

## キネマティックウェーブ法の逆計算による上流側の河川流量推計手法の開発

香川大学客員研究員 正会員 ○津田 守正  
香川大学創造工学部 正会員 石塚 正秀

### 1. 目的

国内外の河川において設置されているダムや堰、取水施設の運用方法や、その上下流での河川流量の変化を把握することは、当該施設の下流側での洪水管理や、効率的な水資源運用を行ううえで極めて重要である。一方で、国際河川の管理においては、下流側では上流側のダム運用等の情報をリアルタイムで入手できない場合がある。また、国内においても、河川内には大小さまざまな構造物や取水施設が設置されており、河川流量の場所ごとの変化が大きいが、水位や流量の観測地点は限定されている。

こうした課題に対応するため、下流側の河川の観測流量を境界条件として、上流側の河川流量を数値計算により推計することで、上流側に設置された流量調節施設の運用状況を把握する手法の開発に取り組んでいる。ここではキネマティックウェーブ法を用いて、上流側の河川流量を推計する手法について、検討した結果を報告する。

### 2. 上流側河川流量の推計手法

#### 2.1 上流側河川流量の推計手順

観測された河川流量を用いて、その観測地点より上流側の河川流量を推計する手順として、以下を考える。

ステップ1として、グリッド分割した分布型流出解析モデルを用いて、通常のように河川上流側から下流側に向けて流出計算を行い、斜面や支川から河川への流入量を計算する。

つぎに、ステップ2として、以下の2.2節で述べる方法を用いて、通常とは逆に下流側から上流側に向かって、過去に遡りながら河川流量を計算する。分割した河川グリッドごとに、順次、上流側の河川流量を計算していくが、ステップ1で算出しておいた斜面からの流入や、支川流入量を差し引きながら上流側に遡っていく。これを繰り返して、河川流量推計の目標とする地点に向けて計算を進める。

#### 2.2 キネマティックウェーブ法による上流側河川流量の推計

下流側から上流側に向けて、時間を遡りながら河川流量を推計する方法として、キネマティックウェーブ法の適用を検討した。

連続式  $\partial h/\partial t + \partial q/\partial x = r$  と運動方程式  $q = \alpha h(x, t)^m$  ( $\alpha$ ,  $m$  は定数) を用いて、水文学・水工計画学<sup>1)</sup>を参考に、ラックス・ヴェンドルフ法による差分を行い、 $\Delta t$  時間前の上流側河川流量を推計する。ここで、水深  $h$ 、時間  $t$ 、雨量  $r$ 、河川の単位幅流量  $q$  で表す。

$\Delta t$  の2次の項まで  $h(x, t - \Delta t)$  をテイラー展開すると、 $h(x, t - \Delta t) \cong h(x, t) - \Delta t \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\Delta t^2}{2} \frac{\partial^2 h}{\partial t^2}$  である。連続

式を用いると、 $\partial h/\partial t = r - \partial q/\partial x$ 、 $\frac{\partial^2 h}{\partial t^2} = \frac{\partial r}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( r - \frac{\partial q}{\partial x} \right) \frac{dq}{dh} \right]$  で表される。河道長  $L$  の矩形斜面を  $n+1$  個の

差分節点で分割し、個々の接点を  $x_j (j=0, 1, \dots, n)$  で表すこととする。時間  $t_i$  に対して微小時間  $\Delta t$  時間前の時点  $t_{i-1}$  における水位  $h(x_j, t_{i-1})$  を計算する。ここで、 $j$  は格子番号、 $i$  は時間ステップである。差分接

点での  $h(x_j, t_i)$ 、 $q(x_j, t_i)$ 、 $r(x_j, t_i)$  の近似値をそれぞれ  $h_j^i$ 、 $q_j^i$ 、 $r_j^i$  で表すと、 $\partial h/\partial t$  は、 $\frac{\partial h}{\partial t} \cong r_j^i - \frac{q_{j+1}^i - q_{j-1}^i}{2\Delta x}$

キーワード 河川流量, 逆解析, 河川流出解析, 流量調節施設

連絡先 〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20 香川大学創造工学部 TEL 087-864-2143

である。  $\partial^2 h / \partial t^2$  については、  $dq/dh$  を  $f'(h)$  と書くと、  $\frac{\partial^2 h}{\partial t^2} \cong \frac{r_j^i - r_{j-1}^{i-1}}{\Delta t} - \frac{1}{\Delta x} \left[ \left( r_{j+\frac{1}{2}}^i - \frac{q_{j+1}^i - q_j^i}{\Delta x} \right) f' \left( \frac{h_{j+1}^i + h_j^i}{2} \right) - \left( r_{j-\frac{1}{2}}^i - \frac{q_j^i - q_{j-1}^i}{\Delta x} \right) f' \left( \frac{h_j^i + h_{j-1}^i}{2} \right) \right]$  と表される。ただし、  $j=0$  のときは、  $h^{i-1}_0 \cong h^i_0 - \Delta t \left( r^i_0 - \frac{q^i_1 - q^i_0}{\Delta x} \right)$  とする。

### 2.3 検討条件

2.2節で検討したキネマティックウェーブ法による上流側河川流量の推計手法の適用性を確認するため、本研究では、単純化した仮想流域における検証を行う。

まず、上流端地点において河川流量の時系列（入力波形）を与え、通常キネマティックウェーブ法により下流端の河川流量を計算した。計算により得られた下流端の河川流量は真値と仮定した。つぎに、下流端河川流量を境界条件として、2.2節の方法で上流端の河川流量を推計し、入力波形と比較した。今回は、手法の適用性の確認を主目的としたため、河川に対する支川や斜面からの流入、降雨量など、2.1節で述べたような実河川での適用において必要とされる要素は考慮していない。

上流端での入力波形は、波形1として正弦波、波形2として上流側での流量調節を想定した2種類を考えた。河川の粗度係数  $n$  は0.2、勾配  $\theta$  は0.01ラジアン、矩形断面を想定し、運動方程式中の  $\alpha = \sqrt{\sin \theta} / n$ 、  $m = 5/3$  とした。波形1では上流端から下流端までの長さ  $L$  は10 km、波形2では100 kmとした。

### 3. 結果

計算結果を図-1に示す。図中の黄緑色の線が上流端の入力波形、青色が下流端の河川流量、これを使って逆推計した上流端の河川流量を赤色の点線で示している。上流端の河川流量の推計値は入力波形とほぼ一致しており、本手法により上流側河川流量を推計できることが確認された。

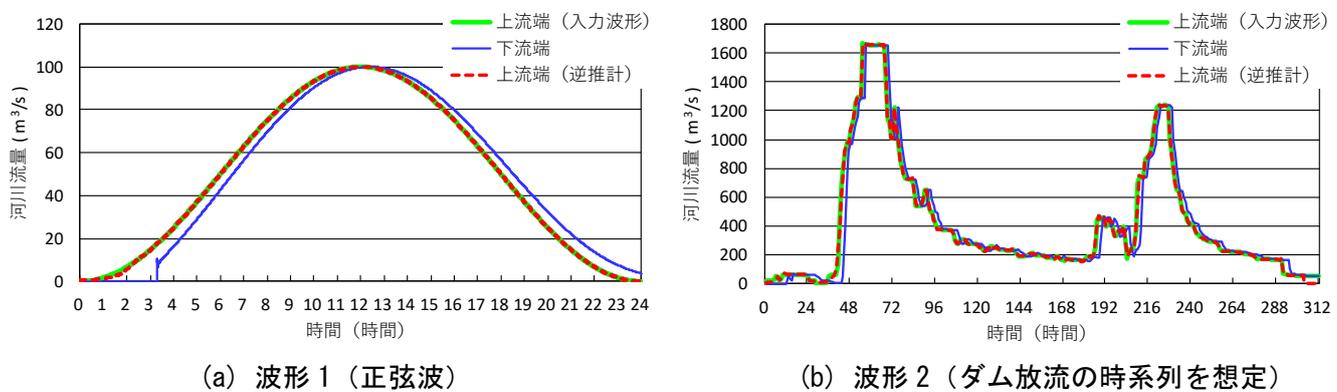


図-1 仮想流域における計算結果

### 4. まとめ

キネマティックウェーブ法を用いて、下流側から上流側に向かって、過去に遡りながら河川流量を推計する手法を開発し、仮想流域を対象に適用性を確認した。この手法を応用することで、下流側で観測された河川流量を境界条件として、上流側の河川流量を推計できる。現在、実河川流域において検証を進めているところである。本手法は、様々な応用の可能性を有しており、上流側でのダム運用や、上下流を河川流量観測地点に挟まれた取水施設の運用状況の推計など、河川管理や水資源管理の高度化に役立てられると考えている。

### 参考文献

- 1) 椎葉充晴・立川康人・市川温：水文学・水工計画学，京都大学学術出版会，614P，2013。