

水稲非作付期における土壌管理法の改善による流出負荷低減効果

蓮川 博之・柴原 藤善*・山田 善彦・大林 博幸**・饗庭 直樹・高橋 有紀・岡本 将宏

Runoff Load Reduction by Improved Soil Management Practice in Paddy Rice Non-Cropping Period

Hiroyuki HASUKAWA, Fujiyoshi SHIBAHARA, Yoshihiko YAMADA, Hiroyuki OBAYASHI,
Naoki AIBA, Yuki TAKAHASHI and Masahiro OKAMOTO

キーワード: 栄養塩類, 水稲非作付期, 冬期湿潤管理, 土壌管理法, 流出負荷量

水稲非作付期の水田の土壌管理方法として、水稲収穫後の稲わら鋤込みの耕起時期を遅らせること、暗渠管を閉鎖すること、排水口へ止水板の設置をすることを組み合わせ、冬期間土壌を湿潤状態に管理する「冬期湿潤管理」(以下この組合せ技術を冬期湿潤管理と表す)を現地ほ場に導入し、その面的な取り組みによる栄養塩類・濁水の流出負荷低減効果を定量的に評価した。

- 1) 精密調査ほ場の水収支は、冬期湿潤管理を行う実証区では止水板の設置や暗渠管の閉鎖によって、地表排水と暗渠排水は認められず、その一方で浸透水と蒸発散量は慣行栽培の対照区より多くなった。水田群においては冬期湿潤管理によって排水路への流出水量は対照区より少なくなった。
- 2) 精密調査ほ場の実証区における全窒素(T-N)と硝酸態窒素(NO₃-N)の流出負荷量は、冬期湿潤管理に伴う硝酸化成の抑制によって、対照区に比べT-Nで23~35%、NO₃-Nで28~45%低減し、全りん(T-P)の流出負荷量は地表排水や暗渠排水に伴う懸濁物質(SS:濁水等)の流出防止によって対照区に比べ9~36%低減した。また、差引排出負荷量(流出負荷量-流入負荷量)は両区ともプラスの汚濁型を示すが、冬期湿潤管理を行う実証区では対照区より少なくなった。
- 3) 水田群においても精密調査ほ場と同様に冬期湿潤管理により、安定した流出負荷低減効果が得られ(低減率:T-N 27~34%、NO₃-N 42~46%、T-P 36~44%、SS 19~28%)、差引排出負荷量も低減した。
- 4) 水稲作付期の地力窒素の発現量は冬期湿潤管理の導入の有無にかかわらず同水準で、水稲の精玄米収量および品質についても同水準となった。また、冬期湿潤管理による地耐力の低下は認められなかった。

1. 緒言

滋賀県では、2004年度から全国に先駆けて環境農業直接支払制度を創設した結果、水稲を中心に環境こだわり農産物認証制度(化学肥料および化学合成農薬の使用量を慣行の5割以下に削減するとともに、濁水の流出防止など、琵琶湖をはじめとする環境への負荷を減らす技術で生産された農産物を県が「環境こだわり農産物」として認証する制度)に基づく栽培面積は年々増加し、2006年には5,860haとなり、うち水稲は5,512haで水稲栽培面積の15%にまで拡大した。そのような中、水稲作付期の環境こだわり農業の技術の体系化^{1,8)}と併せて、その取り組みによる負荷低減効果を現地ほ場において定量的に評価し^{1, 2, 17, 18)}、環境こだわり農業の一層の推進とともに2007年度から開始された国の環境農業直接支払

制度「農地・水・環境保全向上対策」の導入に寄与してきた。

一方、水稲非作付期には耕起、うね立てなどの土壌管理によって有機態窒素の無機化・硝酸化成が促進され、降雨時には硝酸態窒素が溶脱しやすくなり^{2,6)}、水稲非作付期における窒素の差引排出負荷量(流出負荷量-流入負荷量)は水稲作付期よりも多くなる事例が数多く報告されている^{5, 7, 27)}。

このため、今後水田からの年間の流出負荷量を低減するためには、水稲非作付期の栄養塩類等の流出負荷量を低減するための土壌管理法を確立することが課題となっている。

水稲非作付期の流出負荷低減技術として、柴原^{1,3)}は稲わらの秋鋤込みが、窒素の有機化を促進させ、硝酸態窒素の流出負荷を軽減しながら、土壌窒素肥沃度を維持増進し、水稲の施肥節減を可能にすることを報告している。

また、水稲収穫後の耕起時期を地域の慣行(10月中旬)と比

*現、滋賀県東近江農業農村振興事務所農産普及課 **現、滋賀県愛知川流域田園整備事務所

本報告の一部は、2009年日本土壌肥科学会関西支部講演会(高知市)、2010年日本土壌肥科学会(札幌市)で発表した。

較して約40日間遅らせることの面的な取り組みにより、栄養塩類等の流出負荷量が低減される傾向が認められている¹⁷⁾。

さらに、キャベツ残さ鋤込みほ場において、暗渠排水口の排水水位を20cm高くすることにより、水田下層土の還元層での脱窒促進に伴い、暗渠排水の硝酸態窒素濃度が明らかに低下し、後作水稻までの窒素流出負荷量が約50%の削減効果が認められている¹²⁾。

そこで、2007年度の水稲収穫後から栄養塩類等の流出負荷低減技術として、冬期湿潤管理を現地ほ場に導入し、その面的な取り組みによる栄養塩類等の流出負荷低減効果を定量的に評価した。

2. 材料および方法

2.1 調査ほ場の概要

調査地には、滋賀県のほぼ中央の湖東平野に位置する東近江市建部瓦屋寺地区を選定した(図1)。当該集落では、集落営農組織「建部瓦屋寺生産組合」を1995年に設立し、水稻・麦・大豆の協業体制を確立し、2006年には特定農業団体の認定を受けている。2007年では、水稻作付の全面積(10ha)で環境こだわり水稻栽培を行っている。

集落内の水田群に実証区(冬期湿潤管理:1.7ha)と対照区(慣行管理:1.5ha)を隣接して設定し、水田群内にそれぞれ精密調査ほ場を設置した(図1)。精密調査ほ場は実証区①および②(2,960m²および2,970m²)、対照区(3,240m²)で、ともに調査期間の2年間は同一ほ場とした。当水田群の土壌条件は、半湿田(土壌統群名:細粒グライ土)のタイプに属し、実証区および対照区ともに本暗渠が施工されている(1~2本/筆)。なお、実証区および対照区ともに調査期間中

転作は行われていない。

精密調査ほ場の土壌化学性を表1に示す。両区の水田は比較的肥沃で、可給態リン酸含量は対照区では本県改良目標値¹⁵⁾の範囲内であり、実証区では改良目標値を上回った。可給態ケイ酸含量は改良目標値¹⁵⁾の範囲内にあった。可給態窒素含量は、対照区および実証区ともに同水準で改良目標値¹⁵⁾の範囲にあった。

2.2 試験区の構成

試験区の構成を表2に示す。実証区では、水稻非作付期における土壌管理法として、冬期湿潤管理を導入した。また、実証区①および実証区②の2筆の精密調査ほ場において、2007年度は耕起時期を遅らせる効果(実証区①:対照区より18日間、実証区②:対照区より41日間)、2008年度は暗渠管閉鎖の効果(実証区①:暗渠管開放、実証区②:暗渠管閉鎖)をそれぞれ検討した。なお、実証区の水田群の管理は2007年度には実証区①に準じ、2008年度には実証区②に準じた。

対照区では、稲わら鋤込みを伴う耕起は地域の標準的な時期(11月上旬)に行い、暗渠管は開放し、止水板は設置しなかった。

実証区および対照区ともに土づくり肥料を耕起前に標準量(80kg/10a)ブロードキャスタで散布した後に、耕起をプラウ耕(耕起深:約15cm)で行い同時に稲わらを全量還元した。なお、耕起後ロータリによるうね立ては行わなかった。また、家畜ふん堆肥は無施用であった。

水稻作付期の施肥量を表3に示す。水稻作付期は実証区および対照区ともに滋賀県環境こだわり農産物栽培基準に基づき栽培した。作付品種は両区とも「秋の詩」で、5月上旬に移植した。施肥は2008年度では基肥(有機態窒素50%肥料

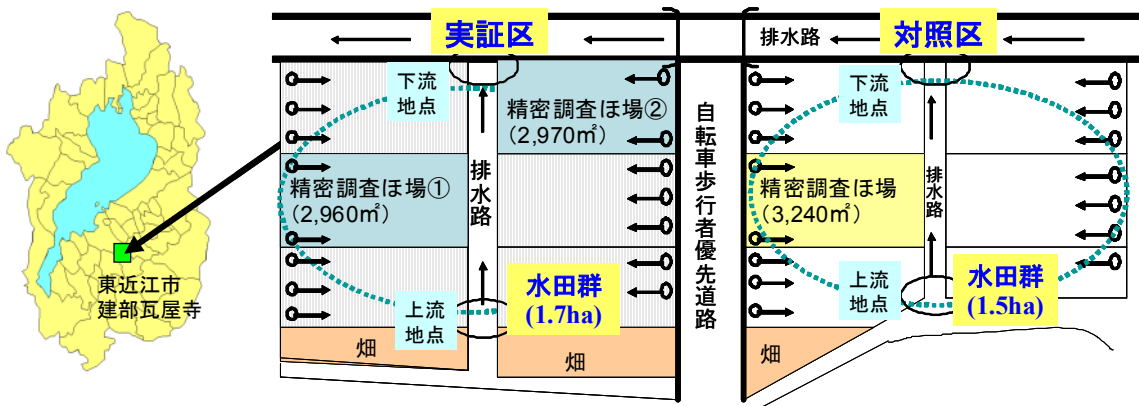


図1 試験調査場所と現地ほ場図

表1 精密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)			可給態窒素含量(mg)				
				P ₂ O ₅ (mg)	SiO ₂ (mg)		CaO	MgO	K ₂ O	2週	4週	7週	10週	13週
対照区	7.0	2.56	0.202	19.4	22.3	15.6	219	45	19	1.2	2.2	3.6	5.2	5.6
実証区①	7.2	2.06	0.174	22.0	26.7	13.8	176	40	19	1.5	2.7	3.7	5.4	5.6
実証区②	7.0	2.58	0.206	24.3	28.3	15.4	256	50	18	1.5	2.4	3.9	5.7	5.8

注) 乾土100gあたり。土壌は2009年の水稻栽培前土壌を採取。

表2 試験区の概要

年度	試験区	耕起時期	暗渠管	止水板	精密調査ほ場面積	水田群面積	前作
2007	対照区	11月7日	開放	無し	3,240㎡	1.5ha	水稲(滋賀県環境こだわり農産物認証基準)
	実証区①	11月25日	閉鎖	有り	2,960㎡	1.7ha	
	実証区②	12月18日	閉鎖	有り	2,970㎡		
2008	対照区	11月8日	開放	無し	3,240㎡	1.5ha	水稲(滋賀県環境こだわり農産物認証基準)
	実証区①	12月9日	開放	有り	2,960㎡	1.7ha	
	実証区②	12月9日	閉鎖	有り	2,970㎡		

注：1)土づくり肥料は両区ともとれ太郎(可溶性珪酸30%、く溶性りん酸6%、く溶性苦土12%)を80kg/10a施用。なお、家畜ふん堆肥は無施用。
 2)滋賀県環境こだわり農産物認証基準：化学肥料(窒素成分量)および化学合成農薬の使用量を通常の5割以下に削減することに加え、代かき濁水の落水防止等の農業排水を適正に管理(水稲基準：化学肥料(窒素成分量)4kg/10a以下、農薬成分は延べ7成分以下)。

表3 調査ほ場の施肥量(水稲作付期)

年度	基肥			穂肥①			穂肥②			計			
	銘柄	滋賀こだわり元肥ハーフコート ^a		滋賀こだわりハーフ有機 ^b			滋賀こだわりハーフ有機 ^b						
2007	成分	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	(%)	13	14	14	10	6	10	10	6	10			
2008	施用量	30 (kg/10a)		15 (kg/10a)			25 (kg/10a)						
	(kg/10a)	3.9	4.2	4.2	1.5	0.9	1.5	2.5	1.5	2.5	7.9	6.6	8.2
2009	銘柄	有機入りセラコートR355一発 ^c											
	成分	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	(%)	13	5	5									
	施用量	50 (kg/10a)											
	(kg/10a)	6.5	2.5	2.5	—	—	—	—	—	—	6.5	2.5	2.5

注) a: 有機態N約50%, 緩効性N(セラコート)約50%。 b: 有機態N50%。
 c: 有機態N約50%, 緩効性N(セラコート)約41%, 速効性N約9%。

表4 調査ほ場の農薬散布(水稲作付期)

防除区分	処理日	処理農薬名	有効成分含有量
種子消毒	4月上旬	(温湯消毒)	—
除草(初中期一発)	5月上旬	フェントラサミト・フ・ロモフチト [*]	6.0%
		フェントラサミト [*]	18.0%
		ペンシルフロメチル水和剤	1.0%
除草(後期)	7月上旬	ペンタゾン粒剤	11.0%
本田防除	7月上旬	メトミストロピン粒剤	15.0%
	8月中下旬	エトフェンロックス乳剤	20.0%

の側条施肥)一穂肥(有機態窒素50%肥料の表層施用)体系で、2009年度は全量基肥(有機態窒素50%の基肥一発肥料の側条施肥)体系とした。代かきは通常のロータリによる荒代かき、水田ハローによる浅水代かきの計2回とした。水管理は強制落水を行わず、自然減水等の節水管理とした。

水稲作付期の調査ほ場における散布農薬を表4に示す。種子消毒は温湯消毒、除草は初中期一発剤および後期剤の2回処理、本田の病害虫防除はいもち病、カメムシ類を対象に水田管理機(ビーグル)による防除を行った。

水稲非作付期の調査日数については、2007年度(2007年水稲収穫後～2008年水稲作付前)では、精密調査ほ場が10月9日から169日間、水田群が11月1日から146日間、2008年度(2008年水稲収穫後～2009年水稲作付前)は、精密調査ほ場および水田群ともに10月6日から185日間であった。なお、水稲の収量・品質については冬期湿潤管理後の2か年(2008年度と2009年度)に調査した。

2.3 水量の調査方法

2.3.1 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での気象観測値を用いた。なお、農業技術振興センターから調査ほ場の直線距離では10.8kmであった。地表排水量は堰の公式¹¹⁾により算出した。暗渠排水量は調査ほ場の暗渠排水口に積算流量計(φ20mm)を取り付け、水量を測定した。蒸発散量はペンマン法(ほ場状態によりアルベド係数を変化⁶⁾)により推定した。浸透水量は式1により算出した¹⁷⁾(10mm以上回の降雨を単位とし、次の降雨までの期間で算出した)。

$$S = (L_0 + R - P - H - D) - L \dots \text{式1}$$

(ただし、 $L > L_0 + R - P - H - D$ のときは $S = 0$ とした)

S: 日浸透水量 (mm/日),

L_0 : 当該日の最初の土壌保水量 (mm),

R: 日降水量 (mm/日),

P: ペンマン式より求めた蒸発散量 (mm/日),

H: 日地表排水量 (mm/日),

D : 日暗渠排水量 (mm/日) ,

L : ほ場容水量 (室内実験から, 対照区 186.4mm, 実証区
①185.6mm, 実証区②188.0mm とした)

2. 3. 2 水田群

実証区および対照区の排水路上流, 下流の各地点 (図1) に自記水位計を設置し, 用水路の水位を継続測定した. また, 別途用水路の断面積を求め, 各地点の流速を定期的に測定することで流量 (通過水量) を算出し, 水位 (H) と流量 (Q) の相関式から上流, 下流地点の水量を推定した.

$$Q = a \times H^n$$

Q : 水量 (m³/sec) , H : 水位 (cm) , a , n : 係数

流出水量は両区ともに下流水量から上流水量を差し引きし, 算出した. なお, 降水量および蒸発散量は精密調査ほ場調査の水量データを利用した.

2. 4 採水方法

調査期間中は原則として週1回, 精密調査ほ場では, 暗渠排水および浸透水を採水し, 水田群では排水路の各地点を採水した. さらに, 10mm 以上/回の降雨時は地表排水, 暗渠排水および排水路の各地点を採水した. なお, 浸透水は, 精密調査ほ場の深さ 50 cm の位置にL字型の有孔塩ビパイプ (φ 50mm) を埋設し, ミニポンプにより汲み上げて採水した¹⁷⁾.

2. 5 水質分析方法

水質分析方法は次のとおり (浸透水は前処理として, ガラス繊維ろ紙 (1 μm) でろ過した) .

- ①懸濁物質 (SS) : ガラス繊維ろ紙 (1 μm) による捕集量測定.
- ②化学的酸素要求量 (COD) : 100°C過マンガンカリウム法.
- ③全窒素 (T-N) : 熱分解-自動分析計 (Bran+Ruebbe 社製 : AACS-III) 使用.
- ④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.
- ⑤イオン態成分 (NO₃-N, NH₄-N, NO₂-N, PO₄-P, K) : イオンクロマトグラフ分析法 (島津製作所製 : Prominence HIC-NS 使用) .

2. 6 栄養塩類等の負荷量の評価法

栄養塩類等を差引排出負荷量 (流出負荷量-流入負荷量)²²⁾ によって評価し, 冬期湿潤管理導入による流出負荷低減効果を流出負荷低減率 (低減率 = (対照-実証) / 対照 × 100) で評価した.

2. 7 水稻の収量調査, 作物体および土壌の分析法, 土壌硬度の測定法

精密調査ほ場における水稻の収量は, 成熟期に坪刈り調査を各2か所で行い, 平均値で示した.

作物体および土壌の分析は, 常法¹⁰⁾ 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. 可給態窒素は, 代かき直前に作土層を採取し, 湿潤土を 30°C で密栓・湛水培養し, アンモニア化成量を経時的に分析した.

また, 土壌硬度は自記式コーンペネトロメータ (千代田製作所製 : SM26-R) を用いて, 精密調査ほ場3か所測定し, 平均値で示した.

3. 結果および考察

3. 1 水収支

3. 1. 1 精密調査ほ場

精密調査ほ場の水収支を表5, 図2に示す.

調査期間中の降水量は, 2007年度 (調査期間 : 169日間) では398mmあり, 平年値 (493mm) と比較して少なかった. 旬別降水量では12月下旬に50mm/旬を超える降水量があり, 時期別では調査開始~12月までの降水量の割合が高かった. また, 2008年度 (調査期間 : 185日) では635mmあり, 前年度より多くなり, 平年値 (566mm) と比較してやや多かった. 旬別降水量では12月下旬, 1月上旬, 1月下旬, 2月中旬および3月中旬に50mm/旬を超え, 時期別では1~2月の冬期の割合が高かった. なお, 2008年度冬期 (1~2月) のほ場の状態は, 実証区では水尻のごく一部分に湛水状態がみられた.

蒸発散量は, 2007年度に対照区161mm, 実証区①175mm, 実証区②181mmとなり, また2008年度に対照区190mm, 実証区①197mm, 実証区②212mmとなり, 2か年を通して実証区②>

表5 水稻非作付期の精密調査ほ場における水収支 (単位 : mm)

区分 (年度)	試験区	流入 (降水量)				流出				
		~ 12月	1~2月	3月~	合計	地表排水	暗渠排水	浸透水	蒸発散	合計
精密調査ほ場 (2007)	対照区					5	156	76	161	398
	実証区①	193	122	83	398	—	—	223	175	398
	実証区②					—	—	217	181	398
精密調査ほ場 (2008)	対照区					14	281	150	190	635
	実証区①	243	268	124	635	—	252	186	197	635
	実証区②					—	—	423	212	635

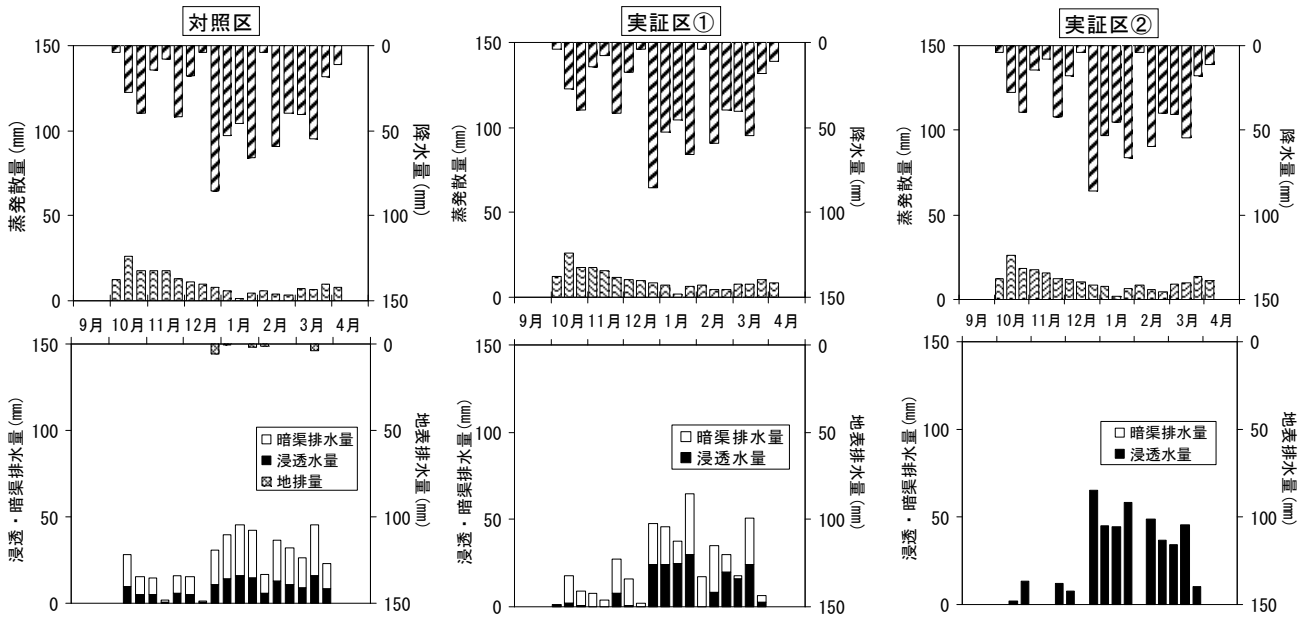


図2 精密調査ほ場の水収支(2008年度水稲非作付期)

区分(年度)	試験区	流出水量	蒸発散量	降水量
水田群(2007)	対照区	231	112	339
	実証区	199	120	339
水田群(2008)	対照区	454	190	635
	実証区	375	212	635

注) 流出水量=下流水量-上流水量。蒸発散量および降水量は精密調査ほ場データを参考値として記載。

実証区①>対照区の順で多い傾向を示した。

地表排水量は、対照区では2007年度に5mm、2008年度に14mmとなり、降水量の多い時期にわずかに認められたものの、うね立てを行わなかったため少なかった。なお、実証両区では止水板の設置により2か年ともに認められなかった。

暗渠排水量は、対照区では2007年度に156mm、2008年度に281mmとなり、実証区では暗渠管を開放した2008年度の実証区①を除き、暗渠管の閉鎖により認められなかった。

浸透水量は、2007年度に対照区76mm、実証区①223mm、実証区②217mmと推定された。また、2008年度には対照区150mm、実証区①186mmとなり、暗渠管を閉鎖した実証区②では423mmと推定された。

精密調査ほ場の流出水量は、土壌タイプが半湿田のグライ土壌であることにより、暗渠排水量の割合が高く、浸透水量の割合が少なくなった。

3. 1. 2 水田群 (排水路)

水田群の排水路への流出水量を表6に示す。

調査期間中の流出水量は、2007年度では対照区231mm、実証区199mm、2008年度では対照区454mm、実証区375mmであった。実証区では暗渠管閉鎖や止水板設置によって、流出水量は14~17%少なくなったものの、畦畔漏水等により流出水量が認められた。降水量(流入水量)に対する流出水量の割合(流出率)は、2007年度に対照区では68%、実証区では59%

で、2008年度に対照区では71%、実証区では59%であり、2か年を通して同程度であった。

3. 2 水質

3. 2. 1 精密調査ほ場

精密調査ほ場の栄養塩類等の水質を図3、4に示す。浸透水におけるT-NおよびNO₃-N濃度は実証区では2か年を通して耕起後の降雨に伴い上昇する傾向にあった。2008年度については、耕起直後の濃度上昇が暗渠管を閉鎖した実証区②では暗渠管を開放した実証区①と比較して緩やかになった。一方、対照区では2か年で異なる傾向が認められた。このことは、2007年度では耕起後の浸透水量が多かったことにより、濃度が低下したためと考えられた。また、暗渠排水におけるT-NおよびNO₃-N濃度は対照区で2か年を通して耕起後に上昇する傾向にあった。一方、浸透水および暗渠排水におけるT-P、S S濃度等は降雨による一時的な上昇を除き、低濃度で推移した。

3. 2. 2 水田群 (排水路)

水田群(排水路)の栄養塩類等の水質を図5に示す。排水路における栄養塩類等の濃度は一時的な上昇を除き、両区とも調査期間を通じて下流>上流となり、対照区では下流と上流の濃度差が大きい傾向にあった。T-NおよびNO₃-N濃度は両区ともに耕起後の降雨に伴い上昇する傾向がみられた。T-P濃度等はまとまった降雨や積雪後に一時的に上昇した。

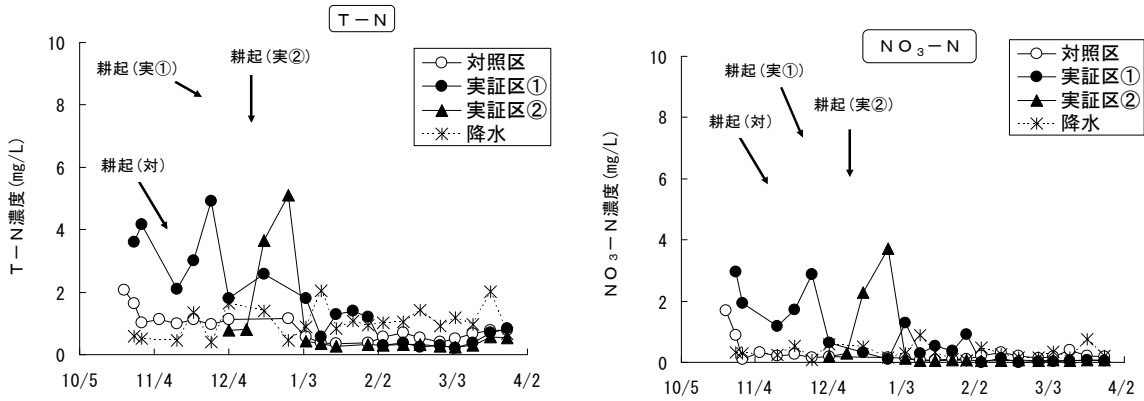


図3-1 浸透水の水質濃度の推移(2007年度精密調査ほ場)

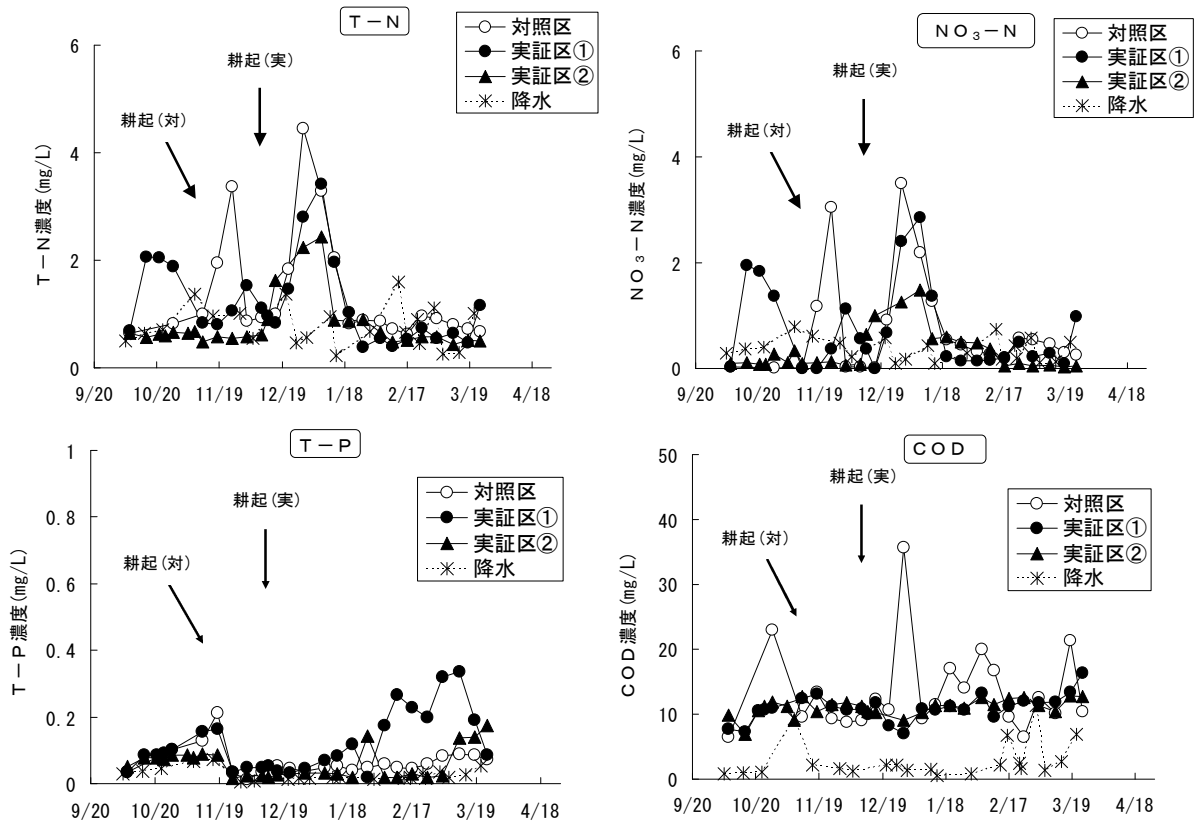


図3-2 浸透水の水質濃度の推移(2008年度精密調査ほ場)

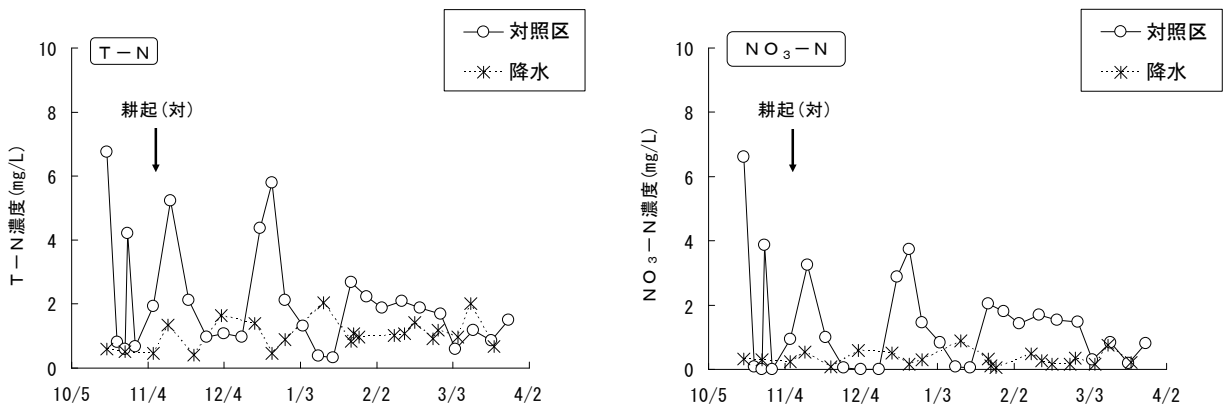


図4-1 暗渠排水の水質濃度の推移(2007年度精密調査ほ場)

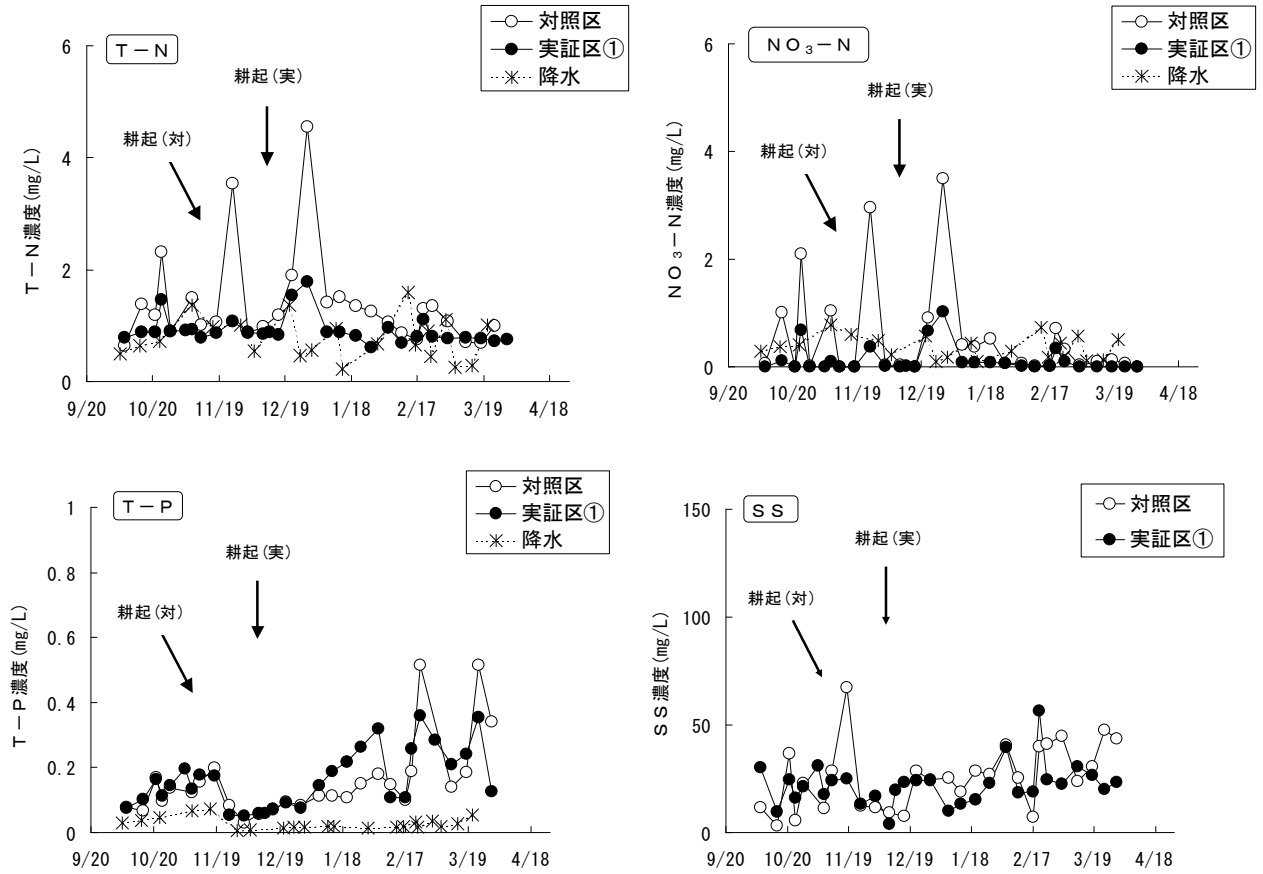


図4-2 暗渠排水の水質濃度の推移(2008年度精密調査ほ場)

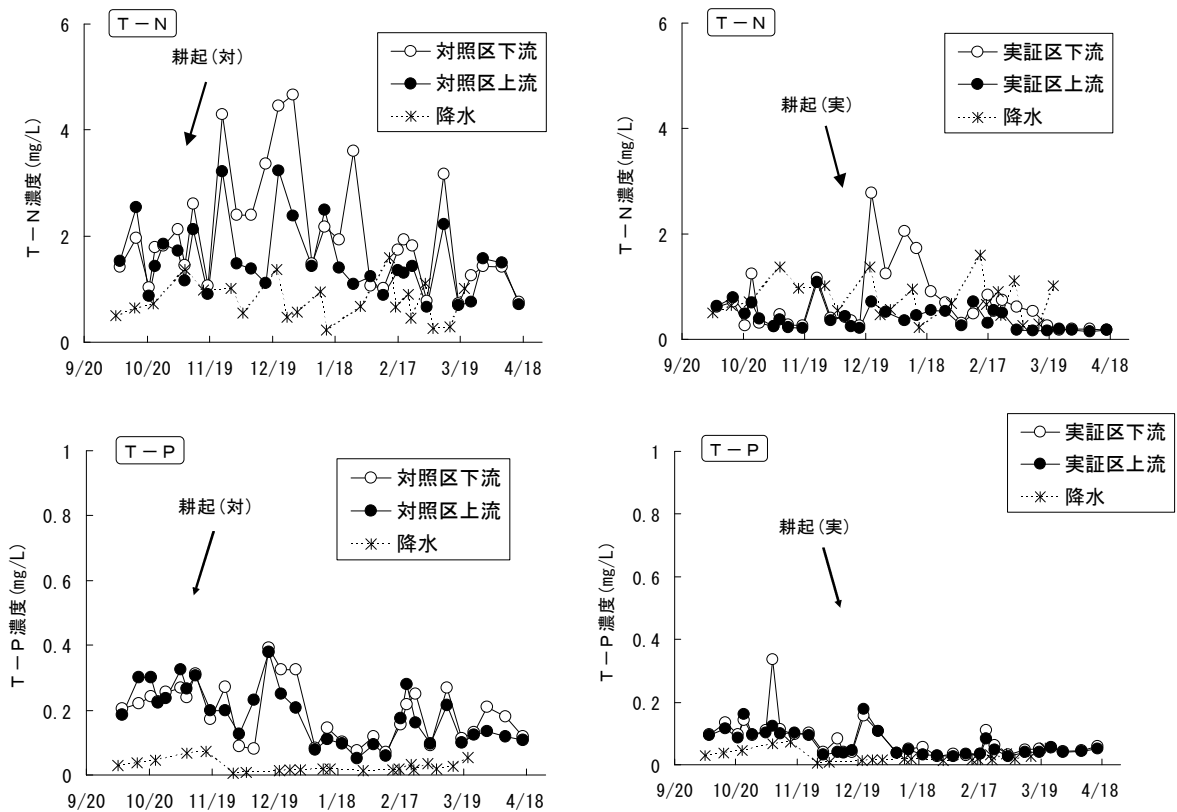


図5 排水路中の水質濃度の推移(2008年度水田群 左：対照区，右：実証区)

3. 3 栄養塩類等の流入・流出負荷量

3. 3. 1 精密調査ほ場

精密調査ほ場における栄養塩類等の流入・流出負荷量を表7-1に示す。

精密調査ほ場における栄養塩類等の流入負荷量(降水負荷量)は、2007年度ではT-N 3.0kg/ha, T-P 0.02kg/ha, COD 9.0kg/ha となり、2008年度ではT-N 4.0kg/ha, T-P 0.17kg/ha, COD 14.9kg/ha となった。2008年度では降水量の増加に伴い、2007年度と比較して、流入負荷量が多くなった。

栄養塩類等の流出負荷量は、実証区では冬期湿潤管理の取り組みに伴う硝酸化成の抑制によって、NO₃-N流出負荷量が対照区と比較して28~45%低減した。これらの流出負荷低減に伴い、T-N流出負荷量が23~35%低減した。また、実証区におけるT-P, SSおよびCOD流出負荷量は、対照区と比較して9~36%, 18%, 2~22%低減した。実証区におけるT-Pの流出負荷低減効果は、①暗渠排水や地表排水の流出防止に伴い、SS流出負荷量が低減されたこと、②T-P流出負荷量に占めるPO₄-Pの割合が小さいことを考え合わせると、地表排水や暗渠排水に伴うSSの流出防止によるものと考えられた。

また、実証両区において、2007年度に耕起時期を遅らせる効果を検討したところ、T-N流出負荷量は対照区より18日間遅らせた実証区①では3.4kg/ha, 41日間遅らせた実証区②では3.3kg/ha となり、明確な差は認められなかった。一方、2008年度に暗渠管閉鎖の効果を検討したところ、T-N流出負荷量は暗渠管を開放した実証区①では5.4kg/ha, 閉鎖した実証区②では4.5kg/ha となり、暗渠管閉鎖による負荷低減効果が期待されると考えられた。

なお、差引排出負荷量(流出負荷量-流入負荷量)は対照区および実証区ともにプラスの汚濁型を示したが、実証区では冬期湿潤管理の取り組みによって流出負荷量と同様の低減効果が認められた。

3. 3. 2 水田群(排水路)

水田群における栄養塩類等の流入・流出負荷量を表7-2に示す。

水田群における栄養塩類等の流入負荷量(降水負荷量)は、2007年度ではT-N 2.7kg/ha, T-P 0.01kg/ha, COD 8.2kg/ha となり、2008年度ではT-N 4.0kg/ha, T-P 0.17kg/ha, COD 14.9kg/ha となった。2008年度は調査期間が長かったことや降水量の増加に伴い、2007年度と比較して、流入負荷量が多くなった。

排水路への流出負荷量は、実証区では2か年を通して精密調査ほ場と同様の安定した負荷低減効果が認められ、負荷低減率はT-Nで27~34%, NO₃-Nで42~46%, T-Pで36~44%, SSで19~28%, CODで24~30%となった。また、差引排出負荷量についても精密調査ほ場と同様に低減した。

3. 4 水稻の収量および品質

水稻非作付期後の水稻の収量、品質および養分吸収量を表8に、水稻非作付期調査終了時の地耐力を図6にそれぞれ示す。

精密調査ほ場の精玄米収量は2008年に対照区681kg/10a, 実証区①681kg/10a, 実証区②678kg/10a となり、同程度であった。2009年では、対照区504kg/10a, 実証区①505kg/10a, 実証区②479kg/10a となり、実証区②で5%減収した。

表7-1 水稻非作付期の精密調査ほ場における栄養塩類・濁水の流入・流出負荷量

試験区	収支の内訳	2007年度						2008年度					
		T-N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P	SS	COD	T-N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P	SS	COD
対照区	流入 降水	3.0	1.0	0.02	0.000	-	9.0	4.0	1.8	0.17	0.000	-	14.9
	計	3.0	1.0	0.02	0.000	-	9.0	4.0	1.8	0.17	0.000	-	14.9
	流出 地表排水	0.0	0.0	0.01	0.000	2	0.5	0.1	0.0	0.01	0.001	1	1.2
	暗渠排水	3.9	2.9	0.14	0.002	19	20.2	4.6	2.2	0.48	0.002	71	40.4
	浸透水	0.7	0.3	0.04	0.000	-	9.7	2.3	1.4	0.09	0.000	-	18.1
	計	4.6	3.2	0.19	0.002	21	30.4	7.0	3.6	0.58	0.003	72	59.7
	差引排出負荷量	1.6	2.2	0.17	0.002	21	21.4	3.0	1.8	0.41	0.003	72	44.8
実証区①	流入 降水	3.0	1.0	0.02	0.000	-	9.0	4.0	1.8	0.17	0.000	-	14.9
	計	3.0	1.0	0.02	0.000	-	9.0	4.0	1.8	0.17	0.000	-	14.9
	流出 地表排水	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	暗渠排水	-	-	-	-	-	-	2.6	0.6	0.35	0.000	60	34.4
	浸透水	3.4	1.8	0.17	0.002	-	29.7	2.8	2.0	0.16	0.003	-	19.6
	計	3.4	1.8	0.17	0.002	-	29.7	5.4	2.6	0.51	0.003	60	54.0
	差引排出負荷量	0.4	0.8	0.15	0.002	-	20.7	1.4	0.8	0.34	0.003	60	39.1
実証区②	流入 降水	3.0	1.0	0.02	0.000	-	9.0	4.0	1.8	0.17	0.000	-	14.9
	計	3.0	1.0	0.02	0.000	-	9.0	4.0	1.8	0.17	0.000	-	14.9
	流出 地表排水	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	暗渠排水	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	浸透水	3.3	1.8	0.16	0.001	-	24.9	4.5	2.1	0.37	0.000	-	46.4
	計	3.3	1.8	0.16	0.001	-	24.9	4.5	2.1	0.37	0.000	-	46.4
	差引排出負荷量	0.3	0.8	0.14	0.001	-	15.9	0.5	0.3	0.20	0.000	-	31.5

注) 差引排出負荷量=流出負荷量(地表排水+暗渠排水+浸透水)-流入負荷量(降水)。

表7-2 水稲非作付期の水田群における栄養塩類・濁水の流入・流出負荷量

試験区	収支の内訳	2007年度						2008年度					
		T-N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P	SS	COD	T-N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P	SS	COD
対照区	流入 降水	2.7	0.8	0.01	0.000	-	8.2	4.0	1.8	0.17	0.000	-	14.9
	計	2.7	0.8	0.01	0.000	-	8.2	4.0	1.8	0.17	0.000	-	14.9
	流出 排水路	4.9	3.8	0.56	0.030	61	29.9	9.1	5.6	0.75	0.000	99	51.1
	計	4.9	3.8	0.56	0.030	61	29.9	9.1	5.6	0.75	0.000	99	51.1
	差引排出負荷量	2.2	3.0	0.55	0.030	61	21.7	5.1	3.8	0.58	0.000	99	36.2
実証区	流入 降水	2.7	0.8	0.01	0.000	-	8.2	4.0	1.8	0.17	0.000	-	14.9
	計	2.7	0.8	0.01	0.000	-	8.2	4.0	1.8	0.17	0.000	-	14.9
	流出 排水路	3.3	2.0	0.36	0.030	49	22.7	6.6	3.3	0.42	0.000	71	35.5
	計	3.3	2.0	0.36	0.030	49	22.7	6.6	3.3	0.42	0.000	71	35.5
	差引排出負荷量	0.6	1.2	0.35	0.030	49	14.5	2.6	1.5	0.25	0.000	71	20.6

注) 差引排出負荷量=流出負荷量(排水路流出)-流入負荷量(降水)。

表8 精密調査ほ場の水稲の収量、品質および養分吸収量

区分(年度)	試験区	わら重 (kg/10a)	籾重 (kg/10a)	精玄米重 (kg/10a)	整粒歩合 (%)	玄米N 含量 (%)	吸収量(籾+わら) (kg/10a)		
							N	P	K
精密調査ほ場 (2008)	対照区	893	930	681	75.0	1.11	11.4	2.40	11.7
	実証区①	825	884	681	70.8	1.08	9.9	2.09	12.7
	実証区②	866	890	678	74.7	1.12	10.5	2.16	11.3
精密調査ほ場 (2009)	対照区	892	690	504	87.3	1.09	8.0	2.10	11.4
	実証区①	886	691	505	87.0	1.08	8.3	2.14	12.4
	実証区②	852	663	479	87.7	1.13	8.3	1.92	14.0

注: 1) 収量および品質は2連の平均値を示す。精玄米重: 1.8mm網目。

整粒歩合: 1.8mm以上の玄米を用い、穀粒判別器(サタケRGQ110B)により測定。粒重比。玄米N含量: 乾物あたり。

2009年は2008年と比較して収量が少なかった。このことは、施肥体系が基肥+穂肥の分施肥体系から基肥全量に変更されたこと、窒素施肥総量が前年と比較して少なかったこと(表3 2008年: 7.9kgN/10a→2009年: 6.5kgN/10a)によるものと考えられた。

整粒歩合は、2008年には対照区75.0%、実証区①70.8%、実証区②74.7%となり、実証区①では対照区よりやや低くなったものの、70%以上(1等基準)を確保した。2009年には対照区87.3%、実証区①87.0%、実証区②87.7%となり、全区を通して1等基準を確保した。また、玄米窒素含量は2か年を通して実証両区とも対照区と同程度であり、堀野⁴⁾の食味からみた適値(上限値)の1.3%以下となった。なお、N、P、Kの養分吸収量(籾+わら)は、2か年を通して全区を通して同程度であった。

なお、水稲作付期における水田雑草の発生量は対照区および実証区ともにオモダカ等多年性雑草の発生量は少なく(データ略)、冬期湿潤管理の影響はみられなかった。

また、水稲非作付期終了時の地耐力は対照区および実証区ともに機械作業に必要とされる基準値(0.3MPa以上)を確保し、冬期湿潤管理による地耐力低下の影響はみられなかった。

4. 総合考察

4.1 栄養塩類・濁水の流出負荷低減効果

田淵ら²⁴⁾は台地と谷津田の農業集水域における年間のT-N流出負荷量は35.6kg/haで、水稲作付期がその39%の13.9kg/haで、水稲非作付期が61%の21.7kg/haであり、水稲

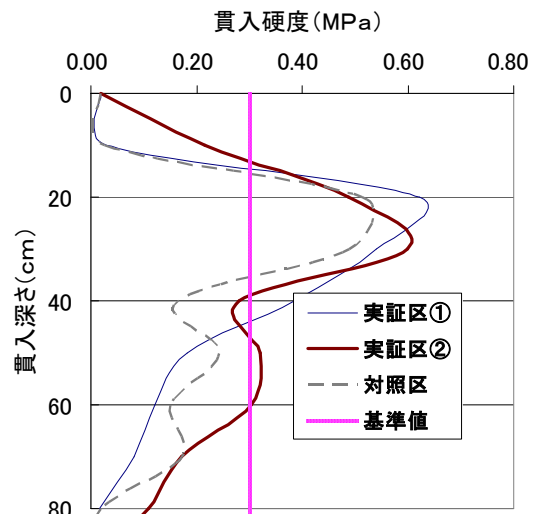


図6 非作付期調査終了時の地耐力(2009年4月)

注) 土壌貫入硬度はコーンペネトロメーターにより計測。

非作付期で多くなり、その流出負荷量についてはNO₃-Nが占める割合が高かったことを報告している。一方、武久²⁵⁾は当センター内の稲わら連用ほ場における年間のT-N流出負荷量は20.0kg/haで、水稲作付期が63%の12.6kg/ha、水稲非作付期が37%の7.4kg/haとなり、水稲作付期の割合が高かったと報告している。また、筆者ら¹⁾は現地での地域慣行栽培に

おける年間のT-N流出負荷量を算出したところ 16.8kg/ha となり、水稲作付期がその51%の8.6kg/ha、水稲非作付期が49%の8.2kg/haとなった。さらに、環境保全型稲作技術(適正な水管理と施肥改善)と水稲非作付期の土壌管理法改善(耕起時期の遅延、土壌診断に基づいた土づくり肥料の削減)を組み合わせることで、年間のT-N流出負荷量は前述の慣行栽培と比較して4.3kg/ha低減し、12.5kg/haであった。また、この流出負荷低減量に占める割合は水稲作付期が93%、水稲非作付期が7%となり、水稲作付期の技術導入の効果が大きかった。年間の窒素等の流出負荷量に占める割合は水稲非作付期が37~61%と高いことから、年間の窒素流出負荷低減効果を図るためには、水稲非作付期の流出負荷低減技術の確立が重要である。

そこで、今回の研究では排水条件や土壌管理法によって窒素流出負荷量や浄化機能には変化が生じる知見をもとに、冬期湿潤管理による栄養塩類等の流出負荷低減効果を定量的に評価した。

本研究の調査結果では、水稲非作付期におけるT-N流出負荷低減効果はNO₃-Nの流出負荷低減の寄与率が高いことから、冬期湿潤管理に伴う窒素の流出低減効果は硝酸化成抑制に伴うものと推察された。このことは、水稲非作付期の谷津田の土壌を湛水管理することによって、窒素(NO₃-N)の流出負荷量が低減した田淵ら²¹⁾の報告と類似した傾向が得られた。また、田淵らはその負荷低減効果は主として水田土壌における脱窒特性によるものとみなしていることから、本研究結果における窒素流出負荷低減効果においても脱窒の影響があるのではないかと推察された。

一方、T-P等の流出負荷低減は、既に3.3節で述べたように地表排水および暗渠排水防止によるSSの削減によるものと考えられた。このことは、中曽根ら⁹⁾の水田からのリンの流出は降雨時、畑や水路底の土粒子に吸着したリンが流出し、T-P流出負荷量とSS流出負荷量には高い正の相関が認められるという報告とも一致した。また、対照区における2か年のT-Pの流出負荷量は過去の事例^{7, 17, 27)}と比較して低いレベルにあった。このことは、耕起法が平うねで、地表排水量が少なかったためと考えられた。水稲非作付期の流出負荷量は降水の表面流出による影響が大きい²⁰⁾、小林ら⁷⁾は平うね耕起による土壌管理は、うね立て耕起による土壌管理と比較して地表排水量の抑制に伴うSS流出負荷量の低減によって、T-P流出負荷量が低減可能なことを現地ほ場(グライ土)で認めている。以上のことから、耕起法を平うねにし、止水板の設置や暗渠管閉鎖によってSSを流出防止することが水稲非作付期のT-P流出負荷量の負荷低減効果として有効な手段であることが改めて確認された。

また、冬期湿潤管理による有機物の分解抑制に伴い、冬期の窒素溶出が抑制されることで、代かき・移植後の5月以降の地力窒素が一斉に溶出することも懸念されたが、水稲非作

付期の降水量が平年よりやや多かった2009年においても水稲作付期の地力窒素の発現量は実証両区ともに対照区と同程度で推移した。水稲の収量についても同水準を確保した。一方、近年夏期の温暖化に伴う水稲の白未熟粒の増加等の品質低下が問題となっており、その抑制対策として初期生育を抑制することが有効であるとされている¹⁶⁾。これらのことから、冬期湿潤管理により地力窒素の発現時期を遅らせ、水稲の初期生育を抑制し、秋勝り型の生育に改善することは温暖化適応策の点からも有効であると考えられた。

さらに、本県では集落営農組織が多く設立され、営農機械の大型化も進んでいることから、冬期湿潤管理導入による地耐力の低下が懸念される。田淵ら²³⁾は水田土壌の土性が植壊土で作土層下にグライ層が出現する湿田において、水稲非作付期の湛水による地耐力の変化を調べたところ、地耐力は1週間の湛水により低下するが、湛水を止めると10日間程度で元の値に戻ったと報告している。このことと、既に3.1節でも述べたように平年よりやや多い降水条件での冬期湿潤管理の取り組みでも水口の一部に湛水部分がみられる程度の湛水条件であったこと、3月以降は蒸発散量も多くなり、地下浸透水量も少なくなること、本県の水田輪作の基本体系は水稲-水稲-麦・大豆の3年4作であり、3年周期で水田を麦・大豆作等の畑地化することを考え合わせると冬期湿潤管理に伴う地耐力への影響は少ないと考えられた。

なお、水田輪作の点からは、水稲非作付期での冬期湿潤管理による麦・大豆作の畑地化に伴う収量性や地耐力、土壌化学性への影響も懸念されるが、冬期湿潤管理を2か年取り組んだ後の小麦作の収量性への影響等を2010年度調査したところ、冬期湿潤管理の取り組みにかかわらず、小麦の収量は同水準を確保し、地耐力への影響も認められなかった(データ略)。今後は、冬期湿潤管理による麦作での土壌化学性への影響評価も含め、異なる土壌タイプでの効果検証を行う必要がある。

さらに、県内の一部の地域においても生物多様性の観点等から冬期湛水の取り組みが行われている。当センターにおいても後続の研究課題として、冬期湛水の取り組みによる小麦等の周辺作物や翌水稲作への影響評価と併せて、栄養塩類等の流入・流出負荷量の定量的な評価について現地ほ場で調査を開始した。今後は冬期湛水の環境影響評価と併せて冬期湿潤管理との比較調査も行い、これらの導入に伴うメリットやデメリットを様々な観点から総合的に整理する必要がある。

4.2 過去の調査事例との比較

本県では、これまで現地ほ場において水田発生負荷量調査を精力的に実施しており、水稲追肥重点施肥法の移行後の単筆田(精密調査ほ場)における水稲作付期の調査結果(27例、1993年~2004年)を変化要因別、営農技術別に解析した¹⁴⁾。その結果、水稲作付期における27例のT-N流出負荷

5. 謝辞

本研究は、「環境こだわり農業技術高度化事業」の一環として実施した。

調査地区の建部瓦屋寺町営農組合長の大谷源治氏、大谷光彦氏、大谷正満氏にはほ場の選定、栽培管理に格別の御協力を賜った。また本調査事業の遂行については、滋賀県農政水産部環境こだわり農業課ならびに農業経営課の担当職員に御尽力いただいた。さらに、本研究を実施するにあたり、滋賀県東近江農業農村振興事務所農産普及課の浦部弘氏、当センターの環境研究部環境保全担当職員をはじめ、多くの関係機関や関係者の方々に多大な御協力を頂いた。ここに記して、感謝の意を表する。

6. 引用文献

- 1) 蓮川博之・柴原藤善, 2008. 環境こだわり農業の取り組みによる水稲作付期の流出負荷低減効果. 近畿中国四国地域における新技術 7 : 25-27.
- 2) 蓮川博之・柴原藤善・駒井佐知子・水谷智・大林博幸・藤井吉隆・須戸幹, 2009. 環境こだわり農業の取り組みによる水稲作付期の流出負荷低減効果. 滋賀農技セ研報 48 : 1-21.
- 3) 蓮川博之・柴原藤善・山田善彦, 2010. 水稲非作付期における土壌管理法の改善による流出負荷低減効果の定量評価 (第2報) 冬期湿潤管理導入による栄養塩類等の流出負荷低減効果と窒素流出負荷予測モデル式による効果評価. 土肥要旨集 56 : 161.
- 4) 堀野俊郎, 1989. 米のミネラル成分と食味. 稲と米一品質を活かすー. 農研センター・生研機構 : 67-86.
- 5) 伊藤勉・北村義信・清水克之・武田絵里, 2007. 水田群からの汚濁負荷流出特性. 農業農村工学会大会講演要旨集 322-323.
- 6) 石橋豊・田邊邦美・内藤利貞・林弘宣(編), 1987. 農業水利演習 2 かんがい. コロナ社 : 12.
- 7) 小林敏正・小森信明・徳田裕二, 2005. 施肥改善および水管理の適正化によるグライ土水田からの栄養塩類等の流出負荷軽減対策. 滋賀農総セ農試研報 45 : 13-36.
- 8) 三浦吉則, 2003. 水田からのメタン発生の実態と抑制のための稲わら管理に関する研究. 福島農試特研報 7 : 1-38.
- 9) 中曽根英雄・黒田久雄, 1996. 農耕地から流出する窒素・リンに影響する因子に関する考察. 用水と廃水 38 (9) : 727-731.
- 10) 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.
- 11) 日本規格協会, 2002. J I Sハンドブック. 環境測定 I.
- 12) 柴原藤善, 1999. 田畑輪換水田におけるキャベツの作条施

- 肥技術と暗渠排水浄化技術. 近畿中国地域における新技術 33 : 114-118.
- 13) 柴原藤善, 2002. 水田生態系における微生物バイオマス窒素の動態とその意義に関する研究. 滋賀農総セ農試特別研報 22 : 1-149.
 - 14) Shibahara, F. and Mizutani, S., 2006. Paddy Runoff Control in the Lake Biwa Area and Nitrogen Dynamics in Paddy Fields. The 3rd International Workshop of the Japan-Korea Research Cooperation : 73-74.
 - 15) 滋賀県, 2002. 土づくり技術対策指針 : 57.
 - 16) 滋賀県, 2010. 稲作技術指導指針 : 9-21.
 - 17) 滋賀県農業技術振興センター, 2008. 環境こだわり農業環境影響調査事業報告書 : 1-112.
 - 18) 滋賀県農業技術振興センター他, 2008. 近畿地域の水稲の環境負荷低減技術の体系化と負荷予測モデル開発. 先端技術を活用した農林水産研究高度化事業報告書 : 1-121.
 - 19) Shiratori, Y., Watanabe, H., Furukawa, Y., Tsuruta, H., and Inubushi, K., 2007. Soil Sci. Plant-Nutr., 51 : 387-400.
 - 20) 宗宮功(編), 2000. 琵琶湖 その環境と水質形成. かんがい. 技報堂出版社 : 33-45.
 - 21) 田淵俊雄・鈴木誠治・高村義親, 1983. 非作付期の谷津田における畑地流出水中のNO₃-Nの除去について. 農土論集 104 : 9-15.
 - 22) 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 : 15.
 - 23) 田淵俊雄・末正奈緒希・高梨めぐみ, 1987. 水田湛水による硝酸態窒素の除去試験. 農土誌 55 (8) : 761-766.
 - 24) 田淵俊雄・黒田久雄, 1991. 台地と谷津田の農業集水域の窒素流出構造一面源主体の農業集水域からの流出負荷に関する研究(III)一. 農土論集 154 : 65-72.
 - 25) 武久邦彦, 1997. 牛糞堆肥連用の細粒グライ土水田での栄養塩類等流出負荷量とN・P収支. 近畿中国地域における新技術 32 : 49-52.
 - 26) 田中靖志, 2001. 滋賀県における水田からの汚濁負荷軽減に向けた取り組み. 農業技術 56 (6) : 251-256.
 - 27) 徳田裕二・園田敬太郎, 2002. 灰色低地土水田群からの栄養塩類等流出量. 近畿中国四国地域における新技術 2 : 62-64.

Summary

We proposed a soil management practice for paddy fields in the non-rice-cropping period, comprising a combination of delaying the timing of post-harvesting plowing with rice straw plowed in the soil, closing underdrainage conduits, and placing water cutoff boards at drainage canals, to keep the soil moistened during the winter season. This multiangle approach to winter moistening management was introduced to actual paddy fields, and its effects in reducing the runoff loads of nutrient salts and turbid water were quantitatively evaluated.

1) Water balance data for the precision survey field showed that neither surface drainage nor underdrainage occurred in the experimental plot with winter moistening management by placement of water cutoff boards and closure of underdrainage conduits, whereas percolation and evapotranspiration increased compared with the control plot with conventional practice. In the actual paddy field, the winter moistening management reduced the water runoff into drainage canals compared with the control plot.

2) In the experimental plot in the precision survey field, the runoff loads of total nitrogen (T-N) and nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) decreased by 23-35% for T-N and by 28-45% for $\text{NO}_3\text{-N}$ compared with the control plot, as a result of suppressed nitrification due to the winter moistening management. The runoff load of total phosphorus (T-P) decreased by 9-36% compared with the control plot as a result of prevention of the runoff of suspended solids (SS: turbid water etc.) due to surface drainage and underdrainage. The net runoff load (runoff load - inflow load) had a plus value indicative of water pollution in both plots, but was smaller in the experimental plot with the winter moistening management than in the control plot.

3) In the actual paddy field, as in the precision survey field, the winter moistening management was stably effective in reducing the runoff loads (reduction rate: 27-34% for T-N, 42-46% for $\text{NO}_3\text{-N}$, 36-44% for T-P, 19-28% for SS), and the net runoff load also decreased.

4) Soil nitrogen availability during the paddy rice cropping period was constant irrespective of with or without the winter moistening management; milled/hulled rice yield and quality were also constant. The winter moistening management did not cause a reduction in the bearing capacity of soil.

