

手取川七ヶ用水の用排兼用水路網における掛流し灌漑実施時の
水温変動シミュレーション

Simulation of water temperature variation in dual purpose canal network in
Tedorigawa Shichika irrigation area during spill-over irrigation

○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昇温した排水を下流側の水田で反復利用する。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、用排兼用水路網を利用する手取川七ヶ用水を対象に、掛流し灌漑時の水路内および水田内での水温変動を再現するモデルを作成し、シナリオシミュレーションを行った。

2. 対象地 手取川七ヶ用水4号支線を対象とし、**Fig.1**に示す10個の観測点と各分土工、2つの排水流入地点において、流量および水温を30分間隔で測定した。

3. モデルの概要 水路内の水温変動は(1)式により計算した¹⁾。

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

ここで、 T_w は水温 (K)、 Q は流量 (m^3/s)、 A は流積 (m^2)、 R_n は純放射 (W/m^2)、 H は顕熱フラックス (W/m^2)、 LE は潜熱フラックス (W/m^2)、 G_g は地中熱伝導フラックス (W/m^2)、 ρ_w は水の密度 (kg/m^3)、 c_w は水の比熱 ($J/(K \cdot kg)$)、 D は水理学的水深 (m)、 q_{in} は水路単位長さ当たりの排水流入量 (m^2/s)である。 T_{in} は流入する排水の水温 ($^{\circ}C$)であり、水田内の鉛直方向の熱移動を田面水温、群落温度、地温を変数として解くことで求めた。

また、水路の流量は、取水堰ごとに、その堰から取水する水田面積に取水高（上流端流量/受益面積）(mm/s)を乗じた取水量 (m^3/s)を減じて、その直上の取水堰との間に排水する水田面積に排水高（取水高-減水深）(mm/s)を乗じた排水量 (m^3/s)を加えるという計算を上流端から下流に向けて順次行うことで求めた。

4. モデルの検証 水路水温の計算結果を**Fig.2**に示す。7月1日～8月31日における晴天日の観測値と計算値の誤差(RMSE)はG地点で $0.41^{\circ}C$ 、H地点で $1.19^{\circ}C$ 、I地点で $1.32^{\circ}C$ 、

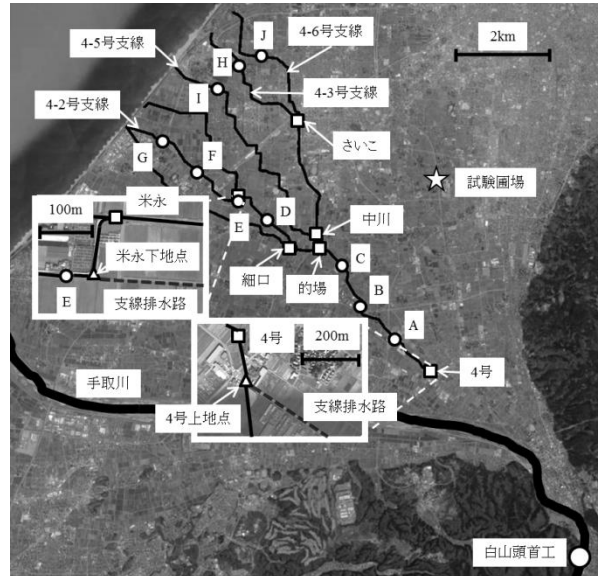


Fig.1 研究対象地

Study area

(○は水位および水温観測点、□は分土工、△は観測した排水流入地点を示す。)

J 地点で 1.89℃であった。支線にもよるが、上流端の流量、水温と気象データのみを入力データとして、水路網全体の水路水温を計算することができた。

5. シナリオシミュレーション これまで述べた手法により、将来の気候変動下におけるシナリオシミュレーションを実施した。将来（2076～2095年）における気象データは、気温が現在よりも 2.73℃上昇し、相対湿度が 2.92%低下するものとした。計算は、水田からの排水水温について排水路が開渠である場合と暗渠である場合（排水路を暗渠化すると排水水温が低下する¹⁾）、排水還流量について可能最大量（水利権流量）の掛流し灌漑を受益地全域で実施した場合と半域で実施した場合を考え、それぞれを組み合わせを行った。

I 地点における計算結果を Fig.3 に示す。排水路を暗渠化することで開渠の場合に比べて水路水温の上昇を若干抑えられ、掛流し灌漑を半域のみで実施することで全域実施時より水温上昇を大きく抑えられることが示唆された。

水路水温の計算結果から、その温度の用水を水田内に灌漑したときの水温低減効果を評価した。一区画（30 m×100 m）の水田圃場を想定し、水田内の熱収支を田面水の移流を考慮して解くことで田面水温の平面分布を計算²⁾し、計算結果から日ごとに水温低減効果の評価指標 E_{Tw} (°C) を次の式で計算した。

$$E_{Tw} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\int_0^{30} \int_0^{100} (T_{w,max}^i - T_w^i) dx dy}{A} \quad (2)$$

n は 1 日のタイムステップ数、 A は水田面積 (m^2)、 $T_{w,max}^i$ はタイムステップ i における水田内の水温の最大値 (°C) である。I 地点における計算結果を Fig.4 に示す。水路水温が低いほど E_{Tw} の値は大きくなり、通常の水管理に比べて掛流し灌漑を行ったときの水田内の水温低減効果が大きくなることが確認された。

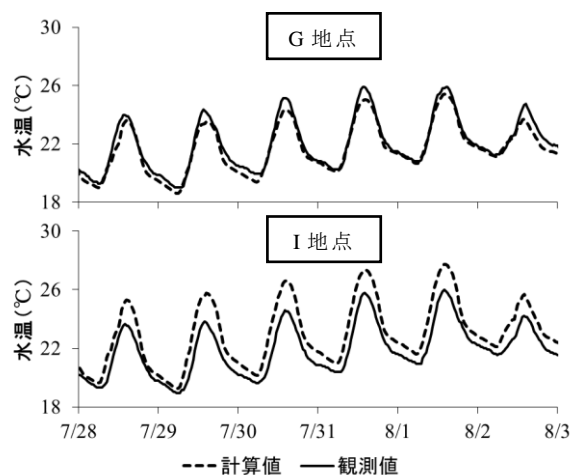


Fig.2 水路水温の計算結果
Calculated water temperature

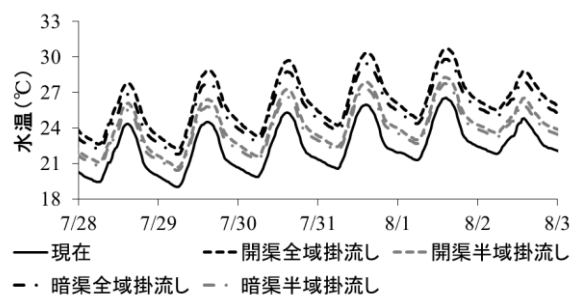


Fig.3 シナリオシミュレーションの結果
Scenario simulation result

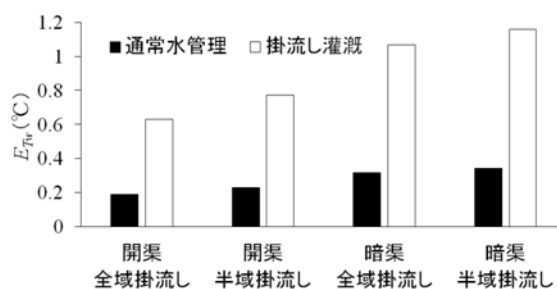


Fig.4 E_{Tw} の計算結果
Calculated E_{Tw}

参考文献 1) 小林 聡ら (2015) : 農業農村工学会誌 83(9), 7-10. 2) 木村匡臣ら (2015) : 平成 27 年度農業農村工学会応用水理研究部会講演集, 67-70.

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。