

開析程度の異なる山地流域における降雨流出特性の違い

長田知也（静大院総合科学技術研究科）・今泉文寿・逢坂興宏（静大農）

山地流域の流出特性を把握することは、森林の洪水緩和機能および水源涵養機能の適切な評価を行う上で重要である。本研究では、山地流域を対象に開析程度の異なる流域で、流出高と EC（電気伝導度）の観測ならびにタンクモデルによる解析を行い、降雨流出特性について比較検討した。観測結果から、開析程度の低い流域では、開析程度の高い流域と比較して、基底流出高が高く、EC が高くなる傾向がみられた。また、解析結果から開析程度の低い流域では、地下水流出が多くなることが考えられた。これらの結果から、開析程度の低い流域では降雨が貯留されゆっくと流出しやすいと考えられる。

キーワード：開析程度、降雨流出特性、タンクモデル

I はじめに

山地流域の流出特性を把握することは、森林の洪水緩和機能および水源涵養機能の適切な評価を行う上で重要である。降雨流出特性に影響を与える要因として地質や植生が挙げられる（加藤ら 2001, 境ら 2009）。また、土層厚などの土壌条件や傾斜などの地形条件が異なると流出特性が異なることも示されてきた（小杉 2007, 田中・鈴木 2007）。本研究では、降雨流出特性に影響を与えると考えられる流域の開析程度に着目し、開析程度の異なる流域で流出高と EC（電気伝導度）の観測、ならびにタンクモデルによる解析を行い、流域の降雨流出特性について比較検討した。

II 方法

1. 調査地概要

調査地は静岡県榛原郡川根本町の榛原川流域である（図-1）。その支流を A 流域とし、A 流域内に開析程度の異なる流域として B 流域、C 流域を設け、各流域の末端に全幅堰を設置した。標高は A 流域が 740～1100 m、B 流域 800～1020 m、C 流域 800～1100 m である。地質は白亜紀の寸又川層群に属し、砂岩と泥岩の互層からなる。植生はスギの人工林であり、流域間で大きな違いはみられない。表-1 に各流域の概要を示す。B 流域は傾斜が緩く起伏量も小さい、開析程度の低い流域で、C 流域は傾斜が急で起伏量も大きい、開析程度の高い流域である。

2. 調査方法

それぞれの全幅堰に水位計（S&DLmini, 応用地質社製）を取り付け、水位を 5 分間隔で記録した。観測期間は 2016 年 6 月から 2017 年 7 月までである。観測された水位から流量を次式により算出した。

表-1. 各流域概要

流域	平均面積 (km ²)	平均傾斜 (°)	平均起伏量 (m)	流路長 (km)	開析程度
A 流域	0.119	38.5	22.3	0.41	-
B 流域	0.047	34.4	20.6	0.07	低い
C 流域	0.044	42.0	25.1	0.25	高い

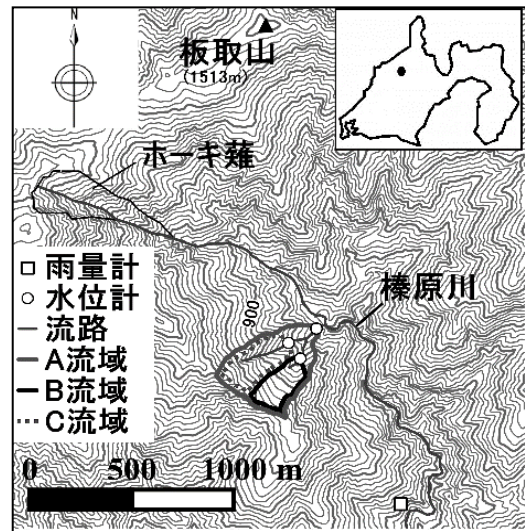


図-1. 調査地位置図

$$Q = 1.838 \times B \times h^{3/2} \times 60$$

Q は流量 (m³/min), B は水路の幅 (m), h は堰の水位 (m) である。また、現地調査の際に A～C 流域内の計 13 か所で EC 計 (CM-14P, TOA 社製) を用いて EC を直接計測した (図-2)。なお、計測日と計測日における先行する 3 日間と 10 日間の降雨量は表-2 に示すとおりである。降雨量は 0.5 mm 転倒マス型雨量計を用いて 5 分間隔で記録した。

OSADA Tomoya*, IMAIZUMI Fumitoshi, OHSAKA Okihiro

開析程度の異なる山地流域における降雨流出特性の違い

m3o7o1n5@yahoo.co.jp

Rainfall runoff characteristics in mountainous watersheds with different degrees of dissection

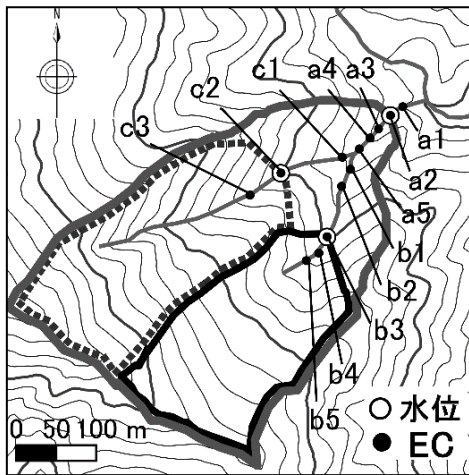


図-2. 水位およびEC計測地点

表-2. 計測日および先行する3日間と10日間の降雨量

計測日	先行する3日間の降雨量(mm)	先行する10日間の降雨量(mm)
2016/6/4	0	40
2016/6/17	11	50
2016/7/10	85	85
2016/8/16	30.5	31.5
2016/9/9	152.5	177.5
2016/10/10	68	122
2016/10/15	0	96.5
2016/11/12	32	48
2016/12/15	46.5	50

3. 解析方法

流域の流出特性を比較するため、タンクモデルによる解析を行った。既往研究では、流域の水文特性をできるだけ少ないパラメーターで表し、2つの流域の比較を行いやすくするという理由で直列3段タンクモデルが採用されている(戸田ら 2009)。そこで、本研究でも直列3段タンクモデルを採用した(図-3)。ここでは、上段タンクからの流出が表面流出、中段タンクからの流出が中間流出、下段タンクからの流出が地下水流出に相当するものと考えた。

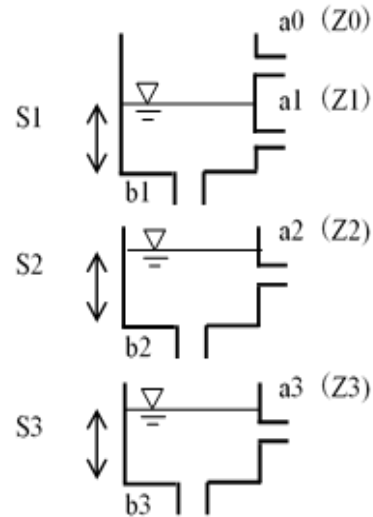


図-3. タンクモデル

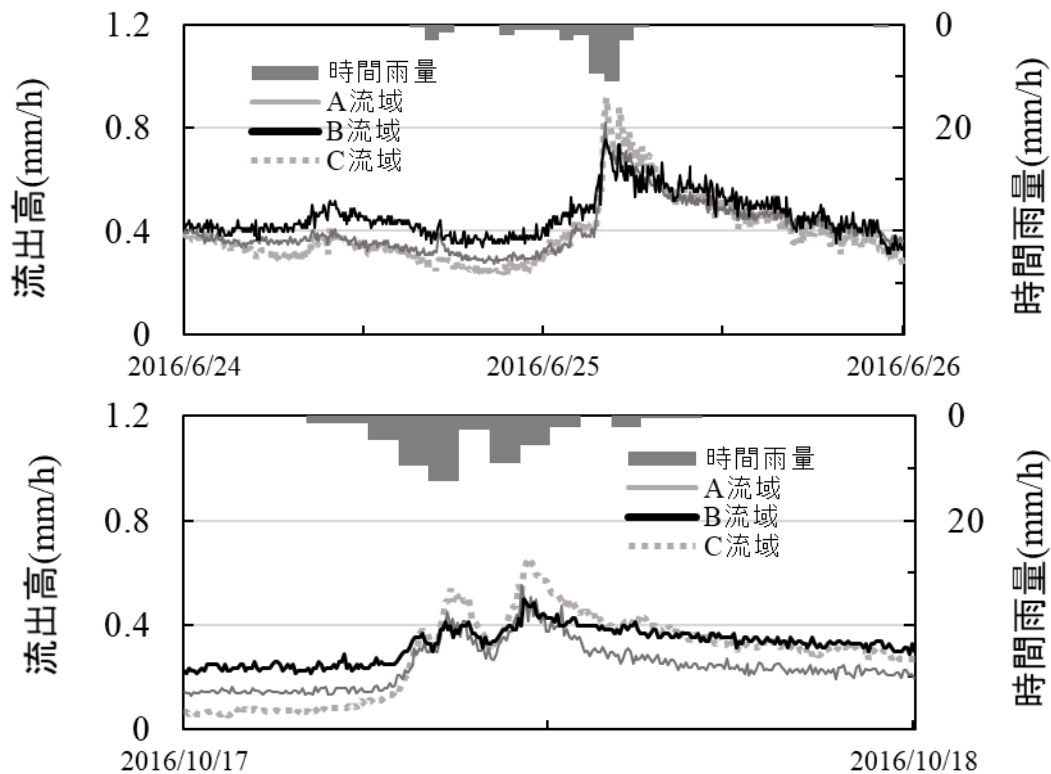


図-4. ハイエト・ハイドログラフ

同定すべきタンクモデルパラメーターは流出孔係数 $a_0 \sim a_3$, 浸透孔係数 $b_1 \sim b_3$, 流出孔の高さ $Z_0 \sim Z_3$, 初期水深 $S_1 \sim S_3$ の計 14 個である。本研究では、大域的探索法の一つである SCE-UA 法を用いて、モデルパラメーターの同定を行った (Duan ら 1994)。なお、SCE-UA 法の操作パラメーターには Duan ら (1994) の推奨値を採用し、集団数 p とタンクモデルパラメーターの探索範囲 (上限値と下限値) は田中丸 (1995) を参考に設定した。また、誤差評価関数には RMSE を採用した。解析は日単位の降水量と流出高のデータを用いて行い、解析期間は観測期間内の欠測期間を除いた、2016 年 6 月 20 日から 2016 年 9 月 9 日、2016 年 10 月 16 日から 11 月 12 日、2017 年 6 月 19 日から 2017 年 7 月 18 日である。

III 結果と考察

図-4 に 2016 年 6 月 24 日から 6 月 26 日と 2016 年 10 月 17 日から 10 月 18 日のハイエト・ハイドログラフを示す。各流域とも降雨に敏感に反応した流量の増加がみられ、降雨ピークに対する流出ピークの遅れに差はみられなかった。ピーク流出高についてみると、6 月 24 日から 6 月 26 日の降雨イベントでは、開析程度の低い B 流域で 0.75mm/h 、開析程度の高い C 流域で 0.92mm/h であった。また、10 月 17 日から 10 月 18 日の降雨イベントでは、B 流域で 0.50mm/h 、C 流域で 0.65mm/h であり、開析程度の低い B 流域のほうが開析程度の高い C 流域と比べ、ピーク流出高は小さかった。一方、基底流出高についてみると、開析程

度の高い C 流域と比較して開析程度の低い B 流域のほうが高かった。

図-5 に各地点において計測した (全 9 回) EC の平均値を示す。EC の平均値は C 流域ではおよそ $4\text{--}5\text{mS/m}$ 、B 流域ではおよそ 6mS/m を示し、B 流域のほうが高い値を示す傾向にあった。地中水の滞留時間が長いほどイオン濃度が高くなること (辻村ら 2001) や、浅い層の地下水に比べ、深い層の地下水のイオン濃度が高いこと (島田ら 1992) から、開析程度の低い B 流域のほうが、降雨が長く地中に留まり、深い層からの流出が多くなると考えられる。

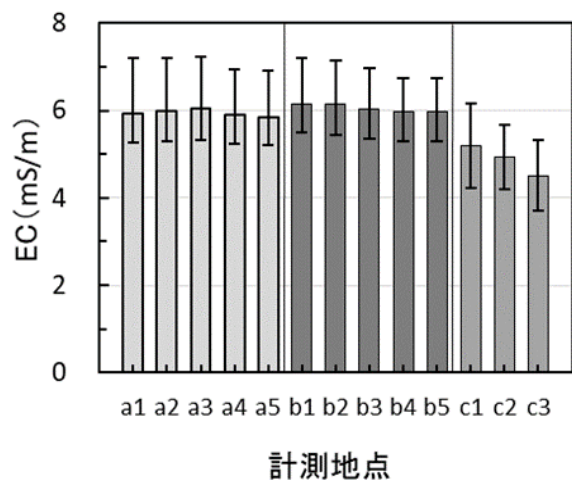


図-5. 各計測地点における EC の平均値
バーは最大値・最小値を示す

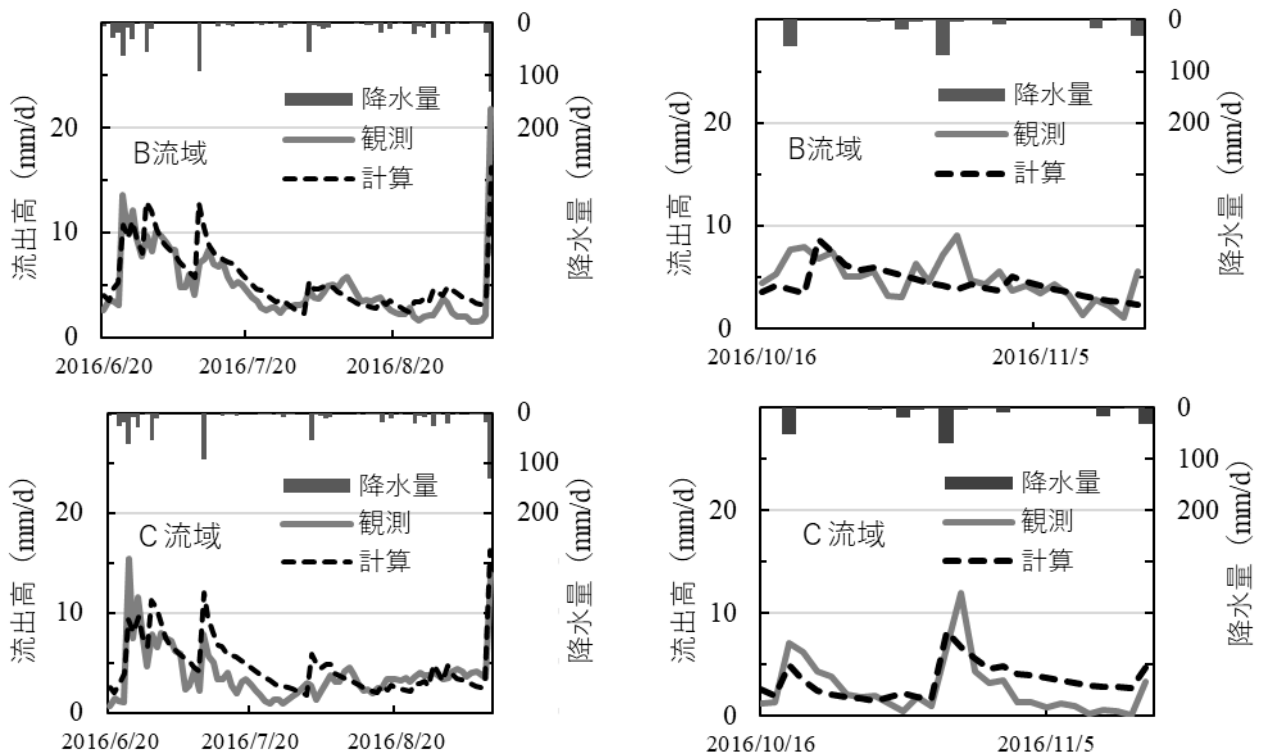


図-6. タンクモデルによる流量の計算結果

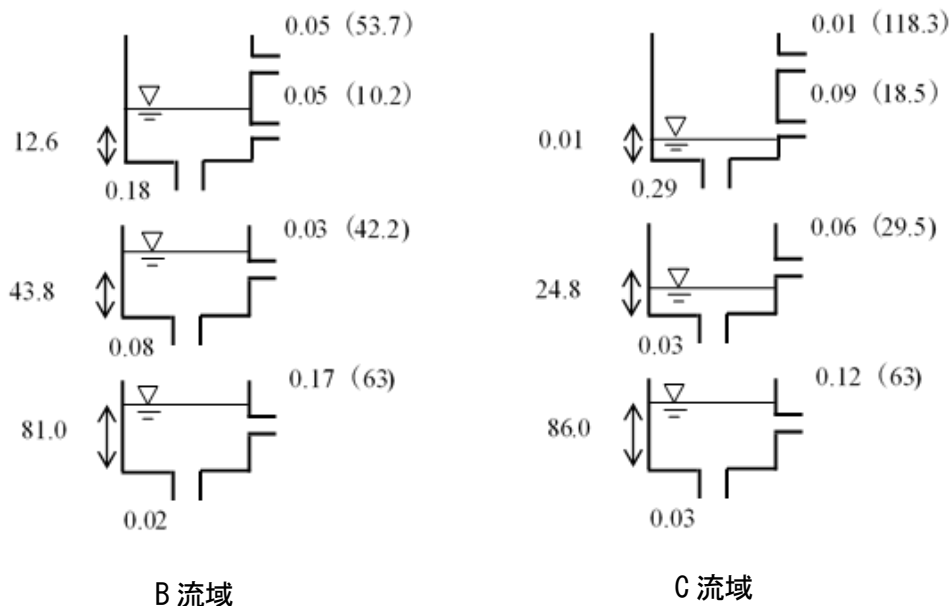


図-7. 同定したタンクモデルのパラメーター

図-6に2016年6月20日から2016年9月9日と2016年10月16日から11月12日のタンクモデルによる計算結果を示す。計算値と観測値で若干のずれはあるものの、比較的よい一致を示した。図-7に同定したタンクモデルのパラメーターを示す。タンクモデルのパラメーターを2つの流域で比較すると、上段タンクの下側の流出孔係数(a1)はB流域が0.05、C流域が0.09となっており、中小規模の降雨ではC流域のほうが表面流出として流出しやすいと考えられる。大規模な降雨時のみ流出のある、上段タンクの上側の流出孔の係数(a0)は、B流域が0.05、C流域が0.01となっており、大規模な降雨時にはB流域の流出も多くなることがわかる。下段タンクの流出孔係数(a3)はB流域が0.17、C流域が0.12となっていることから、B流域のほうが地下水流出として流出しやすいと考えられる。これらの結果は、開析程度の低いB流域ではピーク流出高が低く、基底流出高が高いという観測結果の特徴と調和的であった。

IV 結論

開析程度の低いB流域では、開析程度の高いC流域に比べ、ピーク流出高が低く、基底流出高が高いことがわかった。また、B流域では他の流域と比べECの値が高いという結果がみられた。タンクモデルによる解析では、開析程度の高いC流域では降雨が表面流出として流出しやすく、開析程度の低いB流域では降雨が地下水流出として流出しやすいことが考えられた。これらの結果から開析程度の低い流域では降雨が貯留されゆっくと流出しやすいと考えられる。

引用文献

- (1) Duan Q, Sorooshian S, Gupta VK (1994) Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. *Journal of Hydrology* 158: 265-284
- (2) 加藤祐子・恩田裕一・水山高久・小杉 賢一朗・吉川 愛・辻村真貴・秦 耕二・岡本正男 (2000) 揖斐川上流の地質の異なる流域における流出の遅れ時間の違い. *砂防学会誌* 53(4):38-43
- (3) 小杉 賢一朗 (2007) 森林の水源涵養機能に土層と透水性基岩が果たす役割の評価. *水文・水資源学会誌* 20(3):201-213
- (4) 境 優・平野智章・青木文聡・寺嶋智巳・夏原由博 (2009) 森林植生の樹種および管理状態が小流域の短期流出特性に及ぼす影響. *日本緑化工学会誌* 35(2):306-317
- (5) 島田緑子・大手信人・徳地直子・鈴木雅一 (1992) 山地小流域における地下水・渓流水の SiO₂ 濃度 形成. *水文・水資源学会誌* 5:3-11
- (6) 田中丸治哉 (1995) タンクモデル定数の大域的探索. *農業土木学会論文集* 178: 103-112
- (7) 田中基樹・鈴木啓助 (2007) 山岳地の渓流水質形成に及ぼす流域平均傾斜の影響. *日本水文科学会誌* 37(3):115-121
- (8) 辻村真貴・恩田裕一・小松陽介・清水卓弘・松村 和也・服部重昭・中川有里・松井孝子 (2001) 礫層および風化花崗岩からなる丘陵地源流域における流出・水質特性. *水文・水資源学会誌* 14: 229-238
- (9) 戸田政仁・武田育朗・宗村広昭・井手淳一郎 (2009) 間伐遅れの針葉樹人工林における水文特性とタンクモデル定数の関係. *応用水文* 21: 1-9