

低平地水田地区の排水路における水温形成とリンの吸着

The formation of water temperature and adsorption of phosphorus in the drainage canal
in a low-lying paddy-field district

○濱 武英*, 杉山 翔*, 大菅勝之**, 岩崎大知*, 中村公人*, 川島茂人*

HAMA Takehide, SUGIYAMA Sho, OSUGA Katsuyuki, IWASAKI Daichi,

NAKAMURA Kimihito, KAWASHIMA Shigeto

1. はじめに 低平地水田地区では、排水路の勾配が緩く、代かき時期などに水田から流出した土砂は排水路に堆積しやすい。窒素やリンを多く含む排水路の底泥の存在は、底泥の巻き上げや栄養塩類の溶出が生じた場合、栄養塩類の排出負荷を増加させる可能性がある。したがって、低平地水田地区からの栄養塩類の排出負荷を考える上で、排水路における栄養塩類の動態の把握が重要である。ここでは、栄養塩類動態に強い影響を及ぼす排水路の水温の形成過程を現地計測と数値計算によって明らかにした。また、底泥へのリンの吸着に着目し、水温別のリンの吸着試験¹⁾と排水路水温の数値計算により、灌漑方法の変更が底泥へのリンの吸着に与える影響を検討した。

2. 方法 調査地は琵琶湖南湖の東岸に位置する約 150ha の水田地区である。土地の 9 割以上は水田として利用される。本地区では、灌漑初め（4 月下旬）から中干し前（6 月下旬）まで排水を再利用する循環灌漑が実施される。中干し後（7 月上旬）から落水（8 月下旬）までは琵琶湖水を主に利用する灌漑（湖水灌漑）が実施される。地区中央を南北に縦断する幹線排水路は長さ約 1.5km、深さ 0.5~2m、幅 3~7m である。

幹線排水路の南端に、水温計（水面から 25cm 間隔に合計 5 つ）、水位計、流量計、濁度計を設置した。また、地区内に雨量計、全天日射計、気温計、風速計を設置した。観測期間は 2006 年 1 月から 2009 年 6 月である。

排水路の水温の数値計算には 1 次元の熱収支（Table 1）を基礎方程式として用いた。水温形成への濁度の影響を考慮するため、水面で吸収される短波放射の透過率が濁度の増加とともに指数関数的に減少するようにした。表中の外部からの熱の流入 J_{in} (W/m^2) は、灌漑用水の取水によるものである。湖水は、循環灌漑時には水門を介して直接幹線排水路に流入し、湖水灌漑時にはポンプによる取水後に用水路、小排水路を経て幹線排水路に流入する。水温の数値計算に必要な気象データは基本的に地区内で観測したデータを使用し、欠測データは AMeDAS（大津市）で補った。

Table 1 排水路の水温モデルの概要
Outline of water temperature model in the drainage canal

方程式	パラメータの説明
基礎方程式 (水面以下)	$\frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{c_{pw} \rho_w} \left(\frac{\partial I}{\partial z} + J_{in} \right)$ T : 水温($^{\circ}C$), t : 時間(s), z : 水深(m), K : 熱拡散係数(m^2/s), ρ_w : 密度(g/m^3), c_{pw} : 比熱($J/g^{\circ}C$), I : 短波放射(W/m^2), J_{in} : 外部からの熱の流入(W/m^3)
水面における熱収支	$R_n = I_0 + H_{atm} - H_w - H_{lc} - H_c$ R_n : 純放射(W/m^2), I_0 : 水面で吸収される短波放射, H_{atm} : 大気からの長波放射, H_w : 水面からの長波放射, H_{lc} : 潜熱フラックス, H_c : 顕熱フラックス
外部からの熱の流入	$J_{in} = c_{pw} \rho_w T_L \frac{Q_{in}}{V(h)}$ T_L : 湖水水温($^{\circ}C$), Q_{in} : 排水路に流入する湖水量(m^3/s), $V(h)$: 水深 h (m) の関数として表わされる排水路の水量(m^3)

* 京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

** 滋賀県 Shiga Prefectural Government

キーワード: 排水路, 水温, リン

3. 結果と考察 Fig.1 に幹線排水路の水温の実測値とモデルによる計算結果を示す。灌漑時の湖水取水量を考慮した場合 (Model 1) の二乗平均根誤差は 1.38 であり, 考慮しない場合 (Model 2) の 2.19 よりも再現性に改善がみられた。循環灌漑期の排水の水温は琵琶湖水に比べて平均で約 2°C 高かった。この要因には (1) 排水の地区内の滞留時間の増加と (2) 排水の濁度の上昇が考えられるが, Fig.1 の結果から, 滞留時間の増加が排水の水温上昇により強く影響すると推察される。今回のモデルでは, 灌漑期の水温が実測値よりも過大に計算される傾向にあり, 特に, 8 月下旬に実測値と計算結果の差が大きかった。これは, 降雨後の灌漑実施時に排水路に流入する湖水量の推定精度が低いためと考えられる。

水温を上昇または低下させた場合に, 排水路底泥に吸着されたリン酸態リン量の変化を Fig.2 に示す。水温の低下 (上昇) によって, 底泥に吸着されるリンは増加 (減少) した。リン吸着量は水温上昇時と減少時に同様の変化を示し, 明確なヒステリシスは見られなかった。排水のリン濃度が一定の条件において水温上昇による底泥のリン濃度の減少量は, 0.25mg/kg/°C であった。

水温モデルにより, 仮に灌漑初めから中干し前まで湖水灌漑を実施した場合, 排水路の水温は湖水温に近くなり, 期間平均で 1.8°C 低下する (平均水温 = 19.3°C) と推定された。一方, 循環灌漑期と湖水灌漑期の排水路の平均水深はそれぞれ 1.18(±0.05)m, 1.20(±0.05)m であり, 湖水のリン濃度 (TP) は 0.02(±0.01)mg/L と安定していた。したがって, 中干し前の湖水灌漑は底泥のリンを平均 0.45mg/kg 増加させることが示唆される。またその場合, 中干し後の湖水灌漑では, 排水水温が高いために底泥からリンが溶出し, 実際 (中干し前の循環灌漑実施) より高い排出負荷が生じると推察される。

謝辞 木浜土地改良区, 木浜農業組合, 滋賀県, 守山市の関係諸氏に多大なご協力を頂きました。付記して謝意を表します。 **参考文献** 1) Osuga et al., 2011, PAWEES2011.

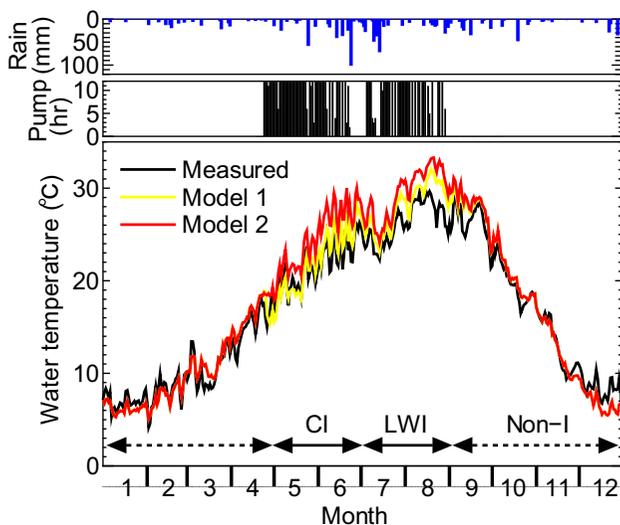


Fig.1 幹線排水路の水温とモデルによる計算結果: Model 1=湖水取水を考慮した場合, Model 2=湖水取水を考慮しない場合. CI, 循環灌漑期; LWI, 湖水灌漑期; Non-I, 非灌漑期.

Water temperature in the drainage canal, measured and calculated by the models: Model 1, considering lake water intake; Model 2, not-considering lake water intake. CI, cyclic irrigation period; LWI, lake water irrigation period; Non-I, non-irrigation period.

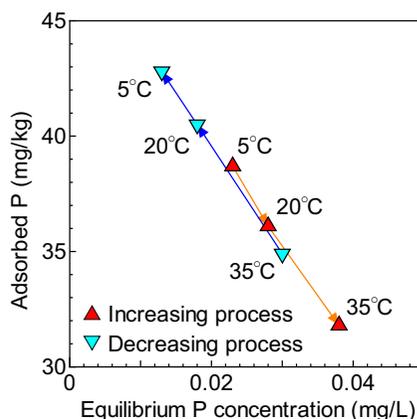


Fig.2 水温変化 (上昇過程と低下過程) に伴う底泥へのリンの吸着量変化. Changes in adsorbed phosphorus (P) on the sediment in increasing and decreasing processes of water temperature.