

宮崎県耳川流域における分布型流出モデルを用いたダム通砂運用の評価

宮崎大学大学院工学研究科 学生会員 ○金山祐太
 宮崎大学工学部 正会員 糠澤桂
 宮崎大学工学部 正会員 鈴木祥広

1. はじめに

宮崎県北部に位置する耳川流域 (884.1 km², 図-1) は, 発電用ダムが本川に 6 基, 支川に 1 基設置されており, 九州最大の電源河川として知られている. 耳川流域では, 平成 17 年に発生した台風 14 号を契機に, 山地を含めた流域全体での総合的な土砂管理計画が実施されている¹⁾. その中でも, 貯水池内の堆砂対策として, 平成 33 年度から山須原, 西郷および大内原ダムによる 3 ダム連携のダム通砂運用が計画されている. 平成 29 年度からは, 西郷および大内原ダムにおいてダム通砂運用が実施されている. ダム通砂運用は, 大規模出水時にその効果が期待されるため, 耳川水系においては山須原ダム地点における流入量が流出解析により 700 m³/s 以上と予測される場合に実施の準備体制に入る. しかしながら, これまでの 2 年間に予測流量の過大推定と過少推定に起因したダム通砂の中止や見逃しが発生している. そこで本研究では, 宮崎県耳川流域を対象に分布型流出モデルを開発し, ダム通砂運用実施の契機となる予測流量の信頼性向上に資することを目的とする.

2. 方法

2.1 入力データ

国土数値情報²⁾から, 標高, 土地利用, 流域メッシュのデータを取得した. 気温, 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) から取得した. 雲量に宮崎地方気象観測台のデータを用いた. 降雨量のデータは, 上椎葉ダム, 山須原ダム, および大内原ダムの各ダム地点で観測されたデータを用いた. 気温, 風速については延岡, 鞍岡, 神門の 3 観測所の点データに基づき重みつき距離平均法に

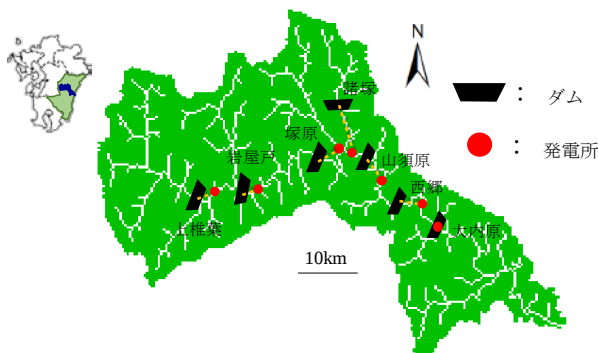


図-1 宮崎県耳川流域

の点データに基づき重みつき距離平均法により空間補間して流域内全メッシュへ面的に入力した. 流域内の各ダム地点の放流量と発電放流量のデータは, ダム管理者から提供頂いた. また本研究では, ダム通砂運用の準備に入る 700 m³/s を目安に流量予測結果の比較を行うために解析パターンをケース 1: 3 ダム地点の観測雨量を空間補間, ケース 2: 上記の 3 ダム地点の観測雨量を 1.2 倍し空間補間, ケース 3: 上記の 3 ダム地点の観測雨量を 1.5 倍し空間補間の 3 ケースをそれぞれ設定し, 山須原地点の観測流入量とモデルによる流量予測結果を比較した. なお, 上記解析において山須原ダム集水域におけるダム地点に境界条件は設定していない.

2.2 流出解析

河道を dynamic wave 法, 直接流出を kinematic wave 法, 基底流出を貯留関数法, 融雪を degree-day 法, 蒸発散量は修正ペンマン・モンティース式を用いて流出計算を行った. dynamic wave 法は, 河道の流れ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る.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{2g} \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |v| v}{h^{4/3}} = 0 \quad (2)$$

ここで, A :断面積, Q :流量, q :横流入量, v :流速, H :水位, h :水深, n :マンニングの粗度係数である.

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る.

$$\frac{\partial Bh}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = (r + s_m - E)B \quad (3)$$

$$Q = \frac{1}{n} B h^{5/3} I^{1/2} \quad (4)$$

ここで, h :水深, n :マンニングの粗度係数, B :水面幅, Q :流量, t :時間, x :流下方向の距離, r :降雨量, s_m :融雪量, E :蒸発散量, 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, 基底流を貯留関数法により表現している.

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, SF :降雪量, SM :融雪量である. 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

keyword : dam, distributed runoff model, Mimi River

連絡先: 〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1 丁目 1 番地 宮崎大学大学院工学研究科

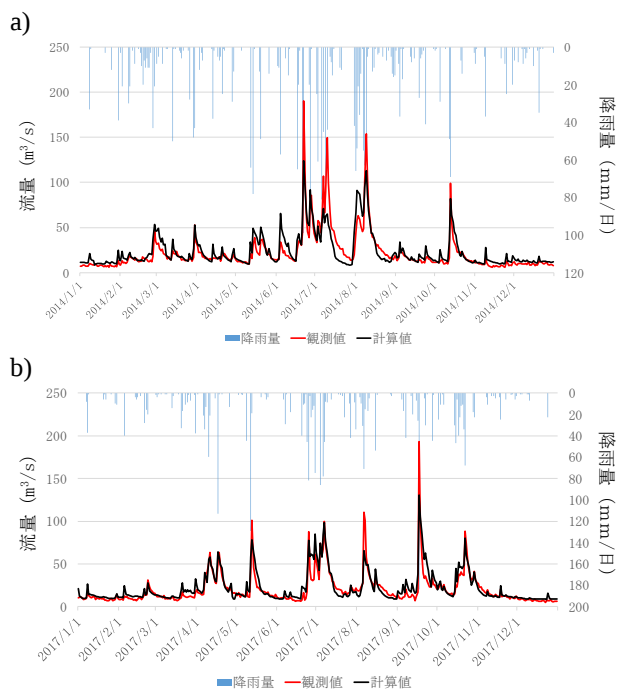


図-2 検証期間における上椎葉ダム地点の流出解析結果
a)2014年, b)2017年

ある。融雪量の計算に、degree-day法を用いた。

流域内の蒸発散量の推定は、以下の式で示される修正ペンマン・モンティース式³⁾を用いて推定した。

$$ET_p = \frac{0.408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} U(es-ea)}{\Delta + \gamma(1+0.34U)} \quad (6)$$

$$\Delta = \frac{4098(0.6108 \exp \frac{17.27T}{T+237.3})}{(T+237.3)^2} \quad (7)$$

ここで、 ET_p : 蒸発散量, Δ : 温度-飽和蒸気圧曲線の勾配, Rn : 純放射量, G : 地熱フラックス, γ : 乾湿係数, T : 日平均気温, U : 風速, es : 飽和蒸気圧, ea : 蒸気圧である。

モデルの校正期間を2013年1月から12月までとし、上椎葉ダム地点における観測流入量を用いてパラメータの校正を行った。モデルの検証期間を2014年1月から2014年12月および2017年1月から2017年12月までとし、各ダム地点の観測流入量を用いて検証を行った。流量計算値における観測値との誤差を把握してモデル校正・検証を行うために、Nash Sutcliffe 効率係数 (NS 係数)⁴⁾を用いた。

通砂運用の基準となる流量を適切に表現できるか評価するために、2017年8月～10月を対象に降雨量の変化に応じた山須原ダム流入量の変化を調べた。

3. 結果と考察

本研究では、最上流に位置する上椎葉ダムにおいて観測されたダム流入量を用いて、観測値と計算値を比較し、パラメータの同定を行った。その結果、降雨量に対する、ピーク流量の規模や、生起タイミングともに良好な一致を示した。上椎葉ダム地点のNS係数は0.88であり、モデルにより上椎葉ダムへ

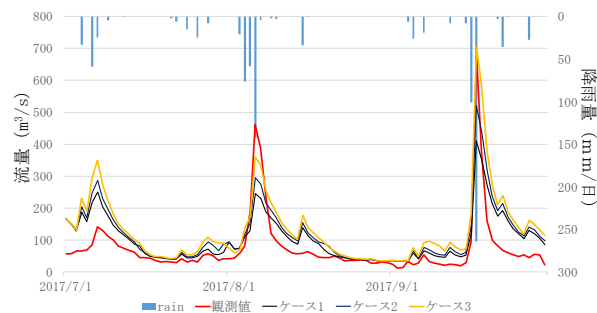


図-3 山須原ダム地点の流出解析結果

の流入量を適切に表現できていることが伺える。他のダムについてのNS係数は、岩屋戸ダム地点0.74、塚原ダム地点0.96、諸塚ダム地点0.76、山須原ダム地点0.85、西郷ダム地点0.99、大内原ダム地点0.99となり良好な結果を示した。上椎葉ダム地点における2014年と2017年の流出解析結果を図-2に示す。2014年と2017年におけるNSは0.78と0.81であり、既往研究で推奨されている良好な流出解析となるNS係数を上回っているため、検証結果は良好と言える。通砂運用の基準流量の解析結果においては、全てのケースにおいて、2017年8月に通砂中止となった700 m³/s以下の出水を表現できていた。山須原ダム地点における流出解析結果を図-3に示す。2017年9月の台風18号時の山須原ダム地点における観測された日平均流入量は678 m³/sであった。それに対してケース1では411 m³/s、ケース2では521 m³/s、ケース3では706 m³/sであった。このことから、降雨量の変化に応じて予測されたダム流入量は、概ね通砂基準流量を下回っており、空振りのリスクを低減できる可能性があることが考えられた。

謝辞：本研究は九州電力株式会社からデータを提供頂いた。また、科学研究費補助金(16H02363, 風間聡; 17H03314, 赤松良久)の助成を受けた。併せて深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 宮崎県, 耳川水系総合土砂管理計画, 2013.
- 2) 国土交通省国土計画局, 国土数値情報製品仕様書
- 3) FAO, Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements.FAO: 110-114, pp.163-165, 1998.
- 4) Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., River flow forecasting through conceptual models part I – a discussion of principles. Journal of Hydrology, Vol. 10, pp.282-290, 1970.