

水稻の高温障害抑制のための水田水温予測一次元モデル作成

Development of water temperature predicting model for suppressing high temperature injury of rice

松林周磨*・吉田貢士**・塩沢昌*

Shuma Matsubayashi・Koshi Yoshida・Sho Shiozawa

1.はじめに

近年、日本では地球温暖化や移植時期の早期化が原因とされる水稻の高温障害が発生している。登熟期の夜間気温が高温になると呼吸量が増加し、等級低下がもたらされる。こうした高温障害の抑制対策の1つに通水灌漑がある。しかし灌漑必要水量に応じた水温低下効果の及ぶ範囲や、水温低下量の定量的な検討が必要である。そこで本研究では現地観測により水温等のデータを得るとともに、様々な灌漑条件・気象条件下における水温変化を算出するために、水口～水尻間の温度分布を再現可能な水温予測モデルを構築することを目的とした。

2.現地観測(2009年5月25日～9月9日)

現地観測は宮城県亘理・山元地区の水田において行った。水田に図1のように観測機器を設置し、水田中央において水温と水深、水口と水尻において水温の連続観測を行った。また、期間中5回にわたって現地において植生高さ、葉長を測定した。

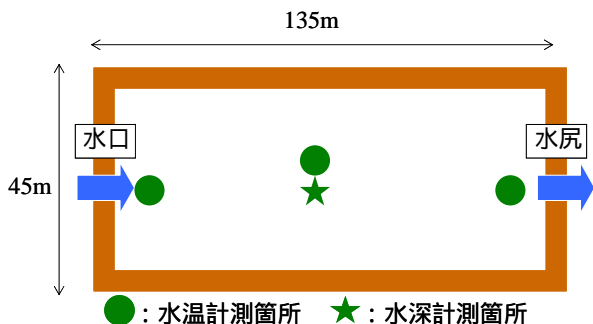


図1 観測圃場における観測機器設置概要
Fig.1 Schematic about setting observation equipment in an observation field

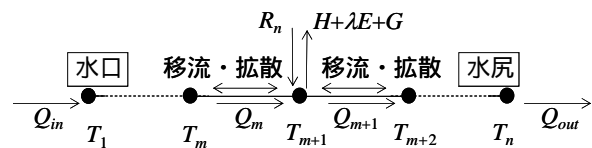


図2 水田内熱収支計算の概念図
Fig.2 The conceptual diagram of heat balance calculation in paddy fields

3.水田水温一次元モデルの概要

灌漑データ、圃場データから水田内水深、流速を計算し、それらの値や気温、日射量などの気象条件から水面の熱収支を解いて水温を計算する数値モデルを作成した。一次元の水温分布を表現可能になるよう、水口～水尻方向にブロックに分けて水温を計算した。

まず水田内の水深分布を一定とした全体の熱収支計算より、水田内水深、流速を計算した。次に各ブロックの熱収支を満たすように流速を計算した。水田からの排水量は堰越流公式(式1)で算出し、水口からm番目からm+1番目ブロックへの流量 Q_m は下流側ブロックからの流量 Q_{m+1} に浸透などによる熱収支を考慮して式(2)より算出した。

$$Q_{out} = \sqrt{2g B h_c^{3/2}} \quad (1)$$

$$Q_m = (Q + Q_{\Delta h} - Q_R + Q_E + Q_P)_{m+1} \quad (2)$$

ここで、 Q_{out} :排水量、 h_c :越流水深、 B :堰板幅、 Q :任意のブロックからの流量、 $Q_{\Delta h}$:水深変化に伴う流量、 Q_R :降水量、 Q_E :蒸発量、 Q_P :浸透量である。

* 東京大学大学院 農学生命科学研究科, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The Univ. of Tokyo

** 茨城大学農学部, College of Agriculture, Ibaraki Univ.

キーワード 熱収支, 水田水温, 灌漑, 水管理

各ブロックの熱収支式(3)は、隣接するブロック間での移流、拡散式で表現し、各ブロックにおいて大気・土壌との熱交換を計算した(図2)。

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial vT}{\partial x} - \alpha^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{R_n - H - \lambda E - G}{\rho C_p h} \quad (3)$$

T : 水温, t : 時間, v : 流速, x : 水平方向距離, α : 熱拡散係数, R_n : 純放射量, H : 顕熱フラックス, λE : 潜熱フラックス, G : 地中熱伝導フラックス, ρC_p : 水熱容量, h : 田面水深

純放射量 R_n は次の式(4)で表される。

$$R_n = (1 - \alpha) f_v R_s + \varepsilon_a \sigma T_a^4 - \varepsilon_w \sigma T^4 \quad (4)$$

α : 水アルベド, f_v : 放射透過率, R_s : 全天日射量, ε_a : 空気の射出率, σ : ステファンボルツマン係数, T_a : 気温, ε_w : 水の射出率

顕熱 H と潜熱 λE は次式(5)(6)で表される。

$$H = F_h (T - T_a) \quad (5)$$

$$\lambda E = F_e (e_{sat}(T) - e_a) \quad (6)$$

F_h : 顕熱伝達係数, F_e : 潜熱伝達係数, $e_{sat}(T)$: 水面の飽和水蒸気圧, e_a : 大気中の水蒸気圧

4.現地観測結果

水温の観測結果の一例を図3に示す。水口では中央や水尻に比べ水温最大値が最大で約7低い。これより水口水温は灌漑水に影響されるのに対し、中央や水尻の水温は田面における熱収支に依存していることがわかる。

5.モデルの検証

仙台の气象台で観測された気象データ、観測水田の圃場データより8月の水深変化をシミュレーションした(図4)。計算値と実測値のRMSEは0.62cmであった。

このモデルを用いて水管理のシミュレーションを行った。気象条件としては仙台の気象データを用い、標準区画圃場において水深10cm(一定)、灌漑水量は3.6mm/hで掛け流し灌漑を行う設定とした。灌漑水温25、20の時の水温変化の計算結果を図5に示す。上記の灌漑水量においては、灌漑水温の大小によらず水尻水温は同じであった。一方、水口水温は田面水温と灌漑水温の差に応じて変化した。これは現

地観測で得られた結果とも一致する。

水口・水尻以外でも各ブロックの水温変化を求めることも可能であるため、このモデルを用いることで任意の灌漑条件下における灌漑水温の影響範囲を検討することが可能である。

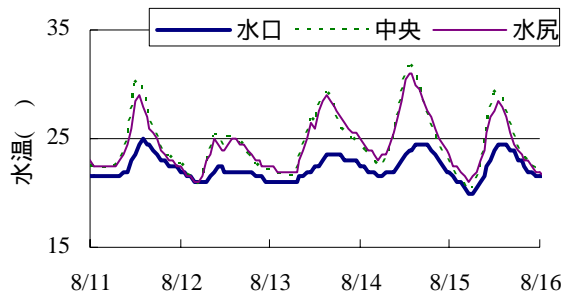


図3 実測水温(2009/8/11~8/16)
Fig.3 Measured water temperature

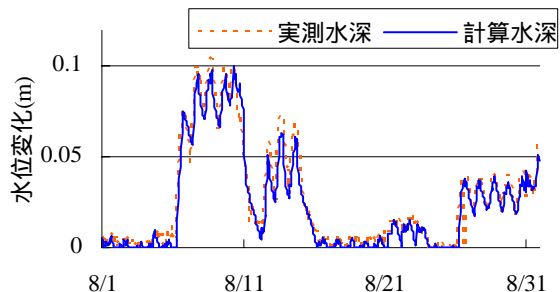


図4 実測水深と計算水深の比較
Fig.4 Comparison of measured and calculated water depth

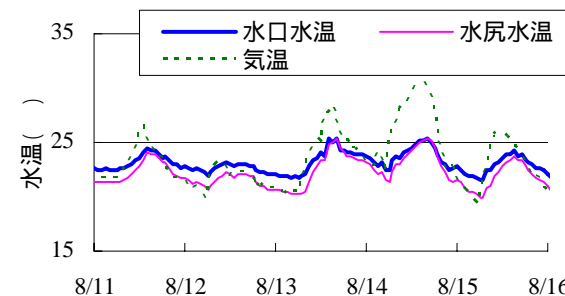
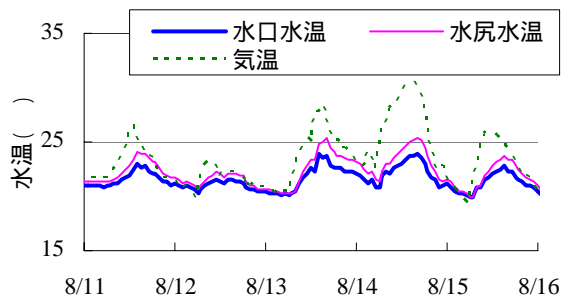


図5 掛け流し灌漑実行時の計算水温変化
(灌漑水温 上 20 下 25)
Fig.5 Calculated water temperature under flowing water management condition