

水収支による低平地水田地帯の 用水量に関する研究

長堀金造

Study on the Duty of Water in Flat and Lower
Area of Paddy Fields by Water Balance

Kinzo NAGAHORI

It is not proper from the view-point of an effective use of water resources that the irrigation requirement in a large area is determined by the water requirement in depth in a local area, because, in such a case, the irrigation requirement is estimated excessively due to the repeating use of percolated water from paddy fields.

Hence, for an irrigation water project for a large area, it will be reasonable to estimate the duty of water by the water balance. From the above view-point, some investigations were made on the duty of water by the water balance in the flat and lower area of paddy fields, and some points were made clear.

At first, 4 periods as below were taken into consideration.

- (i) Period that requires most water for growth of rice plant.
- (ii) Period that requires not much water for growth of rice plant.
- (iii) Period when the pump is constantly working.
- (iv) Period when it does not rain continuously.

1) The equation of water balance is shown as

$$(Q_2 - Q_1) + (G_2 - G_1) + e_n, t_n + \Delta S = 0$$

Where, Q_1 : Surface inflow to model area

Q_2 : Surface outflow from model area

G_1 : Subsurface inflow to model area

G_2 : Subsurface outflow from model area

e_n, t_n : Evapotranspiration

ΔS : Change in volume of storage of water

In the above equation, $(G_2 - G_1) + e_n, t_n + \Delta S$ is consumptive use in large area of paddy fields. But generally in a flat and lower area $(G_2 - G_1) = 0$, and in the period of constant water, $\Delta S = 0$. Therefore, the consumptive use in this area is e_n, t_n .

2) while the consumptive use given by the water balance on the basis of the data by the actual observation in the model area was

11.8 mm/day in depth of water in the I st period (July 18th~22nd),

11.0 mm/day in the II nd period (August 10th~14th) and

7.1 mm/day in the IIIrd Period (September 7th~11th).

3) On the other hand, the evapotranspiration e_n , t_n given on the basis of the pan-evaporation was

12.04 mm/day in the I st period,

11.62 mm/day in the II nd period and

8.42 mm/day in the IIIrd period.

So e_n , t_n given on the basis of Pan-evaporation is a little larger than that on the basis of the actual measurement of water through the three periods, but the difference between them is very little.

4) Therefore, the consumptive use of water in the flat and lower area of paddy fields as this is mainly due to e_n , t_n . Therefore it will be presumed that $G_2 - G_1 = 0$ and $\Delta S = 0$.

5) From the above results, it is noticeable that the amount of irrigation water, and drainage water is very large respectively in spite of the fact that the consumptive use is only about the amount of e_n , t_n and so, it is desired to make the amount of irrigation and drainage water adequate.

6) Next and last, the repeating use of irrigation water in this area was investigated and the amount of water of repeating use was found about 5~6 mm/day on the average.

結 言

わが国の水資源を利用し消費するものうちでは、農業用水がその大部分を占めているといえる。

現在わが国の農業において水稻、稲作はその中心を占めており、かつては産業の中心でもあったため、慣行による強い水利権を保持している。しかし近年にいたり、各種の工業用水、上水道の需要が著しく増加し、さらに農業自体としてもその新規開発のための水の確保が必要となり、その対策が強く要望されている。

このような観点から、水の経済性を考慮して、広域のかんがい計画を樹立する際には水収支によって用水量を決定する方法が行なわれるようになってきている。

一般に水田におけるかんがい用水量は、局所的な水田の減水深とそれに対応するかんがい面積を乗じた値をもって決定しているので水稻の必要水量とは無関係な水量をかんがいしている場合が多い。その結果、地域に存在する水資源量よりもはるかに大きい用水量となって不合理を生じていることがしばしばある。

もとより、水田浸透水は反復利用されるものであるから、局地的な用水量調査や、減水深とかんがい面積とから算定した水量をもって広域の用水量とみなすことは、過剰に用水量をみこむ傾向となるので経済的観点からしても好ましくない。特に低平地の水田地帯で、機械排水を行なっているような地域では、残水処理の問題もあるわけで、かんがい水の消費の実態を適確に把握することが極めて重要であるといわねばならない。

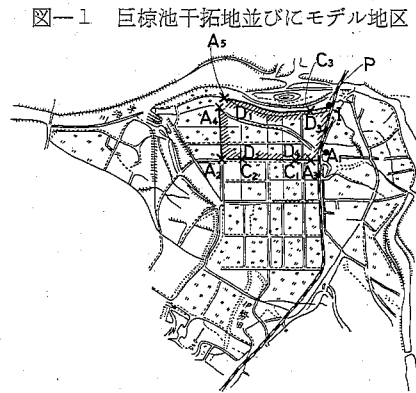
本論文においては、かかる観点から、低平地水田地帯干拓地の用水量の実態調査研究を行なった事例について水収支法による解析と考察を行なったものである。

I. 調査モデル地区の概要

モデル地区として、巨椋池土地改良区（京都府）の一部を選定した。巨椋池は、東西4km南北3km、周囲16kmで水面積794haをもち、山城盆地の最低部にあり古くは宇治、木津、桂の3川が合流、遊水するデルタ状の沼沢地であったが、その後、各河川が順次切り離され干拓工事施工直前には、池の水位は著しく低下し平水位からの水深は0.9m以下となって、運河と称する1本の排水路のみで宇治川に自然排水されていた。巨椋池土地改良区は昭和16年来、この池を機械排水によって干拓して新耕地を造成し、あわせて沿岸既耕地の改良を行なう目的によって竣工した干拓地である¹⁾。

著者がモデル地区として選定した地域は、図-1に示す通り、この土地改良区の一部で、図中斜線で囲んだ地域で調査面積は179.88ha、巨椋池土地改良区の総水田面積の約 $\frac{1}{3.5}$ に相当するものである。

この地域の地質は、山地およびその周辺には洪積層があり、土壌は埴土、埴壤土、壤土が混在し、宇治川沿岸は沖積層の砂壤土からなり、その他旧池内を含む地域は沖積層の埴土、埴壤土、壤土である。



II. 調査の方法

はじめに選定したモデル地区内への取水量、地区外への流出量などを決定するための流量観測にあたっては、各用排水路について、その支線をも含め、境界ごとに綿密に調査検討して、地区への流入流出地点に自記流量観測設備を設立すると同時に気象諸要素をも測定できる準備をととのえ、総合的な実験観測を実施した。

水収支算定にあたっては全かんがい期間中、精度よく用水量の実態を把握するため、特に3期間を選定した。期別選定条件としては、まず、

- 1) 水稲生育上、用水をもっとも必要とする期間（例えば、出穂前、穂孕期）
- 2) 水稲生育上、あまり用水を必要としない期間（例えば、登熟期）
- 3) ポンプ運転水位の安定している期間
- 4) 無降雨期

などを考慮した。

以上の条件をみたくような期間としては、I期間（7月18日～22日）、II期間（8月10日～14日）、III期間（9月7日～11日）の3期間を選定し、しかも採用する単位期間は精度の点から、半旬別を採用²⁾し、それぞれの3期間の場合について、水収支を検討して、本地区のような場合のかんがい水量の消費の実態を究明しようとしたものである。

III. 調査結果の解析と考察

対象地区内の用水の各流入点、各流出点におけるそれぞれの流量は自記水位観測資料によっ

て算定した。

一般に水田地帯で水収支式を適用する場合には、なるべく流量の安定した無降雨時を選び、その際、対象面積は水田だけに限るのが正確な結果が得られて好都合である。

この場合の水収支式は次のようになる。

$$(Q_1 - Q_2) + (G_1 - G_2) = e_n \cdot t_n$$

$$\therefore (Q_2 - Q_1) + (G_2 - G_1) + e_n \cdot t_n = 0$$

ここで Q_1 : 地区内への地表水流入量

Q_2 : 地区内からの地表水流出量

G_1 : 地区内への地下水流入量

G_2 : 地区内からの地下水流出量

e_n, t_n : 水田の葉水面蒸発量

中干や、落水などの田面水や地下水位の変化を無視できない場合は、貯留水量変化 $4S$ の項を入れる。

すなわち

$$(Q_2 - Q_1) + e_n \cdot t_n + (G_2 - G_1) + 4S = 0$$

この式で $e_n \cdot t_n + (G_2 - G_1) + 4S$ が広域水田の消費水量となる。

表-1 水 収 支 表

期 間	I		II		III	
	7月18日～7月22日		8月10日～8月14日		9月7日～9月11日	
流 入, 流 出 点	流入量 $Q_1 \text{ m}^3$	流出量 $Q_2 \text{ m}^3$	流入量 $Q_1 \text{ m}^3$	流出量 $Q_2 \text{ m}^3$	流入量 $Q_1 \text{ m}^3$	流出量 $Q_2 \text{ m}^3$
葭島, ポンプ場 (P)	100,744.2		114,246.0		161,315.4	
〃 自然流入量 (I)	32,795.0					
葭島用水路 (A-5)		63,158.4		45,748.8		71,625.0
承水溝第3号 (A-1)	407,808.0		355,536.0		297,561.6	
承水溝第3号 (A-4)		18,362.2		16,984.1		14,461.2
主排第8号 (A-2)		202,804.0		207,144.0		196,862.4
2の丸水路橋 (C_1)		110,404.6		69,775.5		70,969.3
サイホン水路 (C_2)		26,404.6		17,606.4		26,925.2
葭島用水路 (C_3)		13,262.7		11,655.1		14,191.7
ΣQ	541,347.2	434,460.1	469,782.0	368,913.9	458,877.0	395,035.4
$Q_1 - Q_2$	11.8mm/day		11.0mm/day		7.1mm/day	

(かんがい面積 179,88ha)

一般に低平地水田地帯では $(G_2 - G_1) = 0$ であり、かんがい水の安定した期間であれば $4S = 0$ とみなせるから、消費水量は $e_n \cdot t_n$ と推定される。

従って以上の観点から、水収支計算によって得た結果をあげれば、表-1の通りである。この結果を考察すると、Iの期間では、水深になおして11.8mm/day、IIの期間では、11.0mm/day、IIIの期間では、7.1mm/dayの値を示している。これらの値が $e_n \cdot t_n$ に相当することになる。

一方、水稻生育各時期における葉面蒸発量は水稻生育の各過程と気象状況により左右されるもので、気象因子を消去した水稻自身の生理的に水を必要とする度合を、葉面蒸発率として、次式により計算される。

$$i_n = \frac{t_n/T}{e_n/E} = \frac{t_n \cdot E}{T \cdot e_n} \times 100$$

ここに、

i_n ：葉面蒸発率

t_n ：各時期の葉面蒸発量

T ：生育期間中の総葉面蒸発量

e_n ：各時期の蒸発計蒸発量

E ：生育期間中の総蒸発計蒸発量

したがって、葉面蒸発率より逆算的に水稻の生育各時期の葉面蒸発量を算出するには次式によればよい。

$$t_n = (T) \times (i_n) \times (e_n) / E$$

次に各時期の水田面蒸発量であるが、これは気象条件によって左右されると同時に水稻茎葉繁茂の状態にもよるから蒸発計蒸発量との比率において表わした方が地域差が無視されるので合理的である³⁾。今、選定した3期間の水田面蒸発量と計器蒸発量との比率 γ_e をそれぞれ、0.4、0.31、0.4 として、同年の水稻の実収量から各期間の水田面蒸発量 e_n と葉面蒸発量 t_n の値を算定すれば、表-2の通りとなる。

表-2 水稻の収量から求めた e_n, t_n の計算値

期 間	月 日	計器蒸発量	水面蒸発量 (e_n)	e_n, t_n	備 考
I	7月18日	5.0	2.0	11.7	※ $\gamma_e=0.4$ $t_n=9.7mm$ $\frac{t_n}{e_n} = 12.04mm/day$
	19日	6.4	2.6	12.3	
	20日	5.9	2.4	12.1	
	21日	6.1	2.4	12.2	
	22日	5.6	2.2	11.9	
II	8月10日	3.8	1.2	11.7	$\gamma_e=0.31$ $t_n=10.5mm$ $\frac{t_n}{e_n} = 11.62mm/day$
	11日	4.3	1.3	11.9	
	12日	3.8	1.2	11.7	
	13日	3.2	1.0	11.5	
	14日	2.8	0.9	11.3	
III	9月7日	4.3	1.8	8.5	$\gamma_e=0.4$ $t_n=6.8mm$ $\frac{t_n}{e_n} = 8.42mm/day$
	8日	3.1	1.3	8.0	
	9日	3.4	1.4	8.1	
	10日	4.5	1.9	8.6	
	11日	5.2	2.1	8.9	

※ γ_e ：水田面蒸発量÷計器蒸発量

この結果より、3期間の葉水面蒸発量 e_n, t_n の値をみると、I期間では、12.04mm/day、II期間では、11.62mm/day、III期間では、8.42mm/day の値となっている。これらの結果を、水

収支によって算定した地区内消費水量と対比してみると、Iの期間では、 0.24mm/day 、IIの期間では、 0.62mm/day 、IIIの期間では、 1.3mm/day でそれぞれ計器蒸発量を基にした計算によって求めた表一2の値の方が大きい結果を示している。この原因は、計器蒸発比のとり方にもよると思われるが、いづれにしても、本地域は、ほとんど e_n, t_n によって消費される型となっており、 $G_2 - G_1 = 0$ 、 $4S = 0$ とみなせることが実証されたものと考えられる。すなわち、本地区のように、低平地水田地帯の用水量は e_n, t_n による消費水量に相当するものであるといえる。そこで従来よりなされている減水深調査を本地区にも適用して求めた用水量の結果をあげれば、表一3の通りである。この結果と水収支によって求めた表一1との比較から反復利用水量を検討してみる。

まず、下段地区では、平均減水深が $D_2 = 14\text{mm/day}$ 、 $D_4 = 15.3\text{mm/day}$ 、中段地区では、 $D_1 = 21\text{mm/day}$ 、 $D_3 = 11.6\text{mm/day}$ 、となり、それらを土性別に分割した面積を乗ずると、本地区内での用水量は $27,927.7\text{m}^3/\text{day}$ となり、水深表示をすれば 15.5mm/day となる。

従って、本地区のように用排兼用の所では平均的にみても、およそ $5 \sim 6\text{mm/day}$ の水量が反復利用されていることが明らかとなった。

表一3 減水深調査によって求めた用水量

減水深実測地点	土 性	土 性 別 面 積 ^(ha)	減 水 深 [*]	土性別用水量
D ₁	砂 壤 土 (S.L)	38,494	21.0mm/day	8,083.7m ³ /day
D ₂	埴 壤 土 (C.L)	43,962	14.0mm/day	6,154.6m ³ /day
D ₃	埴 土 (C)	32,875	11.6mm/day	3,813.5m ³ /day
D ₄	壤 土 (L)	64,549	15.3mm/day	9,875.9m ³ /day
計		179,88 ha		** 27,927.7m ³ /day

* 3期間中の同一土性地区内

4点、4連平均値

** 水深にて表示すれば 15.5mm/day

IV. 要 約

水田からの浸透水は反復利用されるもので局地的な減水深とかんがい面積から算定した水量をもって広域の用水量とすることは、過剰に用水量をみこむことになるので、水資源の有効利用の観点からいっても好ましくない。

ゆえに広地域を対象にしたかんがい計画を樹立する際には水収支によって用水量を決定することが合理的な方法といえる。

以上の観点から、低平地水田地帯の水収支による用水量の実態調査を行なった結果、次の諸点が明らかとなった。

1) まず、水収支式は

$$(Q_2 - Q_1) + (G_2 - G_1) + e_n, t_n + 4S = 0$$

上式中、 $(G_2 - G_1) + e_n, t_n + 4S$ が広域水田の消費水量となる。一般に低平地では $(G_2 - G_1) = 0$ 水量の安定した期間であれば $4S = 0$ とみなせるから、本地域のような所では消費水量は e_n, t_n と考えられる。

2) 一方、モデル地区内の流量実測データより水収支計算によって求めた消費水量は、Iの期間(7月18日~22日)では水深になおして、 11.8mm/day 、IIの期間(8月10日~14日)では 11.0mm/day 、IIIの期間(9月7日~11日)では 7.1mm/day の値となった。

3) 他方、蒸発計蒸発量を基にして求めた蒸発散量 e_n, t_n の結果はI期間が 12.04mm/day 、II期間が 11.62mm/day 、III期間が 8.42mm/day 、の結果となり、計器蒸発量を基にして算定した方が、3期間とも若干、 e_n, t_n が実測水収支の結果より値が大きい。しかし、それらの差は極めて小さい。

4) 従って、本地域のように低平地水田地帯の消費水量は e_n, t_n によるものであり、従って $G_2 - G_1 = 0$ $\Delta S = 0$ とみなせるものと考えられる。

5) 以上から、本地域における消費水量は、 e_n, t_n 程度のものでありながら、かんがい水量と排水量の両者が極めて多いことは注目すべきで、かんがい排水量を適正化することが望まれる。

6) 次に本地域の用水の反復利用量を検討してみたところ、平均的にみて、およそ $5 \sim 6\text{mm/day}$ の水量が反復利用されていることが明らかとなった。

おわりに、本論文は昭和37年、著者が京大在職中に行なった巨椋池干拓地、かんがい排水の実態調査研究の一部であることを付記し、御援助いただいた巨椋池土地改良区の関係各位に謝意を表する次第である。

引用文献

- 1) 巨椋池土地改良区：(1962) 巨椋池干拓誌 1~25
- 2) 小樽康雄：(1967) 農業土木学会論文集 21：1
- 3) 富士岡義一：(1957) 農業土木ハンドブック、第12編かんがい排水、4用水量、480