

土砂流出に関わる流域特性による河川の類型化 と形成される河道タイプについて

CLASSIFICATION OF RIVER LANDSCAPE AND CHANNEL TYPE
FROM CHARACTERISTICS OF SEDIMENT RUNOFF

高岡 広樹¹・大石 哲也¹・原田 守啓¹・萱場 祐一²

Hiroki TAKAOKA, Tetsuya OHISHI, Morihito HARADA and Yuichi KAYABA

¹ (独) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地)

² (独) 土木研究所 水環境研究グループ 河川生態チーム (〒300-2621 茨城県つくば市南原1-6)

Key Words: sediment runoff, watershed landscape, river maintenance, river management

1. はじめに

日本の河川の多くは、都道府県の管理する中小河川であり、その延長は、国が管理するような大規模な河川に比べ非常に長く、一級水系だけでも約77,000kmに及ぶ¹⁾。また、中小河川では、財政面の制約などが厳しく、河道の計画や設計の際に必要な河道縦横断測量や水位・流量の観測、さらに、改修後のモニタリングや維持管理についても十分行っていない河川も多い。

そのような状況の中、平成22年8月、国土交通省より「中小河川に関する河道計画の技術基準」が通知され、河道計画を行う際に維持管理についても考慮するよう求められている。

著者らは、中小河川の効率的・適確な維持管理手法の提案を大きな目標としており、まず、岐阜県内の中小河川を対象に、維持管理に関するアンケート調査を行い、対象河川の現地調査を行った。現地調査を基に河道タイプを分類し、維持管理との関連について考察した。その結果、住民の利用を含めて計画することで維持管理が容易になる可能性があることが分かった²⁾。

効率的な維持管理計画の策定には、改修後の河道がどのように変化するか予測しなければならない。

また、洪水や土砂災害による被災危険性についても検討する必要がある。河床低下が起因となり護岸被災へと繋がるのが指摘されている。河道の変動は、土砂の移動によって決まるため、形成される河道の予測には、流出土砂量を評価する必要がある。

流出土砂量を評価するアプローチの1つとして、ダム貯水池における堆砂量の経年変化に着目した研究^{3), 4)}がある。しかしながら、対象は大規模な流域を持つダムがほとんどであり、土砂流出の影響要因を特定できているとは言いがたい。

また、土砂流出は、流域の規模、地形・地質、地被条件、水文・気象条件、河道の水理特性、さらには人為的諸作用が支配要因とされており⁵⁾、これらの要因が複雑に関係しているため、流出土砂量の評価は非常に難しいのが現状である。

そこで、本研究では、流出土砂量を規定している流域の様々な特性値から、形成される河道タイプが予測できるかどうかについて調べた。対象とした河川は、岐阜県内の中小河川である。まず、対象河川流域ごとに特性値を整理する。次いで、それら特性値を用いて対象河川のグループ化を行い、得られたグループごとの特徴を把握する。最後に、現地調査結果による実際の河道断面を参考に、グループごとに形成される河道タイプについて考察する。

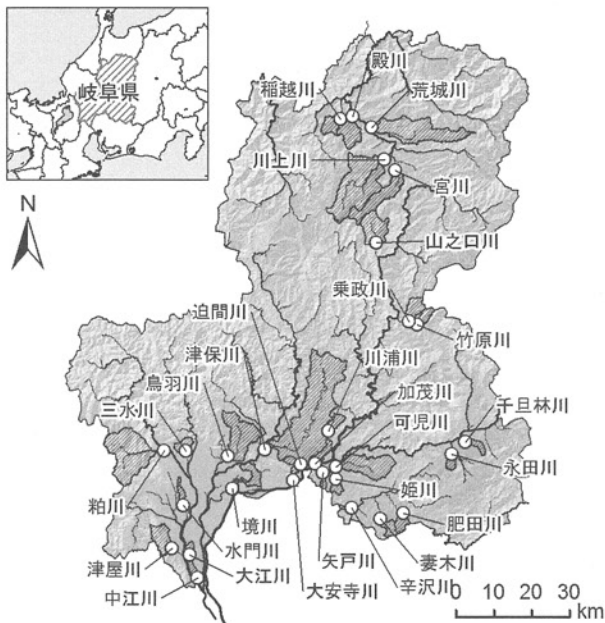


図-1 対象河川位置図

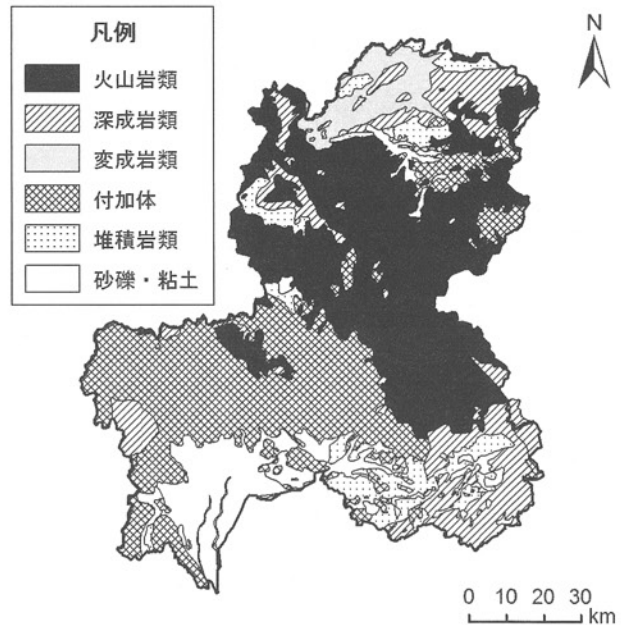


図-2 岐阜県の表層地質図

2. 土砂流出に関わる流域特性の整理

本研究で対象とした河川は、前報²⁾で対象とした岐阜県の31河川のうち、流域面積が1km²以下の河川を除いた29河川とした。図-1に対象河川の位置図を示す。ここに、○印は前報において現地調査を行った地点であり、その流域を斜線部で示している。

本研究では、土砂流出に関わる流域特性として、データ入手の容易さや系統的に処理できることなどを勘案し、被覆特性と地形特性を考慮し、地理情報システム(GIS)を用いて対象河川流域ごとに特性値を整理した。

(1) 被覆特性

降雨の流出は、土地利用ごとに流出量などが異なるため、土砂流出量も土地利用に影響されると考えられる。また、田代ら⁶⁾の研究では、表層地質の構成により土砂生産特性が異なると示唆されている。そこで、本研究では、土地利用と表層地質を流域の被覆特性として考慮する。

a) 流域の土地利用

土地利用については、国土交通省国土数値情報で公表されている「平成18年度土地利用細分メッシュデータ」を使用した。区分は、「森林」、「市街地」、「畑地」、「田」、「水域」、「荒地」の6区分に再分類し、対象流域ごとに面積割合を整理した。

b) 表層地質

国土交通省の土地・水資源局国土調査課で公表されている50万分の1土地分類基本調査の表層地質図

を使用し、対象流域ごとに表層地質の構成割合を整理した。区分として、岩石の生成要因を考慮して、「火山岩類」、「深成岩類」、「変成岩類」、「付加体」、「堆積岩類」、「砂礫・粘土」の6区分に再分類した。図-2に岐阜県の表層地質図を示す。北東部は主に火山岩や深成岩類から成り、南西部は付加体や砂礫・粘土から成っている。

(2) 地形特性

地形特性としては、鈴木⁷⁾、田代ら⁶⁾に倣い、基本地形量より算出される誘導地形量と、流域の平均傾斜を考慮した。また、気象条件である年平均降水量についても地形特性として考慮し、対象流域ごとに整理した。

a) 誘導地形量

国土地理院発行の5mメッシュ標高データ(未整備地域では10mメッシュ標高データ)を使用し、まず、対象流域ごとに種々の基本地形量(表-1)を算出し、基本地形量の組み合わせによる誘導地形量(表-2)を整理した。ここで、流域の平面形状はハイドログラフを制約し、また、起伏状態は流域の水や土砂の流出の制限要因になることが知られている⁷⁾。面積高度比曲線は、面積と標高をそれぞれ0から1に基準化した比面積と比高の関係を示し、この曲線を積分した比積分値は、小さいほど低標高地の面積が大きく、流域全体の侵食・堆積傾向を示す指標であるとされている⁷⁾。

b) 流域の平均傾斜

流域の傾斜は、水や土砂の流出に大きく影響すると考えられるため、流域の平均傾斜を算出した。具

表-1 基本地形量

基本地形量	記号	定義
谷口高度	H_{min}	流域の谷口の高度
最遠点高度	H_{dis}	谷口から分水界上の最遠点高度
最高点高度	H_{max}	流域内の最高点高度
最大起伏	h_{max}	$H_{max} - H_{min}$
流域起伏	h_b	$H_{dis} - H_{min}$
流域最大径	L_{max}	谷口から H_{dis} 地点までの距離
最高点距離	L_h	谷口から H_{max} 地点までの距離
流域縁辺長	P_b	主分水界の長さ
流域面積	A_b	流域面積
水流の次数	ω	Strahlerの流路次数
ω 次の水流本数	N_ω	ω 次の水流の本数
ω 次の水流長さ	L_ω	ω 次の水流の長さ

表-2 誘導地形量

	誘導地形量	記号	定義
平面形状	円形度	R_c	$4\pi A_b / P_b^2$
	伸長率	E_b	$2A_b^{0.5} / \pi^{0.5} / L_{max}$
谷密度	1次水流頻度	F_1	N_1 / A_b
	水流頻度	F_s	$\sum N_\omega / A_b$
	水流密度	D_d	$\sum L_\omega / A_b$
起伏状態	起伏比	R_h	h_{max} / L_h
	相対起伏	R_{hp}	h_{max} / P_b
	粗度数	N_r	h_{max} / D_d
	流域傾斜	θ_b	h_b / L_h
高度分布	面積高度比曲線の比積分値	S_v	本文中で解説

体的には、標高データの各メッシュについて最大傾斜角を計算し、対象流域内の相加平均値を平均傾斜として整理した。

c) 年平均降水量

一般に土砂は、洪水時に大きく移動していると考えられ、降水量が土砂流出に関係していることは明らかである。そこで、対象河川の最寄のアメダス観測所について、気象庁が公表している年間の平均降水量を整理した。

3. 流域特性による河川の分類

土砂流出に関わる流域特性を基に対象河川の類型化を行う。類型化に用いる説明変数として、流域の被覆特性は、土地利用 6 種、表層地質 6 種の計 12 変数であり、地形特性は誘導地形量 10 種、平均傾斜、平均降雨量の計 12 変数である。そこで、説明変数を減らすため、被覆、地形特性それぞれについて主成分分析を行い、得られた上位のスコアを用いてクラスター解析によりグループ分けを行う。

(1) 主成分分析

a) 被覆特性

土地利用割合と表層地質割合について、計 12 変数

表-3 各主成分の因子負荷量と寄与率（被覆特性）

		第1主成分	第2主成分	第3主成分
土地利用	森林	-0.50	-0.13	0.02
	市街地	0.34	0.34	-0.03
	田	0.44	-0.21	-0.04
	畑地	0.18	0.32	-0.16
	水域	0.31	-0.45	0.08
	荒地	-0.07	0.28	0.32
表層地質	火山岩類	-0.25	-0.40	-0.27
	深成岩類	-0.17	0.04	-0.05
	変成岩類	-0.12	0.00	-0.28
	付加体	0.00	0.49	-0.40
	堆積岩類	-0.09	0.13	0.74
	砂礫・粘土	0.45	-0.15	0.05
寄与率 (%)		31.4	15.4	11.9

表-4 各主成分の因子負荷量と寄与率（地形特性）

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	
円形度	0.19	0.50	-0.54	
伸長率	0.26	0.61	0.08	
水流頻度	0.14	0.11	0.74	
起伏比	0.46	0.10	-0.06	
粗度数	0.46	-0.31	-0.02	
比積分値	0.29	-0.37	-0.33	
平均傾斜	0.47	-0.30	0.06	
年平均降水量	0.38	0.19	0.21	
寄与率 (%)		41.6	20.5	14.9

を用いて主成分分析を行った。表-3 に結果を示す。表-3 は、各変数と第 1, 第 2, 第 3 主成分との相関（因子負荷量）を示しており、数値の絶対値が大きいほど相関が高く、寄与率はその主成分が全体に対しどの程度寄与しているのかを示している。表-3 より第 1 主成分は、砂礫・粘土の負荷量が 0.45、田の負荷量が 0.44 と高く、森林が-0.50 と逆の関係が見られた。一般に低地ほど砂礫・粘土の割合が高く、田が多くなり、森林の割合は低いため、第 1 主成分は標高に関する指標と考えることができる。一方、第 2 主成分は、付加体の寄与率が 0.49 と高く、マイナス方向に火山岩類(-0.40)が寄与している。また、第 3 主成分は堆積岩類の寄与率が 0.74 と高く、第 2, 第 3 主成分ともに地質に関係した指標と考えることができる。第 3 主成分までの累積寄与率は約 60% である。

b) 地形特性

まず、10 種の誘導地形量（表-2）について、それぞれの相関係数を算出し、係数が 0.9 より大きい因子の片方を除外した。その結果、1 次水流頻度と水流密度は、水流頻度と相関が高く、相対起伏と流域傾斜は起伏比と相関が高かったため、これら 4 変数を除外し、誘導地形量として、円形度、伸長率、水流頻度、起伏比、粗度数、面積高度比曲線の比積分

値（以下、比積分値）の6変数を使用し、平均傾斜と年平均降水量を合わせた計8変数で主成分分析を行った。結果を表-4に示す。第1主成分は、平均傾斜(0.47)、起伏比、粗度数(0.46)の因子負荷量が高く、流域の起伏状態を表す指標であり、第2主成分は、伸長率(0.61)、円形度(0.50)が高く、流域の平面形状を表す指標と考えられる。第3主成分は水流頻度の負荷量が0.74と高く、谷密度を表している。第3主成分までの累積寄与率は約77%である。

(2) クラスタ分析による分類

被覆特性、地形特性の主成分分析よりそれぞれ得られた第3主成分までのスコアを用いて対象河川を分類した。本研究では、ウォード法によりクラスタ分析を行った。図-3にクラスタ分析により得られたデンドログラムを示す。図中下の数字はスコア間のユークリッド距離を示し、河川名右のアルファベットは河道タイプ(表-6参照)を示している。距離の閾値の設定により分けられるグループ数が変わってくるが、本検討では、距離6を閾値とし、4グループに分類した。表-5に各グループの特性値(平均値±標準偏差)を示し、特徴について考察する。

a) グループ①

森林の土地利用割合がおおよそ90%と高く、平均傾斜も0.52と急であり、山地河川の特徴を示している。また、表層地質は火山岩類の割合が約75%と高い。地形特性を見ると、起伏比と粗度数の値がそれぞれ0.12、1.40とグループ間で最も高く、急峻な流域であることを示している。

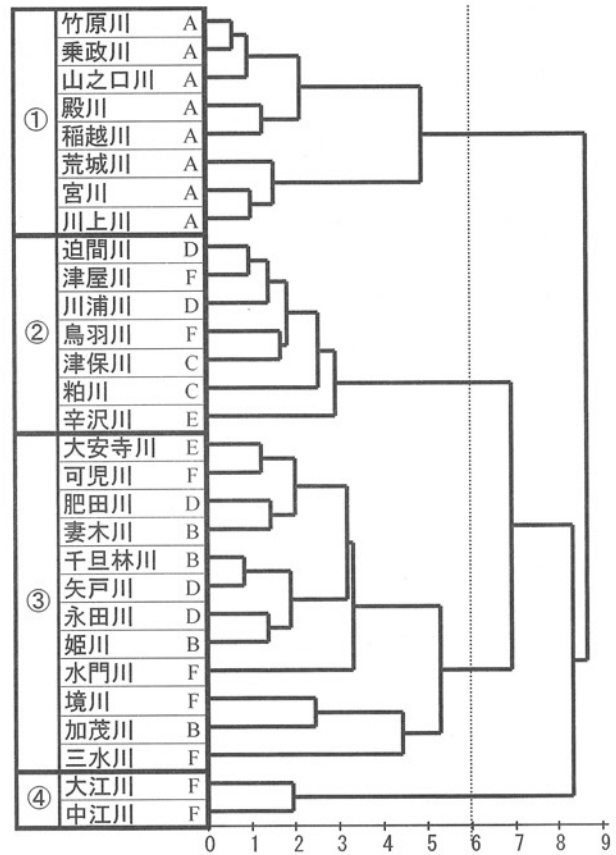


図-3 クラスタ分析により得られたデンドログラム

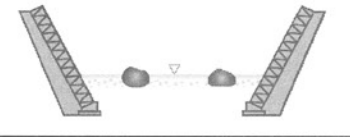



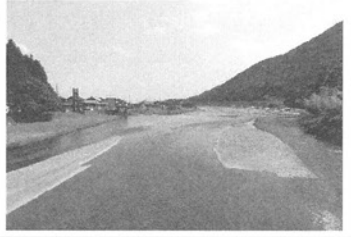
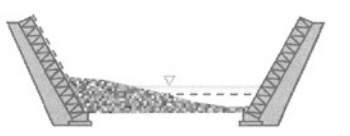
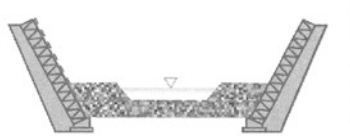
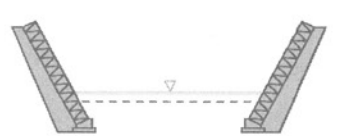



b) グループ②

森林の割合がやや高く(72%)、平均傾斜も0.42と急であり、山地近くにある河川である。表層地質を見ると、グループ①が火山岩類の割合が高いのに対し、堆積岩類の割合が約78%と高く、構成割合が異なっている。地形特性では、グループ①よりも起

表-5 クラスタ分析により分類された各グループの特性値

		グループ①	グループ②	グループ③	グループ④	
被覆特性	土地利用	森林(%)	90.4 ± 2.5	71.7 ± 15.9	46.4 ± 23.5	0
		市街地(%)	2.0 ± 1.8	12.3 ± 8.4	28.8 ± 19.7	16.5 ± 3.6
		田(%)	4.8 ± 1.9	9.6 ± 7.7	18.1 ± 7.5	76.1 ± 1.9
		畑地(%)	1.7 ± 1.1	2.4 ± 2.9	5.1 ± 6.1	1.5 ± 0.4
		水域(%)	0.5 ± 0.4	0.7 ± 0.5	0.4 ± 0.4	5.6 ± 1.8
	荒地(%)	0.6 ± 1.0	3.3 ± 6.3	1.2 ± 1.2	0.3 ± 0.3	
	表層地質	火山岩類(%)	73.8 ± 35.7	0	0	0
		深成岩類(%)	5.5 ± 8.4	4.6 ± 11.2	11.4 ± 24.3	0
		変成岩類(%)	6.1 ± 14.9	0	0	0
		付加体(%)	12.6 ± 18.7	6.0 ± 13.5	41.9 ± 37.8	0
堆積岩類(%)		1.0 ± 2.7	77.9 ± 15.9	7.8 ± 8.0	0	
	砂礫・粘土(%)	1.0 ± 1.2	11.6 ± 14.9	38.8 ± 38.3	100.0	
地形特性	誘導地形量	円形度	0.25 ± 0.08	0.23 ± 0.05	0.23 ± 0.07	0.37 ± 0.05
		伸長率	0.37 ± 0.08	0.38 ± 0.04	0.37 ± 0.08	0.39 ± 0.10
		水流頻度	0.39 ± 0.08	0.37 ± 0.06	0.41 ± 0.15	0.14
		起伏比	0.12 ± 0.05	0.08 ± 0.03	0.07 ± 0.04	0.01
		粗度数	1.40 ± 0.22	0.80 ± 0.46	0.46 ± 0.23	0.02 ± 0.01
		比積分値	0.41 ± 0.03	0.30 ± 0.08	0.30 ± 0.12	0.24 ± 0.06
	平均傾斜	0.52 ± 0.04	0.42 ± 0.11	0.20 ± 0.08	0.02	
	平均年降水量	1996 ± 248	1952 ± 271	1814 ± 218	1686	

表-6 現地調査により分類された河道タイプの特徴

河道タイプ	A. 巨礫残留型	B. 平岩川型	C. バー型
特徴	人頭大より大きな巨礫が河道に目立つ河道	平滑岩盤化した河床をもつ河道	河床にバー(砂州)が形成され、護岸の拘束がない川幅の広い河道
模式図			
イメージ			
河道タイプ	D. 拘束バー型	E. テラス型	F. 平水型
特徴	河床にバーが形成され、護岸に拘束された幅の狭い河道	低水路内に人工的にテラス部を付けた河道	低水路幅と川幅がほぼ同じで水深が深く河床が見えづらい河道
模式図			
イメージ			

起伏比 (0.08), 粗度数 (0.80) の値が小さい。

c) グループ③

グループ①, ②よりも森林の割合が約 50%と低く, 市街地の割合が約 30%と高く, 平均傾斜も緩い (0.20) ことが分かり, 山地よりも標高の低い地点にある河川である。表層地質は, 付加体と砂礫・粘土の割合がそれぞれ約 40%と高いことが分かる。円形度や伸長率の値は, グループ①, ②と同程度の値であり, 流域の平面形状は, 大きく異なっていないと考えることができる。

d) グループ④

起伏比 (0.01) や平均傾斜 (0.02) の値が最も小さく, 田 (76%) の土地利用割合が大きく, 低平地の河川である。表層地質は砂礫・粘土であり, 流出した土砂が堆積したできた三角州にある河川である。

4. 各グループの河道タイプについて

著者らは, 現地調査で得られた河道写真や横断形状を基に, 景観的に河道タイプを「A.巨礫残留型」,

「B.平岩川型」, 「C.バー型」, 「D.拘束バー型」, 「E.テラス型」, 「F.平水型」の 6 種に区分した²⁾。表-6 に分類した河道タイプとその特徴を示す。本研究により分類された河川グループごとに形成される河道タイプとの関係 (図-3 参照) について考察する。

(1) グループ①

グループ①に属する河川は, 河床に巨礫が目立ち, 砂礫が少なくやや粗粒化しており, 「A.巨礫残留型」の河道タイプを示している。主な表層地質は火山岩類であり, 一般的に堆積岩類よりも巨礫が生産されやすい条件下にある。本来なら山地河川であるため, 土砂流出は活発であると考えられるが, 河床に砂礫が少なく, 巨礫が目立つ河川が多く見られた。これは, 治山ダムなどの人工施設による土砂流出抑制の影響であると考えられる。また, 河床の巨礫は移動しにくいいため, 河床低下は生じにくいと考えられる。

(2) グループ②

グループ②の河川は, 「C.バー型」, 「D.拘束バー型」,

「E.テラス型」, 「F.平水型」の河道タイプを示している。土砂供給が活発な河川では、河道内にバーが形成されバー型の河道タイプを示し、護岸により川幅が拘束された河道では、拘束バー型となると考えられる。一方、テラス型は人工的に整備された河道タイプであり、平水型は縦断勾配の緩い河口近くで見られる河道タイプである。バー型はグループ②のみに見られ、グループ②の河川は、表層地質が主に堆積岩類から成り、細粒土砂が生成されやすい条件と考えられ、バーが形成されやすいと想定される。

(3) グループ③

グループ③は、山地よりも標高の低い場所の河川であり、「B.平岩川型」, 「D.拘束バー型」, 「F.平水型」の河道が見られる。一般に護岸により川幅が狭く拘束されている河道では、川幅が狭いため掃流力が大きく、土砂は移動しやすくなる。しかしながら、土砂供給がある場合には、河道内にバーが形成され、拘束バー型となると考えられる。一方、土砂供給がない場合は、河床侵食が卓越し、岩盤が露出し平岩川型に移行すると考えられる。平岩川型の河道は、グループ③のみに見られる。

(4) グループ④

グループ④の河川は、河口近くの低平地にある河川である。そのため、水深が大きく、河道タイプは「F.平水型」となっている。

以上をまとめると、グループ①の河川は山地河川であり、表層地質が主に火山岩類から成り、巨礫残留型の河道を示す。また、グループ④に代表される低平地の河川は、平水型の河道タイプである。一方、グループ②, ③の河川は、各河道タイプと明確に対応していないが、グループ②のみにバー型の河道が、グループ③のみ平岩川型の河道が見られ、グループ③の河川は、グループ②の河川よりも、潜在的に土砂供給が少ない可能性が示唆された。

このように、グループ②と③については、河道タイプを明確に区分できなかつた。この一因として、河道タイプは、流域特性だけでは決まらず、川幅や縦断勾配などの河道特性も影響しているのは容易に想定でき、さらに、土砂流出を抑制する人工施設も関係していると考えられる。多くの中小河川では、河道の改修が行われており、川幅は護岸によって固定されている。本研究では、改修により固定された川幅や土砂流出抑制施設の効果について考慮しておらず、グループ②, ③の河川は、これらの人為的な影響により河道タイプが決まっている可能性がある。

5. おわりに

本研究では、対象河川において、河道形成の要因である土砂流出に関わる流域特性について、被覆特性（流域の土地利用と表層地質）と地形特性（誘導地形量と流域の平均傾斜、年平均降水量）をそれぞれ整理した。整理したデータを用いて、主成分分析を行い、上位3スコアの計6スコアを用いてクラスター分析により対象河川を分類した。その結果、4グループに分類することができた。

また、各グループの河川について、現地調査結果による河道タイプとの関係について考察した。その結果、地質や地形が特徴的であるグループ①とグループ④については、それぞれ対応する河道タイプを特定できた。しかしながら、グループ②と③については、河道タイプを明確に区分できなかつた。よって、被覆・地形特性だけでなく、護岸による川幅の固定や土砂流出抑制施設などの人為的な影響により河道タイプが決まっている可能性がある。

今後は、人為的な影響について考慮するとともに、他地域の河川を対象に検討を行う。

謝辞：岐阜県河川課にはデータの提供などご助力いただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤田光一：中小河川の治水安全度を早急に把握せよ（特集1 今までにない自然災害に立ち向かう）、国総研アニュアルレポート(5), 2006.
- 2) 大石哲也, 高岡広樹, 萱場祐一, 原田守啓：中小河川の効率的・的確な維持管理に向けて、河川技術論文集, 第18巻, 2012.
- 3) 長谷川浩一, 若松加寿江, 松岡昌志：ダム堆砂データに基づく日本全国の潜在的侵食速度分布, 自然災害科学, Vol. 24, No. 3, 2005.
- 4) 橋本晴行, 永野博之：九州におけるダム堆砂の実態と土砂流出特性, 第4回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 2008.
- 5) 吉良八郎：ダム計画と堆砂(その2), 農業土木学会誌, Vol. 50, No. 12, 1982.
- 6) 田代喬, 栃木宏之, 高岡広樹, 辻本哲郎：集水域特性からみたダム上流域における土砂生産の評価, 河川技術論文集, 第16巻, 2010.
- 7) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門, 第3巻, 段丘・丘陵・山地, 古今書院, 2000.

(2012. 5. 9 受付)