

数値作物成長モデルによる灌漑必要水量の推定とダムによる補給操作の高度化 Improving reservoir operation based on the irrigation water demand estimation by a numerical crop growth model

○宮田悠佑・堀智晴・野原大督

○Yusuke MIYATA, Tomoharu HORI, Daisuke NOHARA

A numerical crop growth model for paddy was developed to estimate irrigation water demand from the puddling stage to the final drying stage by formulating paddy operation rules in AquaCrop. The model was applied to Naka River basin. Based on the irrigation water demand, the amount of agricultural water intake was estimated considering the water flow in the canal. Moreover, a reservoir operation model was incorporated in the model to calculate the water storage of Nagayasuguchi dam, which is located in the upstream side of Naka River. After evaluating the water release strategy which is based on the irrigation demand, the impact that change in the conditions at farm level could have on the reservoir operation will be discussed.

1. はじめに

日本における河川取水のうち約7割が農業用水として消費されており、さらにその9割が水田灌漑に使用されている。水稲栽培における水管理は、作物の生育段階に応じて細かく制御され、灌漑に必要な水量は時期によって大きく変動する。そのため、水田灌漑が水資源利用に及ぼす影響を評価することは重要である。灌漑水量の評価はこれまでも行われてきたが、用水路における水理計算によって水量を求めたものはほとんどなく、また農業取水に関わる意思決定がダム操作に及ぼす影響に関しては十分な議論がなされていない。

そこで本研究では、用水路における水の流れを考慮した取水量の推定を行い、農業用水の利用方法の変化によって上流のダム補給操作を向上させることが可能であるかについて検討を行う。

2. 作物成長モデルの概要

本研究では、FAOが開発したAquaCrop¹⁾をベースとして水稲栽培を表現できるよう改良を施したモデルを用いる。

AquaCropでは日数ではなく、有効積算温度GDD(°Cday)に基づいて作物の成長・発育段階が決定される。また、収量はバイオマス量と収穫指数(収穫器官の割合)かけ合わせることで算出され、バイオマス量は作物蒸散量と作物水生産性(作物蒸散量あたりのバイオマス生産量)に比例する。

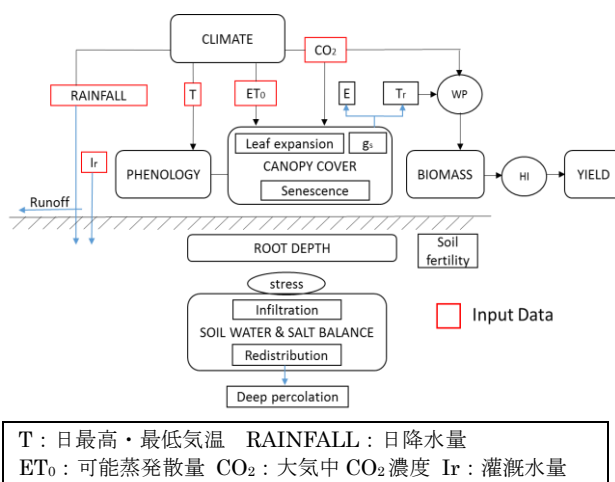


Fig.1 作物成長モデルの基本構成要素

$$Y_d = B_d \times HI_d \quad [1]$$

$$B_d = WP \times \sum_{i=1}^d Tr_i \quad [2]$$

ここで、 Y_d 、 B_d 、 HI_d はそれぞれ第 d 日の収量(t/ha)、バイオマス量(t/ha)、収穫指数(%)を、 WP は作物水生産性(t/ha/mm)、 Tr_i は第 i 日の作物蒸散量(mm/day)を表す。

モデル内では土壌水収支に基づく渇水ストレス、気温による高温・低温ストレスが考慮される。渇水ストレスは葉の成長の抑制・作物蒸散量の減少・葉の早期老化・開花の失敗の4つの要素に分けられ、気温ストレスは開花期間の受粉の失敗による収穫指数の減少と、低温によるバイオマス量の減少として表現される。

3. 取水量の算出手法

本研究では、徳島県的那賀川下流域の水田地域を対象として農業用取水量の推定を行い、ダム操作については那賀川上流に位置する長安口ダムを扱う。対象期間は1993年から2011年とする。また、取水堰から供給される総灌漑面積は2932haである。

(1) 灌漑必要水量

生育段階ごとに各種ストレスから受ける影響が異なるため、ストレスに対する脆弱性を基に生育段階を5ステージに分割した。この生育段階ごとに水深の上限、下限及び標準水深を設け、閾値を超えた場合には標準水深となるよう取水・排水を行う灌漑ルールを定めた。生育段階に応じた水深管理に加え、代かき・中干し・間断灌漑・落水の操作も表現される。作物生育に関しては、農林水産省が提供する平均的な実績農事暦日データ²⁾より、生育段階の転換点を決定する積算GDDの閾値を決定した。

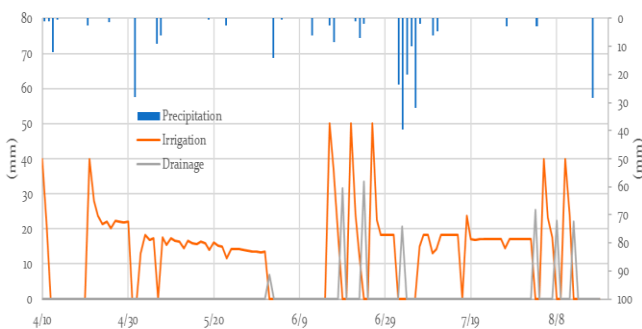


Fig.2 灌漑必要水量推定の結果例(2005年)

(2) 農業用取水量

用水路を流れる水量のうち、灌漑水量として圃場へ取水できる量は一部である。そのため、算出した灌漑必要水量をある一定時間に圃場に供給するために用水路に必要な水量を、以下の手順で算出する。

- i) 灌漑必要水量と取水時間より、用水路から圃場への単位時間流入量を求める。
- ii) 用水路から圃場への取水時における越流水深 H を越流公式より算出する。
- iii) 後述の水面形方程式を解き、圃場の取水口において H を満たすよう用水路での流量を求める。
- iv) 流域全体の灌漑面積より、農業用取水の必要量を算出する。

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i_0 \left\{ 1 - \left(\frac{h_0}{h} \right)^{\frac{10}{3}} \left(\frac{B + 2h}{B + 2h_0} \right)^{\frac{4}{3}} \right\} - \frac{q}{gBh^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - \left(\frac{h_c}{h} \right)^3} \quad [3]$$

ここで、 i_0 :水路勾配、 x :距離(m)、 h :水深(m)、 h_0 :等流水深(m)、 h_c :限界水深(m)、 B :用水路幅(m)、 q :単位幅流量(m^3/s)、 g :重力加速度(m/s^2)、 dQ/dx :圃場への単位幅流入量(m^2/s)である。本研究では、取水口直下流での堰上げを想定しており、また流れが常流であることから、堰越流時における限界水深を境界条件として、上流に向かって上式を解くことで値を求める。

4. ダム操作

まずダム下流の基準地点において満たすべき確保流量を定める。確保流量は、非灌漑期における必要流量に農業用取水量を上乘せすることで求める。そして残流域からの流出量とダム放流量の合計がこの確保流量を満たすよう放流を行うこととする。ダムからの放流量は以下の式で表される。

$$R(d) = \max\{S_e(d)/T, \min[D(d), S_a(d)/T]\} \quad [4]$$

$$S_e(d) = \max[S(d) + I(d) \cdot T - S_{\max}, 0] \quad [5]$$

$$S_a(d) = S(d) + I(d) \cdot T \quad [6]$$

ここに、 d は第 d 日における諸量を表し、 $R(d)$:放流量(m^3/s)、 $D(d)$:確保すべき放流量(m^3/s)、 $S_e(d)$:利水容量を超えた水量(m^3)、 $S(d)$:第 d 日の期首貯水量(m^3)、 $I(d)$:ダムへの流入量(m^3/s)、 S_{\max} :利水容量(m^3)、 $S_a(d)$:利用できる貯水量(m^3)、 T :1日に相当する時間(=86400s)である。

以上の手法を用いて、ダム貯水量の計算を行い、灌漑需要量に基づいた放流操作を行った場合の放流戦略について分析する。そして、営農側の条件が変わった場合にダム操作に及ぼされる影響について考察を行う。

参考文献:

- 1) Steduto, P., Hsiao T.C., Raes D., and Fereres E. : AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles, *Agronomy Journal*, Vol.101, pp.426–437, 2009.
- 2) 農林水産省:平成 23 年度版農林水産省生産局水陸稲・麦類・大豆奨励品種特性表