

分布型流出モデルにおけるサブ流域スケールに応じたパラメータの変動特性に関する基礎的研究

中村 晃基^{1*}・佐藤 憲弥¹・山田 正³

¹中央大学大学院理工学研究科（〒112-8511東京都文京区春日1-13-27）

³中央大学理工学部（〒112-8511東京都文京区春日1-13-27）

* E-mail: a13.cs7m@g.chuo-u.ac.jp

本研究では、サブ流域の平均面積のスケールの違いが下流端の流量に与える影響を分析するために、利根川上流域を対象としてサブ流域の分割数を変えることで流出解析を行い、サブ流域のスケールの違いが与えるパラメータの変動特性へ与える影響を検証した。なお、鉛直浸透機能を考慮した流出モデルを使用し、流出パラメータは全て同一の値を与えた。対象降雨イベントは2013年台風第18号と2015年関東・東北豪雨である。その結果、2013年台風第18号では、サブ流域の平均面積のスケールが大きくなるに従いピーク流量が大きくなり、2015年関東・東北豪雨では、サブ流域のスケールが最も小さい条件の結果が実測値のピーク流量をよく再現することが分かった。また、各サブ流域に応じたパラメータの同定を行った結果、2013年の降雨イベントでは、サブ流域のスケールが大きくなるに従い鉛直浸透量のパラメータが大きくなることが分かった。

Key Words :sub-basin, runoff model, runoff parameter

1. 研究背景

IPCC(気候変動に関する政府間パネル)¹⁾の第5次報告書によると、気候変動の進行に伴い豪雨の頻度増加と洪水災害の激甚化が懸念され、洪水被害者数が3倍に増加すると報告されている。特に日本と比較して河川整備の進んでいない新興国においては、今後甚大な洪水被害が顕著に表れると予想されている。洪水被害を抑制するためには、河川の洪水流量を求める必要がある。しかし、現在新興国における水文データの観測精度の低さや、数値標高データ(DEMデータ)の水平解像度の低さ等が原因で、高精度の流出解析を行える環境が整っていない。水文データの精度に関しては山田ら²⁾による既往の研究があるため、本研究ではDEMデータの解像度について着目した。新興国のような解像度が低いDEMデータを用いて流域を作成する際、サブ流域が粗くなるため、本研究の目的はサブ流域の分割数を変えることでサブ流域の粗い流域を想定し、流出解析(斜面計算と河道計算)を行い、サブ流域のスケール(平均支配面積)に応じた流出パラメータの変動特性に関し

て分析した。

2. 降雨流出解析の概要

(1) 流出計算手法

本研究では、吉見・山田ら³⁾の提案した鉛直浸透機能を考慮した分布型流出モデルを用いた。以下の(1)～(3)式はその基礎式である。

$$\frac{dS_n}{dt} = V_{n-1} - r_{nm} - V_n \quad (1)$$

$$\begin{cases} r_{nm} = 0 & (s_n < h_{nm}) \\ r_{nm} = a_{nm}(s_n - h_{nm}) & (s_n \geq h_{nm}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\frac{dq_{nm}}{dt} = \alpha_{nm} q_{nm}^{\beta_{nm}} (r_{nm} - q_{nm}) \quad (3)$$

$$\text{ただし, } a_0 = aL^{\beta-1} = (m+1)\alpha^{\frac{1}{m+1}}L^{\frac{-1}{m+1}} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{m}{m+1} \quad (5)$$

ここで、 q_* : 流出高 [mm/h], $r(t)$: 有効降雨強度 [mm/h], L : 斜面長 [m], m : 流出パラメータ [無次元] (抵抗則), a [無次元]: 流出特性, n [無次元]: 対象の土層数, m [無次元]: 各層における側方成分の

数, S_n :各層の土壌内水[mm], $Vn(=b_{n-1}S_{n-1})$:各層の鉛直浸透量[mm/h], r_{nm} :有効降雨量[mm/h], h_{nm} :流出成分発生の閾値[mm], q_{nm} :各層から流出する単位幅流量[mm²/h], a_{nm} , b_n :各層の透減率に関する比例定数[1/h], α_{nm} , β_{nm} :単一斜面における降雨流出の基礎式で(4), (5)式の a_0 , β にそれぞれ対応する. 本研究では2段3層の分布型流出モデルを用い, パラメータは全部で14個ある. このモデルは, 山田⁴⁾によって提案された単一斜面によって提案された単一斜面における降雨流出の基礎式と, 山腹斜面が複数の層で構成されていると考え, 各層における鉛直浸透量と流出に寄与する雨量の連続関係から得られた鉛直浸透機能を組み合わせた分布型流出モデルである. 河道計算に関しては, MIKE11を用いて Saint-Venant 方程式と連続式からなる1次元不定流計算を行った.

(2) 対象流域の概要

本研究では, 日本の利根川上流域(流域面積:5,110km²)を流出解析の対象とした. 利根川上流域は日本で河川整備体制が整っている流域の1つであり, 流出解析に必要な水文・数値標高データが十分揃っているため, 本研究の比較検証ができると判断したからである. また, 利根川上流域で比較的大きな出水が確認された2013年9月の台風第18号, 2015年9月の関東・東北豪雨を本研究の対象降雨イベントとした. 対象流域の流域と河道網を作成するために, 国土地理院が公開している水平解像度10mのDEMデータを用いた. サブ流域の粗い流域を仮想的に再現するために, サブ流域の平均スケールがそれぞれ約40, 60, 100, 170, 500km²となるように流域と河道網を作成し, 流出解析に使用した.

3. 結果

(1) 同じ流出パラメータを用いた河道計算

本研究では, 2013年台風第18号と2015年関東・東北豪雨を対象降雨イベントとした. そして, それぞれの降雨イベントにおいてC-bandレーダによる観測雨量と地上雨量計による観測雨量を用いて河道計算を行った. パラメータは最もサブ流域の平均スケールが小さい40km²の条件における2013年台風第18号C-band観測雨量を用いたハイドログラフを実測値のピーク流量に合わせて, それを他の条件における流出解析に用いた. 図-3(a), 図-3(b)は, 2013年台風第18号を対象降雨イベントとした河道計算の結果である. これらの図ではサブ流域の平均スケールが40, 60, 100, 170, 500km²の条件の流域を用いて計算した結果を比較している. 図-3(a)において,

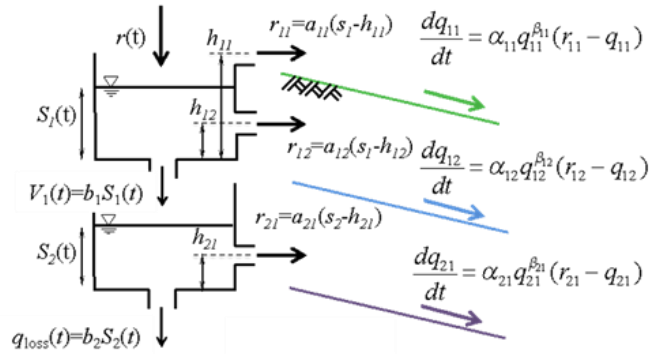


図-1 本研究で用いる降雨流出モデルの概念図

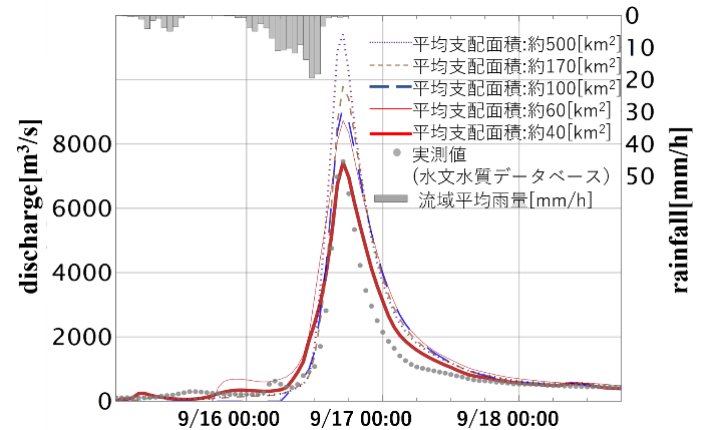


図-3(a) 2013年台風第18号
C-band レーダの河道計算結果

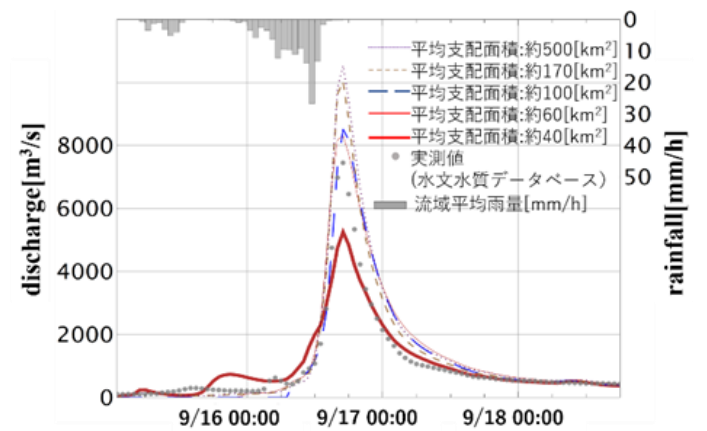


図-3(b) 2013年台風第18号
地上雨量計の河道計算結果

サブ流域の平均スケールが大きくなるに従って, ピーク流量が増加する傾向が見られた. 図-3(b)においても, 図-3(a)と類似した傾向が見られたが, 図-3(a)と異なりサブ流域の平均スケールが60km²の条件で行った河道計算の結果が実測値のピーク流量に最も近かった. また, ピーク発生時間に関して, C-bandの観測雨量と地上雨量計による観測雨量を用いた河道計算の結果は極めて一致していた. 図-4(a),

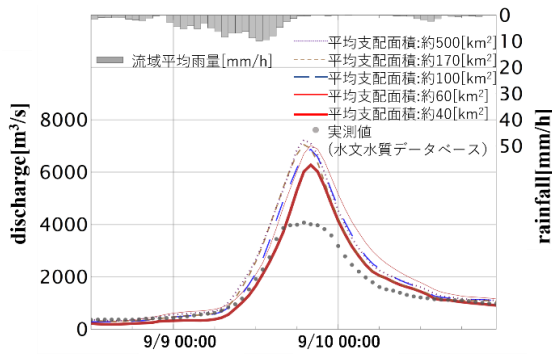


図-4 (a) 2015 年関東・東北豪雨:C-band レーダの河道計算結果

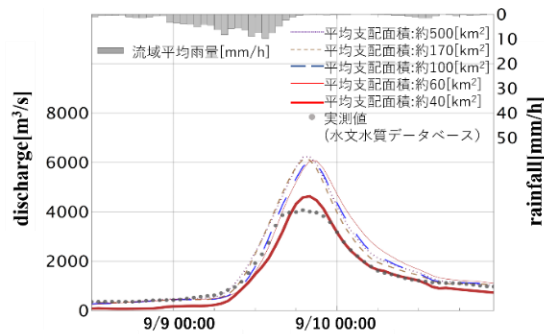


図-4 (b) 2015 年関東・東北豪雨:地上雨量計の河道計算結果

図-4 (b) は、2015 年関東・東北豪雨とした河道計算の結果である。サブ流域の平均スケールが最も小さい 40km² の条件の計算結果が実測値のピーク流量に近かった。

(2) パラメータ同定とその後の河道計算

利根川流域内の草木ダム流域(流域面積:254km²)における過去の19個の降雨イベントを対象にパラメータを同定し、その結果から b_1 [1/h], b_2 [1/h], a_{12} のパラメータが変動係数が高いことが分かった。しかし、 b_2 [1/h], a_{12} のパラメータを変えて流出解析を行った結果、ハイドログラフに大きな変化が見られなかったため、 b_1 [1/h] のパラメータのみを変え、実測値のピーク流量に合うようにパラメータの同定を行った。対象の降雨イベントは2013年台風第18号のC-bandレーダの観測雨量である。図-5はパラメータの同定後に河道計算を行った結果である。図-6に示すように、サブ流域のスケールが大きくなるに従って、鉛直浸透量のパラメータ b_1 [1/h] が大きくなる傾向が表れた。

4. まとめ

2013年台風18号の河道計算については、サブ流域のスケールが大きくなるに従ってピーク流量が大きくなる傾向が見られた。そして、2015年関東・東北

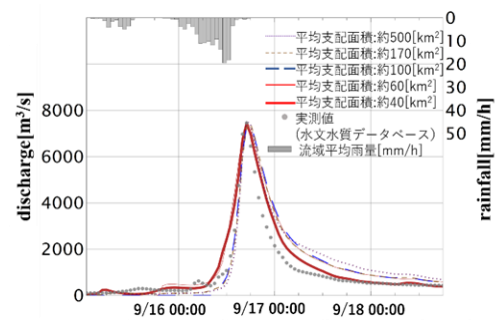


図-5 パラメータ同定後の河道計算の結果

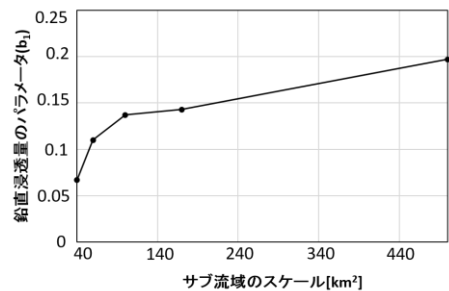


図-6 サブ流域の平均スケールとパラメータ b_1 の関係性

豪雨の河道計算については、サブ流域のスケールが最も小さい40km²の条件で行った計算結果が最も実測値のピーク流量に近かった。また、2013年台風第18号のC-bandレーダ観測雨量を用いた流出解析において、サブ流域のスケールに応じたパラメータを同定した結果、サブ流域のスケールが大きくなるにつれ、鉛直浸透量のパラメータ b_1 [1/h] が大きくなる傾向が表れた。

謝辞： 論文中の河道計算において、著者らはデンマーク水理環境研究所 (DHI) が開発した水理計算ソフト MIKE11 を用いている。ここに深甚なる感謝の意を表す。

参考文献

- 1) IPCC: the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014.
- 2) 佐藤憲弥, 諸岡良優, 山田正: 水文データの空間解像度が流出解析の精度に与える影響 第44回土木学会関東支部技術研究発表会, 2017.
- 3) 吉見和紘, 山田正: 鉛直浸透機構を考慮した流出計算手法の長短期流出解析への適用, 土木学会水工学論文集, Vol.70, pp.367-372, 2011.
- 4) 山田正: 山地流出の非線形性に関する研究, 水工学論文集, 第47巻, pp.259-264, 2003.