

水稻の生長を考慮した水平2次元モデルによる水田水温の予測

Prediction for Water Temperature in a Paddy Field

by Using Horizontal Two Dimensional Model with the Effect of Growth of Paddy Rice

○尾崎 彰則* 森 健**平井 康丸**

OZAKI Akinori, MORI Ken, HIRAI Yasumaru

I. はじめに

水田水温は、米生産において最も重要な要素の一つであり、水稻生育期間中における水温の適切な維持管理により安定した品質の米が生産される。この適切な維持管理には、農家の方々の知識および経験に基づいて行われている。しかし、近年の地球温暖化に伴う夏季の水田水温の異常上昇や農業従事者不足による水田管理の粗放化により、適切に水田水温を管理することが難しくなっている。この結果として、水田内水温の不均一による水田内での米の品質のムラが生じ、水田全体としての米の品質の低下を招いている状況である。これらの水田水温環境を改善する手法として、まず、水田水温変動を面的に把握し、水温環境が悪い点を特定する必要があると考えられる。そこで本研究では、経時的な水田内の水温変動を面的に把握するために、水平2次元モデルを用い水温予測を行う。さらにこのモデルに、水稻の成長に伴う水田環境の変化を組み込むことにより、水稻の全生育期間を通して詳細な水田水温変動を予測し、水田水温環境の改善に資することを目的としている。

II. 水田環境モニタリング

本研究では、福岡県八女郡星野村に位置する棚田を対象とし、水田環境のモニタリングを行っている。観測項目は、気象要素として温湿度、気圧、風速、風向、日射量および雨量を、また、水環境要素として水田内水温、水田灌漑流量および水田灌漑水温である。各データのサンプリング間隔は、気象要素および水環境要素ともに2分間隔である。今回計算対象とした2006年7月11日の午前6時から7月12日の午前6時までの観測データを Fig.1 に示す。計算対象期間中に降雨はなかったが、同月の平均日射量に比べてやや日射量が低かった。また、計算対象期間内において、東側水口からの灌漑水の供給はなかった。

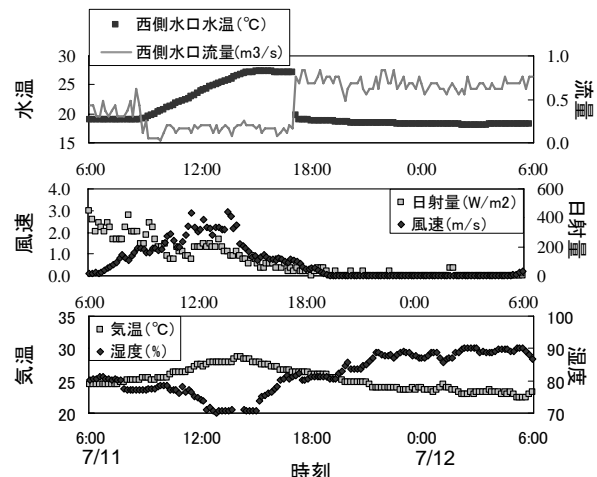


Fig.1 観測データ
Observed data

III. 水温予測モデル

Fig.2 に今回の計算に用いた対象水田の模式図を、Table 1 に計算に用いた支配方程式および計算条件を示す。なお厳密には、稲の繁茂が水田水の流れに与える影響を考慮しなければならないが、今回の計算では稲の繁茂が与える流れへの影響は無視している。Table 1 において、温度拡散方程式中の全熱量 Q_T は一般的に $Q_T = R_n$ (純放射量) - Q_E (顕熱伝達量) - Q_C (潜熱伝達量) - Q_B (地中熱伝達量) で与えられることが知られているが、本研究では、稲の成長に伴う水田面に到達する放射量の減衰を考慮するために、

*九州大学大学院農学研究院, 学術特定研究者 Faculty of Agriculture, Kyushu University, Academic researcher

**九州大学大学院農学研究院 Faculty of Agriculture, Kyushu University

キーワード: 水田灌漑, 灌漑用水管理, LAI

$Q_T = R_n \text{EXP}(-k \cdot \text{LAI}) - (Q_C + Q_E + Q_B)$ と
 て与えた. ここで, k は 0.41 ~ 0.66 の定数 (岩
 切, 1964) であり, 今回の計算では, $k = 0.45$
 とした. また, LAI (葉面積指数) は, 平均
 草丈 L および 1 m^2 あたりの茎数 N を用いて
 $\text{LAI} = a \times L^b \times N^c$ とし
 て表した (岡山県農業
 試験場, 2001). ここに, a, b, c は品種によ
 って決定される定数であり, 今回の対象水田で
 栽培されていたヒノヒカ
 リの場合, $a = 2.1 \times 10^{-6}$, $b = 1.652$, $c = 1.201$ である.
 以上の手法を用い, 稲の生育に伴う水田水面
 に与えられる熱量の変化を決定することにより,
 水稻の全生育期間を通して水田水温予測を行っ
 ている.

IV. 水温予測結果

Fig.3 に水温予測結果を示す. 観測点 A およ
 び C においては, 日中は計算値が若干高く, 夜
 間は計算値が若干低くなる傾向となった. 観測
 点 A および C における計算期間を通しての平均
 絶対誤差は 0.6 程度, 最大誤差は 1.1 程度で
 あり比較的良好に水温変動を再現できている.
 しかしながら, 観測点 C においては, 計算値と実
 測値では水温変動のピークが時間的にずれる結
 果となった. また, 計算期間を通しての誤差も
 平均絶対誤差で 1.3, 最大誤差で 2.5 と他の 2
 点に比べ水温変動を再現できていない. この理
 由としては, 観測点 B においては他の 2 点に比
 べて, 実測値の比較から平均的に水温が低いこ
 とが明らかであることから, 局所的に日当たり
 が悪いことあるいは局所的に稲群落密度が高か
 ったことなどが挙げられる. したがって, 水田
 面全体の詳細な水温変動予測を行うためには,
 局所的な水田環境の把握が重要な課題とな
 る.

V. おわりに

本研究が提案するモデルにより, 水稻の生
 長を考慮した水田水温予測が可能であること
 示唆された. 今後は, 局所的な水田環境をモ
 デルに反映させることにより, より高精度な
 モデルの完成を目指したい.

参考文献

岩切 敏: 水稻植被の繁茂に伴う水面熱収支の特性について, 農業気象, Vol.19(1964) 89-95
 岡山県農業試験場, 平成 13 年度主要研究成果報告書, (2001)

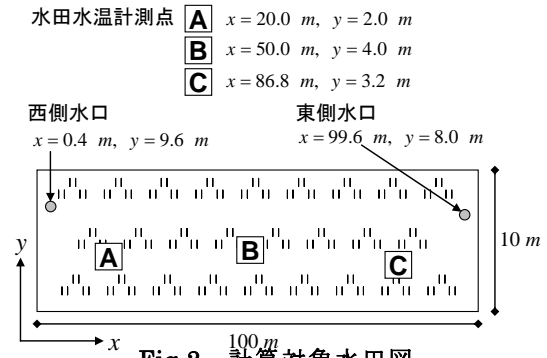


Fig.2 計算対象水田図
 Schematic diagram for
 the paddy field simulation

Table 1 支配方程式および計算条件
 Governing equation and simulation

連続の式	
$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{U(h+\eta)\} + \frac{\partial}{\partial y} \{V(h+\eta)\} - Dh = 0$	
運動方程式	
$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + v_h \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) - \frac{gn^2 U \sqrt{U^2 + V^2}}{(h+\eta)^{4/3}}$	
$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + v_h \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) - \frac{gn^2 V \sqrt{U^2 + V^2}}{(h+\eta)^{4/3}}$	
温度拡散方程式	
$(h+\eta) \frac{\partial T}{\partial t} + U(h+\eta) \frac{\partial T}{\partial x} + V(h+\eta) \frac{\partial T}{\partial y}$	
$= \frac{\partial}{\partial x} \left\{ (h+\eta) K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ (h+\eta) K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right\} + \frac{Q_T}{C_v (h+\eta)}$	
Dh : 減水深	n : マンニングの粗度計数(0.035)
v_h : 渦動粘性係数(0.1)	Q_T : 全熱量
$K_{x,y}$: 温度拡散係数(1.0)	Dh : 減水深
計算手法	: オイラー陽解法
格子幅	: $dx = 0.4 \text{ m}$, $dy = 0.4 \text{ m}$
時間ステップ	: $dt = 0.1 \text{ sec}$
初期水田水深	: $h = 0.05 \text{ m}$
境界条件	: 壁面流速, $U = 0$, $V = 0$ 壁面水温, 断熱条件
計算入力値	: 水口流量, 水口水温, 温度, 湿度, 風速, 日射量, LAI

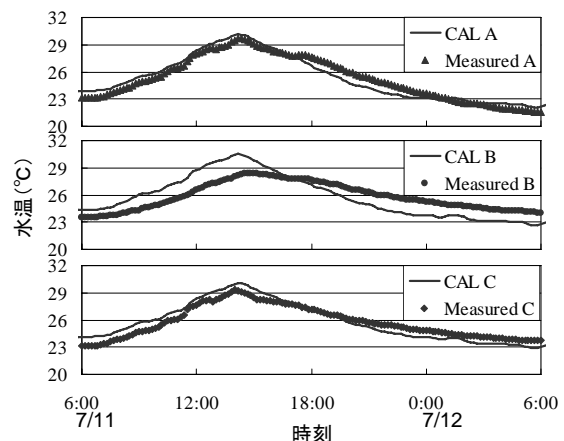


Fig.3 水温の計算値と実測値の比較
 Calculated and observed temperature