

水田の水位変化から水田の灌漑水量・水収支を推定する方法

Estimation method for estimating irrigation rate and water balance in a paddy field using measured changes in water depth

○西田和弘* 吉田修一郎** 塩沢 昌**

○Kazuhiro Nishida, Shuichiro Yoshida, Sho Shiozawa

1. はじめに

水田灌漑は、水稻の生育や米の収量・品質の安定化にとって不可欠なものであるだけでなく、排水や浸透を通じて地域や流域の水・熱・物質循環に影響を与える。そのため、灌漑・排水などの圃場の水管理の実態を把握することは、水稻作を安定化させる灌漑システムの計画や設計、水田の環境への影響の理解にとって極めて重要である。一方で、灌漑水量や排水量の測定は、流量計や量水堰の設置を必要とするなど、コストや労力を必要とすることが多い。そのため、水管理の実態把握には、これらを簡便に測定・推定できる方法が求められる。そこで、本研究では、西田ら(2016)で考案した灌漑水量の推定方法を改良し、圃場の水位データと気象データから、灌漑水量および水田水収支を推定するための簡便な方法を提案する。

2. 方法

2.1 推定方法

本研究で提案する推定方法は、(1)式で表される水田の水収支に基づく方法である。

$$\Delta W = Q_{in} + P - D - ET - Q_{out} \quad (1)$$

ここで、 ΔW は田面水の貯水量変化(2時点の水位差から算出)、 Q_{in} は灌漑水量、 P は降雨量(観測値)、 D は浸透量、 ET は蒸発散量(FAO-PenmanMontith式で推定)、 Q_{out} は排水量である。(1)式には6つの項があるため、排水と灌漑が同時に生じる時の灌漑水量を収支の残差として算出するには、これ以外の5つの項を既知の状態にする必要がある。

本研究では、推定の前提として、水位変化

を測定し、かつ、対象地近傍の気象データ(日射、気温、湿度、風速、降雨)が利用可能な条件を仮定する。また、水位変化から田面水の貯留量変化を算出するため、水田全体が湛水した条件のみを対象とする。この前提の下で以下の方法で算出・推定を行う。

まず、1)無灌漑かつ無排水時(条件①)の水位低下から水位-浸透量関係(浸透関数 $D(h)$: (2)式)を、2)無灌漑かつ排水時(条件②)の水位低下から水位-排水量関係を表す関数(排水関数 $Q_{out}(h)$: (3)式)を作成する。

$$D(h) = ah + b \quad (2)$$

$$Q_{out}(h) = C(h - h_w)^{1.5} \quad (h > h_w) \quad (3)$$

$$Q_{out}(h) = 0 \quad (h \leq h_w)$$

ここで、 a (d^{-1})、 b ($mm d^{-1}$)はパラメータ、 C は流量係数($mm^{-0.5} d^{-1}$)、 h_w (mm)は排水堰の高さである。これらは、条件①、条件②の水位変化を、それぞれ、(4)、(5)式を用いて初期水位から順番に計算し、実測水位との差が最小になるように決定する。

$$h_{t+\Delta t} = h_t + \{P - ET - (ah_t + b)\}\Delta t \quad (4)$$

$$h_{t+\Delta t} = h_t + \{P - ET - D(h_t) - C(h_t - h_w)^{1.5}\}\Delta t \quad (h_t > h_w) \quad (5)$$

これらの関数(パラメータ)が得られれば、水位から浸透量と排水量が推定できるので、3)水収支式から、水収支の残差((6)式)として灌漑水量が推定できる。

$$Q_{in} = \Delta h - P + ET + D(h_t) + Q_{out}(h_{t+\Delta t}) \quad (6)$$

* 農研機構農村工学研究部門 Institute of Rural Engineering, NARO

** 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: 水位, 灌漑水量, 水収支

2.2 検証データ

提案手法を、2012年7月30日～8月12日に石川県立大学試験水田（約12.7a）で測定した水位データに適用し、灌漑水量の推定精度を検証した。この期間中、8月9日までは意図的な排水を行わない通常の水管理を、8月9日以降からは3回の掛流し灌漑を実施した（西田ら、2015）。掛流し灌漑は、灌漑用のガソリンエンジンポンプを用いて実施し、ポンプに接続した水道メータの値（ m^3 ）を1時間に1回程度読み取ることで灌漑水量を算出した。また、水位は、圃場中央に設置した圧力式水位計により1分間隔で測定し、10分間の平均をデータロガーに記録した。気象データ（日射、気温、湿度、風速、降雨、気圧）には、同じ試験場内にある気象タワーの測定値を用いた。

3. 結果と考察

まず、灌漑・排水が生じていない期間の水位を用いて浸透関数を作成した。算出したパラメータによる水位の計算値と実測値の比較をFig. 1に示す。計算値は実測値を良く再現した。

次に、3回のかけ流し灌漑直後の排水時の水位低下より、それぞれの排水関数を決定した。パラメータは、3つの期間で同一のC、排水口の条件（8月9、10日と8月12日）ごとの h_w の条件で同定した。その結果、水位のRMSEは0.4mm以下と低く、図上では判別できない程度に水位の計算値は実測値を良く再現した（Fig. 2 (a)）。

Fig. 2 (b)に、掛流し灌漑時の積算灌漑水量変化の実測値と計算値の比較を示す。期間によって水収支項目の積算量の時間変化や大きさは異なるが、個々の期間の誤差は最大でも3%程度であり、総灌漑水量の変化、量を非常に高い精度で再現した。この結果は、灌漑直後の排水時の水位低下を正確に表現する排水関数（パラメータ）を取得・使用すれば、非常に高い精度で水収支式から灌漑水量を推定できることを示している。

以上のように、本研究による推定方法を用

いれば、従来の水収支による方法では推定不可能であった、灌漑と排水が同時に生じている時の灌漑水量も、水位データのみから高い精度で予測できる。そのため、本提案手法は、圃場の水管理の実態把握や、水管理に関するビッグデータ構築のための手段として有用であると考えられる。

引用文献：

- 西田ら（2015）：農業農村工学会論文集，**300**，I_185-I_194.
西田ら（2016）：農業農村工学会論文集，**303**，I_391-I_401.

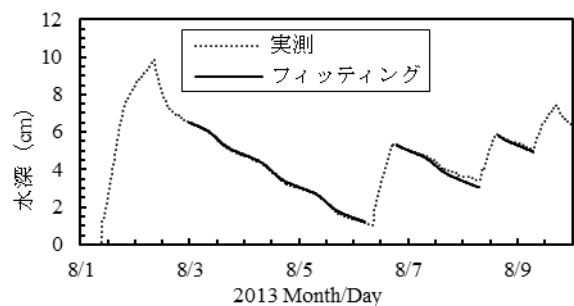


Fig.1 水位変化の実測値と浸透関数による計算値の比較
Comparison of changes in measured and calculated water level

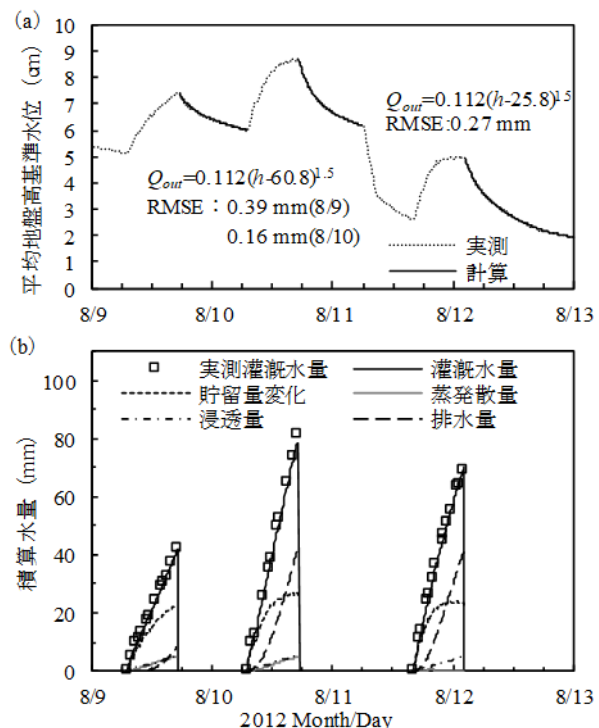


Fig.2 (a) 水位変化の実測値と排水関数による計算値の比較，
(b) 積算灌漑水量の実測値と計算値の比較および灌漑時の水収支項目の積算水量

(a) Comparison of measured and calculated water level, (b) Comparison of precipitation rate measured and calculated cumulative irrigation rate, and cumulative water amount of the terms in the water balance equation