第II部門　　山腹斜面系流出モデルの集中化誤差に関する検討

京都大学大学院　学生員　○　小椋俊博　京都大学防災研究所　正員　市川温
京都大学防災研究所　正員　立川康人　京都大学防災研究所　正員　宝馨

1　はじめに　筆者ら[1]は山腹斜面系における一般的な流量流積関係式を出発点として対象とする斜面系の貯留量と流出量の関係を導出する手法を展開している。本手法は対象とする領域において降水が空間的に一様であると仮定し、さらに流域内の雨水の空間分布を定常状態のそれで近似している。本稿ではこれらの仮定・近似による誤差の構造を明らかにするためいくつかの数値実験を行ない、その結果について考察する。

2　降雨の空間的平均化が流出計算に及ぼす影響

筆者らの集中化手法では、降雨が空間的に一様であると仮定しているため、実際には分布している降雨を空間的に平均化する必要がある。そこで、空間的に分布する仮想的な降雨場 (時間的には一定) を発生させ、それを様々なスケールで平均化して流出モデルに与え、平均化スケール・降雨場の分布特性 (降雨強度 μ, 変動係数δ, 相関長さα)・流出計算誤差の三者の関係を調査する。

2.1　降雨場の生成　9000m×12000mの領域に、対数正規分布に従い、かつ空間的にも相関を持つ仮想的な降雨場を生成する。降雨場の特性を表すパラメタであるμ, δ, αに対して (5, 10mm/hour), (0.5, 1.0), (500, 1500m) の2種類を与え、それらを組み合わせた計8種類の降雨場を考えることにする。さらに偶然性を排除するため、各ケースについて5個の降雨場を生成する。降雨データの空間間隔は250mとする。ここで生成した降雨場のことをレベル1の降雨場と呼ぶ。

2.2　降雨場の平均化　レベル1の降雨場に対してレベル2…750m×750m, レベル3…1500m×1500m, レベル4…3000m×3000m, レベル5…9000m×12000m, の4段階の空間的平均化を施す。

2.3　計算結果の誤差評価　レベル1の降雨場を入力として行った流出計算結果を基準値として各レベルの計算誤差を評価する。誤差評価は次式を用いる。

$$\text{誤差指標1} = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5}\left\{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N^i}(Q_{1,j}^i - Q_{k,j}^i)^2}{N^i}}\Big/ R_m^i\right\} \quad (1)$$

ここで、iは各ケースの5個の降雨場および計算結果を示す添字、jは計算時刻を示す添字、R_m^iはi番目の降雨場の流域平均降水強度[mm/hour]、N^iはi個目の計算結果のデータ総数、$Q_{1,j}^i$, $Q_{k,j}^i$はそれぞれレベル1、レベルkにおけるi番目の計算結果の時刻jでの流出高[mm/hour]を表す。

2.4　結果および考察　図1に計算結果の一例を示す。実線はレベル1、破線はレベル5の降雨場を入力としたときの分布型モデルによる計算流量である。図2は降雨の平均化スケールと計算誤差の関係を示したものである。左がμの異なる2ケースを比較したもの、中央がδの異なる2ケースを比較したもの、右がαの異なる2ケースを比較したものである。いずれも横軸は平均化レベル、縦軸は(1)式で計算した誤差である。この図より以下のことがいえる。1. 平均化による誤差は流域平均降水強度に比例する (図2左), 2. 降雨場の平均降水強度、相関長さが等しければ、変動係数が小さな場より大きな場の方が空間的に平均化することによって流出計算結果の誤差が大きくなる (図2中), 3. 空間相関がある程度の大きさをもつ降雨場であれば、その相関長さを超えたスケールで降水を平均化すると、急激に流出計算結果の誤差が大きくなる (図2右). つまり、本集中化手法を用いる場合には、あらかじめ対象となる流域における降水データの変動係数、空間相関を調べておくことが重要と言える。

3　降雨の時間変動と集中化モデルによる計算誤差

筆者らの集中化手法では、雨水の空間分布を定常状態のそれで近似しているが、実際には降雨中に流出系が定常になることは考えられない。そこで時間的に変動する仮想的な降雨データ (空間的には一様) を作成し、その時間変動特性 (降雨強度 μ, 相関長さγ) と流出計算誤差の関係を調査する。

3.1　降雨時系列データの生成　生成には時間平均値に有色ノイズを加えるという方法を用いる。有色ノイズを$p(t)$と書くことにすると、$p(t)$および降水強度時系列$R(t)$は(2),(3)式で与えられる。

Toshihiro OGURA, Yutaka ICHIKAWA, Yasuto TACHIKAWA, Kaoru TAKARA

$$p(t+\Delta t) = e^{-\Delta t/\gamma} p(t) + v(t, t+\Delta t) \tag{2}$$

$$R(t) = \mu + p(t) \tag{3}$$

ここで、Δt は計算時間間隔、v は正規白色ノイズである。μ は5, 10, 20mm/hourの3種類、γ は3600, 7200, 14400秒の3種類を考え、それらを組合せた合計9ケースの時系列データを生成する。偶然性を排除するため各ケースにつき10個のデータを生成する。$R(t)$ がゼロ以下になる時は $R(t)$ をゼロとした。

3.2 流出計算 流域面積が約 32km^2、約 16km^2、約 8km^2、約 1.5 km^{2}の4タイプの流域を設定し、それぞれの計算結果を比較することで流域サイズの大きさの影響についても検証する。

3.3 計算結果の誤差評価 各流域において、分布型モデルの計算結果を基準として集中化モデルの計算誤差を評価する。計算誤差は各ケースごとに次の(4)式を用いて算定される。

$$誤差指標2 = \frac{1}{10}\sum_{i=1}^{10}\left\{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N^i}(Q^i_{d,j} - Q^i_{l,j})^2}{N^i}} / R^i_m\right\} \tag{4}$$

ここで、i は各ケースの10個の降雨時系列データおよび計算結果を示す添字、j は計算時刻を示す添字、R^i_mは10個の降雨時系列データのうち i 番目の降雨時系列の時間平均降水強度[mm/hour]、N^iは i 番目の計算結果のデータ総数、$Q^i_{d,j}$, $Q^i_{l,j}$はそれぞれ分布型モデル、集中化モデルによる i 番目の計算結果の時刻 j での流出高[mm/hour]を表す。

3.4 結果および考察 矩形降雨を入力としたときの計算結果例を図3に示す。実線が分布型モデル、破線が集中化モデルによる計算流量である。また、図4に時間変動降雨を入力としたときの計算結果例を示す。実線が分布型モデル、一点鎖線が集中化モデルによる計算流量、破線が降雨である。図5は矩形降雨を入力としたときの誤差を示したものである。横軸は降水強度、縦軸は計算誤差の値である。いずれの流域においても降水強度が大きくなれば誤差の値は小さくなった。筆者らが構築した集中化モデルは定常状態を仮定して得られた貯留量 − 流出量関係に基づいているため、降水強度が強い時の方がその仮定が満たされやすくなり、結果として集中化モデルと分布型モデルの計算結果がより一致したと考えられる。また流域サイズと計算誤差の間に明瞭な関係は見られなかった。図6は降雨の時間変動特性と計算誤差の関係を示したものである。上段が同じ γ で μ の異なる2ケースを比較したもの(横軸：降水強度)、下段が同じ μ で γ が異なる2ケースを比較したもの(横軸：相関長さ)である。γ が大きいということはゆったりと時間変動することを示しており、流出系が定常になりやすい。概ね γ が大きくなると計算誤差は小さくなったが $\mu = 5$ のときにそうはならない部分も見受けられた。そしてすべての流出計算結果から言えることは、分布型モデルと本集中化モデルの計算誤差は、ある時刻までの降水量が少なく、かつその時刻から一定期間降水が中断する(もしくは極端に降水強度が弱くなる)とき大きくなるということである。

参考文献

[1] 市川・小椋・立川・椎葉・宝(2000)：山腹斜面流出系における一般的な流量流積関係式の集中化, 水工学論文集, 第44巻, pp. 145 - 150.

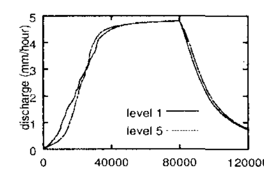

図1 降雨の空間平均スケールの違いと計算結果の差

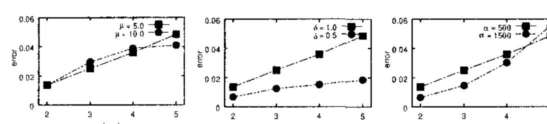

図2 降雨の空間平均スケールと計算誤差の関係

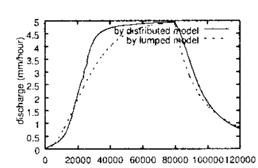

図3 矩形降雨を入力としたハイドログラフ

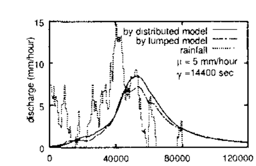

図4 時間変動降雨を入力としたハイドログラフ

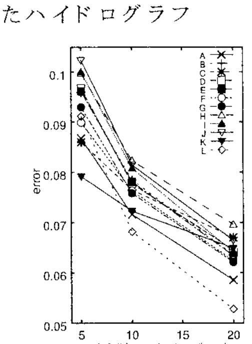

図5 矩形降雨を入力としたときの計算誤差

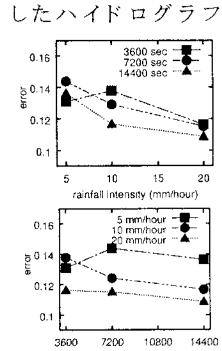

図6 時間変動降雨を入力としたときの計算誤差