

掛流し灌漑の灌漑強度・時間帯が出穂後の平均水温に与える影響

Effect of irrigation intensity and timing on average water temperature during rice ripening period in a paddy field under continuous irrigation with running water

○西田和弘* 柴田里子* 吉田修一郎* 塩沢 昌*

○Kazuhiro Nishida, Satoko Shibata, Shuiciro Yoshida, Sho Shiozawa

近年、水稻の高温登熟障害の対策の一つとして掛流し灌漑が注目されており、これによる米の外観品質向上が期待されている。掛流し灌漑による冷却効果は、灌漑水量が多いほど大きく、また、水口付近で大きいことが知られている(西田ら 2013)。一方、現場の水田では、水資源の制約のために、利用可能な灌漑水量は必ずしも多くない。そのため、現場では、効率的な灌漑方法の下での掛流し灌漑の実施が求められる。しかし、灌漑方法の違いによって水温の冷却効果にどのような違いが生じるのかは明らかでなく、最適な灌漑方法は明らかでない。そこで、本研究では、水田内水温予測モデルを用いた数値実験により、灌漑強度(間隔)、灌漑の時間帯が出穂後の平均水温に与える影響を調べた。

数値実験方法**1) モデル概要**

数値実験には、西田ら(2013)の水平水移動を考慮した水田水温予測モデルを用いた。このモデルは、①田面内水平水移動の計算、②水温・葉温の計算(田面水・植生の熱収支式:(1)、(2)式)、③地温計算(熱伝導移流方程式:(3)式)の3つの部分で構成される。

$$f_v R_d + (1 - f_v) \sigma T_c^4 = \sigma T_w^4 + H_w + LE_w + G + C_w \frac{\partial h T_w}{\partial t} + C_w \frac{\partial Q T_w}{\partial x} + C_w I T_w \quad (1)$$

$$(1 - f_v)(R_d + \sigma T_w^4) = 2(1 - f_v) \sigma T_c^4 + H_c + LE_c \quad (2)$$

$$C_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = K_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2} - C_w I \frac{\partial T_s}{\partial z} \quad (3)$$

ここで、 T_w 、 T_c 、 T_s : 水温、葉温、深さごとの地温、 t : 時間、 x : 水口からの距離、 z : 深さ、

R_d : 入力放射(日射+天空放射)、 f_v : 透過率、 H 、 LE : 顕熱、潜熱(w : 水面、 c : 植生)、 G : 地中への熱フラックス、 C_w 、 C_s : 水、土の体積熱容量、 K_s : 土の熱伝導率、 Q : 単位水田幅あたりの流量、 h : 水深、 I : 浸透フラックスである。

2) 数値計算条件

このモデルを用いて、掛流し灌漑時の灌漑強度、および、灌漑の時間帯が出穂後の平均水温に与える影響を調べた。灌漑条件として、灌漑間隔3条件(毎日、1日おき、2日おき)、灌漑の時間帯3条件(一日中(18時~18時)、昼(6~18時)、夜(18時~6時))の計9条件を設定した。いずれの条件も期間の総灌漑水量は同じ量(平均50 mm/d)に設定した。そのため、灌漑中の灌漑強度は、灌漑間隔が長いほど、灌漑時間が短いほど高い。掛流し灌漑時の排水量は、水深と水尻の堰板高さの関数として与えられるとし、石川県白山市の水田で実測した関係を与えた。水尻の堰板高さとして初期水深は2.5 cmとした。また、比較対象として、水深一定(灌漑水量(約15 mm/d) = 浸透量(10 mm/d) + 蒸発散量(約5 mm/d))、かつ、排水無しの場合も用意した。以上の条件の下での水深変化の一例をFig.2に示す。灌漑時間が短く、灌漑間隔が長い条件ほど水深変化が大きい。

気象条件と灌漑水温(用水温)の時間変化は、2015年に石川県白山市水田において測定した出穂後20日間(8/2-8/21)の観測データ(柴田ら、2016)より時刻ごとの平均値(Fig.2)を算出し、この変化が毎日繰り返されるように与えた。結果的に、日平均気温、日平均水温は、それぞれ、26.5 °C、20.4 °Cであり、気温と水温の差は、昼は約8 °C、夜は約4 °Cであった。

* 東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agric. and Life Sciences, The Univ. of Tokyo
キーワード: 掛流し灌漑, 水温, 灌漑方法

これらの条件の下で水温分布の時間変化(21日分)を計算し、灌漑開始後3~21日目の各条件の平均水温分布を比較した。

結果と考察

水田水温の時間変化の一例(水田中央)をFig.3に示す。掛流し灌漑条件の水温は、いずれの条件においても、水深一定の条件よりも常に低温となった。灌漑中の水温低下は、灌漑強度が高い条件ほど大きく、また遠方までその効果が及んだ。しかし、その低下効果は1日後にはほとんどなくなり、灌漑間隔が1日置き、2日置きの条件での灌漑後1日後の水温は、毎日掛流し灌漑実施した場合の水温よりも高温であった。

Fig.4は、平均水温分布の比較の一例である。平均水温は、同じ灌漑時間帯の条件では、灌漑間隔が長いものほど、同じ灌漑間隔では、一日中の灌漑よりも灌漑強度が高い昼夜灌漑の方が、水田内での水温差が小さくなった。また、水口付近では高く、水尻付近では低温となった。例えば、灌漑強度が最も高い夜間2日置きの条件の水温は、灌漑強度が最も低い常時掛流し(一日中、毎日)と比較して、水口では3.2℃高温であるが、水尻では0.6℃低温となった。

これまでに報告されているように、低い灌漑強度の下での掛流し灌漑では、水温低下効果は水口付近にしか及ばない。そのため、この条件では、どれほど長時間(あるいは多量)の灌漑を実施したとしても、水口付近の水温が低下するのみで、遠方の水温を低下させることはできない。遠方の水温を低下させるには、高い灌漑強度の下での灌漑が不可欠である。掛流し灌漑による米の品質への影響を考えると、局所的に冷却効果を高めるよりも、広範囲に小さい冷却効果を与える方が好ましいと思われる。したがって、低灌漑強度かつ長時間の掛流し灌漑よりも、高灌漑強度かつ短時間の掛流し灌漑の方が、効果的な灌漑方法であると考えられる。

引用文献

西田ら(2013):平成25年度農業農村工学会大会講演要旨集, 柴田ら(2016):平成28年度農業農村工学会大会講演要旨集

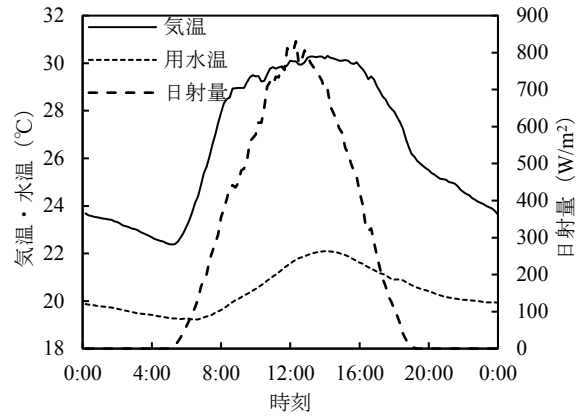


Fig.1 Changes in air and canal water temperature, and solar radiation for numerical simulation

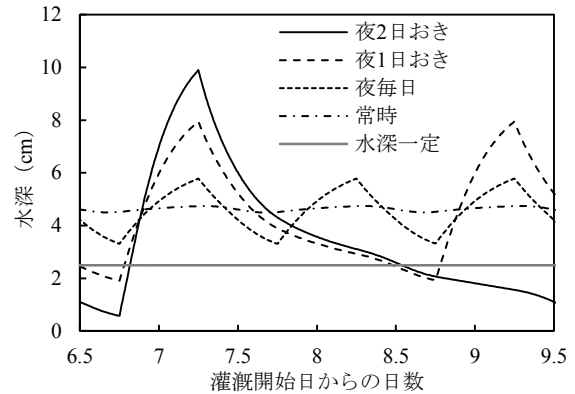


Fig.2 Changes in calculated water depth

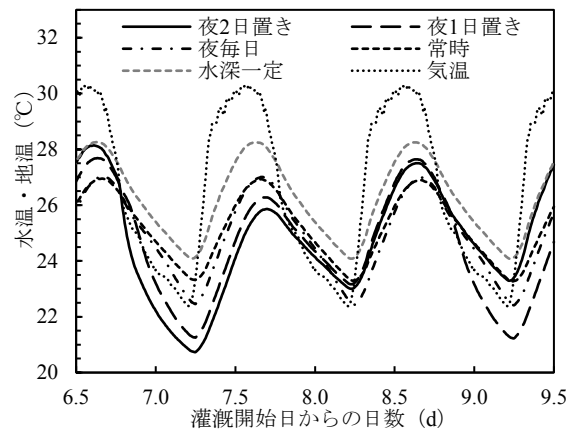


Fig.3 Changes in calculated water temperature at 50 m from the inlet of paddy field

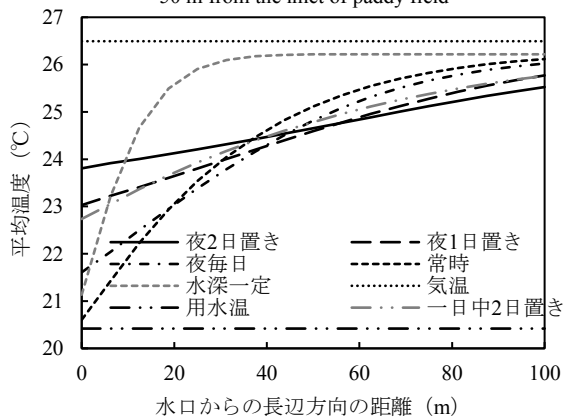


Fig.4 Calculated water temperature distribution