第II部門　　時間配分特性の分析に基づく時間降水量系列の模擬発生手法の開発

京都大学大学院　学生員　○　田窪遼一
京都大学大学院　正員　　　市川　温
京都大学大学院　正員　　　堀　智晴
京都大学大学院　正員　　　椎葉充晴

1　はじめに　ある地点の観測時間降水量データのの無降雨期間、降雨期間、降雨継続時間ごとの一雨平均降雨強度、降雨継続時間ごとの降雨配分率の頻度解析を行い、時間降水量系列の模擬発生モデルを開発した。

模擬発生データを水文流出モデルに入力することで計画高水流量を算定する方法を提案することを目的とするが、本研究では基礎的な検討として、1 地点のみの模擬発生モデルを構築した。

本研究では、次に挙げる 2 つの京都地方気象台の 1950 年 1 月～1975 年 12 月 (気象資料) と 1976 年 1 月～2004 年 12 月 (AMeDAS) 時間雨量のデータの小数点以下を切り上げて結合し、解析を行った。

2　無降雨期間と降雨期間の頻度解析　単純に時間降雨が 0.0 [mm/h] の時を無降雨期間、それ以外を降雨期間として解析を行った。Eagleson によれば、無降雨期間、降雨期間はワイブル分布に適合すると言われている [2]。ワイブル分布の分布関数は (1) 式で表される。

$$f_X(x) = \frac{k}{\alpha}\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^k\right] \tag{1}$$

ここで、α[h]、k は正の定数であり、x[h]> 0 である。

R の関数、fitdisr[1] を用いると、無降雨期間分布に適合するワイブル分布のパラメータは、$\alpha = 0.5571$、$k = 17.42$、降雨期間分布は、α[h] $= 0.8233$、$k = 3.305$ と決まる。無降雨と降雨をランダム発生させ、交互に配置することで無降雨期間と降雨期間を連続に発生させた。ここでは、無降雨期間と降雨期間との相関は無いことを仮定している [4]。

3　一雨平均降雨強度の分布解析　降雨継続時間ごとの一雨平均降雨降雨強度の発生頻度を表現する確率分布を調べるために、ある降雨継続時間の一雨降雨データの数が N 個の時に一雨平均降雨強度をワイブルプロットした点に適合する分布関数を求める。ここでは、分布関数の種類としてワイブル分布、ガンマ分布、対数正規分布の 3 種類の分布関数を用いて、プロットの値と分布関数の値の誤差二乗和が最小になるように各分布関数のパラメータを同定した。図 1 に、降雨継続時間が 15 時間のときの一雨平均降雨強度の非超過確率のプロットと 3 種類の同定された分布関数を示す。それぞれの分布形を比較した結果、対数正規分布は他の分布に比べて誤差二乗和が小さかったので、各降雨継続時間ごとに対数正規分布のパラメータを同定し、**2** でランダムに発生させた降雨継続時間に対する一雨平均降雨強度をランダムに発生させた。

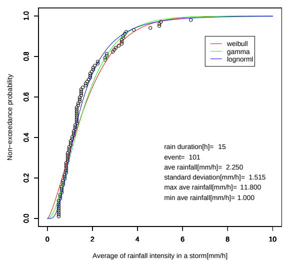

図 1 一雨平均降雨強度の分布の例

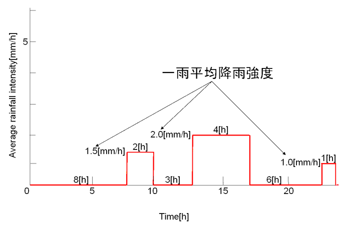

図 2 一雨平均降雨強度のランダム発生の例

4　一雨総降雨量の配分手法　不完全ベータ関数は次式で表される。

$$h_{\alpha,\beta}(x) = \frac{1}{B(\alpha,\beta)} \int_0^x u^{\alpha-1}(1-u)^{\beta-1} du \tag{2}$$

ただし、$\alpha > 0, \beta > 0, 0 \leq x \leq 1$、$B$ はベータ関数である。

降雨継続時間が N 時間のときの一雨総降雨量の各期間への降雨配分率を考える。[0,1] 上に一様分布する独立な $N-1$ 個の確率変数 $X_k (k = 1, \cdots, N-1)$ が与えられているとする。$X_{(k)}$ は、$X_1, \cdots, X_{N-1}$ のう

Ryoichi TAKUBO, Yutaka ICHIKAWA, Tomoharu HORI and Michiharu SHIIBA

ちで k 番目に小さい確率変数の実現値を表す。

$$0 \leq X_{(1)} \leq \cdots \leq X_{(N-1)} \leq 1 \tag{3}$$

(3) 式の $N-1$ 個の値を (2) 式で変換した値をそれぞれ、$Y_1, \cdots, Y_{N-1}$ とすると、

$$\begin{aligned} Y_1 &= h_{\alpha_N,\beta_N}(X_{(1)}) \\ &\vdots \\ Y_{N-1} &= h_{\alpha_N,\beta_N}(X_{(N-1)}) \end{aligned} \tag{4}$$

となる。ただし、α_N, β_N は降雨継続時間が N [h] のときの降雨データの降雨配分率分布に適合する変換関数のパラメータである。したがって、変換関数を用いた場合の各降雨期間の配分率 V は以下のようになる。

$$\begin{aligned} V_1 &= Y_1 \\ &\vdots \\ V_N &= 1 - Y_{N-1} \end{aligned} \tag{5}$$

次に、変換関数のパラメータの同定の方法を述べる。降雨データの累積降雨配分率の期待値がを理論的な期待値に適合するようにパラメータ α, β を同定する。

降雨継続時間が N 時間のときの Y で k 番目に大きな累積配分率、Y_k の期待値 $E\{Y_k\}$ は、

$$\begin{aligned} E\{Y_k\} &= (N-1)\begin{pmatrix} N-2 \\ k-1 \end{pmatrix} \\ &\sum_{j}^{N-k-1}\begin{pmatrix} N-k-1 \\ j \end{pmatrix}(-1)^j I_{k+j-1} \end{aligned} \tag{6}$$

$$I_m = \frac{1}{m+1}\left\{1 - \prod_{j=0}^{m}\frac{\alpha+j}{\alpha+\beta+j}\right\} \tag{7}$$

(6) 式、(7) で表される。

降雨継続時間が N 時間のときの $k = (1, 2, \cdots, N-1)$ について、観測降雨データと適合するよう変換関数のパラメータ (α, β) を、降雨累積配分率の期待値について、観測降雨データの値と理論値との誤差二乗和を最小にして求めた。

図4に、図2に示した一雨平均降水量から求めた一雨総降水量をランダムに発生させた降雨配分率で配分した例を示した。

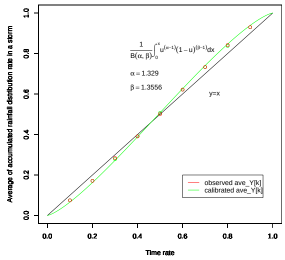

図 3 変換関数と降雨データの累積降雨配分率の例

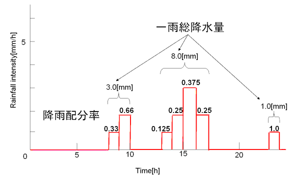

図 4 降雨配分率のランダム発生の例

5 時間降水量系列の模擬発生モデルの評価 無降雨期間、降雨期間、一雨平均降雨強度について月別の回帰式を、降雨配分率について通年の回帰式を用いて、時間降水量系列の模擬発生を実行した。表1を見ると、模擬発生データは3個とも、年平均総雨量の値がほぼ等しくなり、観測データに近い値となった。

表 1 観測データと模擬発生データの年平均値

データ	年平均総雨量 [mm/year]
観測データ	2148
模擬発生データ 1	2245
模擬発生データ 2	2168
模擬発生データ 3	2126

6 おわりに 本研究で得られた成果を示す。降雨継続時間に対する一雨平均降雨強度の発生頻度分布は対数正規分布がワイブル分布やガンマ分布よりも適合性が高かった。時間降水量系列の模擬発生で生成した模擬データは観測データとの整合性が年間降水量の期待値において取れることが分かった。今後の課題として、時間降水量系列の模擬発生手法を水文流出モデルに適用するために、1つの流域における地点間の空間的相関を解析する必要がある。

参考文献

[1] R Development Core Team: R: A language and environment for statistical computing, R Founfation for Statistical Computing, 2005.

[2] Peter S. Eagleson：Dynamic Hydrology.

[3] 蓑谷千凰彦: 統計分布ハンドブック, 朝倉書店, 2003.

[4] 鳥場祐樹: 計画高水流量算定のための降雨時系列モデルに関する基礎的検討, 京都大学工学部特別研究,2006.