

### 仮想トレーサー法を用いた局地的集中豪雨時の流出特性

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○伊藤 崇博  
神戸大学大学院工学研究科 正会員 藤田 一郎

#### 1. はじめに

近年、ゲリラ豪雨と呼ばれる予測が困難な局地的集中豪雨による河川災害や水難事故が相次いで発生している。統計的にも時間雨量 50mm を超える降雨は増加傾向にあり、短時間に集中した降雨は今後も高頻度で発生することが懸念されている。一般に河川の急激な増水が発生する集水面積の小さい都市河川などの中小河川や上流域の河川では、局地的集中豪雨に対する流出特性については不明な点が多い。河川事故防止のための準リアルタイム流出予測を考えるならば、なるべく単純なモデルで流出の初期の立ち上がりを予測できることが望ましい。そこで本研究では、降水の流下過程を氾濫モデルで予測して流下ベクトルを求め、流出量を推定する新たな流出モデルを考案した。このモデルを 10 メートルメッシュで地形データが得られている住吉川流域に適用し、2004 年の台風 23 号の観測データでパラメータを同定した後、局地的な豪雨が山裾に集中して発生した場合を想定した解析を行った。

#### 2. 仮想トレーサー法による集水域判定

本モデルでは、まず、対象流域全体に強い降雨が発生した場合を想定して二次元氾濫解析を行う。先行降雨が十分にあって地盤内への浸透などがほとんどなく、降雨が直ちに表流水として流出する状態を想定し、降雨強度に対する単位時間当たりの微小な水深を湧き出し量として与え、溜まった水が地形勾配に応じて自然流下する様子を計算する。このときの流れの様子を追跡するために、降雨のあるメッシュ(スタートメッシュ)に質量ゼロの仮想トレーサーを配置し、得られた各地点の流速ベクトルに沿って順次その位置を移動させると各スタートメッシュに対する流跡線が得られる。得られた流下ベクトルに沿って質量ゼロの仮想トレーサーが移動するものとする。また、各メッシュにおける流下速度はすべて既知なので、各メッシュからスタートする仮想トレーサーが下流の集水点に到達するまでの時間が求まる。逆に、ある時間内に集水点に到達する仮想トレーサーの数をカウントし、各仮想トレーサーのスタートメッシュの位置を調べれば、その時間内の集水域がわかる。集水域判定の手順を図-1 に示した。また、降雨強度により各メッシュの流速値が異なるため、図-2 のように集水域や到達時間分布に差が表れてくる。図に示す集水点にだけ集まるスタートメッシュの総和から集水面積を算出したところ、公式の流域面積との誤差が 1%程度となり、非常に高精度に集水域を把握できることがわかった。

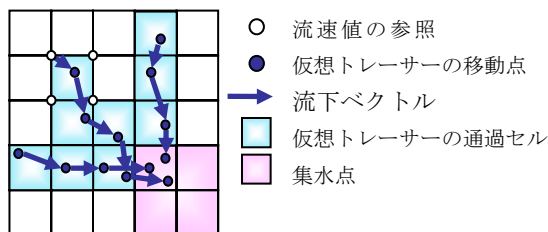
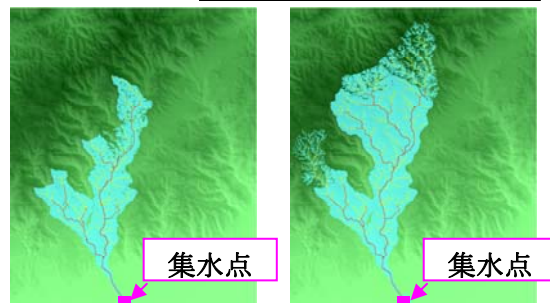
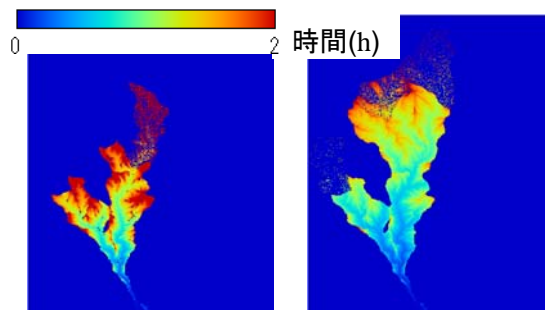


図-1 集水域の判定

流跡線の本数 1~50本 51~1000本 1000本以上



(a)時間雨量 10mm(左),50mm(右)での集水域



(b)時間雨量 10mm(左),50mm(右)での各メッシュの到達時間

図-2 降雨強度による集水域・到達時間分布

キーワード 局地的集中豪雨, 仮想トレーサー, 合成合理式, 流出解析

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 藤田一郎 TEL 078-803-6439

3. 流出解析

各仮想トレーサーにスタートメッシュで受けた降雨強度を重み関数として与えれば、重み付きの仮想トレーサーの数から流出量を算定できる。このときの流量は、具体的には合成合理式的な考え方に基づいて以下の式(1)から求めることができる。

$$Q_T = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{t=0}^T \frac{1}{3.6} f_{ij} R_{ij} \alpha_{ij} A \quad (1)$$

ここに、 $T$ : 到達時間(min),  $Q_T$ : 到達時間内に発生する流量( $m^3/s$ ),  $f_{ij}$ : メッシュ( $i, j$ )における流出係数,  $R_{ij}$ : メッシュ( $i, j$ )における降雨強度(mm/hr),  $\alpha_{ij}$ : 到達時間が  $T$  以下でメッシュ( $i, j$ )が集水域ならば 1, そうでなければ 0 となるフラグ,  $A$ : 各メッシュの面積( $km^2$ ),  $m$ : 東西方向のメッシュ数,  $n$ : 南北方向のメッシュ数である。本手法の特徴は、到達時間を氾濫モデルによってメッシュ毎に求めている点であり、一般的な合成合理式とは全く異なる。ただし、仮想トレーサ

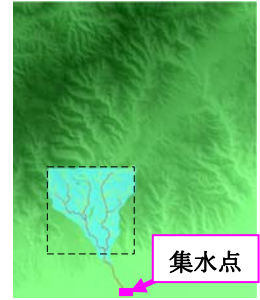


図-3 集水域(2×2km, 降雨 20 分間)

一の流下速度は山間部などでは流水抵抗の増大によりかなり低下することが予測されるため、速度変数を流跡線の重複度に応じて乗じ、流下速度を減少させて、降雨と流量の計測データが取得できた 2004 年台風 23 号における解析を行った結果、流量ハイドログラフの立ち上がりの様子とピーク流量に関してある程度、実際の状況を再現することができた。

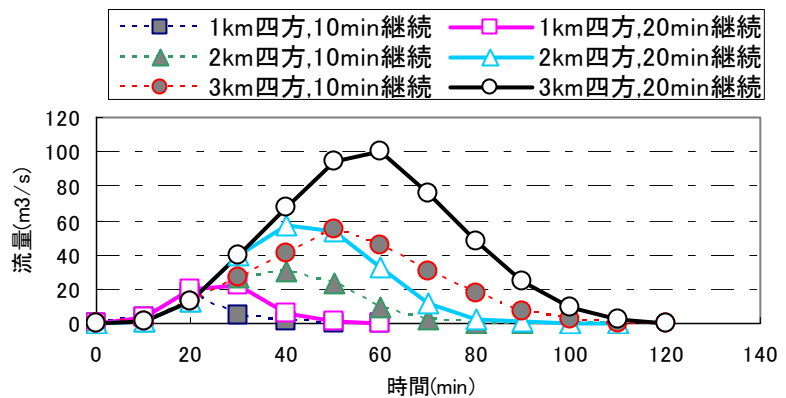


図-4 各ケースの流量ハイドログラフ

この台風 23 号の解析で同定したパラメータを用いて、局地的な豪雨が山裾に集中して発生したケースの解析を行った。降雨強度は都賀川水難事故の場合と同レベルの 10 分間雨量 25mm とし、降雨分布範囲と降雨継続時間を変化させて流出流量の時間変化を調べた。降雨範囲は流域下流側を中心に  $1 \times 1km, 2 \times 2km, 3 \times 3km$  の 3 ケース、降雨継続時間としては 10 分間と 20 分間の 2 ケースとした。これは、ゲリラ豪雨が短時間に局所的に集中して降った場合の想定を反映している。例として、 $2 \times 2km$  の正方エリアに 20 分間降雨が継続した場合の集水域を図-3 に示す。また、検討したケースの流量ハイドログラフを図-4 に示す。これより、まず、ピーク流量は降雨面積の増大とともに大きくなるのがわかる。また、 $2km$  四方で 20 分間継続した場合 ( $\Delta$ ) と  $3km$  四方で 10 分間継続した場合 ( $\bullet$ ) を比較すると、ピーク流量はほぼ一致しているが、ピーク流量発生までの時間は前者の方が早いことがわかる。これは、下流側に降雨が集中して発生した場合の状況によく対応している。ただし、降雨強度は一定としているため、平均的な流量の立ち上がりはどのケースのほぼ同様になっており、10 分間で 20 立方メートル程度の割合で増大している。この割合は、降雨強度によって変化するはずであるが、河道に対するゲリラ豪雨の河道内利用者に対する危険性を論じるためには、この程度の降雨強度を想定しておく方がよいと考えている。流量規模からみると、非常に短い降雨継続時間であっても、約 1 時間で毎秒 100 立方メートル程度まで増大する可能性があることを示すことができた。

4. おわりに

仮想トレーサーの概念を流出解析に導入したモデルを考案し、住吉川における解析を行ったところ、流量ハイドログラフの立ち上がりの様子とピーク流量について良好な結果が得られた。今後はモデルをより単純化させ、準リアルタイムでの流量予測を行う予定である。