

# 崩壊地を含む流域の地質・地形特性が 山地河道の階段状河床形態に及ぼす影響

EFFECTS OF WATERSHED GEOLOGY AND TOPOGRAPHY  
ON STEP-POOL MORPHOLOGY IN MOUNTAINOUS STREAMS  
WITH PARTICULAR REFERENCE TO LANDSLIDES

田代 喬<sup>1</sup>・勝寄泰代<sup>2</sup>・野崎健太郎<sup>3</sup>

Takashi TASHIRO, Hiroyo KATSUZAKI and Kentaro NOZAKI

<sup>1</sup>正会員 博(工) 名古屋大学特任教授 減災連携研究センターライフライン地盤防災産学協同研究部門  
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町1番地)

<sup>2</sup>非会員 東浦町立生路小学校講師 (〒470-2104 愛知県知多郡東浦町大字生路字傍示松15)

<sup>3</sup>非会員 博(理) 椋山女学園大学准教授 教育学部子ども発達学科  
(〒464-8662 名古屋市千種区星ヶ丘元町17-3)

The present study is conducted for describing the step-pool morphologies of mountainous streams in the watersheds with landslide topography. The physical characteristics of longitudinal channel units in the step-pool morphologies were measured by the field investigations, whereas the geologic and topographic information in their watersheds were collected by the GIS (geographical information system) spatial analyses. The statistical analyses have also been performed to discuss the cause and effect relations by combining the multi-scale spatial information of these mountainous streams and watersheds. Accordingly, the analytical results could explain the effects of watershed properties on step-pool morphology with some of the geo-processes such as sediment runoffs, erosions and depositions due to landslide topography in correspondence with the geological features.

**Key Words:** *step-pool morphology, landslide, mountainous stream, GIS spatial analysis, watershed geology and topography*

## 1. はじめに

河川は、流域・セグメント・リーチといった異なるスケールからなる階層性を有し、これらが有機的に連携しながらその景観を成立させている<sup>1) 2)</sup>。こうした概念に沿って、流域や集水域の情報からセグメント・リーチの特性を記述した研究は山地河道で多いが<sup>3)~5)</sup>、河床形態と関連付けた知見は限られている<sup>6) 7)</sup>。一方、地すべりや斜面崩壊など大規模な土砂崩壊は、表層地質を素因、豪雨や地震を誘因として発生し、周辺地形を大きく変化させている<sup>8)</sup>。近年では、空中写真判読により大規模な地すべり変動を起こした痕跡地形(地すべり地形)の分析・抽出が進み<sup>9)</sup>、集水域(流域)を特徴づける指標としても重視されつつある<sup>10)</sup>。

石礫で構成される急勾配な山地河道については、河床形態について体系的な記述が図られ<sup>11)</sup>、移動床の諸過程のモデル化も進展させられてきた<sup>12)</sup>。ただし、多くの知見は境界条件が制御された水路実験により得られている

ことから、実河道で生じる現象解明には、上流域からの石礫・土砂の流入を含めて記述する必要がある。なお、崩壊地を流れる山地河道には、大量の石礫・土砂が河道に流出・堆積することから、砂防堰堤や床固工などの横断工作物が乱立し人為的改変が進んでいる。今後、山間地の豊かな生態系を保全しながら、効率・効果的な土砂制御・河道管理技術を構築していくためには、池田ら<sup>6)</sup>や巖島ら<sup>13)</sup>が提案するように、自己形成される河床形態レジームの活用は有意義な取り組みと言える。

以上に鑑み、本研究では、崩壊地を流れる山地河道で形成される河床形態の特徴を明らかにするため、流域の地質・地形特性が山地河道の河床形態に及ぼす影響を考察する。ここで扱う河床形態は、低水路の滞筋に形成される階段状の「礫段<sup>11)</sup>」(ステップ・プール構造)とした。既往研究では、ステップ・プールの単位波長に着目し、河床勾配と関連付けた事例が多いが<sup>7) 14) 17)</sup>、流域面積<sup>7)</sup>や崩壊地の有無<sup>17)</sup>による違いを考察した報告もあることから、現地観測で得られるステップ・プール縦断形状の各構成要素<sup>15)</sup>を計測し、分析することとした。

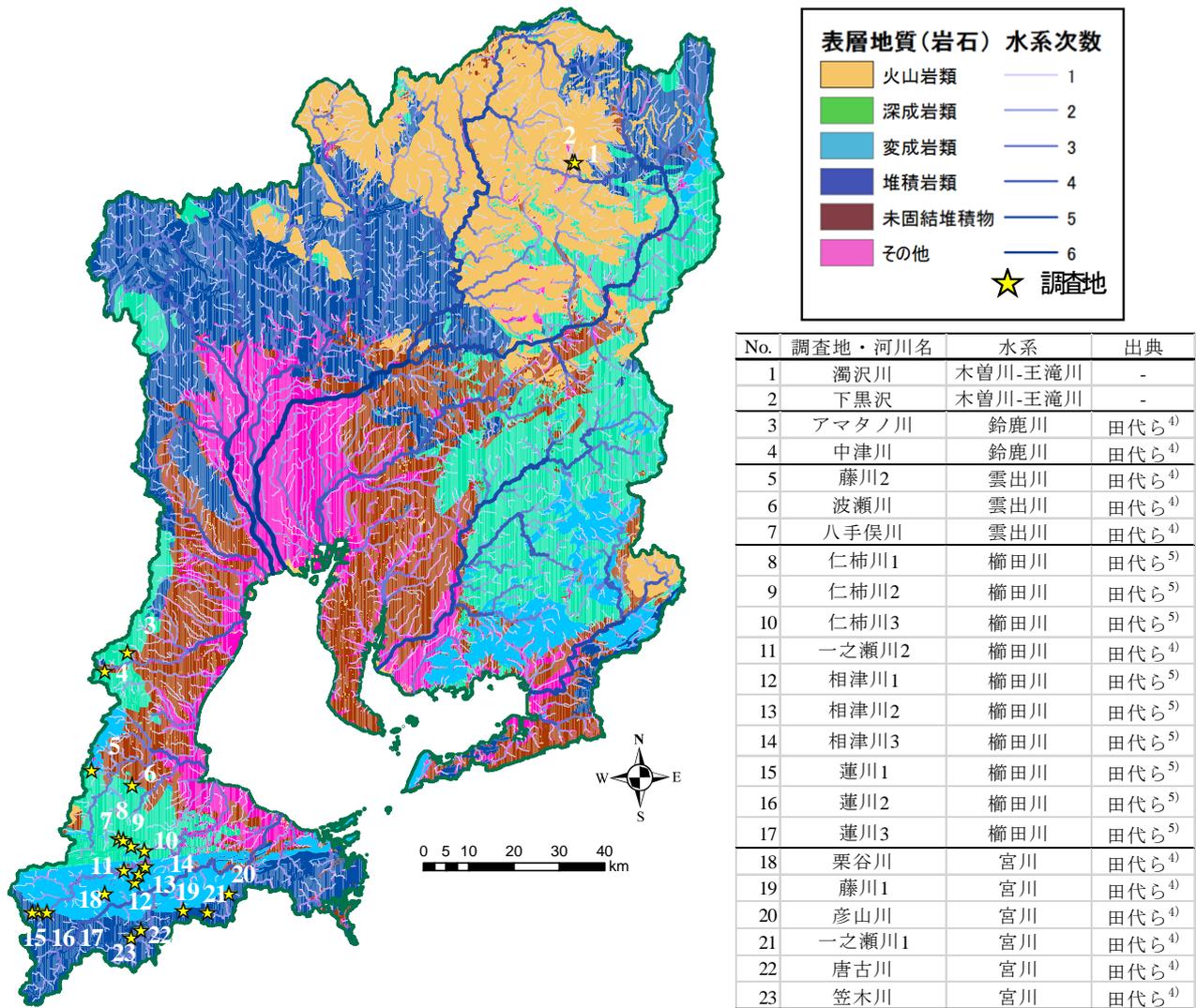


図-1 伊勢湾に注ぐ河川水系、流域の表層地質の分布と調査地の位置と河川名

(ただし、表層地質は産業技術総合研究所地質調査総合センター<sup>18)</sup>、流域・水系は国土地理院<sup>19)</sup>から作成し、水系次数はStrahler方式で表示。調査地の集水域を赤枠で記載。)

## 2. 材料と方法

調査地は、伊勢湾流域圏の山間地に位置し、集水域が4種の岩石(火山岩、深成岩、変成岩、堆積岩)いずれかで構成される山地河道を対象とし、田代ら<sup>4)</sup>・<sup>5)</sup>の成果を援用して選定した(計15河川、23ヵ所)。ここで、火山岩(第四紀)以外の岩石は中生代の地層(中生層)に含まれ、堆積岩は付加体由来する<sup>8)</sup>。図-1には、地理情報システム(Arc GIS 10.2, ESRIジャパン社)を用いて作成した、伊勢湾流域圏における河川水系と表層地質の分布図に、調査地とその流域を併せて示す。

本研究で扱う崩壊地は主として地すべり地形<sup>9)</sup>を想定するが、田代ら<sup>4)</sup>・<sup>5)</sup>が扱った21ヵ所の調査地集水域には、深層風化型(深成岩類)、破砕帯型(変成岩類)、中生層型(堆積岩類)の崩壊地形が含まれるのに対し<sup>8)</sup>、新たに加えた御嶽山麓(木曾川上流・王滝川水系)の2ヵ

所のそれには、もう一つの主要因となる温泉・火山型(火山岩類)<sup>20)</sup>の崩壊地形が含まれる<sup>21)</sup>。前者は地すべり地形データ<sup>9)</sup>に含まれるポリゴンデータから、後者は表層地質図<sup>18)</sup>中の未固結堆積物分布から、崩壊地を特定した。なお、ここで対象とした流域の土地利用はほとんどが森林であり、濁沢川流域の表層地質における未固結堆積物は、1984年9月に長野県西部地震に伴って生じた「御嶽崩れ」<sup>22)</sup>による大崩壊地の一部となっている。

### (1) 流域の地質・地形特性の抽出

Arc GISにより地すべり地形分布<sup>9)</sup>、表層地質図<sup>18)</sup>と数値地図50mメッシュ(標高)<sup>19)</sup>を解析し、各調査地の流域における面積・周長、崩壊地の面積とその個数、平均傾斜(%)と面積高度比曲線の比積分値<sup>4)</sup>・<sup>23)</sup>を作成した。ここで、面積高度比曲線は流域内の高度分布を0~1で標準化したもの、比積分値はこの曲線の積分値であり、集水域全体の侵食・堆積傾向を示す指標となる<sup>23)</sup>。

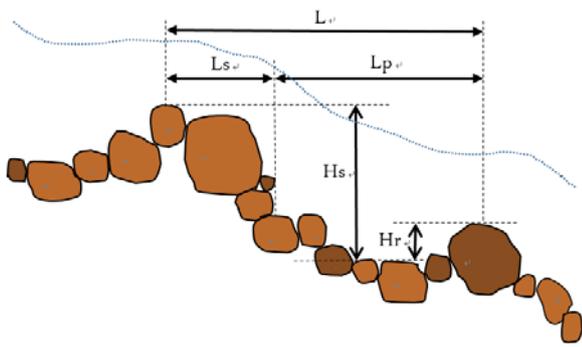


図-2 河床形態の縦断形状、構成要素と各指標の模式図 (Zimmermann and Church<sup>15)</sup>を改変)

## (2) 現地観測による河床形態の把握

各調査地では、萱場<sup>24)</sup>の手法に準拠し、レーザーレベル (SOKKIA, LP30A) と逆読みメモリ付きスケールを用いて河床からの高さや水深を測り、巻尺を用いて流下方向に滯筋に沿って移動しながら縦断測量を行った。なお、王滝川水系の2カ所は2016年10月28日に行った観測であるのに対し、その他の調査地では、田代ら<sup>4, 5)</sup>に掲載の平均河床勾配とその算定根拠となった縦断測量データ (未発表) を援用したものである。

河床形態は、上記で得た各調査地の縦断図をもとに各構成要素 (図-2) に区分して、ステップ・プールの波長 (L) ・波高 (Hs) , ステップ長 (Ls) , プール長 (Lp) ・深さ (Hr) を複数計測するとともに、(平均) 河床勾配を求めた。

## (3) データ解析

上記で抽出、収集したデータは、Statcel 3 (オーエム

エス出版)<sup>25)</sup>による統計解析に供した。はじめに、地質による影響を検討するため、流域地質を要因として流域・河道特性と河床形態の各指標に関する一元配置分散分析 (One way ANOVA test) を行い、有意差が確認された場合には多重比較検定 (Scheffe's F test) を実施した。また、流域・河道特性と河床形態については、各指標間で相関分析を実施して相互の関係性を確認したうえで、さらに、ステップ・プールの波長、波高を目的変数とする重回帰分析を行い、流域・河道特性が山地河道の階段状河床形態に及ぼす影響を分析した。

## 3. 結果と考察

表-1には、Arc GISにより抽出した各調査地流域の特性を示す。仁柿川、相津川、蓮川については流程に沿った3地点のデータとなっているが、比積分値では上流より下流で小さくなっていることから、相対的に上流において侵食の余地が残されていることが分かる。また、それぞれの上下流地点を除けば、全調査地にわたり流域面積や流域周長でおよそ同規模な流域・河道であることが確認される。

### (1) 河床波長の全体的傾向

はじめに、流域面積<sup>7)</sup>、河床勾配<sup>14)~17)</sup>とステップ・プール長 (河床波長) について、本調査地で得られたデータの全体的傾向を調べたところ、流域面積が大きいほど長くなり (ピアソンの相関係数の検定,  $p < 0.01$ ,  $r^2 = 0.228$ ) , 河床勾配が大きくなるにつれて短くなる傾向 (図-3参照) が確認された。図中には、これらの関係を

表-1 調査地 (河川) 流域の地質・地形特性

岩石	河川名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	崩壊地の面積 (km <sup>2</sup> ) と 個数	流域周長 (km)	流域平均傾斜 (%)	比積分値	
火山岩 + 堆積物	下黒沢	6.71	1.06	1	16.70	40.95	0.730
	濁沢川	9.51	1.73	2	17.66	55.58	0.659
深成岩	アマタノ川	5.77	—	0	11.58	27.99	0.663
	中津川	8.86	—	0	14.91	26.12	0.578
	藤川2	5.08	—	0	11.29	21.98	0.789
	波瀬川	5.91	0.0230	1	11.85	27.60	0.515
	八手俣川	5.17	0.175	13	12.04	28.84	0.636
	仁柿川1	0.72	—	0	3.60	38.88	0.682
	仁柿川2	11.82	0.162	15	14.99	32.96	0.500
仁柿川3	24.56	0.418	34	20.50	32.95	0.459	
変成岩	一之瀬川2	5.87	0.654	20	10.80	33.62	0.548
	栗谷川	7.06	0.0980	5	12.63	32.20	0.532
	相津川1	0.74	0.0529	5	3.41	34.28	0.731
	相津川2	5.75	0.441	34	10.21	29.38	0.617
相津川3	9.98	0.590	51	13.82	31.57	0.587	
堆積岩	藤川1	8.27	0.342	26	12.09	38.45	0.600
	彦山川	6.94	0.0460	3	11.33	35.87	0.519
	一之瀬川1	8.53	1.44	49	12.34	36.19	0.548
	唐古川	9.49	2.03	68	13.68	44.39	0.590
	笠木川	7.29	0.377	14	12.32	35.92	0.576
	蓮川1	0.33	—	0	2.32	69.67	0.742
	蓮川2	13.39	—	0	14.95	56.94	0.730
	蓮川3	25.09	—	0	21.72	59.50	0.679

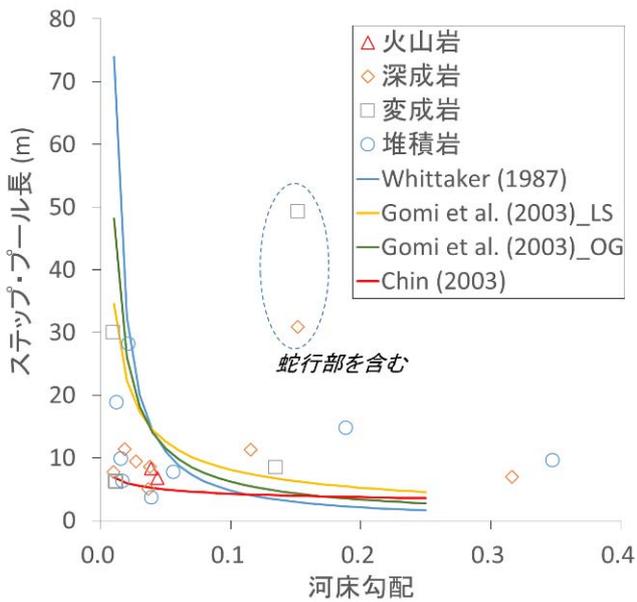


図-3 河床勾配とステップ・プール長の関係  
(図中の曲線は、既往研究<sup>14), 16), 17)</sup>で得られた経験式)

表す既知の経験式<sup>14), 16), 17)</sup> (ただし, Gomi et al.<sup>17)</sup>のLSは流域内に新しい崩壊地, OGは流域内に発達した樹林帯を含むことを示す)を併記したが, 河床波長の全体的傾向については既往研究で得られた関係を概ね支持するも, 流域地質や崩壊地の影響を明示し難い可能性が示唆された。また, 経験式の示す関係から大きく外れた調査地には蛇行部が含まれ, 侵食箇所では基岩が露出し局所洗掘された淵が存在したことに起因するものと考えられる。以上を踏まえ, これらの調査地のデータについては, 後述する分散分析には用いないこととした。

## (2) 流域地質による流域・河道特性と河床形態の違い

流域地質を要因とし, 規模の大小による影響を排除した流域・河道特性の各指標について一元配置分散分析を行ったところ, 流域平均傾斜, 崩壊地の面積割合について有意差が検出された ( $p < 0.01$ )。そこで, 多重比較検定を行ったところ, 流域平均傾斜では堆積岩が深成岩よりも有意に大きくなり ( $p < 0.01$ ) , 崩壊地の面積では火山岩が深成岩より優位に大きくなった ( $p < 0.05$ )。

図-4には流域傾斜, 図-5には崩壊地面積を流域地質によって対比して示す。これらから, 他の岩石を含む流域と比べて深成岩で構成される流域では, 傾斜は緩やかで崩壊地が少ないのに対し, 火山岩を含む流域では, 急傾斜で崩壊地が多い可能性が示唆された。深成岩地質の流域に崩壊地が少ないのは, 岩石の性質にあると考えられるが, 一般に深成岩分布域が崩壊しにくいというわけではなく, 今回調査対象とした地すべり地形に該当する事例が少なかったことに起因するものと考えられる。

河床形態についても, 規模の大小による影響を排除するため, ステップ勾配 ( $H_r/L_s$ ) , プール勾配 ( $H_r/L_p$ ) を算出し, 流域地質を要因とする一元配置分散分析を

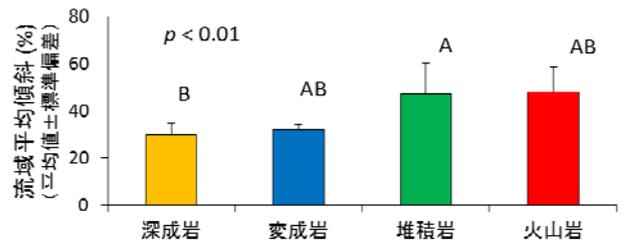


図-4 調査地の流域地質からみた流域平均傾斜 (%)  
(英大文字はScheffe's  $F$  test ( $p < 0.01$ )の結果を表す。)

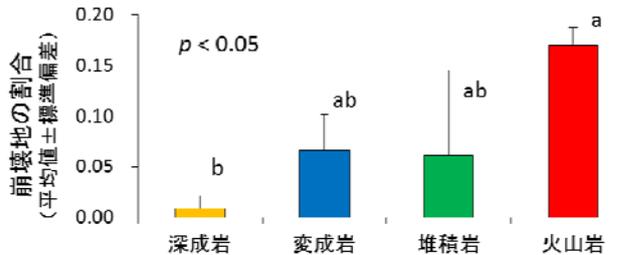


図-5 調査地の流域地質からみた崩壊地の面積割合  
(英小文字は, Scheffe's  $F$  test ( $p < 0.05$ )の結果を表す)

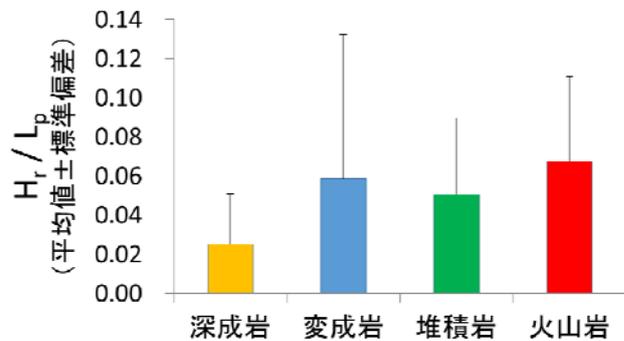


図-6 調査地の流域地質からみたプール勾配  $H_r / L_p$

行ったところ, 有意差は得られなかった (それぞれ,  $p = 0.60, 0.16$ )。少ないサンプル数 ( $n = 7 \sim 17$ ) でバラつきも大きかったため, いずれも有意水準を満たすまでには至らなかったが,  $p$ 値の小さかったプール勾配においては, 深成岩を流れる河川で緩やかになった (図-6)。細かい材料が算出され, 河床に貯留される深成岩からなる流域の河川では<sup>4), 5)</sup>, 流れが減勢されるプール下流側に細粒分が選択的に留まって緩勾配になったと推察され, 地形学的には有意である可能性が示唆される。

## (3) 流域・河道特性, 河床形態とその相互関係

### a) 流域・河道特性, 河床形態の各指標間の関係

流域・河道特性に関する各指標間について相関分析を行ったところ, ①流域面積と流域周長 ( $p < 0.01, r^2 = 0.745$ ) , ②流域周長と河床平均勾配 ( $p < 0.01, r^2 = 0.286$ ) , ③流域平均傾斜と河床平均勾配 ( $p < 0.01, r^2 = 0.222$ ) の順に有意な関係が認められた (ピアソンの相関係数の検定)。このうち, ②のみ負の相関が認められ, 流域周長が大きくなるほど, 河床勾配が小さくなった。図-7には, 流域地質ごとに区別した③の関係を示す。流

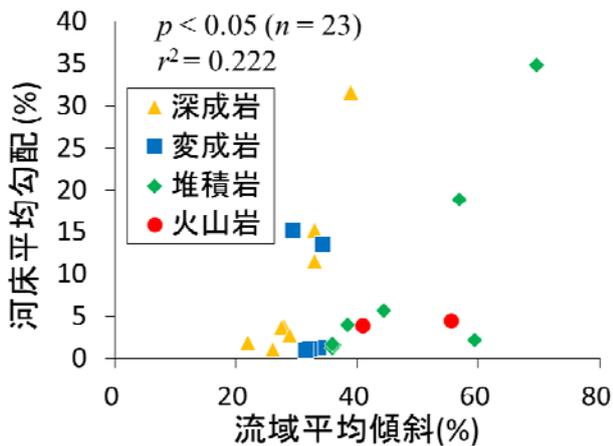


図-7 流域平均傾斜と平均河床勾配の関係

流域傾斜が急になるにつれ、急激に河床勾配が大きくなる深成岩流域の河川に対し、それよりは幾分緩やかな堆積岩流域の河川、さらに、少ないデータ数ながら、流域傾斜が変わらない変成岩流域の河川と河床勾配が変わらない火山岩流域の河川といった特徴が見出された。これは今回の調査地にあつて、脆い扁平な石礫を産する変成岩流域では、流域傾斜は土砂の継続的の流出を伴って動的な平衡状態を呈し、崩壊地形を有する火山岩流域では、大量の土砂が流入して生じた土石流堆<sup>20) 23)</sup>などの痕跡地形上を流れる河道を計測した可能性が考えられる。

河床形態の各指標間について相関分析を行ったところ、①ステップ長とプール長 ( $p < 0.01$ ,  $r^2 = 0.619$ )、②河床平均勾配と河床波高(ステップ高さ) ( $p < 0.01$ ,  $r^2 = 0.420$ )、③ステップ長とプール深さ ( $p < 0.01$ ,  $r^2 = 0.172$ )、④河床波高とプール深さ ( $p < 0.01$ ,  $r^2 = 0.166$ )、⑤プール長とステップ高さ ( $p < 0.01$ ,  $r^2 = 0.0954$ )、⑥ステップ長と河床波高 ( $p < 0.01$ ,  $r^2 = 0.0921$ )の順に有意な関係が認められた(ピアソンの相関係数の検定)。以上から、ステップ長はプール長・深さと、波高(ステップ高さ)は、河床平均勾配、プール深さと相関性が高いことが示された。既往研究<sup>14) 16) 17)</sup>と同様、河床勾配が大きくなってステップ・プール波長が短くなった一方で(図-3参照)、プール深さが小さくなる関係<sup>13)</sup>までは見だせなかった。しかし、今回調査した河道では、波高の増大などの応答が確認されたことから、河床勾配はステップ・プールの各構成要素の特性にも影響を及ぼしている可能性が示唆された。

#### b) 流域・河道特性が河床形態に及ぼす影響

流域・河道特性が河床形態に及ぼす影響について、重回帰分析を用いて考察する。この際、河床波長 ( $y_1$ )・河床波高 ( $y_2$ )を目的変数、前項を参照し共線性 ( $r^2 > 0.7$ )を排除し、流域面積 ( $x_1$ )、崩壊地面積 ( $x_2$ )、流域平均傾斜 ( $x_3$ )、比積分値 ( $x_4$ )と河床勾配 ( $x_5$ )を説明変数とした。表-2、3には各回帰係数の検定結果を、式(1)、(2)には得られた重回帰式をそれぞれ示す。

表-2 ステップ・プールの波長(上)・波高(下)に関する重回帰分析 ( $p < 0.01$ )と各変数の回帰係数

	回帰係数	標準偏回帰係数	p値
定数項	3.81	3.81	0.68
流域面積 (km <sup>2</sup> )	1.15	0.63	< 0.01
崩壊地面積 (km <sup>2</sup> )	-0.58	-0.04	0.79
流域平均傾斜 (%)	-0.24	-0.27	0.13
比積分値	8.40	0.08	0.57
河床平均勾配 (%)	0.35	0.33	0.03

	回帰係数	標準偏回帰係数	p値
定数項	-0.57	-0.57	0.22
流域面積 (km <sup>2</sup> )	0.02	0.15	0.25
崩壊地面積 (km <sup>2</sup> )	-0.19	-0.24	0.08
流域平均傾斜 (%)	0.02	0.34	0.03
比積分値	0.47	0.08	0.52
河床平均勾配 (%)	0.03	0.47	< 0.01

$$y_1 = 3.81 + 1.15x_1 - 0.58x_2 - 0.24x_3 + 8.40x_4 + 0.35x_5 \quad (1)$$

$$y_2 = -0.57 + 0.02x_1 - 0.19x_2 + 0.02x_3 + 0.48x_4 + 0.03x_5 \quad (2)$$

表より、各説明変数の標準偏回帰係数のうち有意なものは、波長については流域面積と河床平均勾配、波高については河床平均勾配、流域平均傾斜と崩壊地面積であった。河床波長について、これまで多くの既往研究<sup>7) 13) 17)</sup>で注目されていた河床勾配よりむしろ、流域面積が強く影響したのは、Chin<sup>7)</sup>が指摘するように河道の掃流力が波長の増大に寄与した可能性が示唆される。なお、崩壊地面積が大きくなると河床波高が小さくなるという負の相関関係について統計学的な有意差までは検出されなかったが、急峻な地形を急勾配で流れる山地河道で崩壊地からの大量の土砂流入があるとプールを埋没させる方向に推移すると考えられる。河床波高については、急勾配河道の流下に伴うエネルギーを減勢するために発達するが<sup>16)</sup>、崩壊地からの過度な土砂流入によって平坦化し得ることから、地形学的には有意な因果関係があることが示唆される。

#### 4. おわりに

本研究では、崩壊地を含む流域の地質・地形特性が山地河道の河床形態に及ぼす影響について、流域特性の地理情報システムによる解析、ステップ・プール構造の縦断的特性に関する現地観測を通じて考察を行った。

流域の地質・地形特性と階段状河床の形態的特徴を関連付けた分析により、以下のような傾向が見受けられた。

- ・ 深成岩の地質を流れる河川では、流入する細粒砂礫が淵尻に堆積することにより、プール勾配が相対的に小さくなる。
- ・ 流域傾斜に対する河床勾配について、深成岩では

急になるのに対し、火山岩からなる流域では崩壊地からの土砂流入により緩やかになる。

さらに、流域・河道特性が河床形態に及ぼす影響として、河床波長には流域面積、河床平均勾配、河床波高には河床平均勾配、流域平均傾斜、崩壊地面積といった要因の寄与が大きくなった。山地河道を形成・更新する流体力が河床波長を増大させた一方、河床波高はこれを減勢させるために発達するが、崩壊地からの土砂流入によって平坦化された可能性が示唆された。

**謝辞：**林野庁木曾森林管理署には調査の便宜を図っていただいた。解析には、防災科学技術研究所の地すべり地形分布図、産業技術総合研究所地質調査総合センターの20万分の1シームレス表層地質図を使用した。土木研究所の小野田幸生博士、戸田祐嗣教授・椿涼太准教授・尾花まき子助教・中村直斗氏（長野県）・登立公平氏（三重県）他の名大水理研関係各位、椋女大野崎ゼミ各位には、懇切に支援いただいた。また、本研究は、日本陸水学会東海支部会の「御嶽山噴火が水環境に及ぼす影響」に関する調査研究（担当：田代）の一環として実施され、WEC応用生態研究助成（2015-05、代表：野崎）を受けた。ここに記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) Frissell, C.A., Liss, W.J., Warren, C.E. and Hurley, M.D.: A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context, *Environmental Management*, Vol.10, pp.199-214, 1986.
- 2) 山本晃一：構造沖積河川学：その構造特性と動態，山海堂，東京，690p，2004.
- 3) Davies, N.M., Norris, R.H. and Thomas, M.C.: Prediction and assessment of local stream habitat features using large-scale catchment characteristics, *Freshwater Biology*, Vol.45, pp.343-369, 2000.
- 4) 田代喬，佐藤圭輔，中村直斗，登立公平，辻本哲郎：流域の地質構造・地形特性に着目した河川景観の階層性の分析，*河川技術論文集*，Vol.13，pp.279-284，2007.
- 5) 田代喬，登立公平，辻本哲郎：流域地質構造が河床材料特性の流下方向変化に及ぼす影響，*河川技術論文集*，Vol.14，pp.121-126，2008.
- 6) 池田宏，伊勢屋ふじこ，小玉芳敬：ダム上流の河床勾配変化—侵食性平衡勾配から堆積性平衡勾配へ—，*応用生態工学*，Vol.2，pp.113-123，1999.
- 7) Chin, A.: The morphologic structure of step-pools in mountain streams, *Geomorphology*, Vol.27, pp.191-204, 1999.
- 8) 相澤泰造：三重の地質と斜面リスクマネジメント，（財）三重県建設技術センター，120p，2005.
- 9) 防災科学技術研究所：地すべり地形GISデータ，地すべり地形分布図 デジタルアーカイブ，[http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied\\_tech\\_note/landslidemap/index.html](http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/landslidemap/index.html).
- 10) 田代喬，白垣裕美子，辻本哲郎：河川流況および地すべり地形に着目したダム上流域における土砂流出に関する考察，*河川技術論文集*，Vol.18，pp.399-404，2012.
- 11) 長谷川和義：河川上流域の河道地形，*ながれ*，Vol.24，pp.15-26，2005.
- 12) 福岡捷二：石礫河川の移動床水理の諸問題と解決への道筋，*土木学会／水工学委員会・海岸工学委員会，水工学シリーズ 08-A-1, A-1-1-A-1-25*, 2008.
- 13) 巖島怜，佐藤辰郎，西田健人，真砂祐貴，坂田知謙，島谷幸宏：山地河川におけるstep-pool構造に関する既往の知見と河川技術への適用，*応用生態工学*，Vol.19，pp.165-180.
- 14) Whittaker, J.G.: Sediment transport in step-pool stream, In: Bathurst, J.C., Hey, R.D. (Eds.), *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers*, Wiley, New York, pp.545-570, 1987.
- 15) Zimmermann, A. and Church, M.: Channel morphology, gradient profiles and bed stresses during flood in a step-pool channel, *Geomorphology*, Vol.40, pp.311-327, 2001.
- 16) Chin, A.: The geomorphic significance of step-pools in mountain streams, *Geomorphology*, Vol.55, pp.125-137, 2003.
- 17) Gomi, T., Sidle, R.C., Woodsmith, R.D. and Bryant, M.D.: Characteristics of channel steps and reach morphology in headwater streams, southeast Alaska, *Geomorphology*, Vol. 51, pp.225-242, 2003.
- 18) 産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）：20万分の1日本シームレス地質図 2015年5月29日版，<https://gbank.gsj.jp/seamless/>.
- 19) 国土地理院：数値地図50mメッシュ（標高）日本-II.
- 20) 武居有恒監修，小橋澄治，中山政一，今村遼平，池谷浩，平野昌繁，古谷尊彦，奥西一夫：地すべり・崩壊・土石流，予測と対策，鹿島出版会，東京，334p，1980.
- 21) 田代喬：御嶽山麓を流れる木曾川水系王滝川の水環境：自然災害と水資源開発の影響，*陸の水（Limnology in Tokai Region of Japan）*，Vol.74，pp.5-11，2016.
- 22) 長野県木曾郡王滝村：まさか王滝に！—長野県西部地震の記録一，*長野県西部地震記録編さん委員会*，1986.
- 23) 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，東京，942p，2000.
- 24) 萱場祐一：河道内微地形とハビタットの分布と構造—把握方法を中心として—，*環境保全学の理論と実践III*，森誠一監修，（株）信山社サイテック，東京，pp.3-29，2003.
- 25) 柳井久江：4 steps エクセル統計 第3版 (Statcel 3)，（有）オーエムエス出版，東京，294p，2011.

(2017. 4. 3受付)