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　正会員　市川 温　住友信託銀行　正会員　小椋 俊博
京都大学防災研究所　正会員　立川 康人　京都大学防災研究所　正会員　宝 馨
京都大学大学院　正会員　椎葉 充晴

1　はじめに　筆者ら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[1,2)]。本手法は対象領域において降水が空間的に一様であると仮定し、さらに流量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　降水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、降水は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水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水場（時間的には一定）を模擬的に作成し、こ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・降水場の分布特性（空間平均降水強度 μ, 変動係数 δ, 空間的相関長さ α）・流出計算誤差の三者の関係を調査した。

2.1　降水場の作成　9 km × 12 km の長方形の領域に、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水場を作成する。具体的には、降水場の特性を表すパラメタである μ, δ, α としてそれぞれ [5, 10] mm/hour, [0.5, 1.0], [500, 1500] m の二種類を考え、計八種類の降水場を作成する。降水データの空間分解能は 250 m とする。ここで生成した降水場のことを「レベル 1 の降水場」と呼ぶことにする。

2.2　降水場の空間的平均化　レベル 1 の降水場に対して、（レベル 2）750 m × 750 m, （レベル 3）1.5 km × 1.5 km, （レベル 4）3 km × 3 km, （レベル 5）9 km × 12 km, の 4 段階の空間的平均化を施す。

2.3　計算誤差の評価　レベル 1 の降水場に対する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。

2.4　結果および考察　**図 1** はレベル 1 の降水場の一例である。**図 2** は、レベル 1 の降水場を入力として得られた計算結果とレベル 5 の降水場を入力として得られた計算結果を比較したものである。降水場を空間的に平均化することによって流出計算結果に誤差が生じている。**図 3** は降水場の平均化レベルと計算誤差の関係を示したものである。図左が μ の異なる二ケースを比較したもの、図中央が δ の異なる二ケースを比較したもの、図右が α の異なる二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、縦軸はレベル 1 の計算結果を基準値として求めた計算誤差である。この図から読みとれることは以下の三点である。(1) 平均化による計算誤差は流域平均降水強度に比例する, (2) 平均降水強度および相関長さが等しければ、変動係数が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, (3) 空間的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計算誤差が大きくなる。

つまり、対象とする流域における降水が空間的に大きく変動している場合には、集中化する領域を小さくする必要があり、また、集中化する領域は最大でも降水場の相関長さ程度のスケールにとどめておく必要があるといえる。

3　降水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、流量の空間分布を定常状態のそれで近似しているが、現実の降水は時間的に大きく変動しており、一連の降水の間に流出系が定常となることはほとんどないと思われる。そこで、この近似による計算誤差の程度を明らかにするため、仮想的な降水時系列（空間的には一様）を作成し、その時間変動特性（時間平均降水強度 μ, 時間的相関長さ γ）と流出計算誤差の関係を調査する。

3.1　降水時系列データの生成　有色ノイズ過程を用いて仮想的な降水時系列を作成する。具体的には、時間平均降水強度 μ と時間的相関長さ γ としてそれぞれ [5, 10, 20] mm/hour, [3600, 7200, 14400] sec の三種類を考え、計 9 ケースの時系列データを生成する。

キーワード：流出モデル, 集中化誤差, 降水, 時空間変動
住所：〒 606-8501 京都市左京区吉田本町, 電話：075-753-5096, fax：075-753-4907

3.2　計算誤差の評価　上記 9 ケースの降水時系列を入力として分布型モデル、集中化モデル[2] それぞれで流出計算を行ない、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。

3.3　結果および考察　まず、分布型モデルによる計算結果と集中化モデルによる計算結果の違いの基本的な傾向を把握するために、矩形形状の降水を与えて流出計算を行なった。**図 4** はその計算結果の一例である。実線が分布型モデルによる計算流量、破線が集中化モデルによる計算流量である。両者の違いはハイドログラフの立上り部に大きく現れている。降水強度を変えて計算を行なってみたがこの傾向は変わらなかった。

図 5 は矩形降水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。ここでは 12 個の流域（A 〜 L）で計算を行なったが、いずれの流域においても降水強度が大きくなるにしたがって誤差は小さくなった。筆者らの集中化手法は、定常状態における貯留量 – 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降水 – 流出系が定常に達しやすくなり、その結果として集中化モデルの計算誤差が小さくなったと考えられる。また、流域の大きさと計算誤差の関係を調査したところ、両者の間に明瞭な関係は見られなかった。

図 6 は仮想的な降水時系列に対する計算結果の一例である。実線が分布型モデルによる計算流量、一点鎖線が集中化モデルによる計算流量、破線が降水である。集中化モデルはピーク時の流量を過小評価しており、他のケースでも同様の傾向が認められた。

図 7 は降水の時間変動特性と計算誤差の関係を示したものである。上段は γ を固定して μ を変化させた場合の計算誤差を比較したものである。μ（横軸）を大きくするにしたがって計算誤差は概ね小さくなっている。これは矩形降水の場合にも確認された傾向である。下段は μ を固定して γ を変化させた場合の計算誤差を比較したものである。γ（横軸）が大きくなるにしたがって概ね計算誤差は小さくなっている。γ が大きいということは降水の時間変動が緩やかであること、すなわち降水 – 流出系が定常になりやすいことと等価であり、そのため γ が大きくなるにしたがって計算誤差が小さくなっていると考えられる。

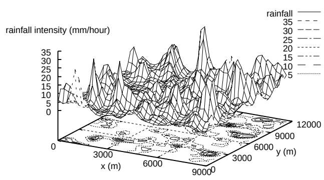

図 1　空間的に分布する降水場

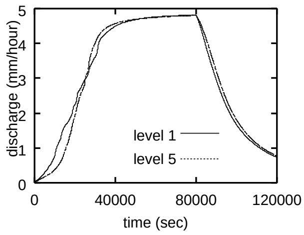

図 2　レベル 1 とレベル 5 の計算結果の違い

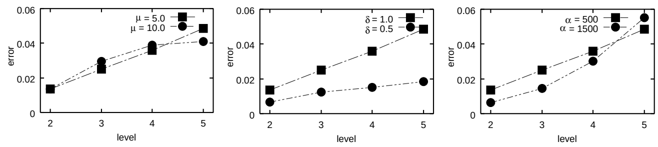

図 3　降水の平均化レベルと計算誤差の関係

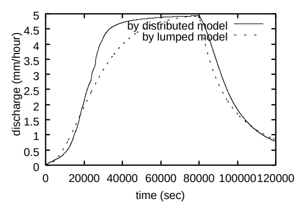

図 4　矩形降雨に対するハイドログラフ

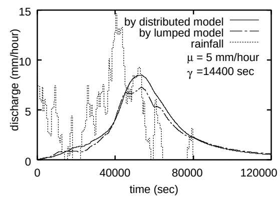

図 6　時間変動降雨に対するハイドログラフ

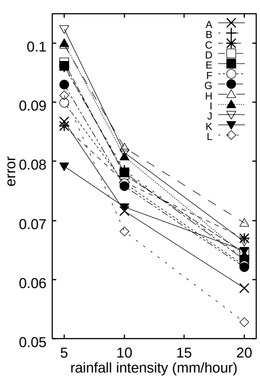

図 5　矩形降雨に対する計算誤差

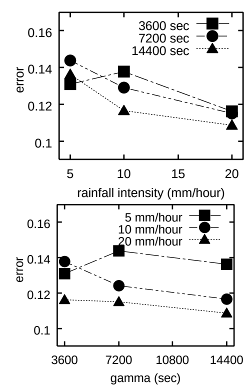

図 7　時間変動降雨に対する計算誤差

参考文献

1) 市川・小椋・立川・椎葉：数値地形情報と定常状態の仮定を用いた山腹斜面系流出モデルの集中化, 水工学論文集, 第 43 巻, pp. 43–48, 1999.

2) 市川・小椋・立川・椎葉・宝：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, 2000.