

## 大石堰掛吉井地区における取水実態と適正取水量の 検討 (2)

阿南, 光政  
株式会社 高崎総合コンサルタント

弓削, こずえ  
九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座灌概利水学研究室

中野, 芳輔  
九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座灌概利水学研究室

舟越, 保  
九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座灌概利水学研究室

他

<https://doi.org/10.15017/21108>

---

出版情報 : 九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 56 (2), pp.179-186, 2002-02. 九州大学大学院農学研  
究院

バージョン :

権利関係 :

## 大石堰掛吉井地区における取水実態と適正取水量の検討 (2)

阿南光政\*・弓削こずえ\*\*・中野芳輔\*\*\*\*  
舟越保・原口智和\*\*\*

九州大学大学院農学研究生院生産環境科学部門地域環境科学講座灌漑利水学研究室  
(2001年10月30日受付, 2001年11月20日受理)

### Study on the Actual and Optimum Water Use in Ohishi Diversion Weir Command Area (2)

Mitsumasa ANAN\*, Kozue YUGE\*\*, Yoshisuke NAKANO\*\*\*\*,  
Tamotsu FUNAKOSHI and Tomokazu HARAGUCHI\*\*\*

Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Division of Regional Environment Science,  
Department of Bioproduction Environmental Science, Faculty of Agriculture,  
Kyushu University, Fukuoka 812-8581

### 緒 言

合理的な農業用水管理を進めていくにあたり, 農業用水利用の現状を正確に捉えるための手法を検討し, さらにそれを基にして中長期に亘る水収支予測を可能にすることが求められている。

前報において, 水位計を用いた連続観測により取水実態の把握が可能であることを確認した。本報では, 対象地区を前報のおよそ100倍に広げ, より広域的な視点での検証を試みる。また前報で用いたモデルに, 用水操作の影響を組み込むことでモデルの精度を高め, 適正取水量についてシミュレーションを試みた。

### 対象地区概要

対象地区とした福岡県朝倉郡吉井町は, 筑後川河口から約60kmに位置する大石堰受益地の上流部に位置する(図1参照)。土地利用状況は水田の他に畑地も

存在するが大石堰から取水された水は水田のみに用いられ, 畑地用水は地下水等を利用している。古くから農業を主産業としてきた地域だが, 昨今就業年齢や営農形態は変化してきている。図2および図3はそれぞれ吉井町における農業従事者の年齢構成の推移を示している。60歳以上が占める割合は年々増加傾向にあり, また農業従事者全体の人数は減少を続けている。図4および図5は同様に営農形態の推移を示している。2種兼業農家率は高く年々増加の傾向も見られる。専業農家の占める割合は増加しているものの, 農業従事者数が減少してきていることの影響であり, 専業農家数自体はほとんど変化していない。対象地区において農業専従者の高齢化, 少人数化が顕著であり今後も進行すると思われる。

### 取水実態調査

対象地区を用排水路系統, 土地利用状況等を考慮し

\* 株式会社 高崎総合コンサルタント

\*\* 九州大学大学院生物資源環境化学府生産環境科学専攻地域環境科学講座灌漑利水学研究室

\*\*\* 九州大学熱帯農学研究センター

\* TAKASAKI SOGO Consultants CO., LTD

\*\* Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Division of Regional Environment Science, Department of Bioproduction Environmental Science, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Science Kyushu University

\*\*\* Institute of Tropical Agriculture, Kyushu University

\*\*\*\* Corresponding Author (E-mail: ynakano@agr.kyushu-u.ac.jp)

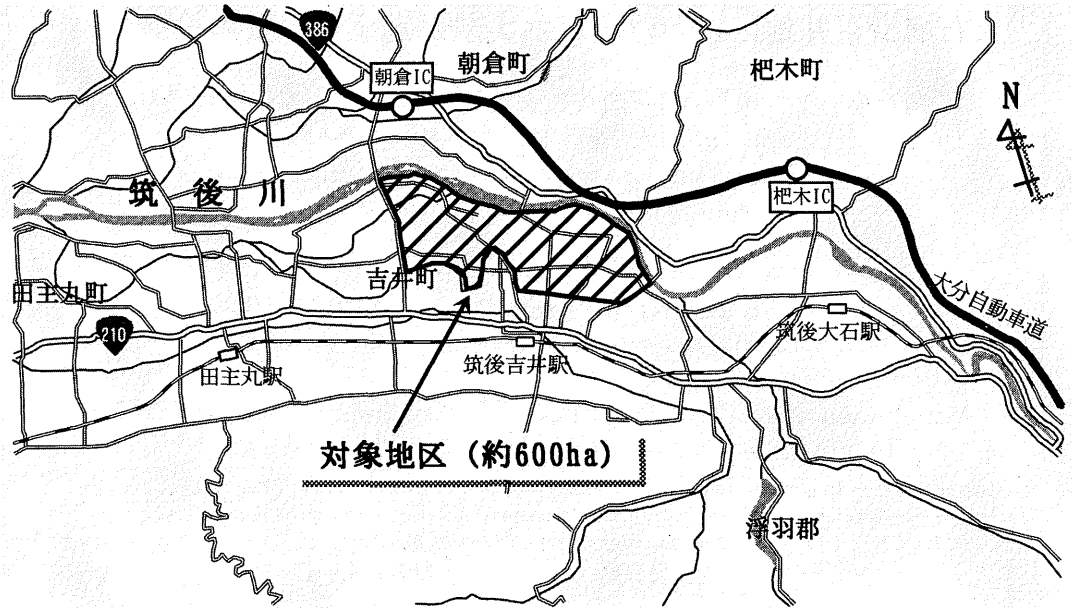


図1 対象地区位置図

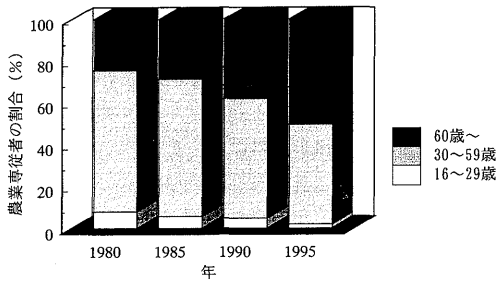


図2 農業従事者の年齢構成割合の推移

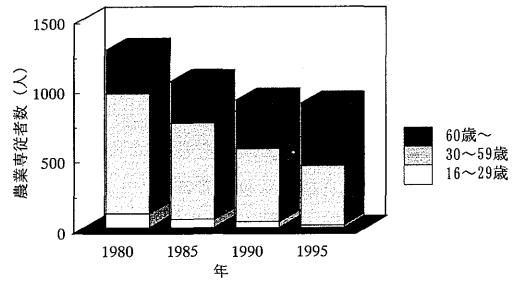


図3 農業従事者の年齢構成人数の推移

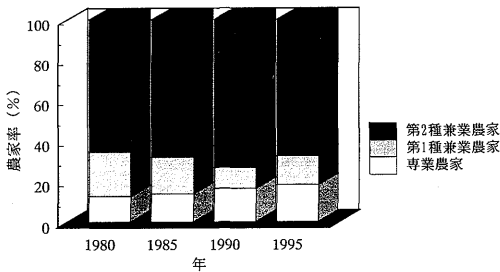


図4 専業別農家率の推移

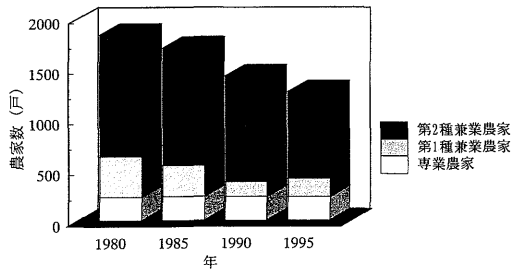


図5 専業別農家数の推移

て3ブロックに分割した(図6参照)。幹線用排水路の各ブロック最上流部および末端部に自記水位計を設置し60分間隔で24時間連続観測を行った。加えて、水位計設置箇所を中心にプロペラ流速計等を用いた流量測定を行なった。測定は、灌漑期間中の、6/22, 7/4, 7/18, 8/3, 8/29, 9/19に行なった。

以上の観測結果から H-Q 曲線式を算定し水位計データを流量に換算した。

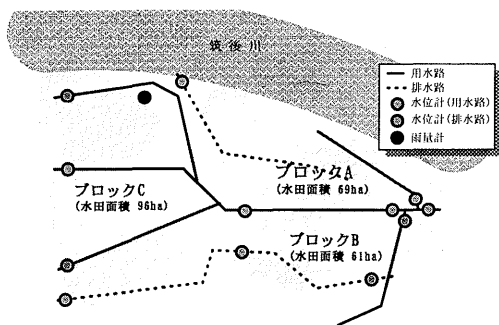


図6 対象地区概略図

## 水田流出のモデリング

自記水位計による連続観測から取水実態が把握可能であることを前報で確認した。観測結果をもとに、対象地区においてタンクモデルを用いた水田流出のモデリングを試みる。

### 1. 用水操作の逆推定

水田流出は用水の人為操作による影響が大きく、タンクモデルを適用する際にこれを考慮に入れることは非常に難しい。それは生育期別によって水管理が異なるため、生育期間を通して単一のモデルで表すのが困難であるからである。生育期別にパラメータを操作するというのは1つの方法であるが、実際の水管理は営農状態、天候など様々な要因によって変化するためパラメータ同定に困難を要する。そこで水位計の観測結果を用い、用水操作の逆推定を試みた。

#### (1) 逆推定の方法

取水量が増加し、流出量が減少しているときは水田を湛水するための人為操作が加わったと判断、流出量が増加し取水量が減少しているときは排水の操作が加わったと判断する(図7)。流量変化の様子を判断する基準として次式を計算する。

$$\delta LTin_j = Qin_j - Qin_{j-1} \quad (1)$$

$$\delta LTout_j = Qout_j - Qout_{j-1} \quad (2)$$

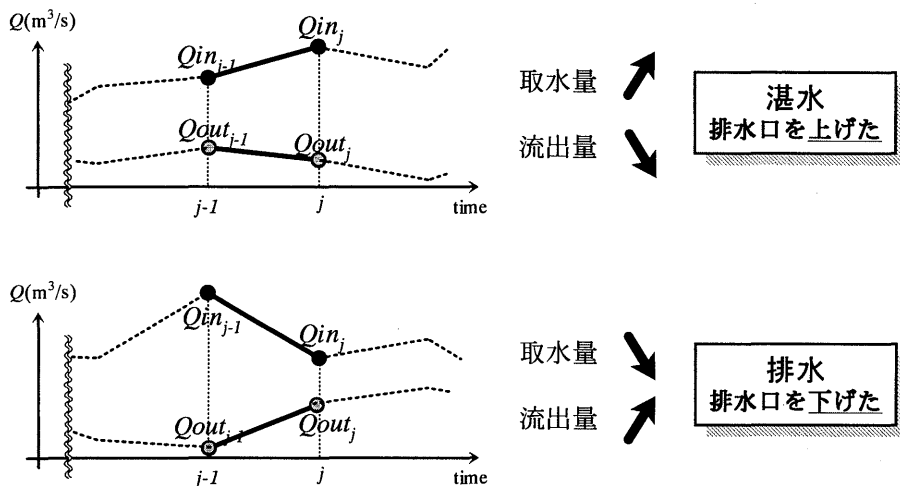


図7 用水操作の逆推定

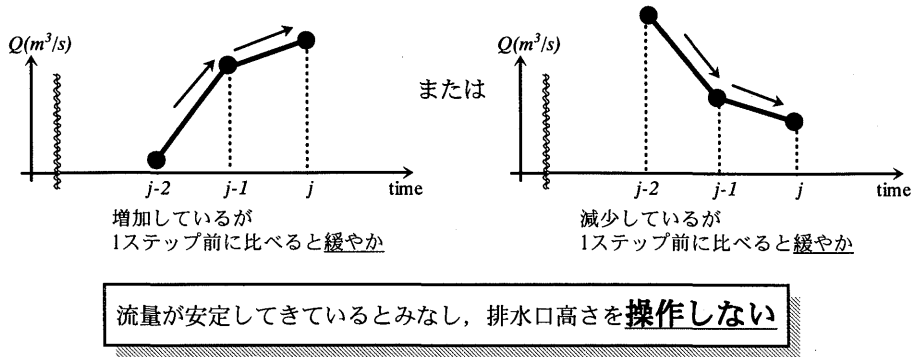


図8 用水操作の逆推定（操作の制限）

ここで  $Q_{in_j}$ ,  $Q_{out_j}$  は時間  $j$  における取水量, 流出量である.  $LT_{in}$ ,  $LT_{out}$  を毎時間ごとに算出したのち, 次の条件にあてはめる.

・  $\delta LT_{in_j} > 0$  かつ  $\delta LT_{out_j} < 0$   
 (取水量増加, 排水量減少)

湛水, すなわち排水口高さを高くする.

・  $\delta LT_{in_j} < 0$  かつ  $\delta LT_{out_j} < 0$   
 (取水量減少, 排水量増加)

排水, すなわち排水口高さを低くする.

さらに長時間にわたる上昇, 下降を判断する基準として次式を計算する.

$$\Delta \delta LT_{in_j} = \delta LT_{in_j} - \delta LT_{in_{j-1}} \quad (3)$$

$$\Delta \delta LT_{out_j} = \delta LT_{out_j} - \delta LT_{out_{j-1}} \quad (4)$$

(3) 式および (4) 式は,  $j-1$  時と比べた  $j$  時の変化の様子 (ex. さらに増加している, 増加から減少に変わった, など) を示している (図8).

以上の方法で水位計データを用いて毎時用水操作の逆推定を行なった.

(2) 逆推定結果

逆推定の計算結果の一部を図9～図11に示す. 図において, 実線はそれぞれ水田取水量および流出量を塗りつぶされた範囲は水田排水口高さの操作を表している. 図9では, 朝6時ぐらいに排水口高さが高くなっている. 流入量が減少していることから, この日は昨夜から掛け流しを行っていたが午前中に用排水口を絞り, 水田に水を張ったことが推定できる. 図10では, 天候による用水操作が表れている. 夕方4時ぐらいから雨が降り始めたため, 深水になることを懸念し排水口を開放したことが推定できる. 図11では, 深夜

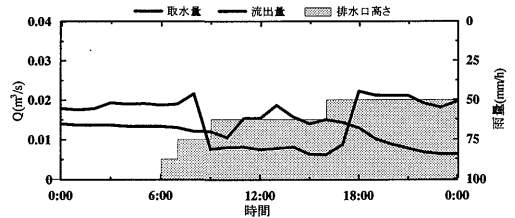


図9 用水操作の逆推定結果 (8月16日)

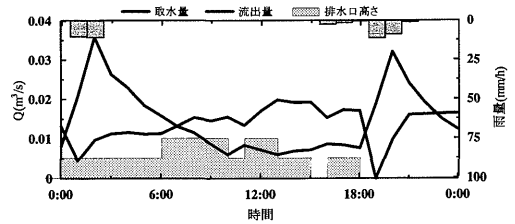


図10 用水操作の逆推定結果 (8月20日)

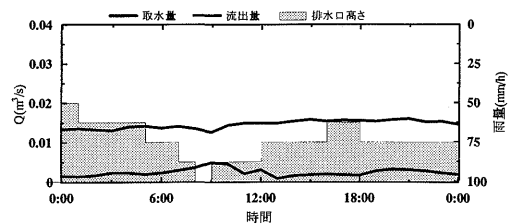


図11 用水操作の逆推定結果 (9月13日)

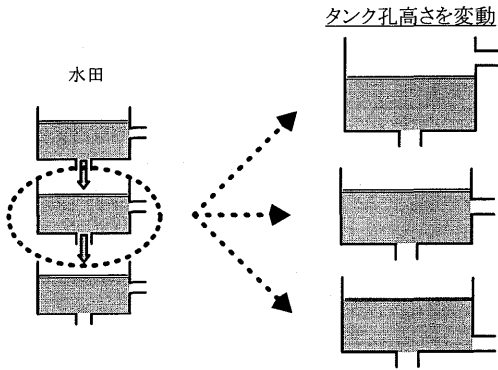


図12 タンク孔高さの操作

湛水状態にしていたが、午前中に排水、午後再び取水して水を入れ替えたことがうかがえる。

これらの結果は、現地での聞き取り調査にも合致しており、水位計観測データを用いた用水操作の逆推定は有効であると思われる。

(3) タンクモデルへの適用

前報で構築したタンクモデルの基本構造に逆推定の結果を組み込むことでより精巧なモデルを検討した。先の逆推定結果は排水口高さの操作を推定したものであり、本報で用いるタンクモデルにおいて、2段目タンク孔高さにあたる。そこで逆推定結果をもとに、従来は一定である2段目タンク孔高さを変動させる(図12参照)。なおここでの変動とは固定パラメータに対して比率を与えていくことである。従ってパラメータ探索時、2段目タンク孔高さに際してはその基準高さを探索する。

2. パラメータの最適化

パラメータの最適化手法には前報同様 SCE-UA 法 (Duan *et al.*, 1992, 田中丸, 1995) を用いる。前報でその概要について紹介した。本報ではその計算方法の詳細を示す。

$n$  個のパラメータ  $x_{i,k}$  ( $i=1, \dots, s, k=1, \dots, n$ ) における評価関数を  $J_i$  とする。  $s$  はサンプリング数である。  $n$  個のパラメータを各適用範囲内からランダムにサンプリング (選択) する。サンプリングには乱数を用いる。

$$x_{i,k} = x_{\min k} + |x_{\max k} - x_{\min k}| \times \text{random} \quad (5)$$

ここで、*random*: 乱数,  $x_{\max k}$ : パラメータ  $k$  の最大限值,  $x_{\min k}$ : パラメータ  $k$  の最小限值である。サンプリングは  $s$  回行なわれ、基となる集団  $X$  がで

きあがる。

$$X = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,n} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i,1} & x_{i,2} & \dots & x_{i,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{s,1} & x_{s,2} & \dots & x_{s,n} \end{pmatrix} \quad (6)$$

サンプルを評価関数の昇順に並び替える。昇順に並び替えた集団  $DX$  は、次のようになる。

$$DX = \begin{pmatrix} dx_{1,1} & dx_{1,2} & \dots & dx_{1,n} \\ dx_{2,1} & dx_{2,2} & \dots & dx_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ dx_{i,1} & dx_{i,2} & \dots & dx_{i,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ dx_{s,1} & dx_{s,2} & \dots & dx_{s,n} \end{pmatrix} \quad (7)$$

この時、各  $DX_i$  に対する評価関数  $J_{d_i}$  には

$$J_{d_1} < J_{d_2} < \dots < J_{d_s} \quad (8)$$

が成り立っている。

並び替えたサンプルを  $m$  組ごとに  $p$  個の集合に分割する。

$$A = \begin{pmatrix} dx_{1,k} & dx_{2,k} & \dots & dx_{1+p(m-1),k} \\ dx_{2,k} & dx_{2+p,k} & \dots & dx_{2+p(m-1),k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ dx_{p,k} & dx_{2p,k} & \dots & dx_{pm,k} \end{pmatrix} \quad (9)$$

ここで各要素の  $k$  は、 $k=1, 2, \dots, n$  台形確率分布を次式より計算し、 $A$  の各列に当てはめる。

$$\rho_i = \frac{2(m+1-i)}{m(m+1)}, \quad i=1, \dots, m \quad (10)$$

$A$  の各サンプルにあてられる確率を  $\rho A$  とすると、

$$\rho A = \begin{pmatrix} \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_m \\ \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_m \end{pmatrix} \quad (11)$$

あてはめた確率をもとに  $A$  から各行  $q$  個の組み合わせ ( $bx_{l,t,k}$ ,  $l=1, \dots, p, t=1, \dots, q$ ) を抽選し、集合  $B$  を作る。

$$B = \begin{pmatrix} bx_{1,1,k} & bx_{1,2,k} & \cdots & bx_{1,q,k} \\ bx_{2,1,k} & bx_{2,2,k} & \cdots & bx_{2,q,k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ bx_{p,1,k} & bx_{p,2,k} & \cdots & bx_{p,q,k} \end{pmatrix} \quad (12)$$

この時、 $bx_{l,t,k}$  に対する評価関数  $Jb_{l,t}$  には

$$Jb_{l,1} < Jb_{l,2} < \cdots < Jb_{l,q} \quad (13)$$

が成り立っているものとする。新しいサンプルを作り出すために  $B$  の中心  $G$  を求める。

$$G = \begin{pmatrix} g_{1,1} & g_{1,2} & \cdots & g_{1,n} \\ g_{2,1} & g_{2,2} & \cdots & g_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{p,1} & g_{p,2} & \cdots & g_{p,n} \end{pmatrix} \quad (14)$$

ここで、

$$g_{l,k} = \frac{1}{q-1} (bx_{l,1,k} + bx_{l,2,k} + \cdots + bx_{l,q-1,k}) \quad (15)$$

$G$  を用いて新しいパラメータ  $r_{l,k}$  を次式より作る。

$$r_{l,k} = 2 \cdot g_{l,k} - bx_{l,q,k} \quad (16)$$

$r$  が適応範囲内にあるかどうかを確認する。

$$x_{\min,k} \leq r_{l,k} \leq x_{\max,k} \quad (17)$$

範囲内であれば、評価関数 ( $Jr_l$ ) を計算する。そうでなければ、新たなパラメータ  $z_{l,k}$  を作る。 $z_{l,k}$  は、 $A_l$  のすべての点を含む多面体内からランダムに選ばれた点である。

$$z_{l,k} = ax_{\min,l,k} + |ax_{\max,l,k} - ax_{\min,l,k}| \times random \quad (18)$$

ここで  $ax_{\max,l,k}$ ,  $ax_{\min,l,k}$  はそれぞれ  $A_l$  の最大値および最小値である。評価関数 ( $Jr_l$ ) を計算し、 $r_{l,k}$  を  $z_{l,k}$  と入れ替える。 $Jr_l$  と  $Jb_{l,q}$  を比較する。 $Jr_l \leq Jb_{l,q}$  ならば、 $bx_{l,q,k}$  を  $r_{l,k}$  と入れ替える。そうでなければ、次式により  $c_{l,k}$  をつくる。

$$c_{l,k} = \frac{(g_{l,k} + bx_{l,q,k})}{2} \quad (19)$$

評価関数 ( $Jc_l$ ) を計算する。ならば  $bx_{l,q,k}$  を  $c_{l,k}$  と入れ替える。そうでなければ再び  $z_{l,k}$  をつくり  $bx_{l,q,k}$  と入れ替える。

以上が一回の進化過程である。この進化を複数回繰り返すことで最適解探索が進行する。

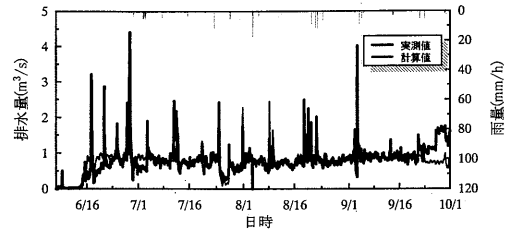


図13 排水量経時変化 (A ブロック)

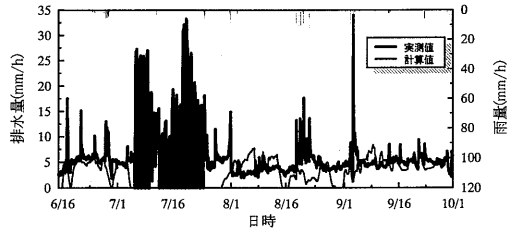


図14 排水量経時変化 (B ブロック)

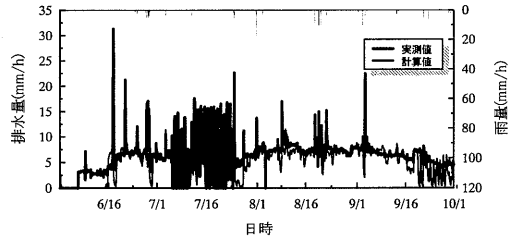


図15 排水量経時変化 (C ブロック)

### 3. モデリング結果

対象地区各ブロックにおける排水量の実測値とモデルによる計算値を比較した結果を図13~15に示す。Aブロックでは計算値と実測値は非常に良い一致を示している。モデリングは成功したと思われる。Bブロックは、途中データの欠損があったためパラメータ最適化が困難だった。しかし、全体として、計算値は実測値の傾向を捉えている。Cブロックにおいても結果は比較的良好である。

### 適正取水量の算定

モデリングが最も成功している A ブロックにおいて、シミュレーションによる適正取水量の検討を行なう。

1. 適正取水量

A ブロックにおいて、現在の水田管理状態において、適切な取水量をシミュレートする。図16は、水位計から求めた現状の取水量をもとに、取水量を変化させた時の湛水深をシミュレーションしたものである。今回測定した流入量を基準として、その量の40%から120%に変化させ、水田湛水深の変化を検討する。シミュレーション結果から、現状(100%)から取水量を減らしても湛水深に大きな影響がないことがわかる。一方、取水量を増やした場合(120%)、湛水深が急激に上昇している。これらのことから、現状の大きな無駄もなく利用されており、逆に現状以上の取水を行な

うと、過剰水がでてくることが予測される。

2. 将来予測

図17では、期間を通して用水を一定量で与えた時の湛水深の変化である。なおこのシミュレーションでは、用水操作の逆推定値を用いていない。今後、水管理の粗放化、合理化が進んだ時を想定したシミュレーションである。用水量は20mm/d~60mm/dで変化させた。なお現状での平均取水量は40mm/d~50mm/dであった。グラフを見るといくら用水を増やしても湛水深にあまり影響が出ていないことが明らかである。いわゆる掛け流しの状態であり、過剰水が多く発生していることが予測される。合理化が進んだ場合、より

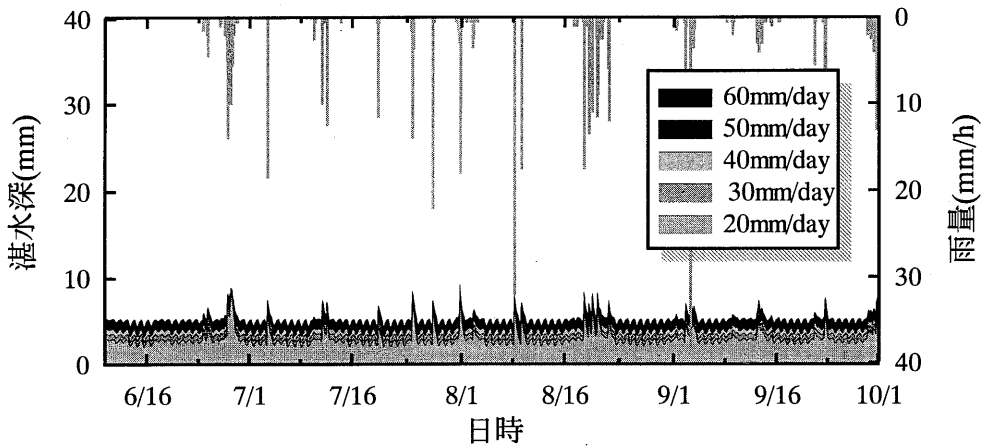


図16 湛水深シミュレーション1

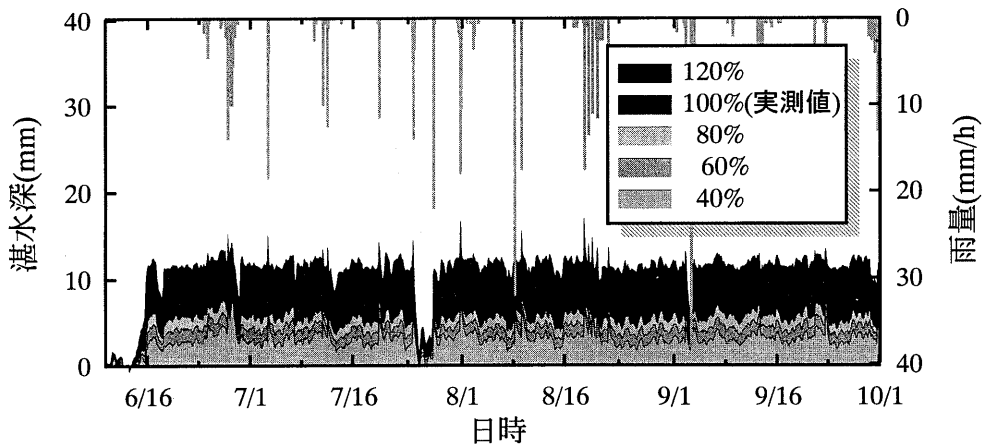


図17 湛水深シミュレーション2



多くの用水量, もしくは何らかの用水操作施設等が必要になってくると思われる。

## 摘 要

(1) 福岡県朝倉郡吉井町における就農状況は, 年々少人数化・高齢化が進んできている。また全農家に対する2種兼業農家の占める割合が増加してきている。その結果, 今後農作業の合理化が求められることが予想される。

(2) 対象地区において行なった自記水位計を用いた取水実態調査をもとに, 当地区における水田用水操作の逆推定を試みた。逆推定結果を検証したところ, 1日単位での用水操作をうまく再現することができた。

(3) 逆推定結果を組み込んだモデルによる計算結果は実測値と良い一致を示しており, 本モデルの妥当性が

実証された。モデルを用いて行なったシミュレーション結果から当地区では現状の管理状態ならば適切な取水が行なわれていると判断できた。しかし, 今後用水管理の粗放化, 合理化が進んだ場合は, 多量の用水もしくは現状の管理状態を維持することのできる設備が必要になると思われる。

## 文 献

- Duan, Q., S. Sorooshian and V. Gupta 1992  
Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research*, 28(4): 1015-1031
- 田中丸治哉 1995 タンクモデル定数の大域的探索. *農業土木学会論文集*, 178: 103-112

## Summary

The farmworkers in Yoshii-town which is located in Fukuoka prefecture are decreasing and aging gradually. The ratio of part-time farm households having more non-farm income than agricultural income is increasing. As a result, the rationalization of the farm work would be needed.

The control of water intake in the paddy field was reversibly estimated from the observation of water intake using the water level indicator in 600ha study site of Yoshii-town. The estimation could describe the change of the water management with the weather.

The calculation using model including the reverse estimation had good agreement with the observation and it proved that this model is effective. According to the simulation using the model, the amount of water intake would be reasonable under condition that the present water management would be maintained. However, Much water intake would be necessary if the water management is rationalized.