

徳島大学大学院 学生員 ○一 葉 寛  
 徳島大学工学部 正員 瑞野 道夫

### 1. まえがき

流域の水資源、あるいは高水解折を考へる場合、流域降雨の空間的・時間的特性はきわめて重要であり、観測資料の不十分を補う目的で、種々のモデルが提案され、一応の成果を得ている。

多地点・時間単位のモデル降雨についてはまだまだ議論の余地が少なくない。本論文では、信頼できる最も長期間の観測資料である日雨量を基本に、時間単位モデル降雨の設定とそのシミュレーションについて考察する。適用例は吉野川上流域である。

### 2. 日単位のモデル降雨とそのシミュレーション

多地点観測所群の中で、長期の信頼できる観測資料が存在する観測所(Base station)とその他の観測所(Normal station)とに区別し、それぞれについて考える。

#### A. Base station (B.S.)

日単位モデル降雨についてはいくつかの手法が提案されており<sup>(1),(2),(3)</sup>、ここでは瑞野・豊田<sup>(1)</sup>の方法を用いることにする。B.S.においては降雨を決定する要素として降雨生起特性(降雨日数分布、間隔日数分布)と降雨強度特性(日雨量分布)であり、これらは互いに独立であると仮定する。上記の三つの分布形が同一母集団とみなせる一定期間( $n$ 日)において $r$ 日降雨が生起する確率を $G_r$ とすると、始めて $i$ 日目降雨が生ずる確率 $K_r$ は、定めた一定期間以前の最後の降雨日より一定回数( $n-r-1$ )の間隔日数分布に従うものとして、

$$K_r = \sum_{i=1}^{n-r} H_{i,r} / \sum_{i=1}^{n-r} i \cdot H_{i,r} \quad (2.1)$$

ここで  $H_{i,r}$  は  $r$  日降雨があり、たゞし $i$ 日間隔で次の降雨が生ずる頻度である。

$$\text{続いて } i \text{ 日目降雨が生ずる確率は } K_{j,r}^{(i)} = H_{j,r} / \sum_{j=0}^{n-r-1} H_{j,r} \quad (2.2)$$

ここで  $j = i - i_1 - 1$  である。よって  $r$  日降雨があり、それが  $i_1, i_2, \dots, i_n$  日に生ずる確率は

$$G_r \cdot K_r \cdot \prod_{k=2}^r K_{j_{k-1},r} \quad (k = i_k - i_{k-1} + 1) \quad (2.3)$$

また、日雨量分布を  $F(x) = 1 - e^{-a(x+b)}$ 、あるいは  $F(x) = 1 - \{(x+b)/(r+b)\}^k$  で与えられるとすると、結局  $r$  日の降雨が  $i_1, i_2, \dots, i_n$  日にそれぞれ  $X_1, X_2, \dots, X_n$  の強度が生ずる確率は

$$G_r \cdot K_r \cdot \left( \prod_{k=2}^r K_{j_{k-1},r}^{(i_{k-1})} \right) \left( \prod_{i=1}^n F_w(X_i) \right) \quad \left( F_w(X_i) = \int_{X_i - \frac{1}{a}}^{X_i + \frac{1}{a}} f_w(x) dx \right) \quad (2.4)$$

#### B. Normal station (N.S.)

N.S.においては資料が少ないうことと前提としているのでB.S.のようなモデル降雨を作ることは得策ではない。同一流域内においては、N.S.とB.S.との同時点での降雨が重要な意味を持つ。(C) N.S.でのモデル降雨は、B.S.のそれとの相互関係で導いた方がよいだろう。

まず生起日としてはB.S.とN.S.での降雨、無降雨日の状態確率<sup>(2)</sup>をとることにより降雨生起日を定める。たとえば、Table-1に本山、地蔵寺両観測所地点の状態確率を示す。

降雨生起日が定まればB.S.での日雨量 $X$ より次式のような回歸モデルでも、N.S.での日雨量 $Y$ と定めることができる。

$$Y = A_1 X + B_2 + \varepsilon \quad (2.5)$$

Table-1. 降雨日・降雨日の状態確率

| B.S. | N.S. | 地蔵寺    |        |
|------|------|--------|--------|
|      |      | 降雨日    | 無降雨日   |
| 本山   | 降雨日  | 0.8000 | 0.1800 |
|      | 無降雨日 | 0.0195 | 0.9805 |

ここで  $A_1, A_2$  は定数,  $\sigma$  は残差系列の標準偏差,  $\varepsilon$  は正規乱数である。

(しかし, B.S.での降雨が0である時は回帰モデルを使わないため強度はN.S.での強度分布より発する。

### 3. 時間単位モデルとそのシミュレーション

降雨日の時間降雨時性として, 総降雨時間, 継続時間, 時間強度について考える。

#### A. B.S.でのモデル降雨とそのシミュレーション

i) 降雨時間:  $T$ , 1日の総降雨時間 $T$ と日雨量強度 $X$ の関係とFig-1で示されるように, 特定の日雨量 $X$ に対して $T$ は上限, 下限の値の間に, ほぼ均一に分布している。このことよりその間で一様乱数と発生させることにより降雨時間 $T$ と定める。

ii) 連続降雨:  $T^*$ ,  $T^*$ 時間 降雨が連続している時, それを $T^*$ 時間連続降雨とする。そして $T^*$ と日総降雨時間 $T$ との比  $T^*/T$ を相対時間連続降雨とし, その非超過確率と $P(T^*/T)$ とすると, Fig-2のようになり, 一様乱数と発生させることにより連続降雨 $T^*$ が求まる。これと $\sum T_i^* \leq T$ を越すまでくり返す, ただし越した場合は最後の値でも,  $\sum T_i^* = T$ となるように訂正する。

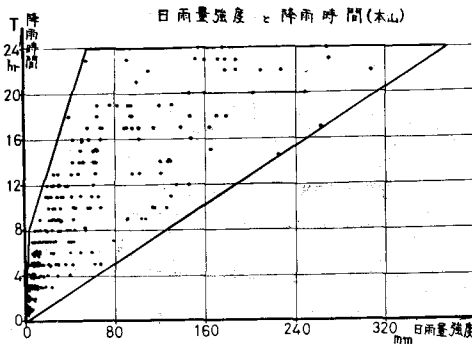


Fig - 1

iii) 連続降雨到達時刻:  $t$ , 連続降雨  $T^* = t_1, t_2, \dots, t_j$  ( $T = \sum T^*$ ) である時, 各々の連続降雨の到達時刻は発生有効日内ではまったく一様であるとする。

日総降雨時間 $T=1$ である時は当然連続降雨時間 $T_i^*=1$ となる。到達時刻が $t_1$ である確率は, 24時間の間でいずれ

でも良いのだから  $1/24$  となる。日総降雨時間 $T=2$ であり, また  $T_1^*=1, T_2^*=1$  だとそれぞれの到達時刻が  $t_1, t_2$  であるとする, まず24時間の内で2時間の降雨があり, またその二つの降雨は連続しているわけなので1時間以上の間隔を必要とすることになる。よって  $T_1^*$  が  $t_1$  である確率は  $1/22$ , であり次に  $T_2^*$  が  $t_2$  である確率は  $1/23 - t_1$  である。

一般に, 降雨時間 $T(\geq 3)$ で  $T^* = T_1^*, T_2^*, \dots, T_j^*$  であり, 各々の連続降雨群の到達時刻  $t_1, t_2, \dots, t_j$  があると  $T_j^*$  の連続降雨が  $t_j$  時刻に到達する確率は

$$1 / [(24 - t_j - 1) - (n - j) - (T - \sum_{i=1}^{j-1} T_i^* - 1)] \quad (3-1)$$

で示され, 逆に有効生起時間は  $\{(24 - t_j - 1) - (n - j) - (T - \sum_{i=1}^{j-1} T_i^* - 1)\}$  であることより, シミュレーションはこの有効生起時間に一様乱数を用いて連続降雨の到達時刻と定めることができる。

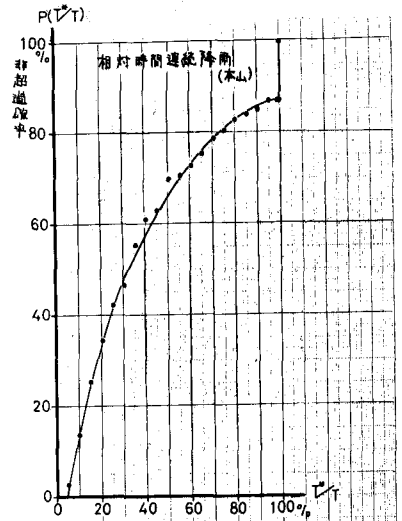


Fig-2

iv) 強度:  $\lambda$ , 大時刻における強度  $\lambda$  は連続降雨に対して自己相関が存在するとして

$$X_t^* = \rho X_{t-1}^* + \varepsilon \sigma \sqrt{1-\rho^2} \quad (3-2)$$

で求めることができる。ただしここで  $X_t^*$  は正規変換を行なった値とし、 $\rho$  のはそれぞれ  $X_t^*$  の自己相関係数および標準偏差である。またこれらの  $\rho$  のは日雨量強度  $\lambda$  とともに変化するものとし、日強度を段階的に分類して値を求める。Table-2 に本山地点での  $\rho$ ,  $\sigma$  の値を示す。

Table-2. 強度別による  $\rho, \sigma$

| $\lambda$               | $\rho$ | $\sigma$ |
|-------------------------|--------|----------|
| $\lambda > 120$         | 0.6575 | 0.6457   |
| $120 \geq \lambda > 60$ | 0.4180 | 0.3967   |
| $60 \geq \lambda > 30$  | 0.2463 | 0.3260   |
| $30 \geq \lambda$       | 0.1265 | 0.2558   |

v) ミニミ-マックス法

以上をまとめてフローチャートで示すと Fig-3 のようになる。

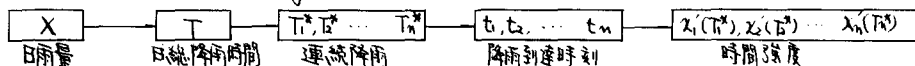


Fig-3

ここで  $X_t$  は補正を行なう以前の値を示し、 $X_t(T_i^*)$  は  $X_t$  から  $T_i^*$  個の連続時間を持つ  $X_t$  を示している。

このようにしてミニミ-マックス法  $X_t(T_i^*)$  を求めるが、本来  $X = \sum X_t(T_i^*)$  となるわけはいけないうで次のように補正係数  $\alpha$  でも、補正を行う。

$$\alpha = X / \sum X_t \quad (3-3), \quad X_t = \alpha X_t \quad (3-4)$$

B. N.N. でのミニミ-マックス法

N.N. での時間雨は B.N. のそれとの相互相関があるとし、また N.N. での自己相関も考慮して次のような回帰モデルを用いる。

$$y_t = A_2 X_t + B_2 y_{t-1} + C_2 + \varepsilon_t \quad (3-5)$$

ここで  $y_t$  は補正を行う以前の値、 $A_2, B_2, C_2$  は定数、 $\varepsilon$  は正規乱数、 $\sigma$  は残差系列の標準偏差である。またここで日雨量  $Y$  とミニミ-マックス時間雨量  $\alpha$  を等しくなければならぬので補正係数  $\beta$

$$\beta = (Y - \sum y_t) / \sum y_{t-1} = (Y - \sum y_t) / \sum y_t \quad (3-6)$$

を用い

$$y_t = y_t + \beta y_{t-1} \quad (3-7)$$

で補正を行う。すなわち補正された時間雨量  $y_t$  は次式のようになる。

$$y_t = A_2 X_t + (B + \beta) y_{t-1} + C_2 + \varepsilon_t \quad (3-8)$$

#### 4. 適用例と考察

本論文で適用したのは香野川上流域の本山(B.N.), 地蔵寺(N.N.)で行なった。この2観測所間の距離は約10kmであり、日雨量資料として本山76年, 地蔵寺58年間であり、時間雨量資料としては本山, 地蔵寺また約10年間の豪雨時のみである。

日雨量ミニミ-マックスの結果として月最大日雨量の非超過確率と Fig-4 に実測値と共に示す。

また時間雨量のミニミ-マックスの結果として日最大時間雨量の非超過確率と Fig-4 に実測値と共に示す。日数分布, 間隔日数分布は B.N., N.N. 共にほぼ実測値に近い値になり、た。しかし Fig-4 に示されているように月最大日雨量は B.N. においては B.N. においてはおおむね合っていると思われるが、N.N. においては結果がでていない、これは B.N. の対数極値 A 型分布しているのに、N.N. は Gumbel 分布と互いに異なる分布型に対して、本文中に示した一平均の回帰式でも、補間を行なったことに問題があると思われる。このことは月総雨量分布に関しても同様の結果が生じた。

そのために今後の修正としては、分布型の異なる地点での補間に関しては、どちらも同じ正規分布

型に変換した値によ、て回帰すべきであるうと思われる。

また時間ミシエ-メントにおいては、Fig-5に示されているように最も重要な日最大時間雨量が平均的に実験値より小さくでている。これはモデル降雨の把握において、B.Sでの時間雨と到達降雨時より順次行な、て行、たために、平均的な値がぬくでます、たためたと考えられる。

(しかし、そのために日降雨量と時間最大雨量とが強く関係にあることが確かめられたので、今後は、ピー時間強度と基準にしてモデルの把握を試みるつもりです。

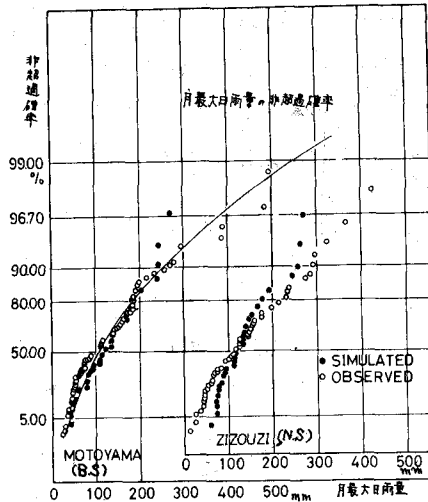


Fig-4

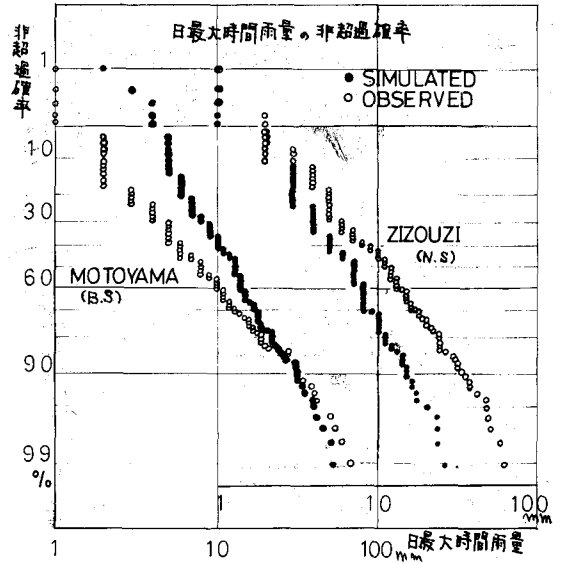


Fig-5

#### <参考文献>

- 1) 奥田, 晴野: 土砂輸送に関連するモデル降雨の設定について  
昭和43年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要
- 2) 石原, 池田: 日降雨水の空間的, 時間的分布構造とそのミシエ-メントに関する研究  
土木学会論文報告集 第197号
- 3) 角屋, 文彦, 橋島: 日雨量系列の模擬発生と内水排除計画の検討  
土木学会第24回年次学術講演会講演概要