

# 日雨量系列の模擬発生と内水排除計画への適用

— 山科川下流部の内水（４） —

角 屋 睦・福 島 晟・丈 達 俊 夫

## APPLICATION OF GENERATED DAILY RAINFALL SEQUENCE IN OPTIMAL DESIGN OF DRAINAGE PUMP CAPACITY

— Study on Exclusion from Flooding Trouble in Low-Lying  
Basin of Lower Reaches of Yamashina River (4) —

By *Mutsumi KADOYA, Akira FUKUSHIMA and Toshio JYOTATSU*

### Synopsis

A study was made of possibility of representing the daily rainfall sequence observed at a point by a simple stochastic model using a digital computer, and of effectiveness of applying the generated sequence by the model to optimal design of drainage pump capacity.

In order to simplify the model, the daily amount of evaporation was regarded as negative rainfall depth. After some stochastic considerations on actual data observed at Kyoto, the simple normal Markov model was applied to the sequence in summer and the independence model to the others. The generated data were good in the stochastic sense.

Hydrographs of water level in the inundation area of lower reaches of the Yamashina River were synthesized using the generated daily rainfall sequence for 100 years, and using some stochastic techniques. The annual benefits and drainage costs were calculated under some hypothetical pump capacities, and a design criterion for optimum drainage system was discussed.

### 1. ま え が き

一般に水工計画の規模がどのように定められるべきかについてはいろいろ議論のあるところであるが、少なくとも評価可能な要素を取り上げての経済的最適規模が最低ないし最適の一つの基準になることは確かである。内水排除計画の場合は従来よりこうした経済性が重視されてきてはいるが、必ずしも十分なものとはいえない。すなわち殆んどの場合、特定の（基準確率年の）一豪雨を対象として仮定的な計画諸元が経済的に引き合うか、あるいは経済効果最大の諸元はどうかを検討するにとどまり、たとえば機械排水の場合、年に何回か発生する中程度の雨に対する稼働性から何十年に一度の割合で起こる豪雨に対するものまでを含む総合的な経済性を検討したものは見られない。

こうした総合的な経済性を検討するには、その地域の水文特性を十分包括した長期の水文資料を必要とするが、地域によってはこれが十分得られない場合もある。こうした場合には計画に必要な資料をその時系列特性を考慮して模擬発生する方法が有力である。ここでは機械排水を前提として日雨量系列を模擬発生させ、さらに内水条件にも確率的手法を導入し、最適排水機容量を検討した一例を提示し、大方の批判を得たい。

## 2. 京都の日雨量系列の特性

水文量系列の模擬発生のお考え方は必ずしも目新しいものではない。ただ系列特性をいかに抽出し、これを模擬発生系列にいか反映していくかが論点となる。雨量系列のように中に無降雨を含む系列では、その取扱いに若干の工夫が必要となる。Grace, Eagleson<sup>1)</sup> らは10分雨量の発生に際し、まず雨量の特性に応じて組合せを行ない、系列相関特性と壺モデルを用いた独特の手法を工夫し、Pattison<sup>2)</sup> は時間雨量の発生のため、降雨および無降雨系列に1次および6次のマルコフモデルをあてはめている。また Chow, Ramassesshan<sup>3)</sup> らは年最大流量を推定するための雨量の発生に、shift analysis と単純マルコフモデルを用いている。

以上のような取扱いは、降雨、無降雨の持続特性が本質的に異なることに着目したものであるが、日単位程度の雨量系列では、降雨、無降雨の分布特性に大きな差がなければ、無降雨を実雨量系列と連結できるように0以外の負数とおきかえることにより、その取扱いを簡単化できるはずと考えた。今回は単純に無降雨日の蒸発量を負の雨量として雨量系列と連結することにしたが、今後の一つの問題である。なお流出現象を扱う場合には蒸発量そのものの吟味が大きな問題であるが、今回は実雨量系列の発生に主眼をおき、負の雨量は無降雨を数量的に表示する手段と考えているので、計器蒸発量の値を一応採用することにする。

本研究では京都気象台の30年間(1936~1965年)の日雨量および日蒸発量記録を用いた。長年の年雨量系列などを考える場合にはその長期変動特性の吟味が必要であり、したがって30年の記録では不十分であるが、日単位程度の雨量では、とくに大きな雨量の発生はランダム的とみなされるから<sup>4)</sup>、30年程度で十分と考えた。

さてわが国の場合、若干の地域差があるとしても、概して夏期の雨量が大きいなど、雨量系列に季節特性が強く現われることが十分予想される。そこでまず日雨量分布や降雨、無降雨の持続日数分布を各月ごとに吟味し、結局これらが冬型(12~3月)、春秋型(4, 5, 10, 11月)および夏型(6~9月)に3別できることを知った。次にこれら各期ごとの分布を適当な年数ごとに区切って有意性を検定し、経年的変化のないことを確めた。結局30年間の各期別日雨量系列はそれぞれの母集団系列よりの標本とみなしうることが確

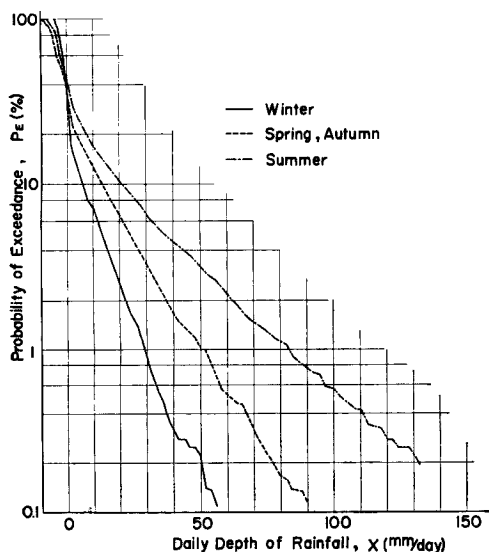


Fig. 1 Frequency curves of one-day rainfall, Kyoto (1936-1965).

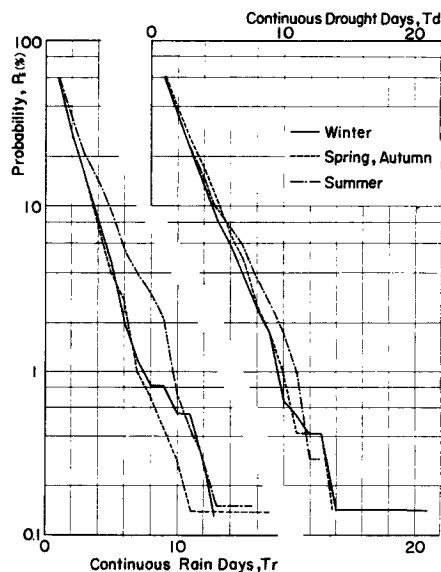


Fig. 2 Frequency curves of continuous rain and drought days, Kyoto (1936-1965).

められた。

Fig. 1, 2 に各期別の日雨量分布および降雨・無降雨の持続日数分布を超過確率の形で示す。これらより無降雨日数およびその持続日数が降雨のそれらよりわずかに多いが、殆んど同じ特性を示すこと、いずれも指数型分布にしたがうことがわかる。ただ日雨量分布で0近傍以下の値の所で分布性状が若干変化しているのが目につく。蒸発量の取扱いにいまだし工夫が必要であったように思われるが、今回はそこまで考えなかった。この辺の工夫が系列相関特性の抽出上微妙な影響をもつようにも思われるので、今後の一つの問題となろう。降雨より無降雨、無降雨より降雨への遷移確率は Fig. 2 より容易に計算できる。

Fig. 3 に各期ごとのコログラム（平均値）を示す。近似的な検定の結果夏期の  $r(1)$  のみ有意で、結局冬期および春秋期が殆んど無自己相関型、夏期が微弱な単純マルコフ型と見られた。ただこれらの自己相関係数は、原系列について周知の次式

$$\left. \begin{aligned} r(\tau) &= \frac{\sum_{i=1}^{N-\tau} (X_i - \bar{X}_1)(X_{i+\tau} - \bar{X}_2)}{(N-\tau)s_1s_2} \\ \bar{X}_1 &= \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} X_i, \quad \bar{X}_2 = \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} X_{i+\tau} \\ s_1^2 &= \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} (X_i - \bar{X}_1)^2, \quad s_2^2 = \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} (X_{i+\tau} - \bar{X}_2)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

より求めたものであるが、一般に指数型（に限らないが）標本の相関係数は正規型のそれより小さな値を示す傾向があり、正規型でも自己相関性のある標本系列の相関係数は母集団のそれより小さな値を示すことなどを考慮すると、Fig. 3 より直接上述の判断することに問題があるが、ここでは簡単に上述の判断をした。なお Fig. 3(b) に夏期の日雨量系列を正規化した後求めたコログラムを併示しておいた。原系列のそれよりやや大きな値を示していることに気付くであろう。

### 3. 日雨量系列の模擬発生

各期とも日雨量分布が指数型であるので、指数型乱数を直接発生させる方法があれば好都合であるが、ここでは乗積採中法により（0～1）の一樣乱数  $Z$  を発生させ、これが超過確率に等しい、すなわち日雨量の密度分布を  $f(x)$  とするとき

$$Z \equiv P_E = \int_x^\infty f(x) dx \dots\dots\dots (2)$$

とみなし、冬型および春秋型の場合はこれより日雨量  $x$  に変換する方法をとった。Fig. 1 に見られるように、各期の日雨量とも指数型分布にしたがうとはいえ、完全に指数分布とはいえないので、便宜的に次式により部分近似をすることにした。

$$\left. \begin{aligned} \text{冬型;} \quad & 0 < P_E \leq 0.0855; \quad x = -10.162 \ln P_E - 16.8 \\ & 0.0855 < P_E \leq 0.4285; \quad x = 3.153 (\ln P_E)^2 + 5.344 \ln P_E + 2.3 \\ & 0.4285 < P_E \leq 1; \quad x = 4.345 (-\ln P_E)^{1/2} - 4.0 \\ \text{春秋型;} \quad & 0 < P_E \leq 0.0784; \quad x = -17.007 \ln P_E - 26.6 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} 0.0784 < P_E \leq 0.4454; & \quad x = 4.257(\ln P_E)^2 + 4.670 \ln P_E + 1.0 \\ 0.4454 < P_E \leq 1; & \quad x = 6.671(-\ln P_E)^{1/2} - 6.0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

上式中  $\ln P_E$  は  $P_E$  の自然対数である。

夏型の場合は単純マルコフ型とみられるので少し面倒である。本研究の時点では二変数の指数分布に関する数表<sup>8)</sup>が未完であったので、やむを得ず単純正規マルコフモデルを介して日雨量系列を模擬発生させる方法をとった。

単純正規マルコフモデルの場合はよく知られた次式が成立する。

$$y_t = \rho y_{t-1} + \varepsilon \sqrt{1-\rho^2} \dots\dots\dots (5)$$

ここに  $y_t$  は標準化正規変量、 $\rho$  は  $y_t$  と  $y_{t-1}$  との相関係数、すなわち時間遅れ1の自己相関係数  $\rho(1)$ 、 $\varepsilon$  は標準化正規乱数である。

さて  $\rho$  の値は正規化系列についての標本相関係数より推定しなければならない。自己相関性をもつ系列よりの標本相関係数の期待値  $E[r(\tau)]$  を厳密に求めることは困難であるが、(1)式で  $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$ ,  $s_1 = s_2$  とした場合の  $E[r(\tau)]$  の近似値は次のように表わすことができる。

$$\left. \begin{aligned} E[r(\tau)] &= \rho(\tau) - \{1 - \rho(\tau)\} A(1 + A + A^2 + \dots) \\ A &= \frac{1}{N} \left\{ 1 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \left( 1 - \frac{i}{N} \right) \rho(i) \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

確率系列が単純マルコフ型である場合の  $\rho(1)$  と  $E[r(1)]$  あるいは  $\rho(1) - E[r(1)]$  の関係を図示すると Fig. 4, 5 のようになる。

この関係を利用すると、夏型の場合正規化系列について  $\overline{r(\tau)} = 0.33$  であるので  $\rho = 0.34$  を得、(5)式は次のようになる。

$$y_t = 0.34 y_{t-1} + 0.94 \varepsilon \dots\dots\dots (7)$$

具体的に日雨量系列を発生するには、まず一様乱数  $Z$  と  $\varepsilon$  の関係

$$Z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\varepsilon}^{\infty} e^{-\varepsilon^2/2} d\varepsilon \dots\dots\dots (8)$$

より  $\varepsilon$  を求めて (7) 式に代入し、 $y_t$  を求め

$$P_{EA} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{y_t}^{\infty} e^{-y^2/2} dy \dots\dots\dots (9)$$

を介して  $P_{EA}$  を求め、次式により日雨量  $x$  に変換する。

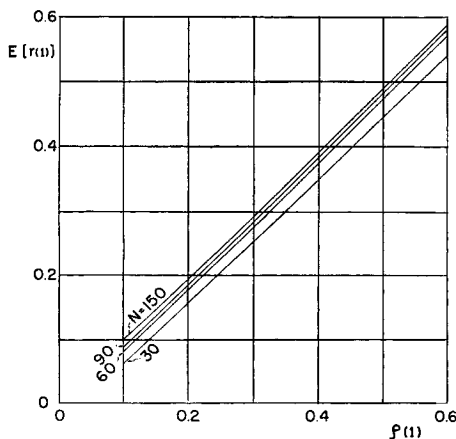


Fig. 4 Relation between population and sample autocorrelation coefficients, for  $\tau=1$ .

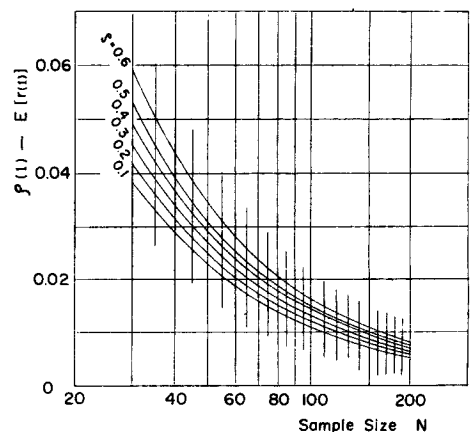


Fig. 5 Bias of  $E[r(\tau=1)]$

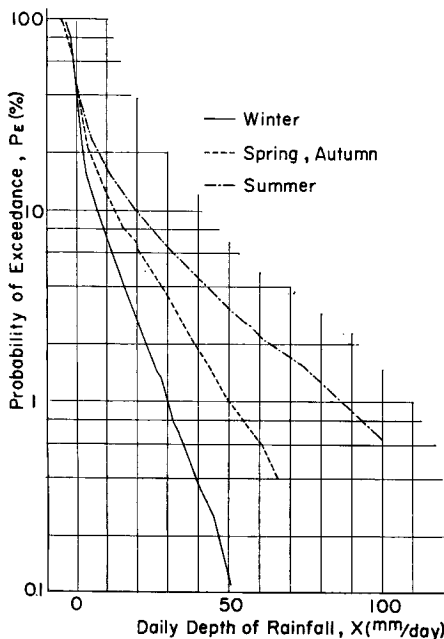


Fig. 6 Frequency curves of one-day rainfall, Kyoto (generated data for 100 years).

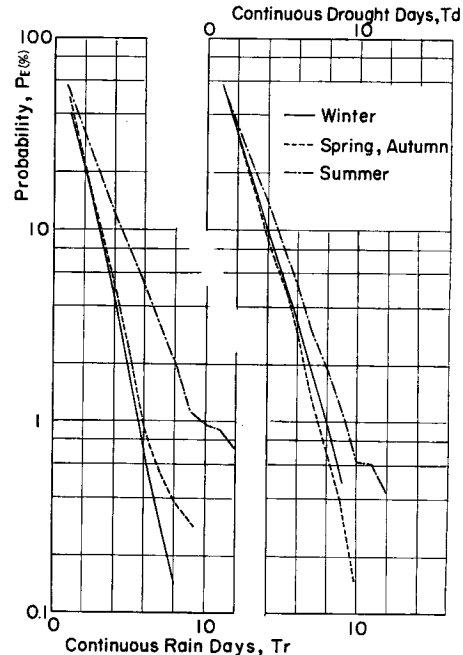


Fig. 7 Frequency curves of continuous rain and drought days, Kyoto (generated).

$$\left. \begin{array}{ll} \text{夏型;} & 0 < P_{EA} \leq 0.055; & x = -28.75 \ln P_{EA} - 48.4 \\ & 0.055 < P_{EA} \leq 0.493; & x = 5.850 (\ln P_{EA})^2 + 5.150 \ln P_{EA} + 0.7 \\ & 0.493 < P_{EA} \leq 1; & x = 8.255 (-\ln P_{EA})^{1/2} - 4.4 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

(8) 式の計算では乱数之和の分布が正規分布に漸近することを利用してよいが、(9) 式の変換の都合もあって、実際には計算機に主な数値表を記憶させる方法をとった。これは今後検討されるべき一つの問題点である。

以上のような手法によって100年間の日雨量系列を発生させた。この系列について求めた日雨量分布、降雨・無降雨の持続日数分布を Fig. 6, 7 に示す。Fig. 6 の日雨量分布は Fig. 1 のそれと殆んど一致しているが、Fig. 7 に示す冬、春秋期の降雨・無降雨持続日数  $T$  は、 $T$  が大きくなると、観測値系列について求められた Fig. 2 のそれらよりわずかに小さい値をとるようである。これらより、冬、春秋期の場合も夏期同様自己相関性を積極的に取り入れるべきようにも思われたが、 $\chi^2$ -検定の結果は良好で、Fig. 6, 7 の結果は Fig. 1, 2 のそれらとよい対応を示していると判断された。冬、春秋期の発生系列についてのコレログラムはあらためて図示するまでないから、夏期のみ Fig. 3(b) に併示しておいた。原系列のコレログラムとよい対応を示していることがわかる。

#### 4. 内水排除計画への適用

前述の発生日雨量系列を用いて山科川下流部内水排除計画の規模を検討する。

##### 4.1. 対象地域の概況

山科川(流域面積 56.1 km<sup>2</sup>)が宇治川に合流する地点の近傍すなわち山科川下流部は左右岸地域とも低湿地帯を形成し、かつては5年に一度は家屋浸水が見られるほどの内水災害常習地帯であったが、昭和42年河川堤防改修工事完了、さらには昭和43年内水排除用ポンプの設置に伴い、内水事情は非常に改善された。

かつては山科川に沿って肥沃な農地が広がり、京都市の近郊農村的景観を呈していたが、近年の都市膨張に伴いかなりの丘陵地、農地がいわゆる都市化現象を起こし、この傾向は下流部の内水地域にまで及びつつある。ここで検討しようとしている山科川下流部左岸の内水地域も、将来はかなり宅地化、工業用地化される可能性があるが、今回は一応河川改修工事の完了時点の状況において、内水排除用ポンプの最適容量を検討する。主な土地条件は次のようである。

最低宅地標高； OP 15.20 m  
 最低農地標高； OP 13.50 m  
 排水樋門敷高； OP 12.50 m  
 流域面積； 4.7 km<sup>2</sup>  
 最低宅地標高以下の面積； 1.06 km<sup>2</sup>  
 木幡池（集水池）面積； 0.14 km<sup>2</sup>

## 4.2. 内水条件

内水排除計画で問題になるのは内外水位の関係である。外水位は山科川の水位というよりも琵琶湖を流域に持つ宇治川の水位に左右され、天ヶ瀬ダムなどの操作もあって容易に把握しにくい。とくに長期の豪雨の

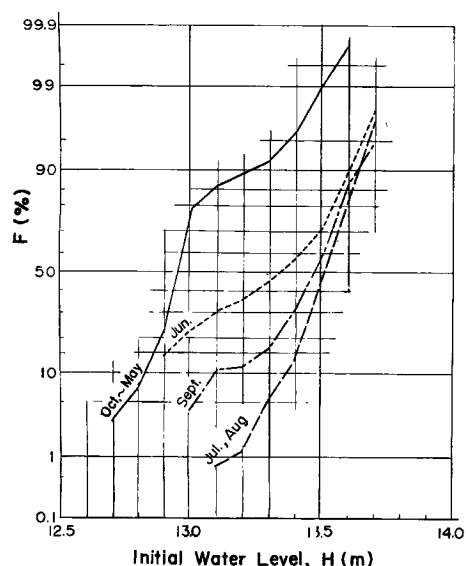


Fig. 8 Frequency curves of water level in drought day, Kowata Pond (Mar., 1964-Sept., 1968).

場合は外水位の低減はきわめて緩慢である。しかし逆にいえばダム操作の効果として外水位の最高はかなり制御され、一方内水地帯の目標水位を最低農地標高に押えんとすると、排水機の設計上要求される実揚程は3 m程度となる。排水機の性能として、内外水位差が設計水位差より小さければ排水量は設計排水量を多少上廻るが、最適規模試算の段階ではあまり詳細な検討は無理であり、かなりの不確定要素の存在することも考え、内外水位差の変化による排水量の変化は無視することにする。

次に雨によってもたらされる内水位の変化を考える。この内水位は雨量によって異なることはもちろんであるが、降雨初期における木幡池の初期水位に強い強響を受け、この初期水位は用水との関連もあって時期的にかなり変化する。われわれが観測を続けている木幡池の水位記録（昭和39年3月～43年9月）を整理すると、無降雨時の水位分布は Fig. 8 に示されるように、たとえば7、8月には OP 13.50 m、冬期、春秋期には OP 13.00 m に維持しようとする努力の跡がみられる。また降雨時の木幡池の水位は前期無降雨

Table 1 Initial water level adopted in calculation of flooding inundation.

| Water level<br>(OP, m) | Range of random number (Probability) |                      |                      |                      |
|------------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                        | Jun.                                 | Jul. and Aug.        | Sept.                | Oct.-May             |
| 13.00                  | $0 < Z \leq 0.32$                    |                      | $0 < Z \leq 0.11$    | $0 < Z \leq 0.86$    |
| 13.25                  | $0.32 < Z \leq 0.54$                 | $0 < Z \leq 0.10$    | $0.11 < Z \leq 0.26$ | $0.86 < Z \leq 0.95$ |
| 13.50                  | $0.54 < Z \leq 0.92$                 | $0.10 < Z \leq 0.86$ | $0.26 < Z \leq 0.89$ | $0.95 < Z < 1.0$     |
| 13.75                  | $0.92 < Z < 1.0$                     | $0.86 < Z < 1.0$     | $0.89 < Z < 1.0$     |                      |

日数や初期水位および自然排水量の大小のため多少のばらつきはあるが、初期水位の影響を取り除くと、内水地帯特有の流入量の平均化作用があって、50 mm 以上の降雨時にはほぼ 6, 12, 24, 48 時間雨量によって分類できることがわかった。50 mm 以下の雨に対しては自然排水の効果が大きく、内水位の上昇は顕著でないで、この地域ではあまり問題にする必要はなさそうである。こうした実情にかんがみ、次のような方針をとることにした。

**Case 1:** 排水機設置効果を検討するための対象雨量は日雨量 50 mm 以上の日雨量ないしこれを初日とするような連続雨量とする。排水機設置前の初期水位は Fig. 8 の分布を考慮して、(0~1) の一様乱数  $Z$  を用いて Table 1 のように定める。排水機設置後の初期水位は、6~9 月は OP 13.50 m, 10~5 月は OP 13.00 m と仮定することにした。排水機設置後は農業経営上好ましいこれらの値に維持することが容易であるからである。

前節で発生させた日雨量系列は日単位であるから、降雨時の内水位ハイドログラフを求めるためには、対象日雨量の 6, 12 時間累加値  $R_6, R_{12}$  を推定する必要がある。そこで降雨のピーク時刻のランダム性を想定し、(0~1) の一様乱数  $Z$  を用いて次式で推定することにした。

$$\left. \begin{aligned} R_6 &= Z_1 R_{24} \\ R_{12} &= \{Z_1 + Z_2(1 - Z_1)\} R_{24} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

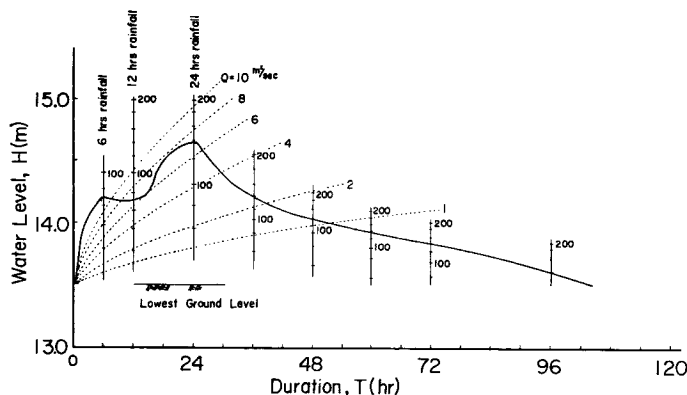


Fig. 9 Example of simulated water level hydrograph for storm rainfall.

このようにして得られた配分雨量およびその後の雨量累加値を、Fig. 9 のようにあらかじめ雨量に応じて内水位を分類した整理用紙にプロットして、内水位ハイドログラフを求める。Fig. 9 は夏の 1 日雨量に対する例であるが、排水機設置前の初期水位が OP 13.50 m でない雨に対しては、その初期水位に対応したハイドログラフを別に作成する必要がある。排水機設置後のたん水時間は Fig. 9 のようにあらかじめ記入した排水曲線と内水位ハイドログラフとの交点を求めればよく、たん水深は再度水位~容積曲線を介して求められる。むしろ Fig. 9 の縦距を容積で表わした用紙を用いてよい。実際の計算では両様式を用いた。

**Case 2:** 上述の方法は連続雨量を忠実に検討する正攻法ともいべき方法であるが、雨量の連続性を無視してすべて日雨量として考えた場合の内水位ハイドログラフを求め、これを Case 2 とした。当然のことながら経済効果は Case 1 に比べ小さくなる。

**Case 3, 4:** 上述の Case 1, 2 は内水位のハイドログラフの作成にかなり労力を必要とするので、雨量の連続性を無視し、日雨量に対して代表的ハイドログラフを Fig. 10 のように定め、これよりたん水ハイドログラフを求める方法を Case 3 とした。また夏の雨量系列を独立過程と仮定した場合も Case 4 として検討した。最適排水機容量が Case 1 と大差ない結果が得られれば、Case 4 が最も簡単な方法になりう

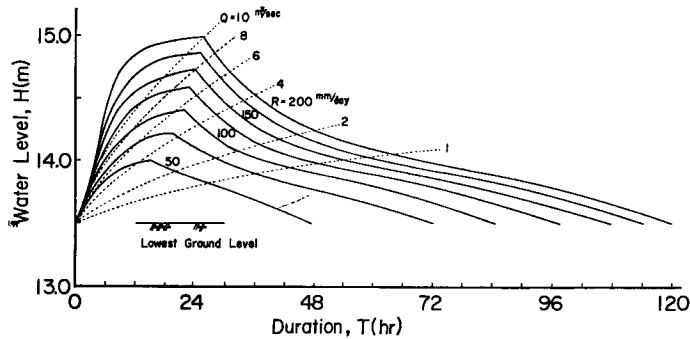


Fig. 10 Simplified water level hydrograph for storm rainfall.

るからである。

#### 4.3. 経 済 条 件

山科川の築堤工事の完了している現時点では家屋浸水は殆んどなく、被害は農地に生じることになる。農地の生産性評価にはいろいろ問題があるが、ここでは建設省の試算<sup>7)</sup>や京都市の農業経営調査資料<sup>8)</sup>等を参

Table 2 Construction cost of pump station (in 10<sup>4</sup> yen).

| Item                 | Pump capacity (m <sup>3</sup> /sec) |       |       |        |        |        |
|----------------------|-------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
|                      | 1                                   | 2     | 4     | 6      | 8      | 10     |
| Site                 | 1,000                               | 1,000 | 1,000 | 1,000  | 1,000  | 1,000  |
| Water tank           | 520                                 | 650   | 975   | 1,300  | 1,625  | 1,950  |
| Building             | 311                                 | 311   | 467   | 621    | 777    | 933    |
| Pump (Motor)         | 976                                 | 1,951 | 3,903 | 5,854  | 7,806  | 9,757  |
| Adjunct ( " )        | 1,080                               | 1,470 | 1,470 | 1,470  | 1,470  | 1,470  |
| Pump (Diesel engine) | 1,242                               | 2,483 | 4,967 | 7,450  | 9,934  | 12,415 |
| Adjunct ( " )        | 979                                 | 979   | 979   | 979    | 979    | 979    |
| Total (Motor)        | 3,887                               | 5,382 | 7,815 | 10,245 | 12,678 | 15,110 |
| (Diesel engine)      | 4,052                               | 5,423 | 8,388 | 11,350 | 14,315 | 17,277 |

Table 3 Annual cost (in 10<sup>4</sup> yen).

| Item                     |          | Pump capacity (m <sup>3</sup> /sec) |       |       |       |         |         |
|--------------------------|----------|-------------------------------------|-------|-------|-------|---------|---------|
|                          |          | 1                                   | 2     | 4     | 6     | 8       | 10      |
| Annual investment charge | (Motor)  | 275.8                               | 381.9 | 554.5 | 726.9 | 899.5   | 1,072.1 |
|                          | (Diesel) | 287.5                               | 384.8 | 595.1 | 805.3 | 1,015.6 | 1,225.8 |
| Repair                   | (Motor)  | 21.4                                | 26.9  | 39.1  | 51.2  | 63.4    | 75.5    |
|                          | (Diesel) | 20.2                                | 27.1  | 41.9  | 56.8  | 71.6    | 86.4    |
| Power cost               | (Motor)  | 5.6                                 | 8.0   | 9.1   | 9.8   | 10.4    | 10.6    |
|                          | (Diesel) | 10.7                                | 14.9  | 17.0  | 18.3  | 19.4    | 20.2    |
| Labor cost               |          | 20.0                                | 20.0  | 20.0  | 20.0  | 20.0    | 20.0    |
| Total                    | (Motor)  | 322.8                               | 436.8 | 622.7 | 807.9 | 993.3   | 1,178.2 |
|                          | (Diesel) | 338.4                               | 446.8 | 674.0 | 900.4 | 1,126.6 | 1,352.4 |

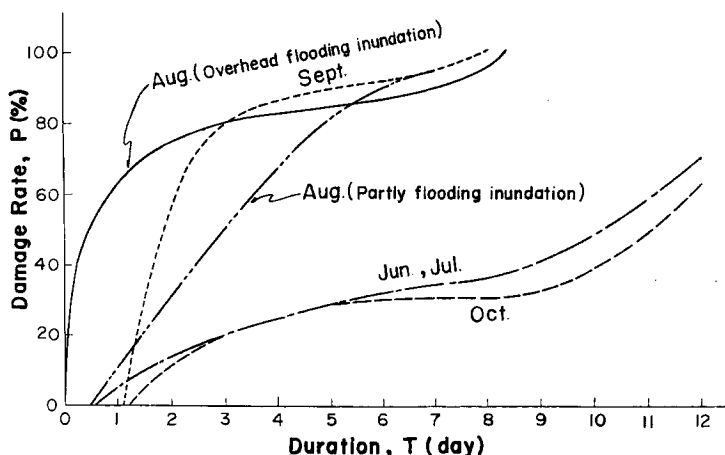


Fig. 11 Inundation damage rate for paddy.

照して、夏期稲作60円/m<sup>2</sup>、秋冬期および春期蔬菜各20円/m<sup>2</sup>と仮定した。たん水被害としては、夏期稲作に対しこの地方の作付品種の生育期ごとの草丈を参考にして無害たん水深を6月20cm、7月30cm、8～10月50cmとし、これをこえるたん水による被害率を農林省の基準<sup>9)</sup>にしたがい Fig. 11 のように想定した。その他の時期に対しては許容たん水深を0、一度の冠水で被害率100%とした。なお道路の浸水被害はとくに考慮しなかったが、今後検討されるべき一つの問題であろう。

排水機の設置費用は設置場所の立地条件によりかなりの相違があるが、建設省の試算資料<sup>10)</sup>その他の資料を参照して Table 2 のように計算した。また排水機の耐用年数を25年、利率年5%の定額償却方式とした場合の年経費を Table 3 のように試算した。原動機をディーゼルエンジンとするかモーターにするかは一長一短があるが、ここでは結局モーター方式を採用することにする。

#### 4.4. 経済効果と最適排水機容量

前述のようにして求めたたん水位ハイドログラフに基づいて機械排水による被害軽減額を100年間計算し、年平均被害軽減額を求めた結果を Fig. 12 に示す。これと排水機年費用との差が年純利益を示すことになる。

Case 1 に対し Case 2～4 は連続雨量を無視しているため年利益が過小評価され、とくに Case 2 は経済効率が1以下と算定されている。また Case 2 に対し Case 3, 4 は内水位ハイドログラフとして代表的ハイドログラフを仮定している場合であるが、この方が経済効果を高く評価することがわかる。Case 3 と 4 の間に大差はなく夏期日雨量系列をマルコフ型とみるような面倒な計算が不要なようにもみられるが、これは雨量を日単位で検討しているためであって、夏期雨量系列を独立過程とした発生日雨量系列では雨量の大きな連続降雨はわずかしこ現れないことを考慮すると、夏期を単純マルコフ型とした効果はむしろ Case 1 と 4 との差異に見ることができよう。すなわち雨量系列の自己相関性を無

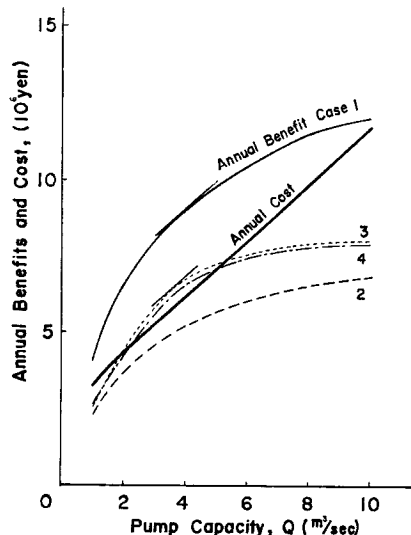


Fig. 12 Relation between annual benefits and drainage costs for hypothetical pump capacities.

視すると経済効果を過小に評価することとなる。

Case 3, 4 は Case 1 の計算労作を軽減できるかの検討のための計算であるが, Fig. 12 より, Case 1 の経済的最適容量  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  に対しそれぞれ  $3.7, 3.6 \text{ m}^3/\text{s}$  と10%程度小さく評価することがわかる。

当然のことながら, 日雨量系列の期間を短く取ると経済効果は違った値を示すことがある。Case 1 の場合25年ごとに区切ってみると, 最適容量は  $3.5 \sim 5.0 \text{ m}^3/\text{s}$  と変化した。このことは最適解がデータの長短により変動し, 絶対的なものとみなしがたいことを意味し, とくに災害の防止軽減という観点よりすると, 計算上得られる経済的最適規模を計画最低規模とする考え方が有力になってくるものと思われる。

## 5. 計画基準年と最適計画規模

前節では現状における内水排除用ポンプの経済的最適規模を検討したが, 前にも述べたように山科川下流部は都市化の傾向の強い地域であるだけに, 将来の経済性はかなり変ったものになることが予想される。このような傾向を考慮して, 建設省の計画<sup>10)</sup>では, 機械排水により浸水を免かれるようになった農地はすべて宅地化されるものとして, 農地の宅地化に伴う間接効果を  $1000 \text{ 円}/\text{m}^2$  と試算の上, 昭和28年13号台風時の雨 (6時間雨量24年, 日雨量12年, 2日雨量11年確率) を対象として最適排水機容量を  $3 \sim 6 \text{ m}^3/\text{s}$  と評価している。

将来の状態を考える場合には流出特性の変化, 宅地転用効果ないしは宅地浸水の危険性評価が慎重に検討されなければならないが, こうした問題を一応別としても, 計画対象豪雨を変えることにより経済的最適規模が変化することに留意しなければならない。ここでは経済的諸条件はすべて当局の資料を, 内水位ハイドログラフとして日雨量別代表的ハイドログラフを用い, 対象日雨量を変えることにより年期待利益がどの程度変るかを検討した結果を Fig. 13 に示す。対象確率年  $T$  を引上げることにより宅地化可能面積, したがって利益額は大幅に増加するが, Fig. 13 では, これが真の価値を持つのは  $T$  年であるとして, 簡単に年平均利益を求めたものを示している。利益評価法その他多くの問題が残るから, 同図の縦距は絶対的な意味を持たないが, 少なくとも計画対象雨量を変えることにより, 経済的最適規模が変化することが了解できる。この計算で用いた宅地転用の間接効果  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  を20%程度動かすと, 最適規模がかなり変化することも付記しておく。

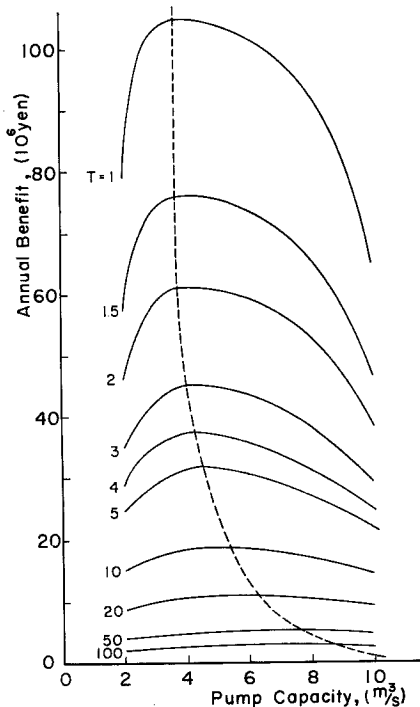


Fig. 13 Relation between optimal pump capacity and return period of design storm rainfall.

## 6. 結 び

本研究では京都の日雨量記録を用いて日雨量系列の模擬発生法を検討し, これを内水排除計画に利用した一例を提示した。日単位程度の雨量系列では, 若干の工夫をすることにより降雨・無降雨を別々に扱うことなく, 統一的な模擬発生法のできることがわかったが, なお無降雨部分を数値化することにより多少の工夫が望まれるようである。自己相関性のある場合の模擬発生法は現在のところ正規化の手順を必要とするが, 別の研究で二変数指数分布に関する数表を作成したので, 模擬発生法についてのさらに簡便な手法をあらためて論議するつもりである。

内水排除計画への適用では、水工計画の最適規模に関しての一般的結論を差控えたいが、少なくともこの種の問題に有用な示唆を与えたものと考ええる。この問題についてもあらためて論議の機会を持ちたいと考えている。

本研究に使用した山科川関係の多くの資料は、昭和38年以来内水研究室の総力をあげて観測を続け、得られたものであり、観測網の整備、資料の整理に努力を続けてきた豊国助教授（現愛媛大学工学部教授）、角田技官をはじめ研究室員の功績を多としないわけにはいかない。記して謝意を表する。なお本研究に昭和43、44年度文部省科学研究費の援助を受けたことを付記しておく。

#### 参 考 文 献

- 1) Grace, R. A. and P. S. Eagleson: A Model for Generating Synthetic Sequence of Short-Time-Interval Rainfall Depth, Proc. IHS, Vol. 1, Fort Collins, 1967, pp.268~276.
- 2) Pattison, A.: Synthesis of Hourly Rainfall Data, WRR, Vol. 1, No.4, 1965, pp.489~498.
- 3) Chow, V. T. and S. Ramasseshan: Sequential Generation of Rainfall and Runoff Data, Proc. ASCE, Vol. 91, Hy 4, 1965, pp.205~223.
- 4) 角屋睦・小池達男：降水量にみられる長期的変動について，京都大学防災研究年報8号，昭40，pp.307~315.
- 5) Kadoya, M.: A Stochastic Consideration on Variation of Hydrologic Quantities, Proc. IHS, Vol. 1, pp.337~343.
- 6) 長尾正志・角屋睦：二変数ガンマ分布とその適用に関する研究（1）——とくに二変数指数分布の基礎理論——京都大学防災研究年報14号B，昭45. pp.105~133.
- 7) 建設省淀川工事々務所：大谷川内水調査報告書（第1報），昭37.
- 8) 京都市農政局：昭和38年度農業経営調査結果報告書，昭39.
- 9) 農林省農地局：土地改良事業計画設計基準，カンガイ排水，昭29.
- 10) 建設省淀川工事々務所：大島ポンプ場建設計画概要書，昭41.