

第II部門

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

京都大学大学院 学生員 ○ 鳥場祐希
 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 現在用いられている計画高水流量算定の方法は降雨を基本とするものである。この方法では、設定した計画降雨よりも出現頻度の小さいものが選ばれる事や、計画降雨継続時間の設定方法が曖昧である等の問題がある。

そこで、過去の雨量データから一雨の発生モデルから降雨時系列モデルを構築し、それをもとに計画高水流量を算定する方法を提案する。本研究では基礎的な検討として、一地点のみの降雨データを用いて降雨状況毎に解析をしていく。

なお、本研究では、九頭竜川水系・福井観測所の1976年から2004年までの時間雨量連続データを用いた。

2 降雨状況毎の分布解析

2.1 無降雨期間の分布解析 データ上で時間雨量が0[mm]の期間を無降雨期間とし、その分布解析を行った。Eaglesonによれば、無降雨期間はWeibull分布に従う[1]。このWeibull分布の確率密度関数 $f_X(x)$ 、並びにその平均値 μ_x と分散 σ_x^2 は次のような関数で表される[2]。

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

$$\mu_x = \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (2)$$

$$\sigma_x^2 = \alpha^2 \{\Gamma(1 + \frac{2}{k}) - [\Gamma(1 + \frac{1}{k})]^2\} \quad (3)$$

ここで、 α 、 k は正の定数であり、 $x > 0$ である。

無降雨期間の平均値と分散値から(1)式の係数を算出すると、それぞれ $k = 0.51$ 、 $\alpha = 9.55423[\text{h}]$ と決定できる。よって、無降雨期間長のWeibull分布の式は次のように表される。

$$f_X(t_n) = \left(\frac{0.51}{9.55}\right) \left(\frac{t_n}{9.55}\right)^{(-0.49)} \exp\left[-\left(\frac{t_n}{9.55}\right)^{0.51}\right] \quad (4)$$

検定等から無降雨期間は確かにWeibull分布で表される事が言える。

2.2 降雨期間の分布解析 降雨期間もWeibull分布に従う[1]事から、前節と同様に係数を決定すると、降雨期間のWeibull分布の関数は次のようになる。

$$f_X(t_r) = \left(\frac{0.94}{2.32}\right) \left(\frac{t_r}{2.32}\right)^{(-0.06)} \exp\left[-\left(\frac{t_r}{2.32}\right)^{0.94}\right] \quad (5)$$

プロットすると近似している事から、(5)式の分布関数を降雨期間の分布関数として仮定した。

2.3 一雨総降雨量の分布解析 一雨総降雨量の分布もそのヒストグラムからWeibull分布であると予測できたため、係数を決定して検証した。その結果、一雨総降雨量の分布が次の式で与えられると推測した。

$$f_X(t_s) = \left(\frac{0.58}{3.17}\right) \left(\frac{t_s}{3.17}\right)^{(-0.42)} \exp\left[-\left(\frac{t_s}{3.17}\right)^{0.58}\right] \quad (6)$$

検定等からこの式が一雨総降雨量の分布と確かめられ、予測通りWeibull分布が適用できる事がわかった。

3 降雨期間と無降雨期間の相関

3.1 隣接する降雨、無降雨期間の相関 隣接する降雨、無降雨期間の相関を調べた。

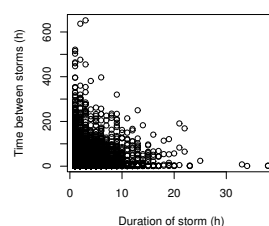


図1 降雨期間とその次の無降雨期間との相関

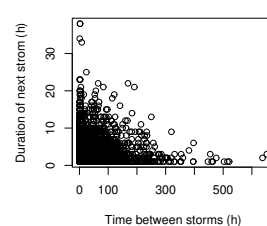


図2 無降雨期間とその次の降雨期間との相関

図1からは、降雨時間が長い場合、その次に発生する無降雨期間が短い傾向がわかる。これはつまり、雨季の存在を表していると言える。そして図2からは、無降雨期間が長い場合はその次の降雨期間が短い傾向が読み取れる。これは乾季の存在を意味していると言える。

3.2 月毎の無降雨期間分布解析 降雨の季節毎の変動を考慮すると、十分な再現性を得るには月毎に無降雨期間の分布を変える必要がある。実際に月毎にWeibull分布関数を求めてみたところ、係数 k 、 α ともに取る値にばらつきがあった。つまり、一つの分布式で表す事には無理がある。このことから、月による降雨量の変動を考慮して降雨モデルを作るために、降雨の発生頻度を表す無降雨期間の分布は月毎に計算すべきである事がわかった。

3.3 無降雨期間の独立性と棄却時間の決定 無降雨期間がその次の無降雨期間と独立に発生しているかを、 χ^2 検定を行って調べた。その結果、全体のデータでは無降雨期間の独立性が言えなかったが、月毎に調べた場合、全ての月で1時間以上、ないしは2時間以上の無降雨期間が独立で発生している事がわかった。そこで、無降雨1時間は一雨内での降雨の短時間休止であると考え、無降雨1時間は降雨期間に組み込む事にした。

4 月毎の降雨時間の分析

4.1 通年データでの分布解析 降雨期間が無降雨1時間を組み込んだものと再定義したため、この定義に従って降雨期間、一雨総降雨量の分布を再度解析した。Weibull分布が適用できると確かめられているため、その係数を求めると、分布関数はそれぞれ(7)式、(8)式ようになった。

$$f_X(t_r) = \left(\frac{1.00}{3.29}\right) \exp\left[-\left(\frac{t_r}{3.29}\right)^{1.00}\right] \quad (7)$$

$$f_X(t_s) = \left(\frac{0.62}{4.24}\right) \left(\frac{t_s}{4.24}\right)^{(-0.38)} \exp\left[-\left(\frac{t_s}{4.24}\right)^{0.62}\right] \quad (8)$$

ここで、降雨期間の分布は指数関数として表された。一雨総降雨量の分布とは大きく違うことから、第2章で述べた通り、一雨総降雨量と降雨期間とは比例していない事がわかる。

4.2 月毎の分布解析 無降雨期間は月毎に分布を調べるのが有効であるため、降雨期間や一雨総降雨量についても月毎に評価する必要があると考え、月毎にWeibull分布の係数を求めて検証した。しかし、降雨期間、一雨総降雨量のどちらでも、係数の値に大きなばらつきは見受けられなかった。ここから、降雨期間と一雨総降雨量については月毎に評価する必要はないとわかった。無降雨期間は月毎に分布が

変化するが降雨期間と一雨総降雨量は変化はないという事から、月毎の降雨量変化は無降雨期間、つまり、降雨の頻度に依存していると言える。

5 一雨内の降雨分布

5.1 降雨モデルにおける一雨内の降雨分布 降雨モデルを構築する際に、総降雨量を一雨の時間内で分配する必要がある。この分配方法として、降雨は期間の最初と最後で弱く、中ほどでピークを迎えるという降雨分布を考えた。つまり、総降雨量を降雨時間の位置に合わせて重みをつけて、降雨波形が山型になるように分配する方法である。この方法が実際の降雨と整合するかを検証した。

5.2 降雨期間分割による降雨分布の解析 一雨の降雨を3分割しその各期の平均雨量を算出することで、前節で考えた降雨分布が妥当かを検証した。その計算結果を表1に示す。

表1 降雨3分割での各期の平均雨量

Period	1st	2nd	3rd
average	4.1238	5.1478	3.9432

(mm/h)

表1をみると、降雨時間の中央で降雨がピークを迎える事がわかる。また、1元配置分散分析を実施したところ、各期の降雨平均値には確かに差がある事が確かめられた。以上から、前節で考えた降雨分配方法が実際の降雨と整合するものであると確認できた。

6 結論 今後の課題として、降雨モデルを構築し、実際の降雨と照合してその検証を行う必要がある。そのために、他地点のデータを用いた空間的な広がりやどのように捉えていくかを考察する必要がある。そして、その降雨モデルから計画高水流量を算定し、従来の方法で算定された計画高水流量と比較して、降雨モデルを用いた方法の有効性を検討しなければならない。

参考文献

- [1] Peter S. Eagleson : Dyanmic Hydrology.
- [2] Jerry R. Stedinger, Richard M. Vogel, Efi Foufoula-Georgiou : Frequency analysis of extreme events, Handbook of hydrology.