

# 水田流域の損失雨量について

田中礼次郎<sup>※</sup>

Reijiro TANAKA

Some Investigations of Water Losses on Paddy Field

## まえがき

一般に降雨量のうち、直接流出分が有効雨量であり浸透、蒸発散、貯留および降雨しゃ断のため直接流出しない分が損失雨量であるから、降雨から流出の諸特性を解析するとき損失雨量の扱いが重要な要素になる。

損失雨量については、以前は普遍性のない流出率<sup>(1)</sup>という簡単な概念で扱われていた。近年 Horton の浸透能の概念<sup>(2)-(5)</sup>から出発した山地や丘陵地を対象とするかなりの研究<sup>(7)</sup>が見られるが、水田地帯の損失に関する研究は数少ない。山地流域では浸透損失が主であるが、水田ではけいはんに設けられた排水口（欠口）以下に貯留される降雨量が損失の大部を占める。したがって降雨前の各水田排水口以下の貯留量の分布より損失雨量を推定<sup>(8)</sup>する方法は、今まであいまいであった水田損失に物理的意義を与えるものとして注目される。本研究は、この方法により<sup>(6)</sup>低平水田地帯である網場川流域を対象としてまとめたものである。

## 1. 損失雨量算定法

水田流域をけいはんで区画された小貯水池の集合と考えると、各水田のたん水位とけいはん排水口敷高の差  $h_l$  が 0 となるまでの降雨はすべて損失となり、つづい

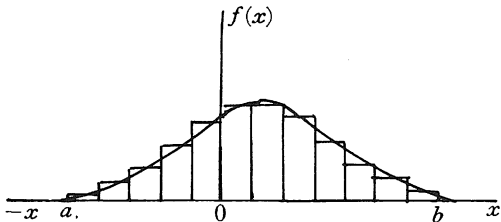


図1 たん水分布を示す  $h_l$  の確率密度曲線

て排水口からの越流が順次始まり全水田の  $h_l = 0$  の時点で損失がなくなり、蒸発散、浸透の損失を無視できるものとするとき近似的に 100% 流出の状態となる。したがって降雨前のたん水分布がわかれば損失雨量を算定することができる。いま適当な標本調査により、図1に示すように  $h_l$  を確率変数  $x$  とする確率密度関数  $f(x)$  が推定されたとする。ここに  $x = h_l$  は図2のとおり排水

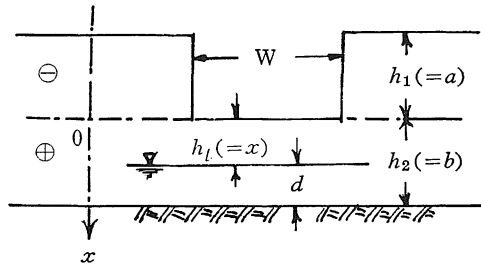


図2 水田排水口模式図

口敷を基準として下向きに水面までの高さを正にとる。 $x$  の上限  $b$  は田面から排水口敷までの高さで、 $x$  の負の範囲はすでに排水口から越流しているたん水分布を示す。このようなたん水分布を示す水田流域に単位時間  $r_1$  (mm) の降雨があると、損失は  $x$  の正の範囲で起り単位時間を十分小さくとると次式により示される。

$r_1$  に対する損失雨量  $L_1$  は

$$L_1 = \int_0^{r_1} x f(x) dx + r_1 \int_{r_1}^b f(x) dx$$

次の  $r_2$  に対する損失雨量  $L_2$  は

$$L_2 = \int_{r_1}^{r_1+r_2} x f(x) dx + r_2 \int_{r_1+r_2}^b f(x) dx \quad \dots(1)$$

同様に  $r_n$  に対する損失雨量  $L_n$  は

$$L_n = \int_{r_{n-1}}^{r_1+r_2+\dots+r_n} x f(x) dx + r_n \int_{r_1+r_2+\dots+r_n}^b f(x) dx$$

※ 農業水利工学研究室

したがって降雨前のたん水分布の確率密度関数  $f(x)$  がわかれば、単位時間ごとの降雨に対する損失雨量が求められる。なお累加損失雨量  $F$  は  $F = \sum_{i=1}^n L_i$  であるから、 $R = \sum_{i=1}^n r_i \sim F$  の関係は簡単に計算できる。

### 2. 網場川流域に対する適用

図3に示す網場川流域は斐伊川を用水源とする同一用

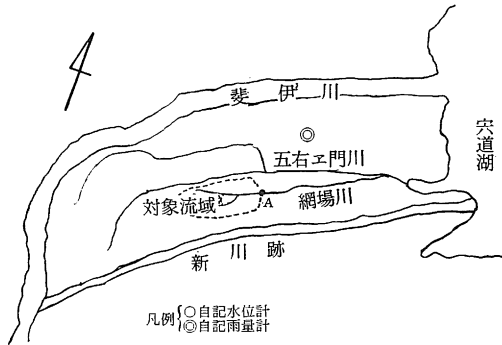


図3 地区概要図

水系統に属し典型的な水田地帯で、すでに区画整理（1区画 $18m \times 55m = 990m^2$ ）が行なわれ、用排水路は整然と配置されている。したがって標本調査によって90点の調査田を選んだA点より上流の区域の水田の諸条件はほぼ同一と見てよい。A点は流量観測地点で流域面積は181.5haである。この場合に水源、用排水系統あるいは用水慣行などが著しく異なるときは、流域をさらに分割して条件別に標本調査を行なう必要がある。対象区域の水稲作付品種は大部分が近畿33号およびヤエホで、田植期は5月中、下旬、刈り取りは9月下旬、10月上旬である。調査は6月下旬から9月上旬にわたって、たん水分布  $h_l$  のほか水田けいはんの排水口規模 ( $W, h_1, h_2$ ) および降雨量、地区外よりの流入量、地区外への流出量の一せいで観測を数回実施した。なお地区外よりの流入量は用水路からの流量のみで、大きな降雨のときは最上流の取入樋門を閉じるので流入量は0と見てよい。地区外への流出量は網場川排水路のA点にすべて集まるので自記水位計により観測した。雨量はA点から約2km離れた島根県農事試験場出東分場に設置した自記雨量計で計った。

(1)  $W, h_1, h_2$  の観測値

$W$  (巾),  $h_1$  (高さ),  $h_2$  (敷高), の平均値は観測ごとに多少変化する(表1)が  $W$  は約20cm,  $h_1+h_2$  は約14cmで大体一定している。 $h_2$  は9月に入ると目立っ

て小さくなる。

表1 排水口の規模 (平均値, 単位cm)

観測日	6月29日	7月9日	7月17日	7月22日	8月8日	9月7日
区分						
$W$	19	19	19	21	21	19
$h_1$	7	8	8	9	8	11
$h_2$	7	7	5	6	6	3
$h_1+h_2$	14	15	13	15	14	14

(2) たん水分布

5月の田植から6月下旬(分けつ終了時)までは、ほとんど連続かんがいであるが、7月以降は間断かんがい(3日~5日)を行なっているため、たん水深  $d=0$  の水田が全体の60~80%になるが、 $d=0$  の場合でも  $h_2>0$  の範囲では  $h_l>0$  として表わされる。しかし7月中旬以降になると排水口敷を取り去って、すなわち  $h_2=0$  の状態で中干しを行なうため  $d=0, h_2=0$  したがって  $h_l=0$  の水田が全体の1/3程度現われ、9月に入ると1/2程度の割合になる。このことが後述の(3), (4)式と関係を持つことになる。また9月中旬には全水田ともかんがいを終了し、すべて  $d=0$  となる。以上の経過は図4のヒストグラムに現われている。ここで  $h_l$  の観測値を、(2)式すなわち Hazen plot で算出して正規確率

$$W(x_i) = \frac{2i-1}{2N} \dots \dots (2)$$

ここで  $W(x_i)$ : 非超過確率,  $N$ : データ数  
 $i$ : データの小さいものから、大きい順に並べたときの順位

紙上にプロットすると、 $h_2>0$  である7月初旬まで(6月29日, 7月9日の観測値)は大体直線上に並び(図5(a), (b)) 正規分布をみると見なしてよいが、7月中旬以降の  $h_l$  分布はそのままでは適合する分布関数が見当たらない。しかしデータを(3), (4)式で処理すると時期によって多少の危険性はあるが、大体正規分布に近似してくる。すなわち  $h_l$  の全データ数を  $N$  とし、度数分布表において  $h_l=0$  の属する階級のデータ数(度数)を

$$\left. \begin{aligned} &7月中旬 \sim 8月 && \frac{N}{3} \times \frac{1}{5} = \frac{N}{15} \\ &9月 && \frac{N}{2} \times \frac{1}{10} = \frac{N}{20} \end{aligned} \right\} \dots \dots (3)$$

とする。これによると対象とするデータ数は

$$\left. \begin{aligned} &7月中旬 \sim 8月 && \frac{N}{3} \times \left(1 - \frac{1}{5}\right) = \frac{4}{15}N \\ &9月 && \frac{N}{2} \times \left(1 - \frac{1}{10}\right) = \frac{9}{20}N \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

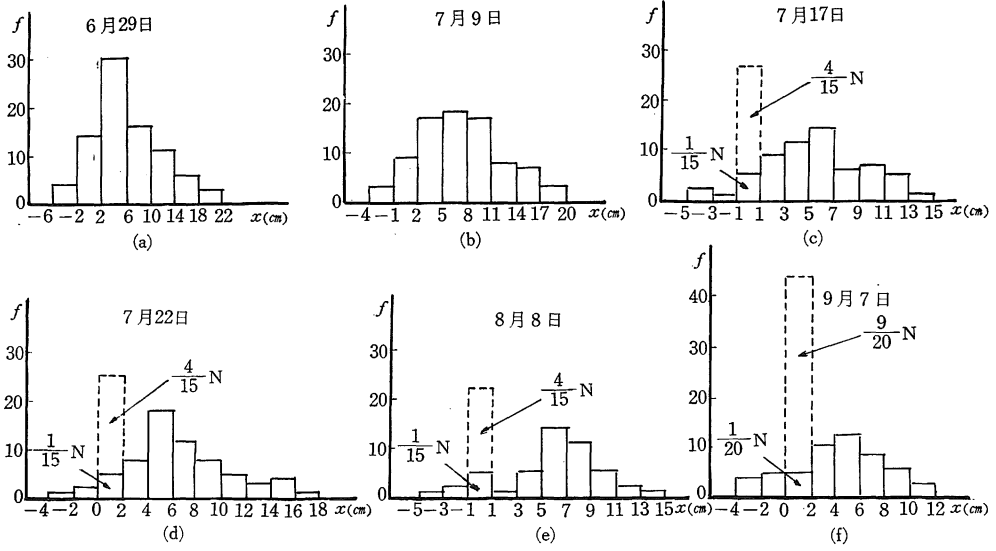


図4 たん水分布を示す  $h_l$  のヒストグラム

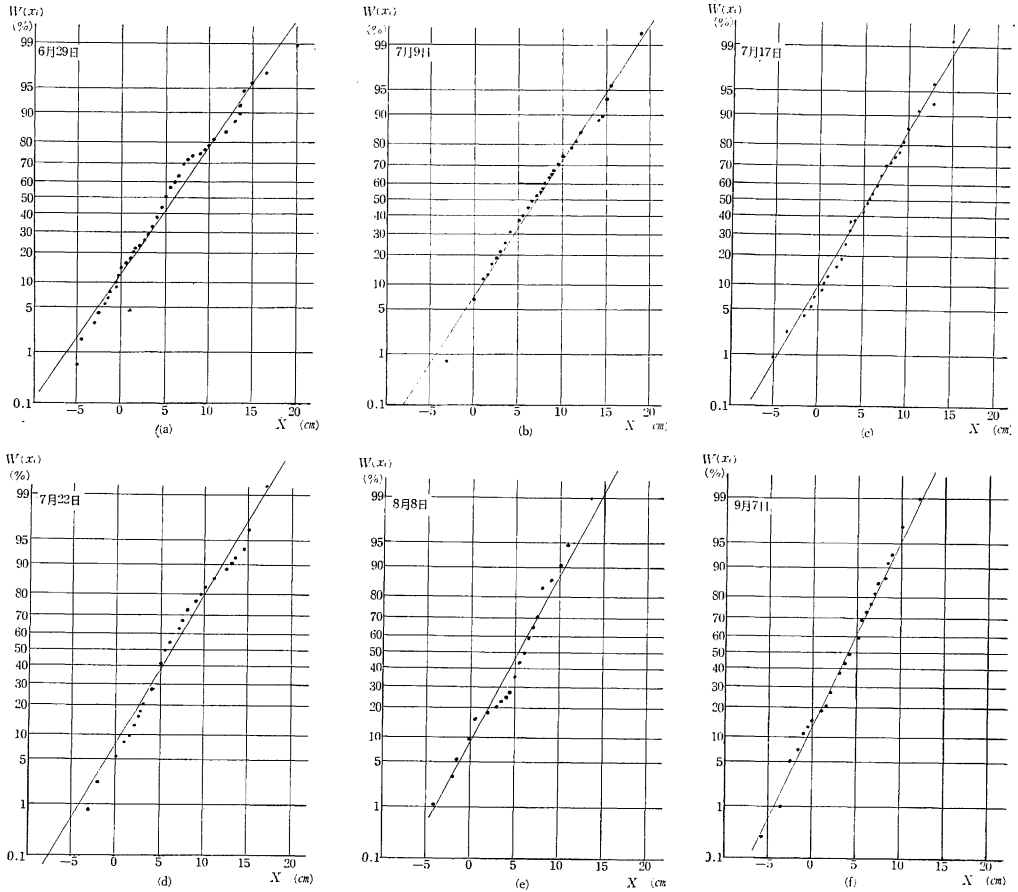


図5

だけ除外したことになり少くなる。図4(c), (d), (e), (f)にこの関係を示している。このデータ処理をして(2)式より算出した値を正規確率紙上にプロットすれば、図5(c), (d), (e), (f)のとおりで、おおよそ直線性を示している。このようにして得られた  $h_l$  を確率変数  $x$  とする確率密度関数  $f(x)$  は一般に(5)式で表わされる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ -\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\} \dots\dots(5)$$

ここに  $\mu$  = 平均,  $\sigma$  = 標準偏差

各観測日の  $N, \mu, \sigma$  および  $x$  の上限値  $b$  を表2に示す。

表2  $\mu, \sigma, b$ (単位cm)および $N$ (データ数)

観測日	6月29日	7月9日	7月17日	7月22日	8月8日	9月7日
区分						
$\mu$	6.2	7.3	5.4	6.6	5.8	5.8
$\sigma$	6.2	5.1	4.0	4.2	3.9	3.6
$b$	20.0	18.5	14.0	17.0	14.0	11.0
$N$	84	82	62(84)	67(87)	47(64)	48(88)

註 ( )は(3), (4)式適用前のもとのデータ数

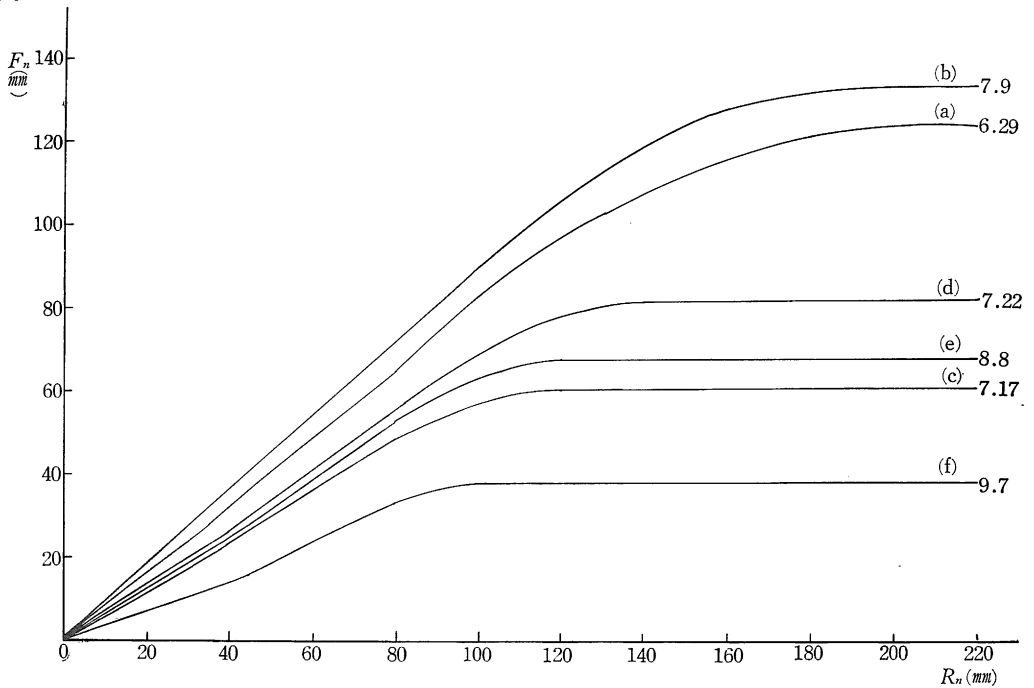


図6  $R_n - F_n$  曲線

$\mu$  は大体6 cm前後であり変化はないが、 $\sigma, b$  が次第に小さくなっていることは、かんがい後期になるにつれてたん水状況に変化が少なくなり、排水口敷も次第に低くなって行くことを示している。

(3) 損失雨量

(5) 式において  $u = \frac{x-\mu}{\sigma}$  とおいて標準化すると

$$f(u)du = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{u^2}{2} \right\} du \dots\dots(6)$$

(1), (6)式より

$$L_n = -\frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left[ \exp \left\{ -\frac{u^2}{2} \right\} \right]_A^B + \frac{\mu}{\sqrt{2\pi}} \int_A^B \exp \left\{ -\frac{u^2}{2} \right\} du + r_n \int_B^C \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{u^2}{2} \right\} du \dots\dots(7)$$

$$A = \frac{r_{n-1} - \mu}{\sigma},$$

$$B = \frac{(r_1 + r_2 + \dots + r_n) - \mu}{\sigma}, C = \frac{b - \mu}{\sigma}$$

$$F_n = \sum_{i=1}^n L_i, R_n = \sum_{i=1}^n r_i \dots\dots\dots(8)$$

各観測日の直後に降雨があるものとして、(7)、(8)式より累加雨量 ( $R_n$ )—累加損失雨量 ( $F_n$ ) の関係を求めると図6となる。こゝで(3)式によりデータを処理して得られた  $R_n - F_n$  曲線を実際のデータ数  $N$  に対する累加損失雨量  $F'_n$  に換算するには、(4)式で除かれた分は  $h_2 = 0$  で近似的に100%流出すると考えられるから

$$\left. \begin{aligned} &7月17日, 22日, 8月8日については, \\ &F'_n = F_n - \frac{4}{15} R_n \\ &9月7日については, \\ &F'_n = F_n - \frac{9}{20} R_n \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

により計算する。ただし  $R_n$  が大きくなるにつれて  $F_n$  は一定値に近づくので、 $F'_{n-1} = F'_n$  以降の  $R_n$  に対しては  $F'_n$  は一定値とする。図6(c), (d), (e), (f)は  $R_n - F'_n$  曲線を示す。

### 3. 結果と考察

6月下旬から9月初旬の水田の降雨損失は、図6に示すとおり同じ降雨量に対しても時期により大きな範囲があり、今回の調査結果から推定すると

- (1) 6月下旬—7月上旬  
 $R_n$  が約180mm以上になると、 $F_n \approx 130mm$  で一定値になる
- (2) 7月中旬—8月下旬  
 $R_n$  が約120mm以上になると、 $F_n \approx 70mm$  で一定値になる。
- (3) 9月上旬—9月中旬  
 $R_n$  が約100mm以上になると、 $F_n \approx 40mm$  で一定値になるの3つに大別できるようである。すなわちかんがい後期になるにしたがって累加損失雨量は少なくなるが、これは水田降雨損失をけいはん排水口敷以下の降雨貯留分として推定するとき、中干しなどのため人工的に排水口敷が次第に除去されて ( $h_2 = 0$ ) 貯留分が減少するためである。任田の実測資料からも  $R_n \approx 120mm$  で  $F_n$  が一定値に近づくこと、また  $h_2 = 0$  の水田割合が多くなる非

かんがい期間は  $F_n$  が一般に小さくなっていることが報告されており、本結果とも符合するので、(1) 以外は大体妥当と見なしてよからう。降雨前の  $h_1$  分布から計算上は(1)の結果も予想されるが、 $R > 100mm$  の大降雨になると、実際には降雨の途中で人工的に  $h_2 = 0$  として水田たん水を小さくしているようであるから、結局(2)、(3)にあてはまるようになると考えるのが妥当であろう。

### あ と が き

降雨前の水田たん水分布の時期別パターンがわかれば、これに応じた損失雨量を計算できることが明らかになった。しかし水田のたん水分布は同じ時期でも観測ごとに多少変化するので、観測回数をできるだけ多くして各時期を代表するパターンがわかれば水田地帯の流出解析に資するところは大きい。損失量の計算値と実測値を比較しながら今後の研究を進めたい。専攻学生榎原茂、田中治両君の多大の協力を得た、ここに謝意を表する。

### 引用文献

1. Horton, R. E. : Trans. A. G. U. **14** : 446—460, 1933
2. 石原藤次郎・田中要三・金丸昭治：土木学会誌**41**(3) : 18, 1956
3. 金子良：農業水文学1957 土木雑誌社、東京 p. 60—71
4. 角屋陸：京大防災研究所年報 **9** : 593—595, 1966
5. 中安米蔵：建設省直轄工事第4回技術報告1951建設省、東京182
6. 白滝山二・福岡順・末沢慶康：島根農大研報**14**(A) : 129—133, 1965
7. 任田新治：木曾三川下流域の排水計画に関する研究1956 農林省名古屋農地事務局、名古屋
8. 豊国永次：水理学・水文学における最近の進歩1967 土木学会関西支部、大阪 p. 133—135

### Summary

Water losses on paddy field due to storage below the sill height of notch for drainage may be estimated, if the probability density function (pdf) of  $H_l$ , which varies with difference between the sill height of notch and the initial water level before rainfall, is known.

The author has tried to apply the method mentioned above to the paddy field on Amba river basin with use of data obtained in the several field investigations from Jun. to Sept., 1968. As a result of this trial, it has become evident that the pdf of  $H_l = x$  is given by the following equation

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left\{ -\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\}$$

in which  $\mu$  is mean value and  $\sigma$  is standard deviation.

With the further analyses of the data dealt with the pdf, the relations between  $\Sigma R$  and  $\Sigma F$  are summarized as follows, in which  $\Sigma R$  is the accumulated rainfall and  $\Sigma F$  is the accumulated water losses.

- (1)  $\Sigma F \approx 130 \text{ mm}$  ( $\Sigma R \geq 180 \text{ mm}$ ) : end of Jun. ~ beginning of Jul.
- (2)  $\Sigma F \approx 70 \text{ mm}$  ( $\Sigma R \geq 120 \text{ mm}$ ) : middle of Jul. ~ end of Aug.
- (3)  $\Sigma F \approx 40 \text{ mm}$  ( $\Sigma R \geq 100 \text{ mm}$ ) : beginning of sept. ~ middle of Sept.

Although it was not enough to discuss in detail, some interesting problems to be taken up in the successive studies were presented.