

掛流し灌漑時の用排兼用水路網における水温変動 (I)  
 ー手取川七ヶ用水での観測と排水の還流を考慮したシミュレーションモデルー  
 Water temperature variation in dual purpose canal during spill-over irrigation (I)  
 ー Observation in Tedori-gawa Shichika irrigation area and simulation model with  
 consideration of reuten flow ー

○小林 聡 木村匡臣 飯田俊彰 久保成隆

○KOBAYASHI Satoru, KIMURA Masaomi, IIDA Toshiaki and KUBO Naritaka

1. はじめに 水稻の高温障害対策としての掛流し灌漑には、低温の用水が大量に必要である。用排兼用水路網においては、上流側の水田で湛水されて昇温した排水を下流側の水田で反復利用している。そのため広域で掛流し灌漑を実施する際は、水路内での水温変動の様子を解明、モデル化し水田への取水水温を予測する必要がある。本研究では石川県手取川七ヶ用水を対象に、幹線水路および支線排水路の流量、水温の観測を行い、観測結果を基に水田からの排水の還流を考慮した用水の水温変動シミュレーションモデルを作成した。

2. 観測方法 手取川七ヶ用水 4-1, 4-2 号支線を対象とし、Fig.1 に示す A~G の観測点において流量および水温を、分土工において水温を 30 分間隔で測定した。また、Fig.1 に示す 2 つの排水流入地点において、30 分ごとに幹線水路に流入する排水の流量、水温を観測した。さらに、石川県立大学の試験圃場に設置された気象観測装置より、30 分ごとの気象データを得た。

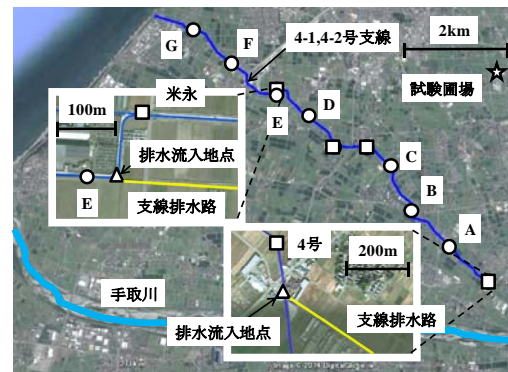


Fig.1 研究対象地 (○: 観測点, □: 分土工) Study area (○: observation point, □: division works)

### 3. 水温変動シミュレーションモデルの概要<sup>1)</sup>

まず、水温の移流方程式である(1)式を CIP 法により差分化して数値計算を行うことで、気象要因による水温変動を計算した。

$$\frac{\partial T_w}{\partial t} + \frac{Q}{A} \frac{\partial T_w}{\partial x} = \frac{R_n - H - LE - G_g}{\rho_w c_w D} \quad (1)$$

ここで、 $T_w$ は水温[K]、 $Q$ は流量[m<sup>3</sup>/s]、 $A$ は流積[m<sup>2</sup>]、 $R_n$ は純放射[W/m<sup>2</sup>]、 $H$ は顕熱フラックス[W/m<sup>2</sup>]、 $LE$ は潜熱フラックス[W/m<sup>2</sup>]、 $G_g$ は地中熱伝導フラックス[W/m<sup>2</sup>]、 $\rho_w$ は水の密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $c_w$ は水の比熱[J/(K・kg)]、 $D$ は水理学的水深[m]である。各熱フラックスは、石川県立大学試験圃場における気象データより求めた。

つづいて、2 つの観測点間に流入する水田からの排水の還流量を計算した。例えば観測点 FG 間の場合、次式により推定を行った。

$$Q_{in} = \frac{T_{wG\_obs} - (T_{wF\_obs} + \Delta T_{wFG\_cal})}{T_{win} - (T_{wF\_obs} + \Delta T_{wFG\_cal})} Q_G \quad (2)$$

$Q_{in}$ は FG 間に流入する排水の推定量[m<sup>3</sup>/s]、 $Q_G$ は観測点 G における観測流量[m<sup>3</sup>/s]、 $T_{wF\_obs}$ ,

東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo キーワード：灌漑水温，用排兼用水路，手取川七ヶ用水

$T_{wG\_obs}$ は観測点 F, G における観測水温[°C],  $\Delta T_{wFG\_cal}$ は観測点 FG 間の気象要因による水温上昇量[°C],  $T_{win}$ は水田からの排水水温[°C]である. これまでに,  $T_{win}$ は水田水尻水温とほぼ等しいことがわかっているので, 手取川七ヶ用水地区における水田水尻水温の調査結果を基に, 気温と移植後日数 $DAP[d]$ の関数である(3)式を用いて計算した.

$$T_{win} = (T_{am} + 6.5 - 0.07DAP) + \frac{1}{2}(\Delta T_a + 9.2 - 0.11DAP) \sin\left(\frac{\pi}{12}H_r - \frac{2}{3}\pi\right) \quad (3)$$

ここで,  $T_{am}$ は日平均気温[°C],  $\Delta T_a$ は気温の日較差[°C],  $H_r$ は時刻[h]である.

以上の結果を基に, 気象要因と排水の還流の両方を考慮した水温変動シミュレーションモデルを, 次式を差分化することにより作成した.

$$\frac{\partial T_w}{\partial t} + \frac{Q}{A} \frac{\partial T_w}{\partial x} = \frac{R_n - H - LE - G_g}{\rho_w c_w D} + \frac{(T_{win} - T_w)Area}{AL} K_{return} \times 10^{-3} \quad (4)$$

$Area$ は計算対象区間内に排水を流入させる圃场面積[m<sup>2</sup>],  $L$ は計算対象水路長[m],  $K_{return}$ は水田からの排水還流量[mm/s]である.

4. 結果および考察 気象要因のみを考慮して計算した, 観測点 G での水温を Fig.2 に緑線で示す. 気象要因のみ考慮した計算では, G 地点の観測値 (Fig.2 赤線) を過小評価していることがわかる.

8月9日～8月15日における米永分水路～観測点 E 間の排水流入量の観測値と計算値を Fig.3 に示す. 計算値は観測値を若干過小評価していたが, 両者の傾向は良好に一致していた. 各水路区間に流入する排水量の計算値を, 当該水路区間に排水を流入する圃場の面積で除し, 晴天日の平均値を旬別に求めた結果を Table 1 に示す. 排水推定量は7月から8月にかけて多くなっていた.

気象要因と排水還流を考慮して計算した観測点 G における水温を Fig.2 に紫線で示す. (4)式の $K_{return}$ には Table 1 の値を用いた. 計算値は夜間の観測値を過小評価する傾向があるものの, 概ね水温変動の傾向を再現していた. また, 7月11日～8月20日までの期間の晴天日における, G 地点水温の観測値と計算値の誤差(RMSE)は 0.38°Cであった.

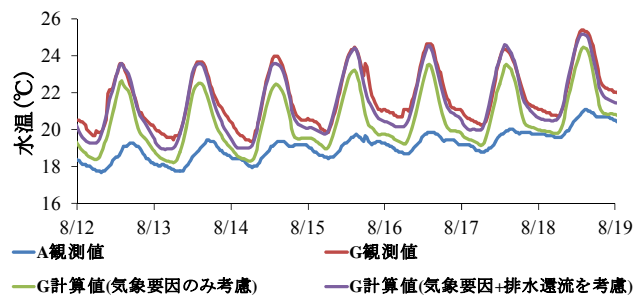


Fig.2 水温の観測値(A,G)と計算値(G)  
Observed(A,G) and calculated(G) water temperature

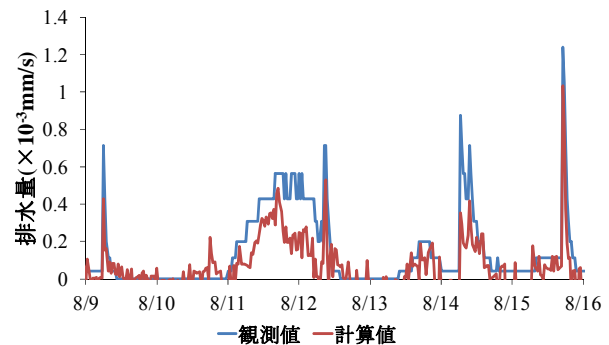


Fig.3 排水還流量の観測値と計算値  
Observed and calculated discharge of return flow

Table 1 排水還流量の推定値  
Estimated discharge of return flow

	晴天日日数	米永～G (mm/s)
7/11～7/20	5	$8.39 \times 10^{-5}$
7/21～7/31	3	$7.60 \times 10^{-5}$
8/1～8/10	6	$1.17 \times 10^{-4}$
8/11～8/20	9	$1.11 \times 10^{-4}$

参考文献 1) 木村匡臣ら (2013): 手取川七ヶ用水における掛流し灌漑が用排兼用水路の水温に与える影響, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会要旨集, 74-75.

謝辞 本研究は, 文部科学省気候変動適応研究推進プログラム「地球環境変動下における農業生産最適化支援システムの構築 (代表: 二宮正士)」の一部として行われた. 研究遂行に当たり, 手取川七ヶ用水土地改良区および石川県立大学に多大なるご配慮を頂いた. 記して謝意を表す.