

作物成長過程を考慮したダム灌漑用水補給の高度化に関する研究
Study on Advanced Irrigation Water Supply from Dam Reservoir Considering Crop Growth

○齋藤 宏樹・堀 智晴
○Hiroki SAITO, Tomoharu HORI

Numerical model of irrigation-crop growth was developed to calculate the water depth in paddy fields. A framework to evaluate the damage of crop and reservoir was developed by conducting dam irrigation supply simulation based on irrigation demand information estimated by numerical model of irrigation-crop growth. In considering the damage, we assumed various scenarios like water intake restriction, change of distribution rule on irrigation water, presence or absence of information on crop growth, and discarding field in case of shortage of water. The model was applied to Naka River basin at Tokushima Prefecture. Finally, irrigation water supply strategy coping with future climate change will be discussed.

1. はじめに

日本における河川取水は約7割が農業用水として使用されており、そのうち9割が水田灌漑に利用されている。水稲栽培における水管理は、作物の生育段階によって細かく制御され、灌漑需要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分析することは重要である。灌漑水量に関する研究はこれまでも行われてきたが、将来の気候変動下における農業取水が貯水池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、まず過去の実気象データに対して灌漑補給シミュレーションを行うことで、作物成長過程を考慮した利水システムのリスクを分析し、影響を評価できる手法を開発した。そして、将来の気候変動下においては農業取水に関わる意思決定が貯水池にどのような影響を及ぼすかを分析し、ダムの灌漑用水補給操作の高度化が可能であるかの検討を行う。

2. 灌漑-作物成長の数値モデル

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に改良を加えたモデルを用いる。AquaCropでは、有効積算温度GDD(°CDay)に基づいて、作物の成長段階が決定される。また、収量はバイオマス量と収穫指数の積で算出され、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。

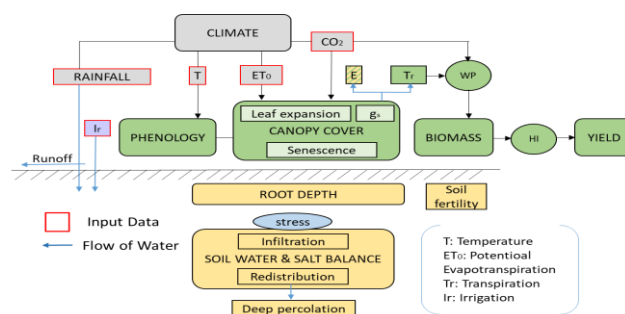


Fig.1 作物成長モデルの基本構成要素

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

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

ここで、 Y_d 、 B_d 、 HI_d は第 d 日の収量(t/ha)、バイオマス量(t/ha)、収穫指数(%), 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。また、本モデルに灌漑や土壌への浸透量、降水量から以下の連続式を用いることで、AquaCropでは表現できない湛水状態を表現できるようにモデルの改良を行った。そして、生育段階に応じた水深管理に加え、代かき・間断灌漑などの操作も表現される。

$$H(d) = H(d-1) - I(d) + P(d) + W(d) \quad [3]$$

ここで、 $W(d)$ は第 d 日における灌漑水量または排水量($W(d) < 0$ のとき排水), $H(d)$ は第 d 日における期首水深(mm), $I(d)$ は第 d 日における土壌への浸透量(mm), $P(d)$ は第 d 日における降水量(mm)を表す。

3. ダム灌漑用水補給のモデル化

本研究では、那賀川流域の下流の水田部を対象に、農業用取水量の推定を行い、ダムからの灌漑用水補給は上流の長安ロダムでの操作を扱う。

用水路を通して圃場へ供給される水量のうち、灌漑水量として圃場へ取水できる量は一部である。推定された灌漑需要量から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、用水路から圃場への越流と捉えて算出する。

また、ダム操作は、残流域の流出量とダム放流量の合計が確保流量を満たすよう放流を行うものとする。ダムの放流量は以下の式で表される。

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

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

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

ここで、 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)、 $In(d)$: 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 日に相当する時間である。

また、この灌漑用水補給シミュレーションを行い、渇水のリスクを分析するが、そのために取水制限ルールの有無、圃場への配水ルールの変更、作物成長の情報の有無、水不足の際に一部の圃場を放棄などのシナリオを仮定し、分析を行った。

4. 作物成長過程を考慮した利水システムのリスク分析

推定された灌漑需要量を基に、ダムからの補給操作シミュレーションを行う。

利水システムのリスク分析にて扱う指標として、「不足%・day」を算出することで、圃場や貯水池の被害を定量的に評価する。被害指標は以下の式で算出される。

$$D_{n,k}^{\text{Field}} = \sum_{i=1}^I \left(\frac{H_{0,i} - H_i}{H_{0,i}} \times 100 \right)^n \quad (H_{0,i} \geq H_i) \quad [7]$$

$$D_n^{\text{Dam}} = \sum_{i=1}^I \left(\frac{V_0 - V_i}{V_0} \times 100 \right)^n \quad (V_0 \geq V_i) \quad [8]$$

ここで、 D : 総被害、 I : 対象日数、 $H_{0,i}$: 生育ステ

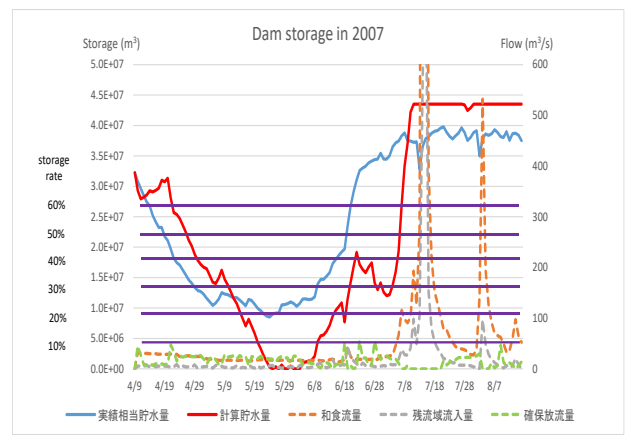
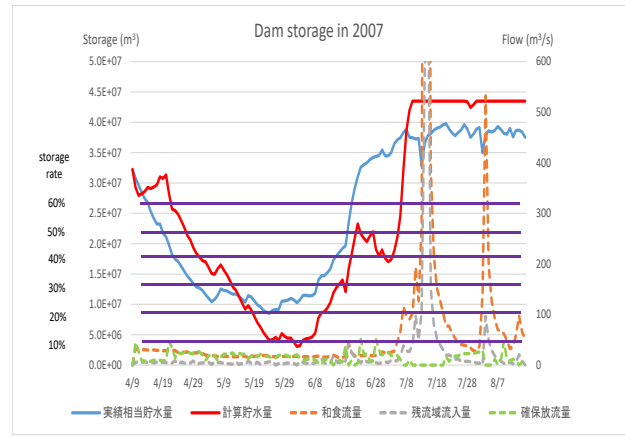


Fig.2 貯水量の推移（上：取水制限無し，下：取水制限有り）

ージの第 j ステージに必要な水深(mm)、 H_i : 第 i 期の期首水深(mm)、 n : 指数、 k : 圃場番号、 V_0 : 総貯水容量、 V_i : 第 i 期の計算貯水量(m^3)である。

例として、取水制限ルールの有無による貯水量の推移を図 2 に示す。取水制限の導入によって、貯水量が節約されることを表現できている。これらを用いて、利水システムのリスク分析を行う。

また、文科省・気候変動リスク情報創生プログラムによって公開されている多数のアンサンブル実験である d4PDF を用いて、将来気候におけるリスク分析を行い、圃場での被害と貯水池での被害を定量的に評価し、ダムの灌漑補給操作の高度化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