

京大防災研究所 正員 角屋 睦
 水資源開発公団 正員 ○ 大達俊夫
 京大防災研究所 正員 福島 茂

はじめに

これまでの内水排除計画は、一応経済効果を重視する形式をとっているとはいえ、どちらかといえば特定の基準確率年の一豪雨を対象とするものが多く、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豪雨に対するものまでの総合的な経済性を検討したものはあまり見られない。ここでは機械排水を前提として、日雨量系列をモンテカルロ手法を用いて発生させ、これを最適排水機容量の検討に適用した研究の概要を報告し、大方の御批判を得たい。

1. 京都の日雨量系列の特性

一般に雨量系列のシミュレーションでは、降雨、無降雨の持続特性の異なることを予想して、両者を別々に扱うのが近年の傾向のようであるが、日雨量単位の数値では晴天日蒸発量を負の降雨として系列内に持ち込むことにより、その取扱いを簡単化できるはずである。流出現象を詳細に検討する場合には流域蒸散量の取扱いが大きな問題となるが、今回は降雨の発生状況のシミュレーションに重点をおき、負の降雨は単に無降雨を数量的に表示する程度に止めるものとして、計器蒸発量の値をそのまま用いた。

本研究では京都気象台の30年間(1936~1965)の日雨量および日蒸発量記録を用いた。年雨量などを問題にする場合にはその長期変動特性も検討されるべきであるが、日雨量単位の問題では、非常に大きな雨量の発生はランダム的とみてよい。たゞわが国の場合、地域差はあるが、概して夏期の雨量が多いなど、降雨現象に季節的特性が強く現われることは十分予想される。そこでまず各月ごとの日雨量分布を吟味し、日雨量分布を冬型(12~3月)、春秋型(4, 5, 10, 11月)および夏型(6~9月)に3別できることを確かめた。次に各期ごとの日雨量分布、降雨、無降雨の持続特性を適當年数ごとに区切って吟味したがいずれも大差なく、結局30年間の各期別日雨量系列はそれぞれの母集団よりの標本とみなしてよいことが分った。

図1に日雨量の超過確率、図2に降雨、無降雨の持続日数分布を示す。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、

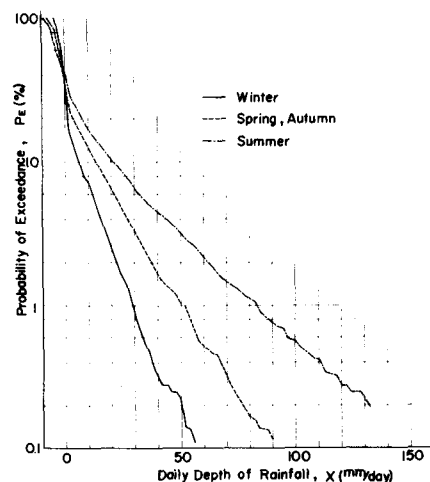


図1 京都日雨量の超過確率

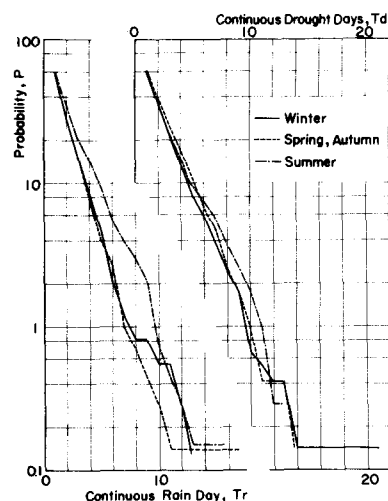


図2 京都日雨量系列における降雨無降雨持続日数分布

いずれも指数型分布にしたがうことが分る。降雨より無降雨、無降雨より降雨への遷移確率は図2より容易に推定できる。

図3に各期ごとの日雨量系列のコレログラムを示す。これより冬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る。ただこれらの自己相関係数は原系列について算定したものであり、一般に指数型標本系列の自己相関係数は正規型のそれよりいくぶん小さな値を示す傾向のあることを考慮すると、図3より速断しがたいが、ここでは簡単のため上述のようにみなすことにした。なお、図3(b)に夏期の日雨量系列を正規化した後に求めたコレログラムを併示した。

2. 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す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まず(0~1)の一様乱数 Z を発生させ、これを超過確率 P_E と等しい、すなわち

$$Z \equiv P_E = \int_x^{\infty} f(x) dx \quad (1)$$

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。図1より見られるように各期とも指数型とはいえず完全に指数分布ともいえないので、便宜的に部分近似をすることにした。たとえば冬型の場合は次式によった。

$$\left. \begin{aligned} \text{冬型: } 0 < P_E \leq 0.0855; & X = -10.162 \ln P_E - 16.8 \\ 0.0855 < P_E \leq 0.4285; & X = 3.153 (\ln P_E)^2 + 5.344 \ln P_E + 2.3 \\ 0.4285 < P_E < 1; & X = 4.345 (-\ln P_E)^2 - 4.0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

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。2変数の指数分布としてベツセル関数を含む形式を示した研究もあるが、計算の煩雑なこと、実用上なお検討されるべき問題があると思われたことより、ここでは単純正規マルコフ型を介して日雨量系列を模擬発生する方法をとった。この場合はよく知られた次式が成立する。

$$y_t = \rho y_{t-1} + \varepsilon \sqrt{1-\rho^2} \quad (3)$$

ここに y_t は基準正規変量、 ε は基準正規乱数、 ρ は母相関係数である。まず ρ の値は、正規変数の場合の系列相関係数の期待値 $E[r(\tau)]$ と ρ の関係を考慮して推定し $\rho = 0.34$ を得た。 ε は

$$P_E = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\varepsilon}^{\infty} e^{-\frac{\varepsilon^2}{2}} d\varepsilon \equiv Z \quad (4)$$

より求め、これを(3)式に代入して y_t を求め(4)式同様の

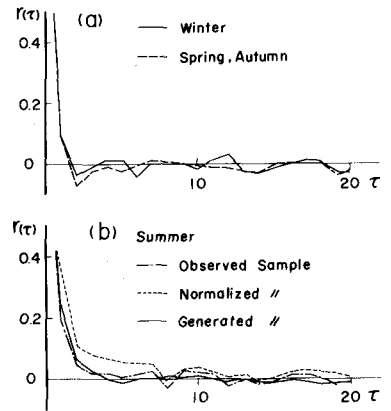


図3 日雨量系列のコレログラム

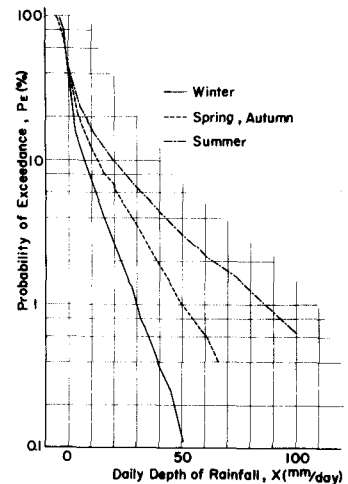


図4 発生日雨量の超過確率

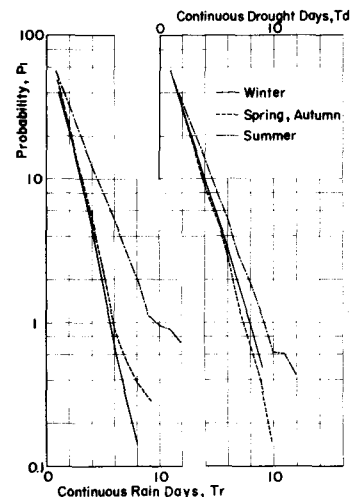


図5 発生日雨量系列における連続降雨間断確率

式を介して P_{ea} を得、次式により日雨量系列に変換した。

$$\left. \begin{aligned} \text{夏型;} & 0 < P_{ea} \leq 0.055 \quad ; \quad x = -28.75 \ln P_{ea} - 48.4 \\ & 0.055 < P_{ea} \leq 0.493 \quad ; \quad x = 5.850 (\ln P_{ea})^2 + 5.150 \ln P_{ea} + 0.7 \\ & 0.493 < P_{ea} < 1 \quad ; \quad x = 5.255 (-\ln P_{ea})^{1/2} - 4.4 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

以上のようにして100年間の日雨量系列を発生させた。この系列についての日雨量超過確率、降雨、無降雨の持続日数分布を図4、5に示す。図5と図2の対比より、冬、春秋期の降雨、無降雨持続日数 T_d が、 T_d の大きい所では観測値よりわずかに小さく、夏型同様従属性を考慮すべきであったように見られるが、 χ^2 検定の結果は良好で、図4、5は図1、2とよく対応しているとみてよい。なお夏型の場合、無自己相関性を仮定した系列も併せ発生したが、図4、5よりいづれも劣る程度であった。

3. 内水排除計画への適用

前述の発生日雨量系列を用いて、山科川下流域(4.67 km²)の内水排除計画規模を検討した。

内水条件(A)；内水排除計画で常に問題となるのは内外水位関係であるが、とくに内水位は降雨初期の排水機場の初期水位に強く左右され、初期水位は雨水との関連もあって時期的にかなり変化し、降雨や外水条件だけでは簡単に説明しがたい面がある。しかし既往資料を種々整理検討した結果、内水位が最低地盤標高に達した時間を原点とし、初期水位の高いものは地盤標高との差を雨量に換算して内水位ハイドログラフを再整理すると、これがほぼ6、12、24時間累加雨量に応じて分類できることが分った。そこで夏期は日雨量50mm、他期40mm以上の雨を排水機排水対象雨量としてとりあげ、それ未満の前日雨量は内水位を基準高に上げる程度の効果しかもたないとして無視することにした。

さて発生雨量系列は日単位であるので、対象雨量の6、12時間累加値を推定する必要があるが、これにはピーク時刻のランダム性を想定して、(0~1)の一樣乱数 P を用い、次式で推定することにした。

$$\left. \begin{aligned} R_6 &= P_1 R_{24} \\ R_{12} &= [P_1 + P_2 (1 - P_1)] R_{24} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

このようにして得られた配分雨量を、図6のようにすでに雨量に応じて内水位分類済みの記録用紙にプロットし、内水位ハイドログラフを求める。図6は夏期日雨量を対象とした1例であって、用紙にはたん水池の水位~容積曲線より求めた排水機排水量曲線を予め記入してあるので、周辺地成のたん水時間は同図より、また最大たん水深は再度水位~容積曲線を介して求めることができる。

内水条件(B)；上述の内水位ハイドログラフの求め方はかなりの労力を必要とするので、日雨量または連続雨量に応じた代表的ハイドログラフを定め、これよりたん水ハイドログラフを求める方法をも検

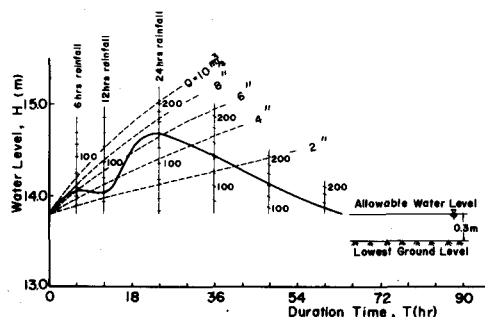


図6 内水位ハイドログラフのシミュレーションの方法

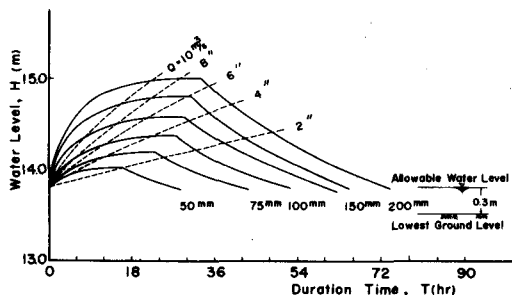


図7 日雨量に応じた代表的ハイドログラフ

討した。最終結果に大差なければこれも実用上簡便な方法になりうる。図7に夏期日雨量の例を示す。

経済条件；この地域はすでに築堤が完成しており、内水による少なくとも現状の住宅浸水の可能性は殆んどなくなり、事実本研究でも住宅浸水は見られなかった。農地の浸水被害は当局による試算や米価、雑穀収入等を考慮して、1㎡当り夏期60月、冬および春秋期をそれぞれ20月とした。ただし夏期は水深30cmまでは無被害、それ以上のたん水被害率は農林省土地改良計画設計基準を参照し、年に数度のたん水による被害率は100%を超えない範囲まで累加させ、一方他期は一度の浸水で被害率100%とした。また排水機設置に伴う用地、建設、償却、維持諸費用および利率などすべて当局の資料を参照した。

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ハイドログラフを基にして、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図8に示す。一方排水機設置に伴う総費用年平均額も同図に示すとおりであって、両曲線の縦距差が年純利益を示すことになる。これより内水位ハイドログラフを6, 12, 24時間雨量に応じてシミュレートした場合(A)、日代表ハイドログラフによる場合(B₁)、連続雨量をも考慮して代表ハイドログラフを用いた場合(B₂)の経済的最適排水機容量がそれぞれ4.0, 4.5, 4.0 m³/s になることがわかる。

4. 宅地転用の可能性をみた排水機容量

山科川下流部は宅地化の傾向の強い地域である。当局の計画では、機械排水により浸水を免れるようになる農地はすべて宅地化されるものとして、宅地化に伴う間接効果を1,000円/㎡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3~6 m³/s と評価している。将来の状況より推論する場合には、流出特性の変化や宅地転用による利潤評価法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、対象豪雨を変えることによって最適容量も当然変化することに留意しなければならない。ここでは一応経済的諸条件は当局の資料を用い、対象日雨量を変えることにより、年期待利潤がどの程度変化するかを検討し、図9を得た。対象確率年Tを引上げることにより宅地可能面積、したがって利潤総額は増加するが、それが真の価値をもつのはT年であるとみなし、簡単に年平均額を求めたものである。利潤評価法に問題が残るし、またこれを最適とすべきかの判断もむづかしいが、一応排水機容量は4 m³/s を最低基準とすべきように思われる。

結び；今後検討されるべき問題をいくつか残したが、山科川下流部の場合、少なくとも4 m³/s の排水機設置が望ましいようである。

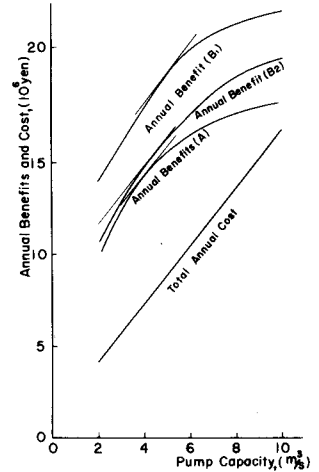


図8 排水機容量と年利益費用の関係

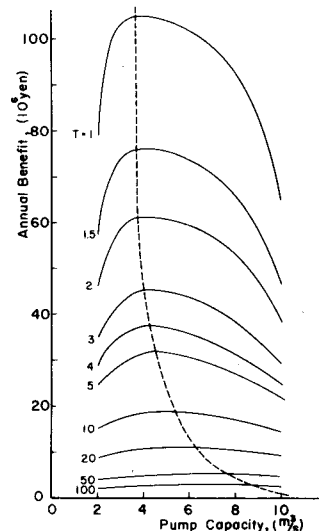


図9 対象日雨量確率年と最適排水機容量の変化