

## 宮崎県耳川流域における分布型流出モデルの適用

宮崎大学工学部社会環境システム工学科 学生会員 ○金山祐太  
 宮崎大学工学部社会環境システム工学科 正会員 糠澤桂  
 宮崎大学工学部社会環境システム工学科 正会員 鈴木祥広

### 1. はじめに

近年、日本全国において集中豪雨の発生頻度が増加しており、それに伴う河川氾濫が頻発している。河川氾濫の対策として、ソフト面とハード面の対策があるが、ソフト面の対策のために、集中的な降雨に対する河川流量の予測が必要である。従来は、流量予測のために、河川流域を対象とした流出解析モデルの構築が行われてきた。流出解析モデルを大別すると、流域単位で単一のパラメータを用いて解析を行う集中型モデル、流域を細かくメッシュ分割し解析する分布型モデルがある。分布型モデルは、その特徴上、流域内の標高や土地利用等の空間的な分布特性を計算に反映できる特徴がある。近年では、分布型流出モデルにより、流域内の流量解析に加え、栄養塩動態の予測<sup>1)</sup>や浮遊土砂濃度の推定<sup>2)3)</sup>や河川生物の生息環境の評価<sup>4)</sup>等が行われた報告があり、分布型モデルの応用によって多様な解析が行われつつある。

宮崎県は全国平均と比較して降水量が多く(2,857mm/年、延岡気象観測所、2003~2013)山地に囲まれ河川が急流といった特徴があり、集中豪雨や台風による洪水が度々発生している。なかでも、宮崎県に位置する耳川流域では、2005年台風14号による集中豪雨により、流域中流部の諸塚村が壊滅的な被害を受けた<sup>5)</sup>。また、流域内には7基の発電用ダムが設置されているが、いずれのダム貯水池においても堆砂が問題視されており、流域内の土砂動態把握が求められる。そこで本研究では、宮崎県の耳川流域を対象に、既存の分布型流出モデルを適用し、物質輸送モデルの構築を目指す。本稿では、その初期段階として、データ整備ならびに対象流域での水文流出解析の結果について紹介する。



図-1 耳川流域

### 2. 方法

#### 2.1 対象流域と入力データ

宮崎県北部に位置し、耳川流域を対象領域とした(図-1)。耳川流域は、流域面積 884km<sup>2</sup>を有し、その主幹河川である耳川は三方山に端を発して日向灘へと至る幹線流路延長 94kmの二級河川である。流域内の主要な住居地は椎葉村、諸塚村、美郷町、日向市であり、流域内人口は約 14,000 人である。上流域は山間の狭い平地部に集落が形成されており、下流域では、沿川に平地が形成されている。

国土数値情報<sup>6)</sup>から、標高、土地利用、流域メッシュのデータを用いた。データは流出計算に用いるためC言語のプラットフォーム上で整形した。流域内の勾配と落水方向を、標高データを用いてメッシュ毎に求めた。まず、対象メッシュの周囲8メッシュにおいて最も低い標高のメッシュを抽出し、これが対象メッシュの標高よりも低い場合はそのメッシュ方向を流下方向とし、メッシュ間の標高差から勾配を算出した。対象メッシュよりも低いメッシュが無い場合(窪地)、メッシュの標高を周囲8メッシュ中最も低い標高よりも僅かに上昇させる窪地処理を行った。この作業を繰り返すことによって最終的に窪地のない標高、落水線図を作成した。その後、落水線図と耳川流域の流域メッシュデータから流域内の集水面積マップを作成した。図-1の河道網は、集水面積が 1.875km<sup>2</sup>以上のメッシュと定義したものである。図-2に標高、土地利用、集水面積分布図を示した。

気温、降雨量、風速、気温、日照時間、気圧、湿度のデータは、流域に近接する3地点の気象観測所(延岡、鞍岡、神門)のAMeDASデータを用いた。

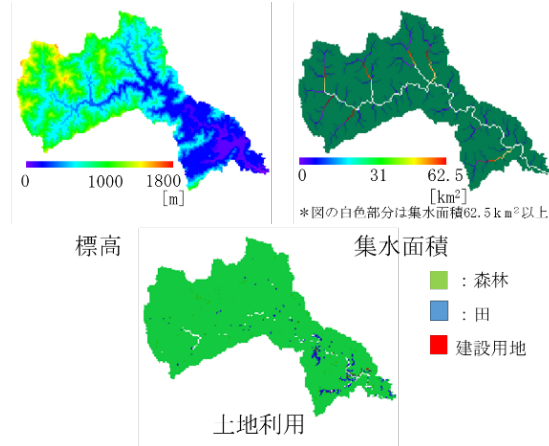


図-2 標高、土地利用、集水面積分布図

keyword : distributed runoff model, application ,Mimi River

連絡先：〒889-2192 宮崎市学園木花台西1丁目1番地 宮崎大学工学部社会環境システム工学科

雲量には宮崎地方気象観測台のデータを用いた。気温、降雨量、風速には延岡、鞍岡、神門の3地点のデータをもとに、重みつき距離平均法で空間補間して流域全体で面的に入力した。モデルの校正は、九州電力のダム流入量データを用いて行った。

## 2.2 流出解析

宮城県名取川流域において開発された分布型流出モデル<sup>7)</sup>を用いた。対象期間は2013年1月とした。本モデルでは河道・直接流出に kinematic wave 法、基底流出に貯留関数法、融雪に degree-day 法、蒸発散量に修正ペンマン・モンティース式<sup>8)</sup>を用いて計算した。kinematic wave 法は、雨水流出を運動方程式と連続の式を用いて水理学的に追跡する手法で以下の式を用いた。

$$\frac{\partial Bh}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = (r + s_m - E)B \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{n} B h^{\frac{5}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここで、 $h$ :水深 (m),  $n$ : マニングの粗度係数,  $B$ : 水面幅 (m),  $Q$ : 流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $t$ : 時間 (s),  $x$ : 流下方向の距離 (m),  $r$ : 降雨量 (mm),  $s_m$ : 融雪量 (mm),  $E$ : 蒸発散量 (mm),  $I$ : 勾配である。

貯留関数法は流出現象の降雨から流出までの変換過程に流域貯留と遅滞時間の概念を導入しているのが特徴であり、本モデルでは、基底流に貯留関数法により表現している。

$$S = kq^p \quad (3)$$

$$\frac{dS}{dt} = r - q \quad (4)$$

ここで、 $S$ : 見かけの貯留高 (m),  $k, p$ : 定数,  $q$ : 遅滞時間遅れの流出高 (m/s) である。

積雪水当量の時系列分布は以下の式で示される積雪・融雪モデルを用いて推定した。

$$SWE = \sum (SF - SM) \quad (5)$$

ここで、 $SWE$ : 積雪水頭量 (mm),  $SF$ : 降雪量 (mm),  $SM$ : 融雪量 (mm) である。積雪モデルは、各メッシュの降水形態を判別し、降水形態が降雪の場合に積雪量を計算するモデルである。融雪量の計算には degree-day 法を用いた。これは融雪の原因となる諸因子を気温で代表させる方法である。degree-day 法によると各メッシュの融雪量は以下の式で示される。

$$SM = \sum T \times K \quad (6)$$

ここで、 $SM$ : 融雪量 (mm),  $K$ : 融雪係数 ( $\text{mm}/^\circ\text{C} \cdot \text{day}$ ),  $T$ : 0 度以上の日平均気温 ( $^\circ\text{C}$ ),  $\sum T$ :  $SM$ の算定地の $T$ の積算値 ( $^\circ\text{C} \cdot \text{day}$ ) である。

流域内の蒸発散量分布を、以下の修正ペンマン・モンティース式を用いて推定した。

$$ET_p = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U)} \quad (7)$$

$$\Delta = \frac{4098 \left( 0.6108 \exp \left( \frac{17.27T}{T + 237.3} \right) \right)}{(T + 237.3)^2} \quad (8)$$

ここで、 $ET_p$ : 蒸発散量 (mm/d),  $\Delta$ : 温度-飽和蒸気圧曲線の勾配 ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ ),  $Rn$ : 純放射量

( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{d}$ ),  $G$ : 熱フラックス ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{d}$ ),  $\gamma$ : 乾湿係数 ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ ),  $T$ : 日平均気温 ( $^\circ\text{C}$ ),  $U$ : 風速 (m/s),  $e_s$ : 飽和蒸気圧 (kPa),  $e_a$ : 蒸気圧 (kPa) である。

## 3. 結果と考察

本研究では、既存の分布型流出モデルを気候、地形および土地被覆の異なる流域へと適用した。対象流域の耳川流域では、土地被覆のほとんどが森林域であり、森林によって流出計算や蒸発散に影響が生じていると考えられる。特に、蒸発散量を名取川のモデルでは衛星画像を用いた NDVI (正規化植生指数) から推定したのに対して、本研究では気温、風速、湿度の関数を用いて推定した。今後は、この違いが流域内の水循環に与える寄与度の違いを明確にし、対象流域に適切な蒸発散量の入力を検討する予定である。また、対象流域には河道区間における流量の連続観測データが存在しないため、発電用ダムへの流入量を用いてモデルの検証も行う必要もある。

謝辞: 本研究は九州電力株式会社からデータを頂いた。また、科学研究費補助金 (16H02363, 風間聡; 16H05750, 渡辺幸三; 26820196, 糠澤桂) の助成を受けた。併せて深甚なる謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 井芹晴香, 平松和昭, 原田昌佳, 筑後川流域を対象とした GIS ベース分布型流出モデルによる窒素・リン負荷流出解析, 農業農村工学論文集, 77, pp.97-107, 2011.
- 2) Zi, T., Mukesh, K., Gerard, K., Ciaran, L., John, A., Simulating the spatio-temporal dynamics of soil erosion, deposition, and yield using a coupled sediment dynamics and 3D distributed hydrologic model, Environmental Modeling & Software, 83, 310-325, 2016.
- 3) 大澤和敏, 酒井一人, 降雨 - 土砂流出解析のための浮遊土砂流出モデルの構築, 農業土木学会論文集, 217, pp.65-70, 2002.
- 4) 高瀬陽彦, 糠澤桂, 風間聡, 渡辺幸三, 分布型水文モデルと確率密度関数を用いた底生動物の生息環境および種多様性評価, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.70, No.4, pp.I\_1297-I\_1302, 2014.
- 5) 宮崎県, 耳川水系総合土砂管理計画, 2013.
- 6) 国土交通省国土計画局, 国土数値情報製品仕様書
- 7) Nukazawa, K., Shiraiwa, J., Kazama, S., Evaluations of seasonal habitat variations of freshwater fishes, fireflies, frogs using a habitat suitability index model that includes river water temperature, Ecological Modelling, Vol. 222, 20-22, pp. 3718-3726, 2011.
- 8) FAO, Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements.FAO: 110-114, 163-165, 176, 1998.