. 3. 1 水量調査

(1) 循環かんがい地区

ポンプ揚水量については、運転管理者による管理記録簿における送水開始時の積算流量計(超音波流量計)の記録値を用い、翌日の値との差引を当該日の揚水量とした。再利用される排水量(以下、排水循環量と表記)は、吸水槽に流入する直前の排水路(内高0.9m、内幅4.6m)に超音波流量計を設置し15分間隔で水位、流速、流量の計測を行い、1時間毎の平均により時間流量を求めた。また、ポンプ運転時間内の排水流量は、全て揚水により循環利用されるものとした。河川取水量は、揚水量と排水循環量の差引計算により推定した。

(2) 精密調査ほ場(単筆田)

降水量は滋賀県農業技術振興センター(近江八幡市安土町大中、調査ほ場からの直線距離3.4km)での気象観測値を用いた。用水量および地表排水量は給水口および排水口に三角堰を設置し、自記記録減水位計により越流水深を記録し、堰の公式⁷⁾により算出した。浸透水量は日減水深から蒸発散量(ペンマン法^{3,4)}により推定。作物係数を乗じて算出。を差し引いて算出した。

表1 耕種実施日

2. 3. 2 水質調査

代かき移植期は、ほぼ毎日、通常管理期は1週間に1回の頻度で、循環かんがい地区の揚水機場に流入する直前の河川水および幹線排水路、両水田群排水路の上下流部、単筆田調査ほ場の用排水(田面水)、浸透水を採取し分析を行った。単筆田の浸透水は、深さ約50cmに有孔塩ビ管をほ場の長辺方向中央部の畦際に埋設し採取した。

水質測定項目はSS、COD、

D-TOC、T-N、T-P、NO₂-N、NO₃-N、NH₄-N、PO₄-P、KおよびpHとし、水質分析方法は次のとおりである。ただし、浸透水は前処理として、ガラス繊維ろ紙(1μm)でろ過したものを分析した。

- ①懸濁物質(SS): ガラス繊維ろ紙(1μm)による捕集量測定。
- ②化学的酸素要求量(COD): 100°C過マンガン酸カリウム法。
- ③溶存態全有機炭素(D-TOC): 自動分析計(島津製作所 TOC-5000)使用。
- ④全窒素(T-N): 熱分解-自動分析計(Bran+Ruebbe AACS-III)使用。
- ⑤全リン(T-P): ペルオキシ二硫酸カリウム分解-モリブデン青・アスコルビン酸法。
- ⑥イオン態成分(NO₂-N、NO₃-N、NH₄-N、PO₄-P、K): イオンクロマトグラフ分析法(島津製作所 Prominence HIC-NS 使用)。

2. 3. 3 水稻の収量、品質調査および土壌の分析方法

精密調査ほ場における水稻の収量については、成熟期に坪刈り調査を3か所で行い、平均値で示した。外觀品質については、粒厚1.8mm以上の玄米を用い、(株)サタケ・穀粒判別機を使用して、粒重比により分類した。

土壌の分析は、常法⁶⁾に従い、可給態リン酸はトルオーグ法、可給態ケイ酸はpH4酢酸緩衝液浸出法によった。

3. 結果

3. 1 循環かんがい地区調査

3. 1. 1 水収支

1) 水収支

(1) 2008年の水収支

循環かんがい地区の水収支を図1に示す。かんがい期間における降水量は602mmであり、作付期間をとおした全用水量

饗庭直樹ら：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

表3 循環かんがい地区 負荷量 (kg/ha)

期別	区 分	SS	COD	D-TOC	T-N	T-P	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	NH ₄ -N	K
2008年	用水流入負荷量(A)	135.3	106.6	107.8	12.9	1.58	0.00	4.87	0.00	1.74	29.7
	排水循環負荷量(B)	84.8	45.0	41.0	5.3	0.73	0.00	1.36	0.00	1.28	12.7
	排水負荷量/用水負荷量(B/A)	63%	42%	38%	41%	46%	-	28%	-	74%	43%
2009年	用水流入負荷量(A)	207.2	121.0	96.9	10.2	1.77	0.0	3.38	0.01	1.57	22.3
	排水循環負荷量(B)	68.7	43.7	38.5	4.2	0.61	0.0	1.42	0.00	0.94	10.5
	排水負荷量/用水負荷量(B/A)	33%	36%	40%	41%	34%	-	42%	0%	60%	47%

注) B / A : 排水負荷量が用水負荷量に占める割合

は1,340mm(日平均10.7mm)で、そのうち排水循環量は453mm(日平均3.6mm)となり全用水量の34%を占めた。期間別に見ると、5月上旬の移植期から中干しまでの間は、排水の循環利用率が42%~56%と高い値を示し、7月下旬以降の用水需要期には15%~24%と排水循環率が低下する傾向が見られた。

(2)2009年の水収支

かんがい期間における降水量は458mmであり、2008年と比較すると少なかった。特に、5月中旬から6月上旬の1ヵ月間の降水量が51mm(2008年、213mm)と少なかった。作付期間をとおした全用水量は1,360mm(日平均10.2mm)で、そのうち排水循環量は446mm(日平均3.4mm)となり、用水量の33%を占めた。2008年と比較すると、全用水量のうち排水の占める割合は、同等であった。5月上旬の移植期から中干しまでの間は、排水の循環利用率が33%~45%と高い値を示した。7月下旬以降8月中旬までの用水需要期には17%~28%と排水循環率が低下する傾向が見られたが、8月下旬以降は再び高くなった。

3. 1. 2 栄養塩類、濁水の水質

(1)2008年の栄養塩類、濁水の水質

循環かんがい地区の河川、排水、用水における水質の推移を図2に示した。代かき移植期のSS、T-P濃度は排水で高い値を示し、それに伴う用水濃度の上昇も見られた。しかし、T-N濃度は、顕著なピークは認められなかった。5月中旬以降のT-N濃度を見ると、排水は農業用水基準である1mg/L以下を上回る値を示すが、用水濃度では一部濃度上昇が見られるものの概ね基準以下で推移した。T-P濃度は、それぞれ概ね0.1~0.3mg/Lの範囲内で推移した。

(2)2009年の栄養塩類、濁水の水質

循環かんがい地区の河川、排水、用水における水質の推移を図3に示した。排水中のSS濃度は、代かき移植期には高い値を示したが6月は低く推移し、7月以降は変動がみられた。排水中のT-N濃度は、2009年7月19~21日の3日間の降雨(28mm)に伴いピークがみられた。T-P濃度は、2008年と同様に、それぞれ概ね0.1~0.3mg/Lの範囲内で推移した。

3. 1. 3 負荷量

(1)2008年の負荷量

循環かんがい地区の負荷量を表3に示す。用水流入負荷量は、SS 135.3kg/ha、COD 106.6kg/ha、T-N 12.9kg/ha、T-P 1.58kg/ha、排水の循環負荷量は、SS 84.8kg/ha、COD 45.0kg/ha、T-N 5.3kg/ha、T-P 0.73kg/haとなった。用水流入負荷量に占める排水に由来する負荷量の割合をみると、SS 63%、COD 42%、T-N 41%、T-P 46%であった。

(2)2009年の負荷量

用水流入負荷量は、SS 207.2kg/ha、COD 121.0kg/ha、T-N 10.2kg/ha、T-P 1.77kg/haであった。2008年と比較すると、SSにおいては大きくなったが、COD、T-N、T-Pについては同程度であった。

また、排水の循環負荷量は、SS 68.7kg/ha、COD 43.7kg/ha、T-N 4.2kg/ha、T-P 0.61kg/haとなった。2008年と比較すると、COD、T-N、T-Pについては同程度であった。

用水負荷量に占める排水に由来する負荷量の割合をみると、SS 33%、COD 36%、T-N 41%、T-P 34%であった。2008年と比較すると、SS、COD、T-Pでは低く、T-Nでは同等であった。

3. 2 単筆田調査

3. 2. 1 水収支

(1)2008年の水収支

単筆田調査の水収支結果を図4に示す。調査期間中の降水量は対照区571mm、循環区543mm、用水量は対照区884mm、循環区890mmであった。地表排水量は、対照区107mm、循環区93mm、浸透水量は対照区918mm、循環区916mmとなり、ほぼ同等の結果となった。

(2)2009年の水収支

調査期間中の降水量は対照区390mm、循環区386mm、用水量は対照区1,217mm、循環区1,086mmであった。地表排水量は、対照区237mm、循環区92mm、浸透水量は対照区931mm、循環区979mmとなった。2008年と比較すると、調査期間中の降水量が少なかったため、両区とも用水量が多くなった。

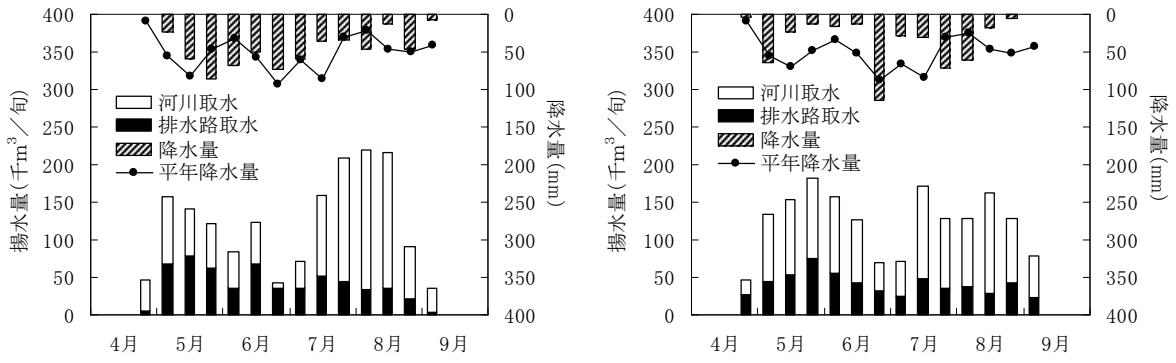


図1 循環かんがい地区における旬別揚水量および降水量 (左: 2008年, 右: 2009年)
 注) 平均降水量は、過去10年間における近江八幡市安土町大中における観測地の平均値

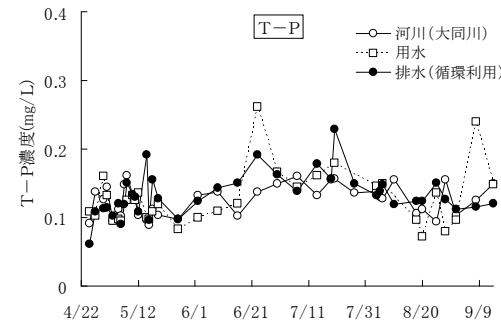
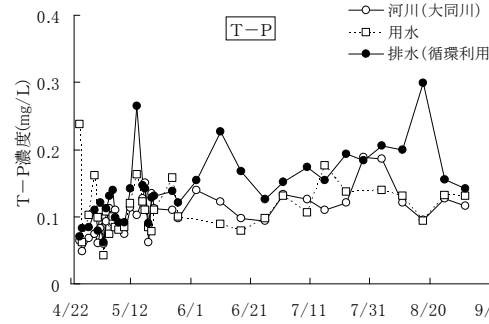
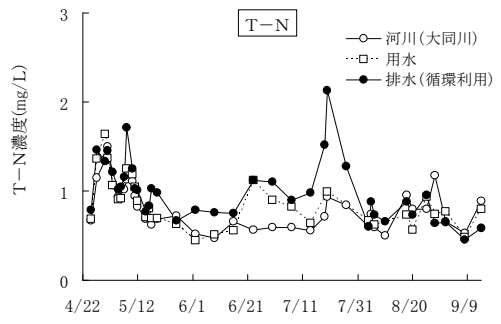
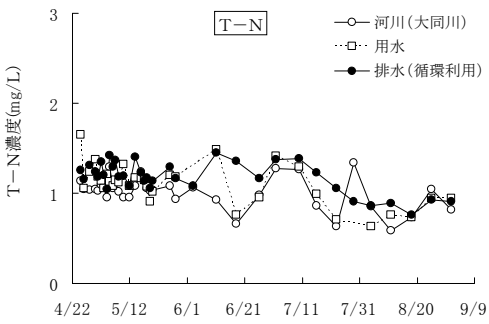
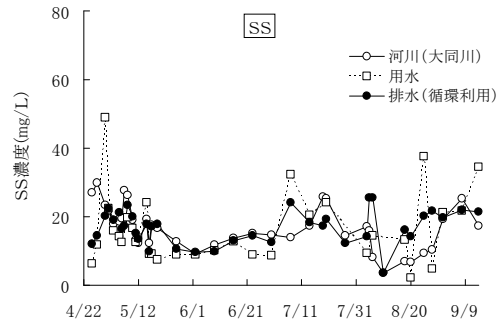
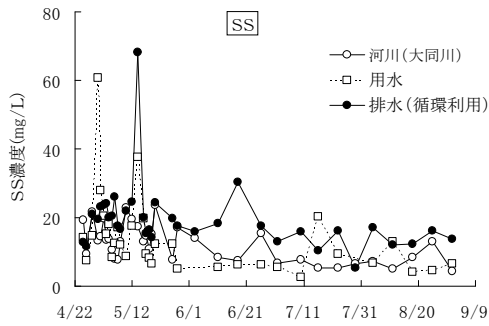


図2 循環かんがい地区における水質の推移 (2008年)

図3 循環かんがい地区における水質の推移 (2009年)

饗庭直樹ら：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

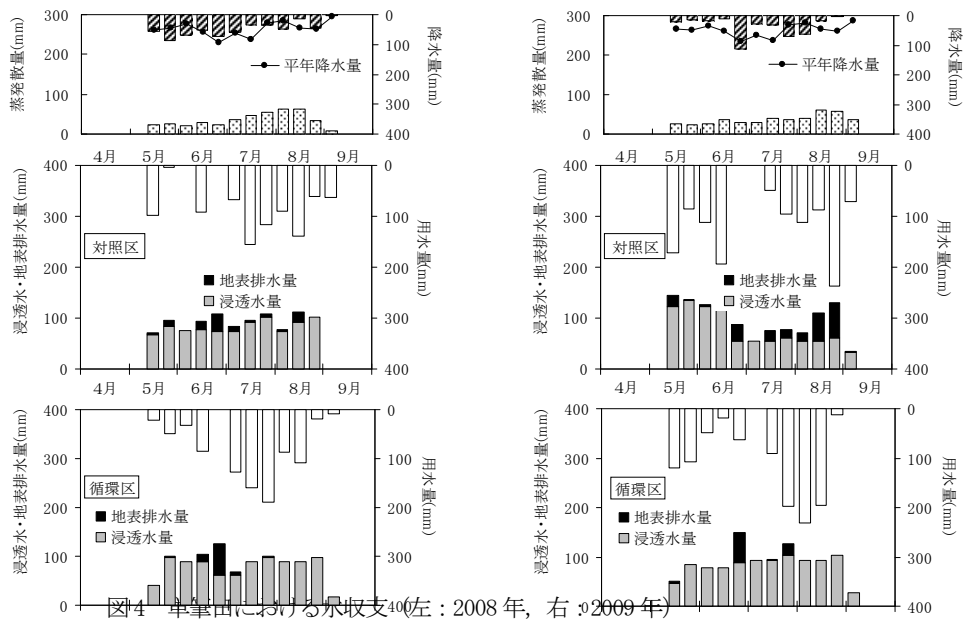


図4 単筆田における水収支(左：2008年，右：2009年)
注) 平年降水量は、過去10年間の近江八幡市安土町大中における観測地の平均値

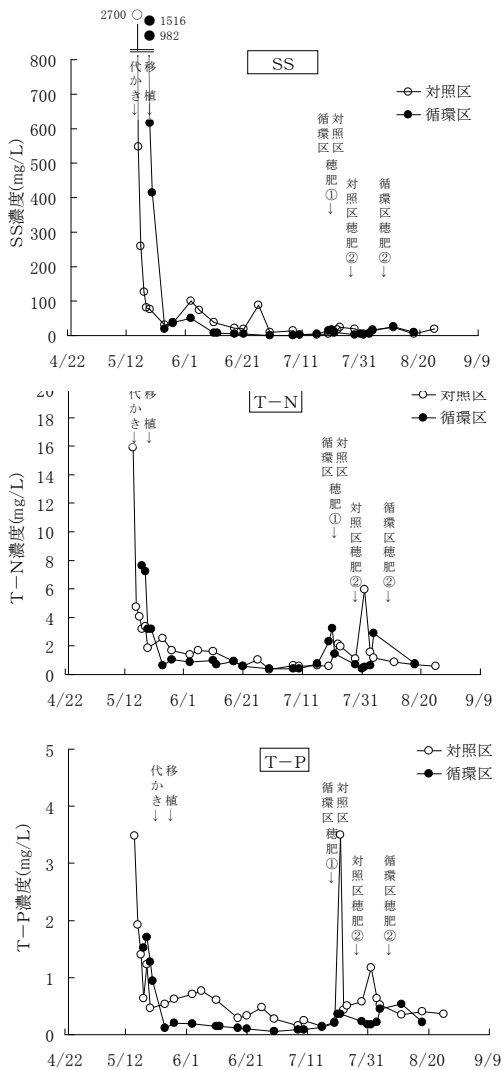


図5 田面水の水質の推移 (2008年)

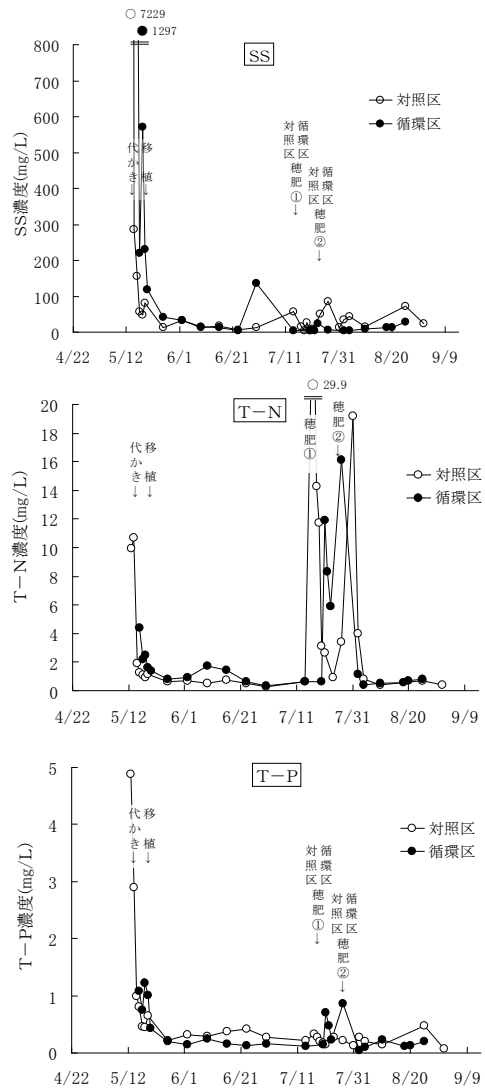


図6 田面水の水質の推移 (2009年)

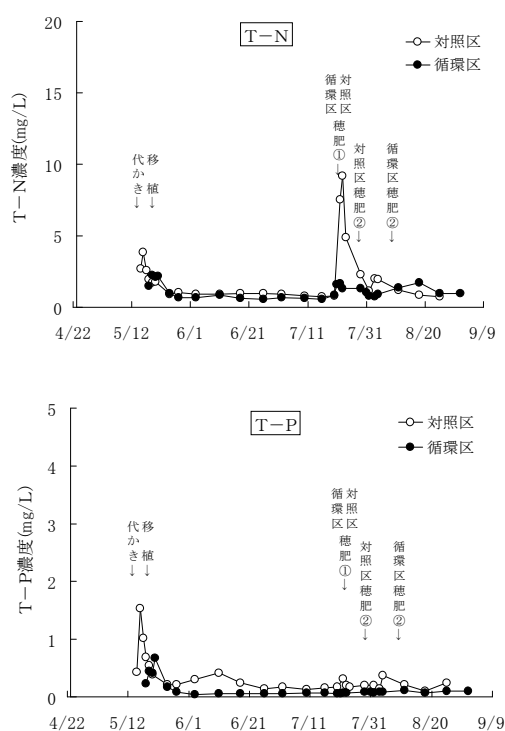


図7 浸透水の水質の推移 (2008年)

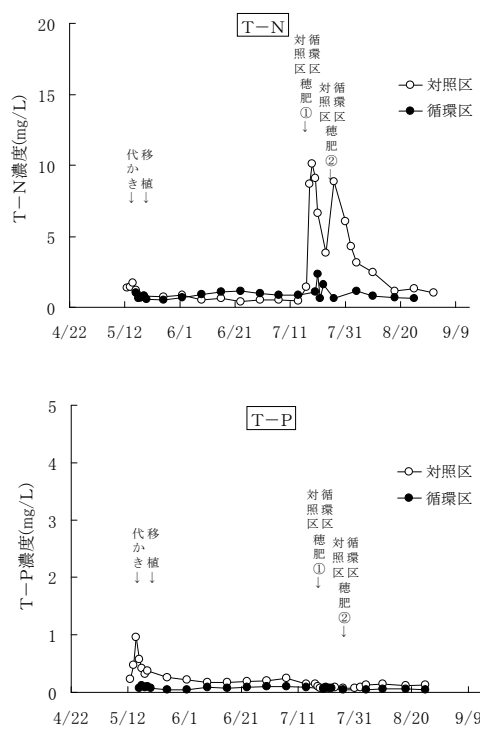


図8 浸透水の水質の推移 (2009年)

3. 2. 2 単筆田における水質

(1) 2008年の単筆田における水質

単筆田における水質の推移を図5, 図7に示す。地表排水(田面水)のSS, T-NおよびT-P濃度は、代かき移植期に高い値を示し、T-N, T-P濃度については、穂肥施用に伴う濃度上昇もみられた。

浸透水のT-N, T-P濃度は、代かき移植期に高い値を示し、対照区で穂肥施用によるT-N濃度の上昇がみられたほかは、ほぼ一定に推移した。

(2) 2009年の単筆田における水質

単筆田における水質の推移を図6, 図8に示す。地表排水(田面水)のSS, T-NおよびT-P濃度は、代かき移植期に高い値を示し、T-N, T-P濃度については、穂肥施用に伴う濃度上昇もみられた。

浸透水のT-N, T-P濃度は、代かき移植期に比較的高い値を示し、対照区で穂肥施用によるT-N濃度の上昇がみられたほかは、ほぼ一定に推移した。

3. 2. 3 負荷量

(1) 2008年の単筆田における負荷量

単筆田における栄養塩類およびSSの流入・流出負荷量を表4に示す。流入負荷量は、対照区でT-N 8.7kg/ha, T-P 1.2kg/ha, 循環区でT-N 11.2kg/ha, T-P 1.25kg/haとなり、それぞれ循環区で高い値を示した。それに対し流出負荷量では、対照区でT-N 13.3kg/ha, T-P 2.73kg/ha,

循環区でT-N 9.8kg/ha, T-P 1.02kg/haとなり、それぞれ循環区で低い値を示した。T-Nの差引排出負荷量は対照区4.6kg/ha, 循環区-1.4kg/haとなった。T-Pにおいても対照区1.53kg/ha, 循環区-0.23kg/haと同様の傾向が見られた。SSについては対照区-49.0kg/ha, 循環区-65.5kg/haとなった。

(2) 2009年の単筆田における負荷量

単筆田における栄養塩類およびSSの流入・流出負荷量を表5に示した。流入負荷量は、対照区でT-N 10.6kg/ha, T-P 1.43kg/ha, 循環区でT-N 9.7kg/ha, T-P 1.55kg/haとなった。

流出負荷量では、対照区でT-N 19.2kg/ha, T-P 2.66kg/ha, 循環区でT-N 10.5kg/ha, T-P 0.85kg/haとなり、2008年と同様に対照区より循環区が低い値を示した。しかし、2009年は2回目穂肥施用直後の降雨による地表排水量の増加に伴い負荷量が増えたため、T-Nの差引排出負荷量は、2008年に比べ対照区および循環区ともに増加した。

3. 2. 4 水稻の収量および品質

(1) 2008年の単筆田における水稻の収量および品質

単筆田調査ほ場の土壌化学性を表6に、水稻の生育、収量および品質を表7, 表8に示した。精玄米重は対照区590kg/10a, 循環区605kg/10aとなり、同等の収量が確保できた。玄米窒素含量は1.3%以上では食味低下が懸念されるが、両区ともにこの基準を下回り差は認められなかった。また、循環区で

饗庭直樹ら：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

表4 作付期の単筆田における差引排出負荷量 (2008年, kg/ha)

試験区	収支の内訳		SS	COD	D-TOC	T-N	T-P	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	NH ₄ -N	K
対照区	流入	降水	-	5.5	43.0	3.0	0.17	0.0	1.5	0.00	1.2	0.8
		用水	73.6	90.1	55.2	5.7	1.03	0.0	0.9	0.00	0.1	16.5
		計	73.6	95.6	98.2	8.7	1.20	0.0	2.4	0.00	1.3	17.3
	流出	地表排水	24.6	12.8	9.1	1.1	0.41	0.0	0.2	0.01	0.1	2.3
		浸透水	-	117.7	103.9	12.2	2.32	0.0	1.5	0.02	4.9	52.5
計		24.6	130.5	113.0	13.3	2.73	0.0	1.7	0.03	5.0	54.8	
差引排出負荷量(流出-流入)			-49.0	34.9	14.8	4.6	1.53	0.0	-0.7	0.03	3.7	37.5
循環区	流入	降水	-	5.1	42.2	2.8	0.17	0.0	1.4	0.00	1.1	0.7
		用水	70.5	69.4	71.3	8.4	1.08	0.0	3.3	0.00	1.5	18.3
		計	70.5	74.5	113.5	11.2	1.25	0.0	4.7	0.00	2.7	19.0
	流出	地表排水	5.0	9.3	5.9	0.5	0.09	0.0	0.0	0.00	0.0	2.0
		浸透水	-	93.6	98.2	9.3	0.93	0.0	3.0	0.00	2.1	34.7
計		5.0	102.9	104.1	9.8	1.02	0.0	3.0	0.00	2.2	36.7	
差引排出負荷量(流出-流入)			-65.5	28.4	-9.4	-1.4	-0.23	0.0	-1.7	0.00	-0.5	17.7

表5 作付期の単筆田における差引排出負荷量 (2009年, kg/ha)

試験区	収支の内訳		SS	COD	D-TOC	T-N	T-P	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	NH ₄ -N	K
対照区	流入	降水	-	7.3	27.7	1.9	0.08	0.0	0.9	0.00	0.9	0.8
		用水	184.0	114.5	67.9	8.7	1.35	0.0	2.6	0.00	0.8	22.3
		計	184.0	121.8	95.6	10.6	1.43	0.0	3.5	0.00	1.7	23.1
	流出	地表排水	97.6	26.0	27.1	6.0	0.77	0.0	0.0	0.03	2.2	7.0
		浸透水	-	92.7	86.9	13.2	1.89	0.0	2.3	0.12	5.0	46.8
計		97.6	118.7	114.0	19.2	2.66	0.0	2.3	0.15	7.2	53.8	
差引排出負荷量(流出-流入)			-86.4	-3.1	18.4	8.6	1.23	0.0	-1.2	0.15	5.5	30.7
循環区	流入	降水	-	7.2	27.7	1.9	0.08	0.0	0.9	0.00	0.9	0.8
		用水	141.5	98.1	70.7	7.8	1.47	0.0	1.7	0.01	1.4	17.2
		計	141.5	105.3	98.4	9.7	1.55	0.0	2.6	0.01	2.3	18.0
	流出	地表排水	15.6	12.5	7.2	2.4	0.22	0.0	0.0	0.01	1.5	3.6
		浸透水	-	100.2	103.5	8.1	0.63	0.0	2.4	0.00	1.8	40.0
計		15.6	112.7	110.7	10.5	0.85	0.0	2.4	0.01	3.3	43.6	
差引排出負荷量(流出-流入)			-125.9	7.4	12.3	0.8	-0.70	0.0	-0.2	0.00	1.0	25.6

表6 単筆田調査ほ場の土壌化学性

試験区	pH (H ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	可給態	可給態	CEC (me)	交換性塩基(mg)		
				P ₂ O ₅ (mg)	SiO ₂ (mg)		CaO	MgO	K ₂ O
対照区	6.5	1.58	0.133	17.8	39.7	10.8	189	43	8
循環区	6.2	1.80	0.159	9.2	14.7	11.5	148	35	15

注 1) 乾土 100g あたり. 2) 土壌は 2009 年の水稻栽培前に採取.

表7 単筆田調査ほ場の水稻の生育

期別	試験区	分けつ期		幼穂形成期		出穂期		成熟期		倒伏程度 (0-5)	
		草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	稈長 (cm)	穂長 (cm)		穂数 (本/m ²)
2008年	対照区	35.1	549	86.8	558	117.3	501	100.2	19.2	464	0.5
	循環区	35.0	383	76.9	469	107.3	392	91.4	19.0	355	0.4
			(6/19)		(7/14)		(8/4)		(9/2)		
2009年	対照区	29.6	253	73.2	425	113.6	371	93.9	19.6	353	0.8
	循環区	25.5	296	68.1	566	106.4	448	98.0	19.0	400	1.3
			(6/15)		(7/7)		(8/3)		(9/3)		

注) 倒伏程度は、0.0~5.0の数値で表示(0:無, 5:甚)

表8 単筆田調査ほ場の水稻の収量および品質

期別	試験区	収量			外観品質(%)						玄米N 含量 (%)	
		わら重 (kg/10a)	籾重 (kg/10a)	精玄米重 (kg/10a)	整粒	胴割	乳白	基部 未熟	腹白 未熟	青 未熟		その他 未熟
2008年	対照区	819	842	590	66.5	0.2	8.1	7.0	1.9	1.2	12.1	1.28
	循環区	730	786	605	72.6	0.2	6.4	6.7	1.7	1.3	9.0	1.24
2009年	対照区	617	718	515	77.0	0.0	4.4	4.7	1.4	0.4	10.7	1.16
	循環区	614	724	542	82.1	0.1	2.9	2.2	0.5	1.3	8.8	1.27

注 1) 精玄米重: 1.8mm 網目, 2) 外観品質: 粒厚 1.8mm 以上の玄米を用い, (株) サタケ・穀粒判別機により分類. 粒重比.
3) 玄米N含量: 乾物%

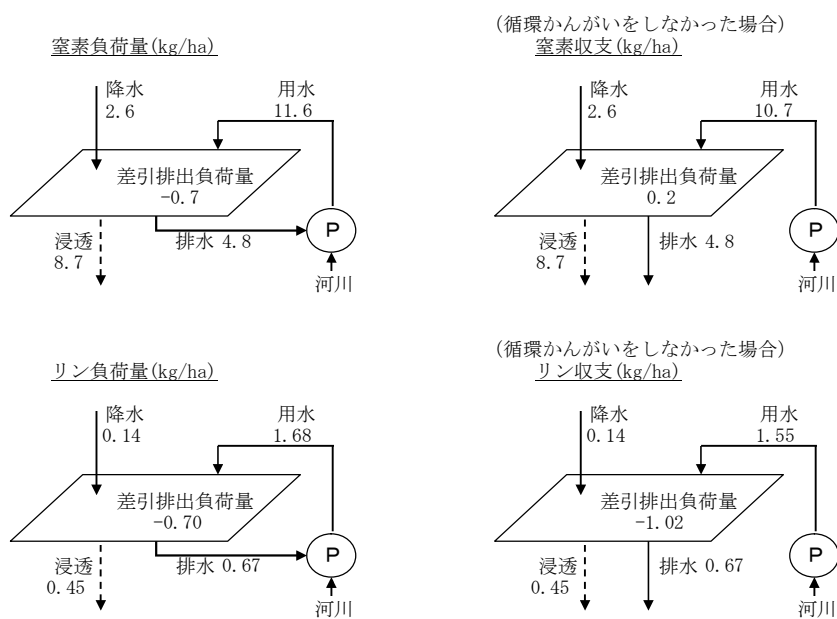


図9 循環かんがい地区における差引排水負荷量 (2カ年の平均値)

注：1) 浸透水負荷量は単筆田調査ほ場における濃度の調査結果から推定
 2) 差引排出負荷量 = (地表排水 + 浸透水) - (用水 + 降水)
 3) 「P」は、福堂揚水機場、「河川」は大同川である。

は整粒歩合の1等基準である70%以上を確保した。

(2)2009年の単筆田における水稻の収量および品質

精玄米重は、対照区515kg/10a, 循環区542kg/10aとなり、循環区で5%多くなった。整粒歩合は、対照区77.0%, 循環区82.1%となり、循環区でやや高くなったが、両区とも70%以上(1等基準)を確保した。

4. 考察

循環かんがい地区における水稻作付期間をとおした全用水量は、2008年1,340mm・2009年1,360mm(以下、同順)で、そのうち排水の循環量は453mm・446mmであった。水稻作付期間の用水量に占める排水量の割合は、34%・33%となった(図1)。循環かんがい地区における水稻作付期間の各成分負荷量について用水に占める排水の割合は、T-N 41%・41%, T-P 46%・34%, S S 63%・33%, COD 42%・36%であり、水収支における用水量に占める排水量の割合(34%・33%)と同等またはそれ以上であった(表3)。これらの結果から、循環かんがいの取組に伴う排水の再利用により、再利用しない場合と比較して、地区外に流出される窒素は36%(2カ年平均)が削減され、同様に、リンについても60%が削減されることを把握した(図9)。浸透による負荷流出は避けられないが、排水を再利用することにより流出負荷を低減できることを示している。

志村ら¹⁰⁾、田渕ら¹¹⁾は、各筆単位での水管理や施肥による流出防止と流域単位での循環かんがいとの2段階による対

策で、水田からの肥料成分流出をかなりの程度まで防止できるであろうと述べている。これらは、滋賀県における環境こだわり農産物栽培と循環かんがいの取り組みと合致する。

以下のことから、それらが示されていると考える。2009年の穂肥施用直後の降雨により高濃度の田面水が地表排出し、単筆田のT-N差引排出負荷量は負荷流出型になった(表5)。また、同時期の循環かんがい地区における排水の水質の推移からも、T-N濃度の上昇があった(図3)。しかし、循環かんがい地区のT-Nの負荷量において、水稻作付期間の排水負荷量が用水負荷量に占める割合は2カ年ともに41%であり差はみられず、各筆単位の対策での不可避の事態を流域単位での対策により負荷流出を低減させられたと考える(表3)。

以上により、循環かんがいによる農業排水の再利用は、農地からの地表排水の地区外流出を減少させることにより、環境負荷の削減に大きく寄与していることを定量的に検証することができたと考える。

5. 謝辞

本調査は、平成20年度および平成21年度土地改良事業地区調査「琵琶湖東岸地区」循環かんがいによる流出負荷低減効果調査の一環として実施した。

本調査を実施するにあたり、東近江市福堂町の田井中常広氏、西山要一氏、東近江市栗見新田町の五十子紀義氏には、水田の使用について御協力いただいた。能登川土地改良区深田功事務局長をはじめ、多くの関係機関や関係者の方々に多大な御協力をいただいた。また、滋賀県琵琶湖環境科学センターの大久保卓也副部門長、佐藤祐一研究員に御指導と御助言を賜った。ここに記して深謝の意を表する。

6. 引用文献

- 1) 北村立美・黒田久雄・山本麻美子・根岸正美・田渕俊雄, 2010. 霞ヶ浦湖岸循環利水水田地区の水収支と物質収支. 農業農村工学論文集. 267(78-3): 35-41
- 2) 久保田治夫, 田渕俊雄, 高村義親, 鈴木誠治, 1979. 湖岸水田の水収支と物質(N, P)収支. 農土論集, 84, 27-28
- 3) 三浦健志・奥野林太郎, 1993. ペンマン式による蒸発散

- 位計算方法の詳細. 農土論集. 164 : 157-163
- 4) 三浦健志・奥野林太郎, 1993. ペンマン式の計算を容易にするための工夫と提案. 農土論集. 164 : 165-170
- 5) 中村公人・濱 武英・三野 徹, 2006. 木浜地区の循環灌漑システムによる水質保全効果. 環境技術, Vol. 35, No. 8 : 16-19
- 6) 日本土壌協会, 2001, 土壌機能モニタリング調査のための土壌, 水質及び植物体分析法 : 1-322
- 7) 農業農村工学会編, 2010. 農業農村工学ハンドブック基礎編. 211-212, 農業農村工学会, 東京.
- 8) 農林水産省. 平成 22 年耕地及び作付面積統計
- 9) 滋賀県農業技術振興センター・滋賀県環境こだわり農業課, 2008, 環境こだわり農業環境影響調査事業報告書
- 10) 志村博康, 丸山利輔他, 1987, 新農業水利学, 朝倉書店 : 169-171
- 11) 田淵俊雄・高村義親, 1985, 集水域からの窒素・リンの流出, 東京大学出版会 : 119-120

Summary

An onsite survey was conducted to obtain quantitative data on the effect of circulatory irrigation with reused agricultural drained water in reducing runoff loads such as of nutrient salts in the paddy rice cropping period. Also examined were the influences of the practice on paddy rice yield and quality.

1) The ratio of drained water to irrigation water in the circulatory irrigation region was 33-34% throughout the cropping period in a 2-year survey.

2) Circulatory irrigation reduced the amount of nitrogen that ran off from the region by 35% (average for 2 years), resulting in a decreased runoff load. Likewise, phosphorus decreased by 60%.

3) The results of the 2-year survey revealed that milled/hulled rice weight, whole grain ratio, and hulled rice nitrogen content were equivalent in the precision survey field in the circulatory irrigation region compared with the non-circulatory irrigation region.

