ランダムカスケードモデルを用いた基本高水ピーク流量算定に関する研究

長岡工業高等専門学校　学生会員　○星野大雅
長岡工業高等専門学校　非会員　小池高哉
長岡工業高等専門学校　正会員　山本隆広

1. はじめに

治水計画において重要な指標の一つである基本高水ピーク流量は一般的に，適切な対象降雨の継続時間を設定する必要性があるとされている．小池・山本[1]によって対象降雨の継続時間毎に基本高水ピーク流量を算定することで，洪水到達時間だけでなく降雨の時間分布パターンも基本高水ピーク流量に大きな影響を与えることが示唆されている．しかし，小池・山本が用いた降雨の時間分布パターンを生成するランダムカスケードモデルでは，本来ならば時間スケールと降雨強度の関数として定義されるべきパラメータ p を 0 としていた．これは降雨強度が無限に大きくなることを意味し，得られる基本高水ピーク流量は過大なものとなっていた．そこで本研究ではパラメータ p の定式化を行い，対象降雨時間毎の基本高水ピーク流量における影響の評価を行う．また，得られた基本高水ピーク流量が過大となる原因として，ランダムカスケードモデルによって降雨強度を生成する際に非現実的な値が発生したことが考えられる．そこで，非現実的な降雨強度の棄却を行った上で，対象降雨継続時間の設定方法の検討を行う．

2. 解析手法

(1) ランダムカスケードモデルについて

ランダムカスケードモデルは初期領域 L_0 に降雨量 R_0 を割り当て，分割レベル毎に領域を 2 分割して降雨量を割り当てていくモデルである．但し，本研究では降雨の空間分布を一様であると仮定し，ダウンスケーリングは，時間解像度が 2.8125 分以下になるまで行う事とした．任意の分割レベル n におけるサブ領域の長さ L_n は次式で定義される．

$$L_n = \frac{L_0}{2^n} \tag{1}$$

また，i 番目のサブ領域の降雨量 $R_{n,i}$ は

$$R_{n,i} = R_0 \prod_{j=1}^{n} X_{j,i} \tag{2}$$

で表される．ここで X はカスケードジェネレータと呼ばれる各領域に降雨量を割り当てる重みであり，降雨の統計特性を規定する確率分布に従う．陸・山本[2]によればこの確率分布は次式で定義される．

$$f(x) = p\delta(x) + p\delta(1-x) + \frac{1-2p}{\beta(\alpha,\alpha)}(x(1-x))^{\alpha-1} \tag{3}$$

ここで，δはデルタ関数，βはベータ関数でありp，α はパラメータである．パラメータ p は降雨時系列の不連続性に影響するパラメータであり，p が 0 の場合では降雨 0 の領域が無い状態である事を示す．

(2) 使用データと解析条件

対象流域は香川県にある一級河川の土器川祓川橋上流域（約 106 km^2）とし，初めに香川県内の 1994 年 4 月から 2008 年 12 月までのアメダス 10 分間値を用いてパラメータ p を推定したところ，高い降雨強度においてサンプルが不足することがわかったため，四国にある長期間のアメダス観測所の 10 分間値雨量データを用いた．但し四国のアメダス観測所（54 ヶ所）のパラメータ p が同様な特性を有していると仮定していることに留意せよ．

(3) 非現実的な降雨強度の棄却

1980 年 1 月から 2011 年 1 月までの 1 時間値雨量データを用いて時間解像度Δtと最大流域平均雨量の関係を求め，基準値とした．ランダムカスケードモデルによるダウンスケーリングによって得られる降雨強度が基準値を超える場合，非現実的な降雨強度と判断しその降雨量を棄却することとした．

(4) 対象降雨継続時間毎の平均ピーク流量の算定

ランダムカスケードモデルを用いて 100 年確率雨量から 10^3 個の降雨の時間分布パターンを生成し，これを山本・陸[3]によって構築された分布型水文モデルに入力することで河川流量を計算し，10^3 個のピーク流量を抽出した．このピーク流量の平均値の算出を継続時間毎に行う事で対象降雨の継続時間が平均ピーク流量に与える影響を評価した．本研究では流域が飽和していると仮定し，降雨量をそのまま流出量として河川に流入させた．任意の降雨継続時間の 100 年確率降雨量 $R_{100,tr}$ の推定には次式のフェア式を用いた．

$$I = \frac{bT^m}{(t_r+d)^n} \tag{4}$$

ここで I は確率降雨強度(mm/h)，t_r は降雨継続時間(h)，T は再現期間(year)，そして b，d，m，n はパラメータである．

3. 結果と考察

(1) パラメータ p の定式化による影響

図-1 には降雨強度毎のパラメータ p と時間スケールの関係を示してあり，図中の実線は次式で得られるパラメータ p の値を示している．

$$p_{max} = Ar_i^{\,e} \tag{5}$$

$$p^* = exp\left(-\left(\frac{t_s}{T}\right)^B + 1\right) \times \left(\frac{t_s}{T}\right)^B \tag{6}$$

$$p = p_{max} \times p^* \tag{7}$$

但し，r_i は降雨強度(mm/h)，t_s は時間スケール(min)，p_{max} は各降雨強度の最大値，T は p_{max} の時の時間スケール，また A，e，

キーワード：基本高水ピーク流量，降雨強度の棄却，
ランダムカスケードモデル，パラメータの定式化
連絡先：〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 番地
TEL 0258-32-6435 / FAX 0258-34-9700

B はパラメータである．各パラメータは試行錯誤的に決定され，T, A, e, b は一定で，それぞれ 1280，0.3138，-0.919，0.6 に設定した．図-2 にパラメータ p の定式化を行った場合と，豪雨の極値として p=0 を与えた場合の対象降雨継続時間毎の平均ピーク流量を示した．この図において両者に明らかな違いは見られない．これは 100 年確率降雨量という稀に生起する雨量のため，ほとんどの場合で p が 0 に近いという事が考えられる．

(2) 非現実的な降雨強度の棄却による影響

図-3 に最大流域平均雨量と時間解像度Δtの関係を示した．この図から，時間解像度Δtと最大流域平均雨量$\bar{p}_{r,max}$の関係を次式に示す．

$$\bar{p}_{r,max} = 11\Delta t^{0.48} \quad (8)$$

しかしながら(8)式をそのまま用いた場合，(4)式で得た降雨強度のほとんどが棄却されたため，本研究では(8)式を試行錯誤的に 1.2 倍に調整して用いた．図-4 には非現実的な降雨強度を棄却した場合と，していない場合の対象降雨継続時間毎の平均ピーク流量を示している．この図から降雨強度を棄却した場合，平均ピーク流量が減少することが分かる．しかしながら，土器川祓川橋地点における現行の基本高水ピーク流量が 1700 m^3/s であることから，まだ大きな値であると思われる．

(3) 時間解像度の設定方法による河川流量への影響

図-5 にはランダムカスケードモデルにて時間解像度を 1.40625 分とした場合の降雨を用いた河川流量と時間の関係と，時間解像度を 1.40625 分とした降雨を約 1 時間になるように足し合わせた場合の降雨を用いた河川流量と時間の関係を示した．この図から時間解像度が細かいほうが粗いものに比べ約 2 倍大きくなっていることが分かる．これにより時間解像度の取り方によって河川流量に大きな影響があることが分かった．

4. まとめと今後の課題

本研究ではランダムカスケードモデルのパラメータ p の定式化とカスケードレベル毎に非現実的な降雨強度の棄却を行い対象降雨継続時間も検討した．その結果，パラメータ p が河川流量に与える影響は小さく，現実的な河川流量を得るためには適切な降雨強度を生成することと，時間解像度の適切な設定が重要である事が分かった．今後の課題としては，時間解像度の影響を詳細に評価するために，現在，流出計算に用いている分布型水文モデルのパラメータが 1 時間値雨量を基に試行錯誤的に同定したものであるため，細かい時間解像度にもパラメータを対応させることや，他の流域でも検証を行う事が考えられる．

[引用文献]

1) 小池高哉・山本隆広：洪水到達時間に視点をおいた対象降雨継続時間に関する一考察，第 32 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表， pp.168-171，2014.

2) 陸旻皎・山本隆広：ランダムカスケードモデルの基本高水流量算定への応用可能性について，水文・水資源学会誌 Vol.18，No. 2，pp. 132-139，2005.

3) 陸旻皎：分布型水文モデル による長期流出計 算とその河川計画へ応用可能性 ,水文・資源学会誌， Vol. 22, No. 3, pp. 198-208, 2009.

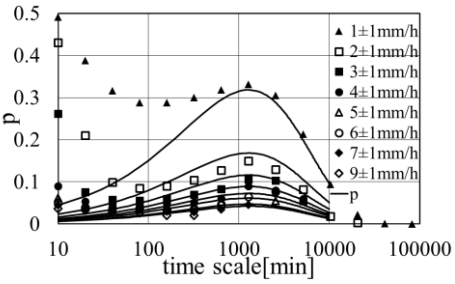

図-1 降雨強度毎のパラメータ p と時間スケールの関係.

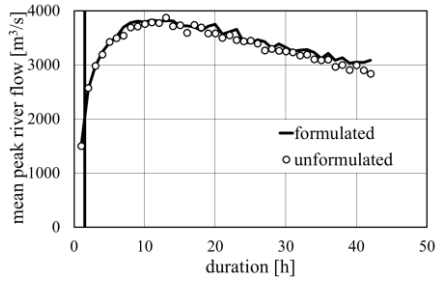

図-2 パメータ pの定式化を行った場合と行っていない場合の対象降雨継続時間毎の平均ピーク流量.

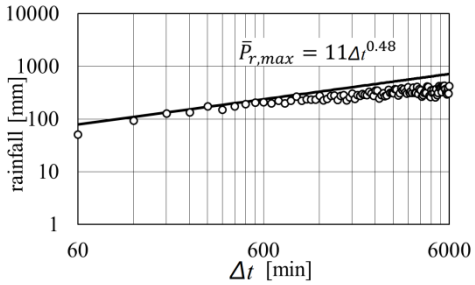

図-3 最大流域平均雨量と時間解像度Δ t の関係.

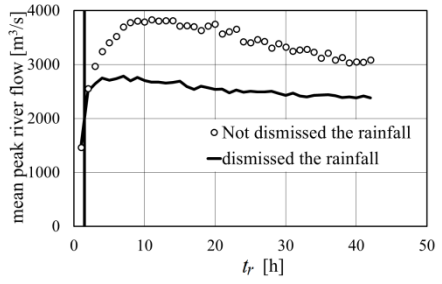

図-4 非現実的な降雨強度を棄却した場合としていない場合の平均ピーク流量.

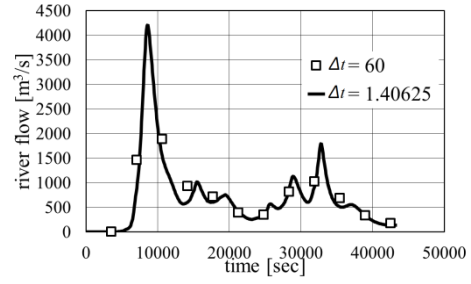

図-5 時間解像度を変えた場合の流量と継続時間の関係.