

# 科学研究費補助金研究成果報告書

平成22年5月6日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20880016

研究課題名（和文）環境への排出負荷を抑制する農業排水路の管理方法の提案

研究課題名（英文）Management of Agricultural Drainage Canals for Reducing Outflow Load

研究代表者

濱 武英（HAMA TAKEHIDE）

京都大学・大学院農学研究科・助教

研究者番号：30512008

研究成果の概要（和文）：琵琶湖岸の水田地区の農業排水路を調査し、底泥に含まれる窒素、リン、炭素量を明らかにした。底泥の窒素は、灌漑期に多く、非灌漑期に少ない傾向が見られた。底泥の炭素は窒素と同様の変動傾向を示した。特に、底泥へのリンの吸着量は水温に強く影響されることがわかった。したがって、水田地区からの排出負荷を削減するためには、非灌漑期前半の水管理（底泥浚渫や水門の閉鎖）が重要であると結論づけられた。

研究成果の概要（英文）：Nitrogen, phosphorus and carbon contents in the bottom sediment in an agricultural drainage canal in a paddy-field district around neighboring Lake Biwa were investigated in the present study. Nitrogen content in the sediment was high during the irrigation period and low during non-irrigation period. The temporal variation of carbon was similar to that of nitrogen. It was shown that phosphorus adsorption by the sediment depended largely on water temperature. It was concluded that water management practices (dredging of the sediment and closing of the floodgate) at the beginning of non-irrigation period was important for reducing effluent load from the paddy-field district.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,340,000	402,000	1,742,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
総計	2,540,000	762,000	3,302,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業土木学・農村計画学

キーワード：農業排水路、底泥、水田、窒素、リン、循環灌漑、琵琶湖

## 1. 研究開始当初の背景

近年、農地から周辺の環境に排出される農薬や化学肥料の削減は重要な課題である。琵琶湖や霞ヶ浦など周辺に農地を多く抱える閉鎖性水域では、かねてから農業排水による水質汚濁が顕在化しており、排出負荷を削減するために様々な取り組みが実施されてきた。

琵琶湖岸の水田流域において実施されている循環灌漑は、排出負荷削減対策の1つである。循環灌漑とは排水を用水として再利用する灌漑方式であり、循環灌漑の効果は再利用によって排水量が削減されることで現れる。一方、琵琶湖岸の水田流域の一般的な灌漑方式は、湖水をポンプアップして利用するもの

である。

琵琶湖岸の水田流域において実施されている循環灌漑は、排出負荷削減対策の1つである。排出負荷の削減対策は、肥料の投入量の削減を中心とした農地レベルの対策と流域の自浄機能の発揮を中心とした流域レベルの対策に大別されるが、排水が湖へ直接流出してしまう湖岸の水田流域にとって循環灌漑は数少ない有効な流域レベルの対策と考えられる。

これまで研究代表者は、琵琶湖南東岸に位置する水田地区において実施された循環灌漑を調査し、灌漑期間での用水・排水の水質分析から、循環灌漑の排出負荷削減効果を明らかにした。しかし、その効果は必ずしも循環取水率（用水に占める排水の割合）に比例するわけではないことが示された。これは、排水路に蓄積していた栄養塩類が、循環灌漑実施時の排水路内の流速の増加によって流出してしまうからである。

したがって、循環灌漑の排出負荷削減効果を正確に評価するためには、排水路内の栄養塩類の動態を把握することが重要であり、また、その効果の改善には、排水路の管理を含めた地区の水管理の見直しが必要であると考えられた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、農業排水路における栄養塩類の量およびその動態を明らかにすることである。

特に、排水路における物質の主な供給源（あるいは消費源）は底泥であり、排水路の底質（窒素、リン、炭素）の経時的な変化を明らかにする。そして、流域外への排出負荷を抑えるための排水路の管理（主に、水門操作や底泥の浚渫時期など）について検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) 現地調査

#### ①調査地

現地調査の対象地区は、琵琶湖南湖の東岸に位置する木浜地区（滋賀県守山市）である。地区の面積は148haである。土地利用はほとんどが水田であり、約3割の水田において、3年周期で転作が実施されている。転作田では、小麦と大豆が作付される。調査地区に後背地はなく、大雨の時を除いて、地区外から排水路への水の流入はない。調査地区の幹線排水路は長さ約1.5kmであり、地区を南北に縦断する。幹線排水路の面積は約0.8haである。幹線排水路の勾配は、排水路の中央付近から南北に向かってそれぞれ緩く傾斜している。灌漑期間中の晴天時の水深は30~50cm（中央付近）、50~80cm（南部）、70~100cm（北部）である。また、浄化池を除いた水路幅は2~4mである。南北の水門はそれぞれ3段と2段構造となっている。灌漑期間中の水門は、

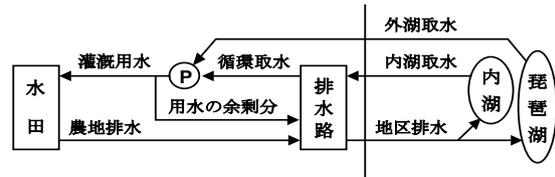


図1 灌漑排水の流れ

幹線排水路に貯水するために、全閉状態か下段ゲートを閉じた状態に操作される。このとき、地区排水は水門の下段ゲートを越流して流出する。

用水路は地区外と接続しておらず、地区外から用水の流入は全くない。用水はすべて幹線排水路の南北末端に設置されたポンプによって取水されたものである。南部ポンプと北部ポンプはそれぞれ約 $50\sim 100\text{L s}^{-1}$ 、約 $500\sim 700\text{L s}^{-1}$ の揚水能力があり、各ポンプの揚水量は調節可能である。南部ポンプの取水口は幹線排水路内にある。一方、北部ポンプでは、幹線排水路と琵琶湖からの取水が可能な構造になっており、その切り替えはそれぞれに対する取水口に設けられたゲートの開閉によって行われる。ポンプの稼働時間は基本的に午前6時から午後6時までの約12時間である。ポンプの稼働は晴天時に限られる。稼働時間帯の途中で降雨があった場合、ポンプの運転は中止される。

晴天日の水の流れを図1に示す。地区外からの用水の取水方法には2つある。1つは、北部水門を開放し、隣接する木浜内湖の水を幹線排水路に導くものである（本研究では『内湖取水』とよぶ）。もう1つは、北部ポンプにより、琵琶湖からパイプラインを通じて湖水を取水するものである（本研究では『外湖取水』とよぶ）。外湖取水は従来の灌漑形態（一般に、逆水灌漑とよばれる）であり、琵琶湖周辺の水田群に広く普及している。

#### ②観測機器

地区南部に、雨量計、全天日射計、風速計、温度計を設置した。さらに、南北の水門の内側に超音波型流量計、内外に圧力式水位計をそれぞれ設置した。上記の計器の計測間隔は1分間隔に設定した。また、幹線排水路の両端には濁度計を設置し、20分間隔で排水の濁度を計測した。

#### ③調査方法

毎週、現地に赴き、灌漑用水、幹線排水路の排水および湖水を採取した。また、幹線排水路の南端に自動採水器を設置し、毎日正午に排水を採取した。

毎月、幹線排水路の3地点（南端、中央、北端）において底泥を採取した。底泥の採取は柱状の採泥器を用いて行い、採取後の底泥を上層（表層0cm~5cm）と下層（5cm~10cm）に分けた。

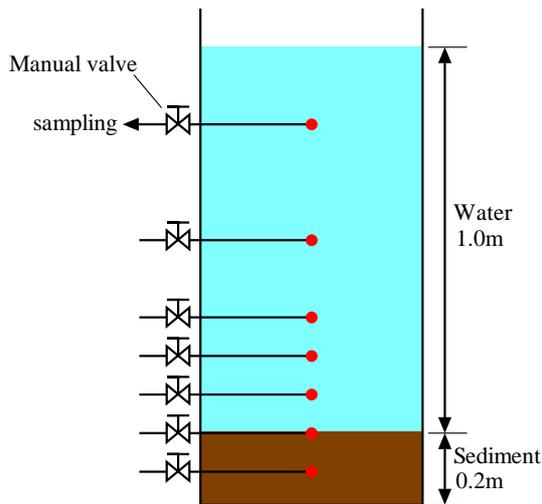


図2 水柱模型

#### ④水質・底質分析

現地にて採水した試料の水質分析項目は、懸濁物量、全窒素、溶存態全窒素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、全リン、リン酸態リン、全有機態炭素、イオン類 ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) である。

分析方法は日本工業規格 (JIS K 0102) に従った。ただし、懸濁態成分と溶存態成分の分離には、 $1\mu\text{m}$  の濾紙を使用した。

底泥の分析項目は、全窒素、全炭素、全リン、吸着態アンモニア態窒素である。

全窒素および全炭素は乾式燃焼法、全リンは硫酸硝酸分解法によりそれぞれ分析した。

#### (2) 底泥溶出・吸着試験

##### ①底泥からの栄養塩類の溶出試験

排水路内を模したアクリル製円筒 (直径  $0.3\text{m}$ , 高さ  $1.5\text{m}$ ) を用いて、底泥からの栄養塩類の溶出試験を行った。

試験装置の概要を図2に示す。模型底部に調査地区から採取した底泥を約  $20\text{cm}$  厚さで充填し、水深が  $1\text{m}$  となるように水を満たした。水の充填時から一定時間経過後に各深さから採水し、水質を分析した。底泥には2009年7月に採取したものを、水には水道水をそれぞれ用いた。

採水時刻は、水の充填時刻を  $t=0$  (hr) として、 $t=0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 32, 48, 72$  である。採水箇所は、底泥の表面を  $z=0$  (cm), 底泥から上向きを正として、 $z=-10$  (底泥間隙水),  $0, 10, 20, 30, 50, 80$  である。

分析項目は無機態の窒素 (アンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素) とリン (リン酸態リン) である。

##### ②吸着試験

底泥への吸着現象が顕著に見られたリンについて、その吸着特性を調べた。

まず、底泥へのリン酸の吸着の経時変化を調べるため、吸着速度試験を行った。  $250\mu\text{m}$

ふるいを通した底泥を試験試料とし、試料  $5\text{g}$  に対して濃度  $1\text{mgPL}^{-1}$  のリン酸溶液  $250\text{ml}$  を添加し、試水凝集反応装置 ( $200\text{rpm}$ ) で攪拌した。リン酸溶液の添加から  $3, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120$  分後の水を採取し、そのリン酸濃度を分析した。

次に、底泥の粒径による吸着特性の違いを調べるために、様々な粒径画分の底泥についてリン酸の吸着試験を行った。底泥を  $75\mu\text{m}$  以下、 $75\mu\text{m}\sim 106\mu\text{m}$ ,  $106\mu\text{m}\sim 250\mu\text{m}$  の3つの粒径画分に分け、各粒径画分について試料  $2.5\text{g}$  をビーカーに取り、所定の濃度に調整したリン酸溶液  $250\text{ml}$  を加え、試水凝集反応装置 ( $200\text{rpm}$ ) で約2時間攪拌した。添加したリン酸溶液の濃度は、 $0$  (蒸留水),  $0.1, 1, 10\text{mgPL}^{-1}$  である。

最後に、底泥のリン酸吸着等温線を求めるための吸着試験を行った。粒径別吸着試験の結果をふまえ、 $75\mu\text{m}$  ふるいを通した底泥を試料とし、試料  $2.5\text{g}$  に対して所定の濃度のリン酸溶液  $250\text{ml}$  を加え、試水凝集反応装置 ( $200\text{rpm}$ ) で約2時間攪拌した。添加したリン酸溶液の濃度は、 $0, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 10\text{mgPL}^{-1}$  である。異なる水温 ( $10, 20, 30^\circ\text{C}$ ) で試験を繰り返し行った。

各試験では、採水した溶液を遠心分離 ( $5000\text{rpm}$ ,  $10\text{min}$ ) し、 $0.20\mu\text{m}$  フィルターに通して測定溶液とした。測定溶液のリン酸濃度はモリブデン青吸光光度法により分析した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 地区の水収支・栄養塩類収支

図3に、2008年度の調査地区の月別水収支を示す。前述したように、調査地区では、中干しの前後で、用水の取水方法が異なり、4月下旬から6月下旬の中干し期間の前までは主に循環取水が、それ以降は落水まで外湖取水 (一部、南部ポンプによる循環取水は行われた) がそれぞれ行われた。7月上旬の中干

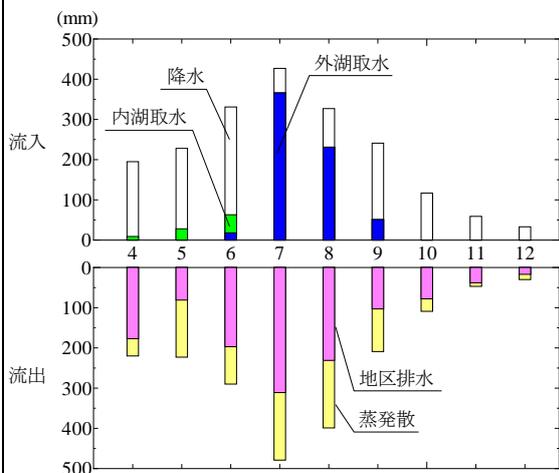


図3 地区の月別水収支 (2008年度)

し期間以降では、外湖取水による補給量は積

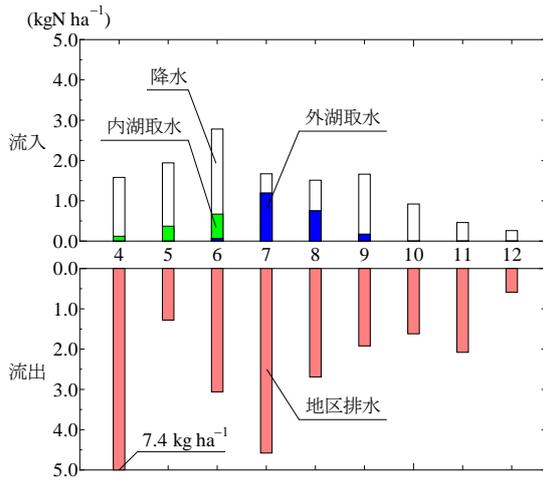


図4 月別窒素収支 (2008年度)

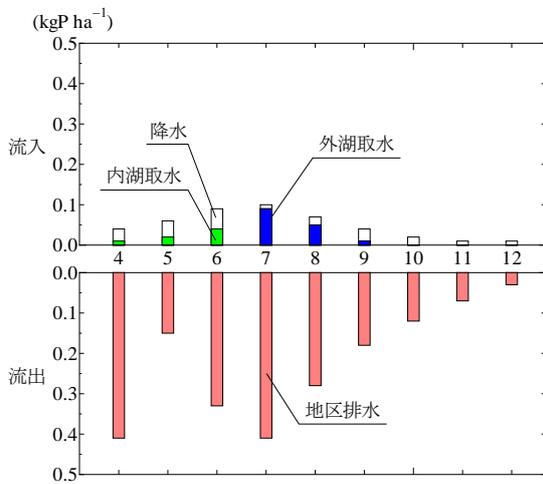


図5 月別リン収支 (2008年度)

算で 648mm であった。中干し後は外湖取水量に比例して地区排水が発生した。

図4、図5に2008年度の調査地区の窒素とリンの月別収支をそれぞれ示す。灌漑期については、調査地区では代かき時期に循環灌漑を行っているため、5月の代かき時期に流出負荷が大きくなるという傾向は見られなかったが、元肥後の4月と、逆水灌漑開始後の7月に排出負荷が大きかった。ただし、逆水灌漑時の排出負荷は主に外部からの取水によるものであった。差し引き排出負荷量(=地区からの流出負荷量-地区への流入負荷量)で考えると、上記の全期間(9カ月間)のうち非灌漑期(5カ月間)の差し引き排出負荷が約7割を占めた。一方、リンでは、非灌漑期の占める割合は約4割であった。

## (2) 排水路の底泥の栄養塩類

図6に幹線排水路の底泥(S=南端, C=中央, N=北端)の全窒素とアンモニア態窒素を示す。また、図7に底泥の全リンを示す。ただし、これらの値は底泥全層(上層と下層)

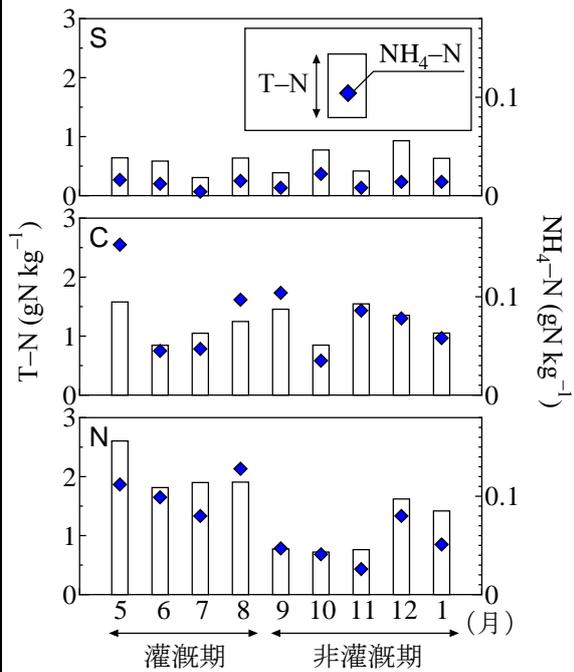


図6 幹線排水路の底泥の全窒素(T-N)とアンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N) (2008年度)

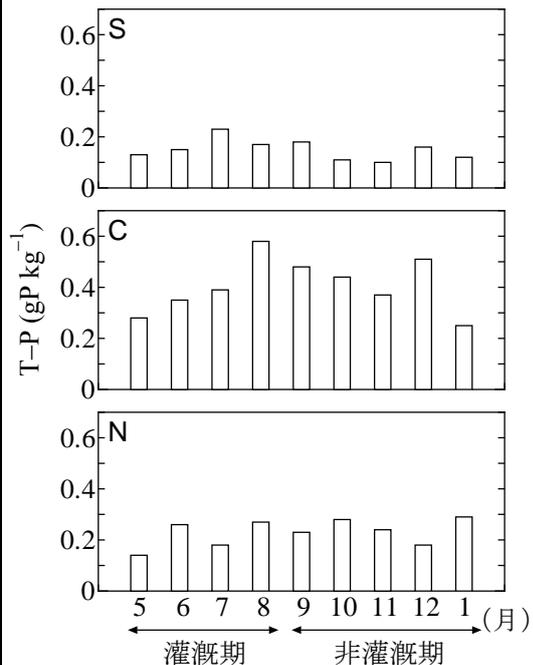


図7 幹線排水路の底泥の全リン(T-P) (2008年度)

の栄養塩類量である。5~1月の3地点の全窒素の平均値はおよそ  $1.1 \text{ gN kg}^{-1}$  であり、隣接する琵琶湖南湖の既往の値に比べ小さかった。底泥の全窒素は、底泥に含まれる粘土粒子の割合に左右されると考えられる。ポンプ施設や水門(2008年度は地区排水のために南部水門のみが開放された)に近く、排水の流速の大きかったS地点では、粘土粒子が堆積しにくく、特に全窒素も少なくなったと推察され

る。なお、底泥の全窒素に占める無機態窒素の割合は10%未満であった。一方、全リンの5~1月の3地点平均値は $0.26\text{mgP kg}^{-1}$ であり、全窒素と同様、琵琶湖南湖の既往の値よりも低かった。特に、年間を通じて高い水位が保たれるN地点では、底泥が還元状態にあり、リンの溶出が生じやすかったと考えられる。

底泥と排水の窒素の経時変化には、調査期間を通じて、高い相関性が見られたが、灌漑期と非灌漑期では、排水と底泥の相互関係にとって支配的な要因が異なると推察された。つまり、灌漑期においては、ポンプ稼働や営農などの人的要因および堆積や巻上げなどの物理的要因が大きく作用し、非灌漑期においては、溶出や吸着などの化学的要因が大きく作用すると推察された。

### (3) 溶出試験

図8に、水柱試験のアンモニア態窒素の結果を示す。供給した水道水中のアンモニア態窒素は $0\text{mgN L}^{-1}$ であった。 $t=2$ (hr)以降から、底泥からのアンモニア態窒素の溶出が確認され、水柱内のアンモニア態窒素濃度は次第に増加した。アンモニア態窒素濃度の値は、現地の排水路において計測される値と同程度であり、幹線排水路の底泥の栄養塩類が上部の排水の水質を形成しうることがわかった。底泥の間隙水中にアンモニア態窒素はほとんど検出されなかった。

硝酸態窒素では、水柱内の濃度は時間の経過とともに初期濃度(供給した水道水中の濃度、約 $2\text{mgN L}^{-1}$ )から低下していく傾向が見られた。亜硝酸態窒素はアンモニア態窒素と同様に経時的に上昇した。一方、リン酸態リンでは、底泥の無機態リン含有量が多かったにも関わらず、試験期間中に検出されなかつ

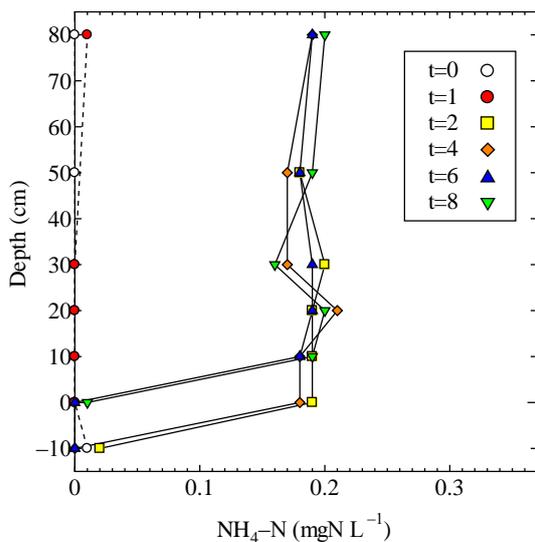


図8 水柱試験におけるアンモニア態窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ )濃度プロファイルの変化

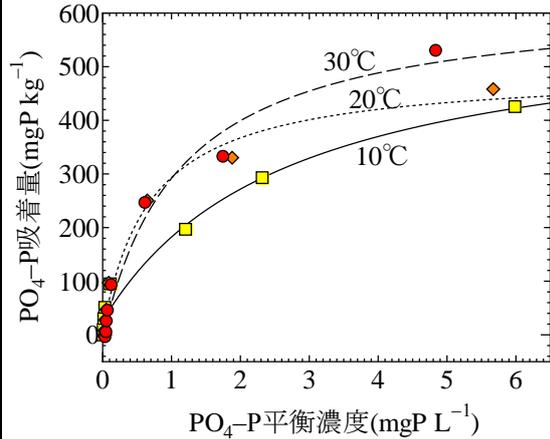


図9 水温によるリン酸吸着等温線の違い

た。これは、底泥によるリン酸の吸着作用が大きいためと考えられる。

### (4) 吸着試験

吸着速度試験から、底泥へのリン酸の吸着は速やかに進行し、約1時間で平衡に達することがわかった。

粒径別のリン酸の吸着試験では、 $75\mu\text{m}$ 以下と $75\mu\text{m}$ 以上の粒径画分では、リン酸の吸着量が大きく異なった。底泥へのリン酸の吸着量は $75\mu\text{m}$ 以下の土粒子の存在量に大きく影響されることがわかった。

図8は、各水温におけるリン酸の平衡濃度と吸着量の関係を示したものである。ここで、各水温の吸着等温線にラングミュア式を適用し、底泥へのリン酸の最大吸着量を推定した。最大吸着量は温度の上昇とともに大きくなる傾向が見られた。

一方、リン酸の平衡濃度が $0\sim 0.1\text{mgP L}^{-1}$ の濃度領域(低濃度領域)の吸着等温線には、線形式を適用し、分配係数を推定した。分配係数は、温度が高くなるにつれて小さくなった。つまり、低濃度領域では、温度が低いほど土粒子に吸着されやすいことが示唆された。

以上から、リンの吸着量は、水温の高い灌漑期において底泥に多く吸着され、水温の低くなる非灌漑期に底泥から排水中へ溶出するものと推察された。

### (5) 総合考察

水田地区からの排出負荷を削減するためには、非灌漑期の排水路管理が必要であることが示された。底泥中の栄養塩類量から判断すれば、浚渫の実施時期は、灌漑期終了後が最適である。

循環灌漑の実施や排水路魚道など、周辺環境へ配慮した水田地区管理において、農業排水路の貯水機能の拡充は重要である。本研究は貯水機能の拡充に伴うマイナス面を明らかにしており、本研究から得られた知見は今後の水田地区管理の改善にとって有益なものと考え

えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Hama Takehide, Nakamura Kimihito, Kawashima Shigeto, Effectiveness of cyclic irrigation in reducing suspended solids load from a paddy-field district, Agricultural Water Management, 査読有, Vol.97, 2010, pp.482-489
- ② 濱 武英, 中村公人, 川島茂人, 三野 徹, 普通期晴天日における循環灌漑の窒素・リン差し引き排出負荷削減効果, 農業農村工学会論文集, 査読有, 257 巻, 2008, pp. 11-17

[学会発表] (計7件)

- ① 濱 武英, 青木 丈, 中村公人, 川島茂人, 大菅勝之, 低平地水田地区の幹線排水路内の水温プロファイル, 農業農村工学会京都支部研究発表会, 2009年11月5日, 富山県
- ② 青木 丈, 濱 武英, 大菅勝之, 中村公人, 川島茂人, 農業排水路における底泥の窒素および炭素特性, 農業農村工学会京都支部研究発表会, 2009年11月5日, 富山県
- ③ 濱 武英, 青木 丈, 中村公人, 川島茂人, 農業排水路の栄養塩類, 農業農村工学会大会講演会, 2009年8月6日, 茨城県
- ④ 濱 武英, 中村公人, 川島茂人, 循環灌漑実施水田地区内の水田における窒素・リン収支, 農業農村工学会水文・水環境研究部会シンポジウム, 2008年12月4日, 茨城県
- ⑤ 濱 武英, 中村公人, 川島茂人, 非灌漑期に水田地区から流出する窒素, リン, 農業農村工学会京都支部研究発表会, 2008年11月6日, 福井県
- ⑥ 松田圭介, 中村公人, 濱 武英, 川島茂人, 農業農村工学会京都支部研究発表会, 2008年11月6日, 福井県
- ⑦ 濱 武英, 中村公人, 川島茂人, 三野 徹, 循環取水率と差し引き排出負荷の関係, 農業農村工学会大会講演会, 2008年8月26日, 秋田県

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

濱 武英 (HAMA TAKEHIDE)

京都大学・大学院農学研究科・助教

研究者番号：30512008