

源頭部における河床形態の分布特性と 山地の地形的特徴の関係

巖島 怜¹

¹正会員 東京工業大学助教 環境・社会理工学院 (〒226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 G5-4)
E-mail: itsukushima.r.aa@m.titech.ac.jp

本研究は、山地源頭部の河床形態の出現特性を調べ、山地の地形的特徴量及び縦断形状との関係を明らかにしたものである。リーチスケールの河床形態の河床勾配は、fall-pool, cascade, step-pool 及び pool-riffle の順に大きく、地質間で大きな差異はみられなかった。また、対象河川の縦断形状は直線型と凹型の2つに大別でき、直線型では河床形態の勾配が上下流で変化していないのに対し、凹型では同一の河床形態であっても上流側に勾配が増加する傾向がみられた。源頭部における河床の縦断形状や河床形態の出現特性に影響を及ぼす山地の特性量として、起伏量や開析度に関する指標が選択された。これらは、土砂生産や河床の比高差に関連する指標であることから、河床形態の分布を支配する重要な要因と考えられる。

Key Words: headstream area, fluvial morphology, reach scale, geomorphic feature of mountains

1. はじめに

日本列島は、世界で最も新しい地殻変動帯に位置し、起伏に富み、国土の大半が山地でかつ、降水量が多く土砂生産が活発な地域である。山地河川は沖積地や海岸への土砂供給源であり、降雨流出水の集中運搬路として重要な役割を担っている¹⁾。山地河川の縦断形状や河床形態の分布及び構造は、河床を構成する地質の種類や構造²⁾、巨倒木の供給³⁾、局所的な崩壊による土砂供給⁴⁾などによって細分化、複雑化されている。また、粒径の大きな礫や巨石で河床が構成される急勾配な山地河川では、最大径の粒子を移動するのに十分な洪水が発生した場合に、河床が再構築される自己形成機能を有している⁵⁾。近年増加する山地河川及び急流河川の災害復旧や自然再生のためには、山地河川の自己形成機能への理解が必要である。

時空間変動が大きい山地河川の特徴を捉えるためには、縦断的に河道の特徴が類似した区間を分類しその特徴を理解することや、河床形態の分布や構造を把握することが有効である⁶⁾。Montgomery and Buffington (1997)は、山地河道を Colluvial (崩積), Alluvial (沖積), Bedrock (基岩) のセグメントに分類した⁷⁾。更に、河床材料や流況の特徴からセグメントを cascade, step-pool, plane-bed 及び pool-riffle のリーチに細分化し、これらが縦断方向に遷移することを示した。これらの河床形態のなかでも、急勾配なリーチである cascade や step-pool は山地河川の大きな標高差を解消する河床形態として着目されてきた。

Cascade は無秩序に堆積した礫や巨石により河床が構成される河床形態である⁸⁾。Step-pool も急勾配な河道で見られる河床形態であるが、cascade と異なり、階段状の形状を呈している⁹⁾。Step-pool は落差緩和、洪水時のエネルギー減勢、河床・河岸の安定に寄与することが知られており¹⁰⁾、発生領域¹¹⁾、破壊・形成条件¹²⁾、洪水時の減勢機構¹³⁾及び構造的特徴¹⁴⁾などが研究されている。

リーチスケールの河床形態に関する研究は、河床勾配が 10-20%程度の領域に集中しており、更に勾配が急な源頭部の研究は事例に限られている。しかし、土砂動態を制御する施設がない源頭部は、土砂供給源に近く、人為的インパクトが低いことから自然河川における河道の自己形成機能を調べるうえで重要な領域である。加えて、源頭部の河道は、山地の種々の特徴を直接的に反映するため、山地の特徴と縦断形状及び河床形態の関係を調べるうえで最適な場所である。本研究は、知見が少ない源頭部のリーチスケールの河床形態の分布特性を明らかにし、河床形態の出現特性と縦断形状及び山地の地形的特徴との関係を解明することを目的とした。

2. 方法

(1) 研究対象地

源頭部を含む山地河川の河道特性は、地質による影響を顕著に受けることが指摘されていることから²⁾、単一の地質帯を流下する山地河川を対象に調査を行った。地質の形成過程から火山岩、深成岩、堆積岩の3種に大別

し、それぞれ、流紋岩、花崗岩及び砂岩を対象に調査河川を選定した(図-1)。人為による影響を避けるため、砂防堰堤や護岸が設置されていない自然河道で調査を行った。

(2) 現地調査

3つの地質帯を流下する14河川の源頭部を下流から上流に向け連続的に踏査した。河道は階層的にセグメント、リーチ及びユニットに分類されるが¹⁵⁾、対象とした源頭部は1つのセグメントと考えられるため、リーチ及びユニットの2種のスケールを観測対象とした。調査対象河川を下流から連続的に踏査し、河床材料、河床の特徴及び支配的な粗度の要素から目視によりリーチを、fall-pool (2m以上の急な落差とpoolが連続する河道)、cascade (巨石や礫が散乱した河道)、step-pool (巨石等からなる段差とpoolが連続する階段状の河道)及びpool-riffle (早瀬と淵が連続する河道)の4種に分類した⁷⁾。対象とした525のリーチ長は平均で川幅の7.9倍である。

上記で分類したリーチスケールの河床形態毎に河道法線の延長、河道幅と上流端と下流端の比高差を計測した。距離及び角度の計測にはLeica DISTO X310を用いた。

(3) 地形特性量に関する指標の算出

調査対象河川の集水域毎に地形特性量及び縦断形状の特徴を示す指標を算出した。形態的特徴を示す指標として形状比、起伏に関する指標として起伏度、流域平均起伏比及び流域平均傾斜角、開析の程度に関する指標として水系密度及び比積分値を設定した。加えて、縦断形状の特徴を示す指標として縦断形状の複雑さ及びSCIを算出した(表-1)。指標の算出に必要な流路長、流域面積、流域内の標高に関する情報は、国土地理院が発行する数値標高モデルを基に地理情報システムを用いて整理した。

(4) 統計解析

対象とした河床形態の河床勾配を山地毎に整理し、多重比較を行った。Bartlett検定の結果、河床形態の河床勾配は等分散であり、一元配置分散分析により群間の差異が有為であったため、TukeyのHSD検定により群内の全てのペアワイズ比較を行った。次に、山地の地形特性量及び縦断形状の指標を用い、階層的クラスタ分析のward法により河川の分類を行った。また、クラスタ分析で分けられた群間の指標値の平均値の有意差をt検定により調べた。最後に、河床形態の出現特性と山地の地形特性量及び縦断形状の指標の関係を調べるため、正準相関分析(Canonical Correspondence Analysis: CCA、以下CCAと記述)を行った。また、Monte Carlo permutation testによってCCA軸に有意な効果($p < 0.05$)を持つ指標を選択した。上記の解析には統計解析ソフトR(Ver. 4.0.4)を用いた。

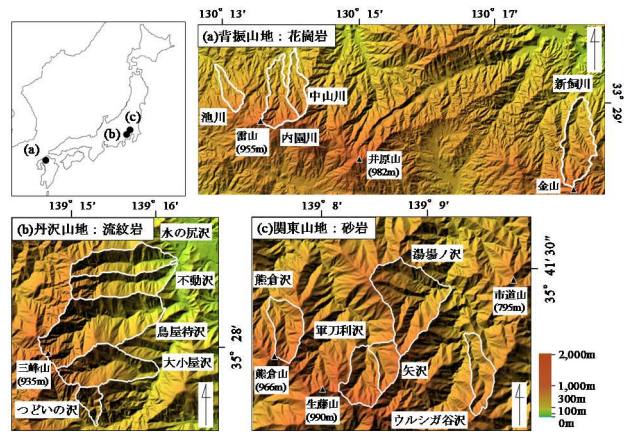


図-1 研究対象地位置図

表-1 山地の地形特徴量及び縦断形状に関する指標

山地の地形特徴量	計算方法
流域平均起伏比 (m^{-1}) ¹⁷⁾	流域の比高を流域内の最大流路長で除した値
平均傾斜角 ($^{\circ}$) ¹⁸⁾	5mメッシュのDEMデータよりGISを用い算出
形状比 ¹⁹⁾	流域面積を流路延長の2乗で除した値
水系密度 (km^{-1}) ²⁰⁾	流域内の流路長の合計を流域面積で除した値
起伏度 (m) ²¹⁾	流域内における最高点と最低点との高度差
比積分値 ²²⁾	面積高度比曲線と座標軸に囲まれた部分の面積を、座標軸に囲まれた正方形の面積で除した値
縦断形の複雑さ	現地調査の結果得られた河床の総延長を調査の起点と終点の直線の延長で割った値
SCI (Stream Concavity Index) ²³⁾	距離及び標高を標準化した縦断図の始点と起点を結んだ直線と河床縦断形で囲まれる面積

3. 結果

(1) 河床形態の分布特性と縦断勾配

背振山地、関東山地及び丹沢山地で延べ11,585mの河道を調査した。対象河川の河床勾配は12.0%-31.0%である。最も頻りに確認された河床形態はstep-poolで各河川の延長の22.5%-64.3%を占めていた。また、fall-poolは河床勾配が大きい河川で確認される傾向にあり、勾配が30%程度の河川では、河道の20%程度を占めていた。一方、pool-riffleは勾配が小さい河川で割合が大きい傾向にあった(表-2)。

対象とした4種の河床形態の河床勾配のBoxplotを図-2に、各河床形態の縦断勾配及びTukeyのHSD検定による多重比較の結果を表-3に示す。対象とした全ての山地でfall-pool、cascade、step-pool及びpool-riffleの順に河床勾配が大きくなり、同一の山地だけでなく異なる山地の間でも各河床形態の勾配に有意な差が確認された。一方、同一河床形態の山地間比較で、有意な差異が確認されたのはfall-poolのみであり、丹沢山地と他の山地で有為な差が確認された。

次に、各河床形態の出現位置の特徴について述べる。各河床形態の出現位置を調査起点(下流端)からの距離で除した値のヒストグラムを図-3に示す。Fall-poolは、下流域での出現が少なく中流から上流に向けて多く出現

していた。出現位置の平均値は、 0.60 ± 0.26 である。Cascade は下流から上流にかけて広く分布しているが、出現頻度は上流側で多く、出現位置の平均値は、 0.55 ± 0.29 であった。一方、step-pool は全ての流程で均等に出現している。源頭部の河床形態の多くは step-pool で占められており (表-2)、step-pool は源頭部において最も普遍的な河床形態である。出現位置の平均値は 0.51 ± 0.29 であった。Pool-riffle は、上流方向に出現頻度が減少傾向にあり、下流部で多くみられる河床形態である。出現位置の平均値は 0.47 ± 0.29 であった。平均値の差の検定の結果、fall-pool 及び pool-riffle の出現位置の平均値間に有為な差が確認された。

(2) 地形特徴量、縦断形状及び河床形態の出現特性

山地の地形特徴量と縦断形状の関係を調べるため、クラスタ分析を行った。クラスタ分析の結果、14 の対象河川は 2 つのグループに分類された (図-4)。分類に用いた指標のうち、起伏度、比積分値及び SCI が群間に有意な差がみられた (表-4)。これらの両群の河床縦断形状と河床形態の出現特性を図-5(a)及び(b)に示す。分類結果と縦断形状の特徴は対応しており、群Aは直線的な縦断形状の河川が多いのに対し、群Bでは、凹型の縦断形状を有する河川が多く含まれている。出現する河床形態の勾配をみると、直線的な縦断形状を示す河川では、各河床形態の河床勾配が流程によらず一定であるのに対し、凹型の河川では、同一の河床形態であっても上流方向に河床勾配が増加しており、上流側が急になることで縦断形状が凹型となっている。また、縦断形状が直線に近い河川では、比較的延長の大きな fall-pool や pool-riffle が遷急点となっており、階段状の縦断勾配を有する河川が多いのに対し、凹型の河川では、大きな遷急点がみられず、連続的に勾配が変化している。

河床形態の分布特性 (各河床形態の勾配及び各河床形態の比高差が各河川の調査区間の標高差に占める割合) を目的変数、山地及び縦断形状の特徴量を説明変数として行った CCA の結果を図-6 に示す。水系密度、縦断勾配、起伏度及び流域平均起伏比が、河床形態の分布特性と有為な関係がある要因として選択された ($p < 0.05$)、第1軸の寄与率は 54.8%、第2軸の寄与率は 30.9% であった。目的変数のうち、各河床形態の勾配はいずれも原点付近にプロットされており、山地及び縦断形状の特徴量の違いによる変化の程度は小さかった。一方、各河床形態の比高差が各河川の調査区間の標高差に占める割合は、水系密度が大きい領域に cascade、流域平均起伏比及び起伏度が大きい領域に fall-pool、縦断勾配が小さい領域に step-pool 及び pool-riffle がプロットされており、山地及び縦断形状の特徴量の違いによる変化の程度が大きい結果となった。

表-2 対象河川における河床形態の出現特性

	延長 (m)	縦断 勾配 (%)	Reachの数				河道延長に占める割合 (%)			
			FP	CAS	SP	PR	FP	CAS	SP	PR
背振山地										
新飼川	1,508	16.4	4	15	22	14	3.5	17.0	64.3	15.2
中山川	758	24.0	4	12	13	2	20.4	28.6	49.4	1.6
内園川	1,350	30.0	5	14	13	1	17.4	38.2	43.8	0.7
池川	452	24.6	1	8	9	3	5.3	41.3	40.5	12.9
関東山地										
熊倉沢	875	23.8	10	18	22	4	13.0	33.1	48.5	5.4
湯場ノ沢	890	17.8	7	13	15	7	11.3	16.6	47.4	24.8
ウルシガ谷沢	640	14.1	5	9	14	7	5.7	19.9	38.4	35.9
矢沢	533	21.3	4	18	15	5	5.2	58.1	29.2	7.5
軍刀利沢	430	12.0	4	3	6	8	11.1	15.4	38.9	34.6
丹沢山地										
水の尻沢	566	31.0	10	11	16	5	17.8	28.1	47.9	6.1
不動沢	874	24.0	11	12	17	9	10.5	25.3	51.1	13.1
鳥屋待沢	1,889	16.0	11	13	24	19	9.2	11.8	51.2	27.7
大小屋沢	454	29.0	7	6	11	3	20.0	21.1	50.5	8.4
つどいの沢	366	31.0	8	6	6	3	27.2	32.3	22.5	18.0

FP: Fall-pool, CAS: Cascade, SP: Step-pool, PR: Pool-riffle

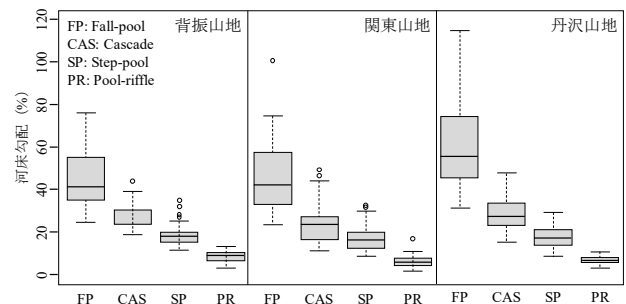


図-2 河床形態の河床勾配の boxplot

表-3 各河床形態の河床勾配の平均値

	Fall-pool	Cascade	Step-pool	Pool-riffle
背振山地	44.4 ± 13.7 a	27.5 ± 5.4 bc	18.7 ± 4.4 efg	8.4 ± 2.7 ij
関東山地	46.9 ± 17.1 a	24.0 ± 8.8 cde	16.8 ± 5.4 gh	5.9 ± 2.1 jk
丹沢山地	61.4 ± 19.6	28.4 ± 7.0 bd	17.5 ± 4.5 fh	6.7 ± 1.9 ik

同一のアルファベットが記された群間には有意差がない ($p < 0.05$)

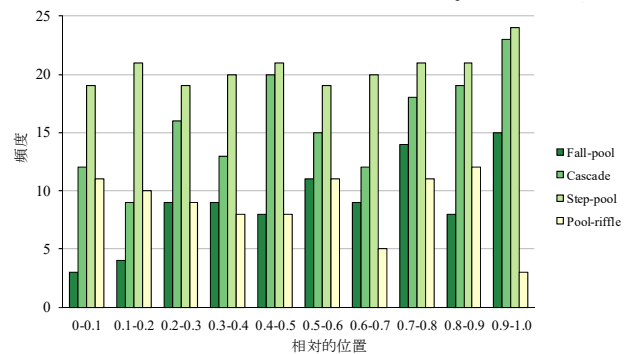


図-3 各河床形態の出現位置のヒストグラム

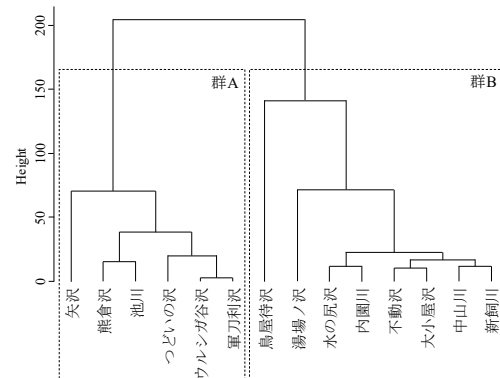


図-4 山地の地形的特徴を用いたクラスタ分析結果

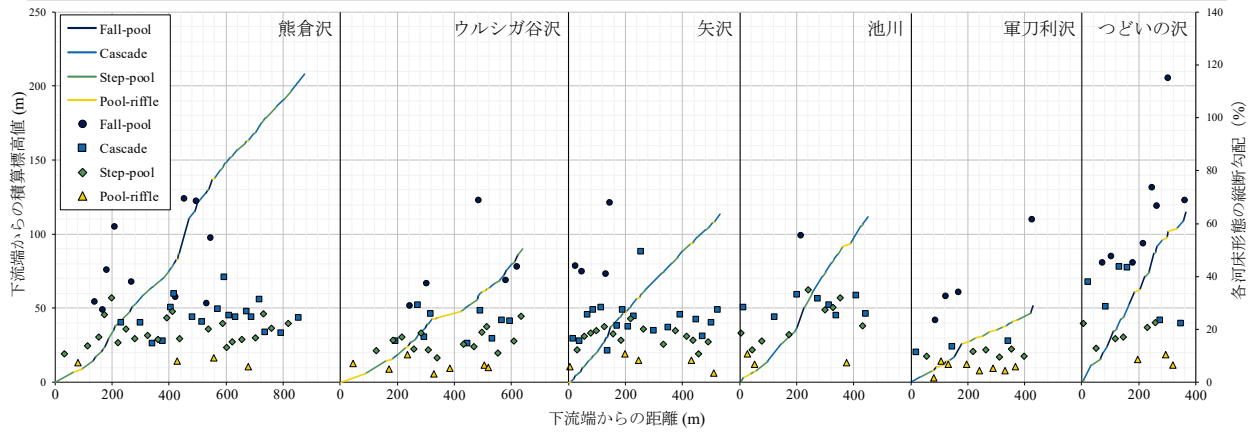


図-5(a) 群 A に分類された河川の縦断勾配と河床形態の分布特性

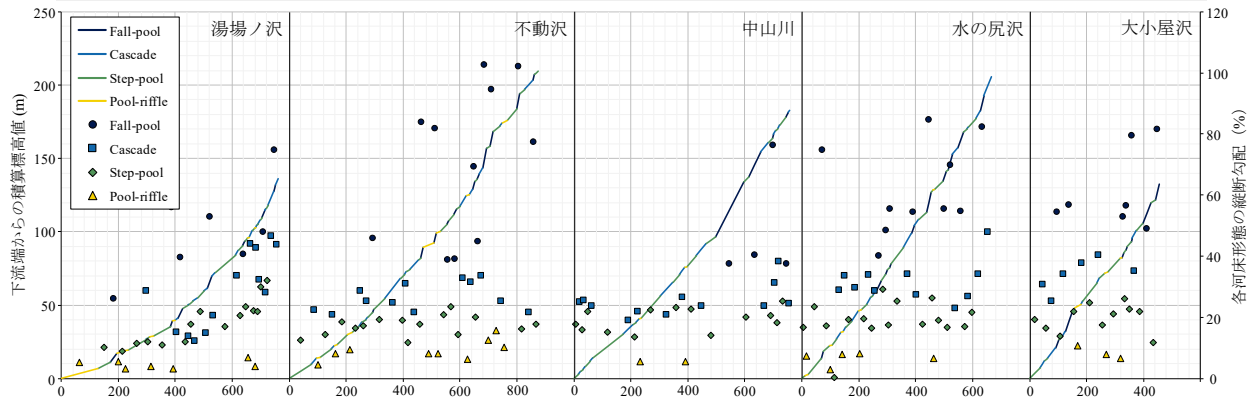
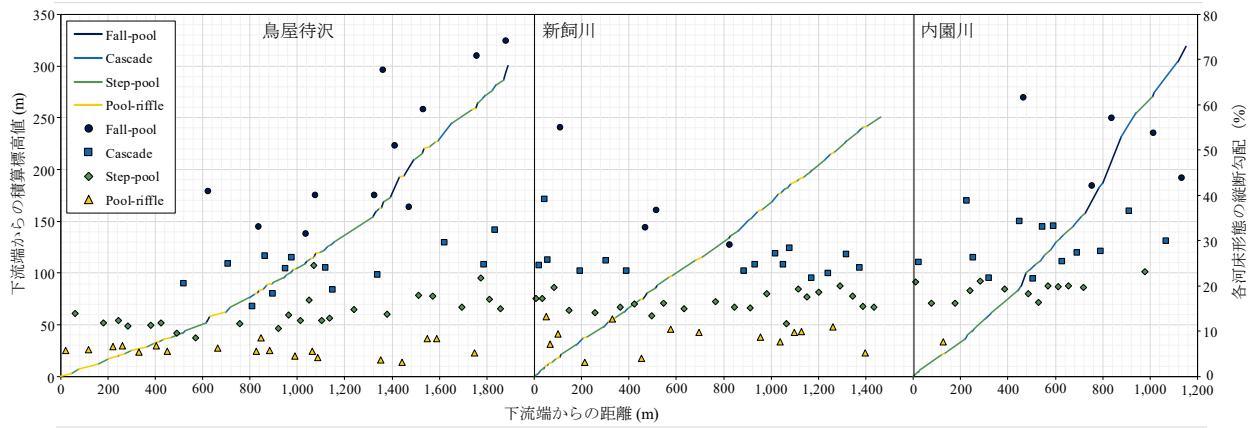


図-5(b) 群 B に分類された河川の縦断勾配と河床形態の分布特性

表-4 山地の地形特徴量及び縦断形状の特徴を示す指標の群間比較

群	A	B	
流域平均起伏比	0.38 ± 0.10	0.34 ± 0.08	
傾斜角平均	43.3 ± 4.0	41.2 ± 2.1	
形状比	0.34 ± 0.17	0.23 ± 0.11	
水系密度	8.02 ± 2.75	7.25 ± 2.14	
起伏度	421 ± 36.0	640 ± 53.8	***
比積分値	0.52 ± 0.02	0.46 ± 0.04	*
縦断勾配	21.2 ± 6.55	23.5 ± 5.87	
縦断形の複雑さ	1.04 ± 0.01	1.04 ± 0.01	
SCI	0.012 ± 0.016	0.039 ± 0.021	*

*, **, ***は群Aと群Bの平均値間に有意差があることを示す (t検定, *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$)

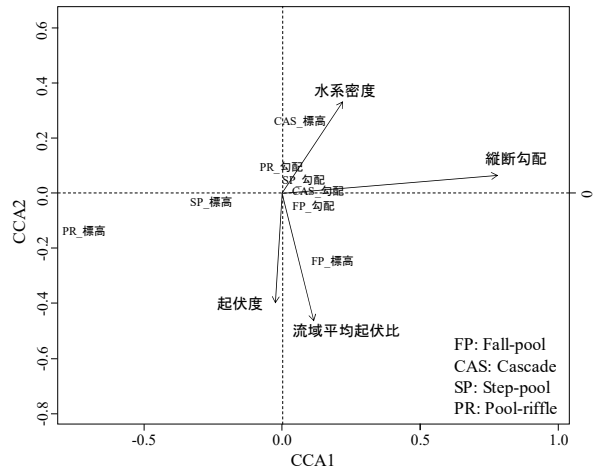


図-6 河床形態の分布特性と地形的特徴の関係

4. 考察

(1) 河床形態の分布特性

本研究の結果、河床形態の縦断勾配は *fall-pool*, *cascade*, *step-pool* 及び *pool-riffle* の順に大きく、地質間で大きな差はみられなかった(表-3)。また、*step-pool* 及び *cascade* は広範囲に確認されたのに対し、*fall-pool* は上流側、*pool-riffle* は下流側で多くみられた(図-3)。源頭部では、リーチスケールの河床形態が連続的に遷移して縦断勾配が変化するのではなく、混在しながら縦断形を形成しており、山地河道の複雑さや局所的な変化を反映する結果となった。既往研究における *cascade* の縦断勾配はおおむね10-20%前後であるのに対し²⁴⁾、本研究の平均値は26.4%であり、より急勾配な *cascade* が形成されている。また *step-pool* の河床勾配は既往研究の多くは10%程度としているが²⁵⁾、当該調査では、8.5-34.8%と幅広い値を示した。本研究では、既往研究とは異なり、勾配が急な源頭部を対象としたため、*cascade* 及び *step-pool* の縦断勾配の平均値が大きい値を示したものと考えられる。一方、*Pool-riffle* の勾配は1.6-13.2%であり、既往研究で確認されている上限である10.0%とほぼ合致していた²⁶⁾。これより勾配が急になると *pool-riffle* の河床を構成する砂礫が流出し、河床形態が *step-pool* 或いは *cascade* に遷移するため、10%程度が *pool-riffle* の縦断勾配の上限値であることが推察される。

(2) 山地の地形特性量と河床形態の分布の関係

河床の縦断形状や河床形態の出現特性に影響を及ぼす山地の特性量として、起伏度や水系密度が選択された。また、CCAの結果、*cascade* の割合と水系密度、*fall-pool* の割合と起伏量に関連する指標が密接な関係にあることが明らかとなった。水系密度は山地の開析の程度を示す指標であり²⁷⁾、開析が進化した山地では土砂生産量が多いことが明らかにされている²⁸⁾。*Cascade*は砂礫が無秩序に堆積した河床形態であることから⁸⁾、土砂の供給の程度がその形成に重要な影響を及ぼすため、開析の程度を示す指標との関係が強いものと考えられる。また、起伏度が大きい河川では大きな標高差を解消するため、河床形態のなかでも最も河床勾配が大きい *fall-pool* が発達することが示唆された。*Fall-pool* は勾配の急変点であり、その形成や伝搬は河道の浸食等や下流河道への土砂供給など河川地形に重要な影響を及ぼすと考えられるため、河道管理上重要な河床形態である。

また、クラスタ分析の結果、縦断形状の特徴によって2群に分類され、両者の起伏度が有意に異なることが示された(表-4)。池田(1970)は、三重県内の3河川の縦断形状を比較し、地質の構成が堆積土砂の粒径を支配し、縦断形の凹度を支配していることを示した²⁹⁾。

しかし、砂礫の粒径の分布特性は運搬過程の結果であり、粒径の因子が独自に河道形状を決定する部分は少ないことも指摘されており³⁰⁾、堆積土砂の粒径よりも、セグメントスケールである縦断形状よりも上位の流域スケールの要因が縦断形状に影響を与えていると考えの方が自然である。当該研究では、起伏量や開析度に関するパラメータが縦断形状に影響を及ぼす要因として選択されており、流域スケールの要因が縦断形状に影響を及ぼすとする水谷(1979)の主張を支持する結果となった。また、榎根(1973)は高起伏な河川ほど縦断形状が直線に近いことを示したが³¹⁾、本研究のデータも、直線に近い河川で起伏度が高い傾向にあることから、彼らの主張を実証する結果となった。水谷(1976)は、地質の風化のされやすさ等の特徴が河床縦断形状に影響を与えている可能性を示唆したが³²⁾、本研究では、地質による縦断形状及び河床形態の出現特性の差異は確認されなかった。また、同一の地質でも山地の地形的特徴によって縦断形が異なることが示唆された(図-5)。本研究の結果は、河川の縦断形状や河床形態に影響を及ぼす山地の要因は複雑であり、開析度や起伏に影響を及ぼす要因である山地の形成年代や地質学的イベントが重要である可能性を示唆している。

5. 結語

細分化及び複雑化された山地源頭部の河床形態の出現特性と支配要因の関係解明は、山地河道の自己形成機能を理解するうえで重要であり、山地河川の河道管理の基礎的な情報となるほか、災害復旧や自然再生に重要な知見となる。今後、更にデータを蓄積させ、流域要因、縦断形状の特性及び河床形態の出現特性の3スケールの関係解明を行い、源頭部の河床形態の分布特性を予測可能なモデルを構築する。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費(19H02250)及び公益財団法人河川財団の河川基金助成事業によって実施された。

参考文献

- 1) Milliman, J. D. and Syvitski, J. P. M.: Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *Journal of Geology*, Vol.100, pp.525-544, 1992.
- 2) 田代喬・辻本哲郎：流域地質の異質性からみた山地河川の河床材料構成と底生動物の関係：櫛田川流域における現地観測、応用生態工学, Vol.18, pp.35-45, 2015.
- 3) Andreoli, A., Comiti, F. and Lenzi, M. A.: Characteristics, distribution and geomorphic role of large Woody debris in a mountain stream of the Chilean Andes. *Earth. Surf. Proc. Land.*, Vol.32(11), pp.1675-1692, 2007.
- 4) Cenderelli, D. A. and Kite, J. S.: Geomorphic effects of large debris flows on

- channel morphology at north fork mountain, eastern West Virginia, USA. *Earth. Surf. Proc. Land.*, Vol.23(1), pp.1-19, 1998.
- 5) Chin, A. and Phillips, J.: The self-organization of step-pools in mountain streams. *Geomorphology*, Vol.83, pp.346-358, 2007.
 - 6) Wohl, E. and Meritt, D. M.: Reach-scale channel geometry of mountain streams. *Geomorphology*, Vol.93, pp.168-185, 2008.
 - 7) Montgomery, D. and Buffington, J.: Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol.109, pp.596-611, 1997.
 - 8) Grant G. E., Swanson F. J. and Wolman M. G.: Pattern and origin of stepped-bed morphology in high-gradient streams, western Cascades, Oregon. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol.102, pp.340-352, 1990.
 - 9) Chin, A.: The morphologic structure of step-pools in mountain streams. *Geomorphology*, Vol.27(3-4), pp.191-204, 1999.
 - 10) Abrahams, A. D., Li, G. and Atkinson, J. F.: Step-pool streams: Adjustment to maximum flow resistance. *Water. Resour. Res.*, Vol.31(10), pp.2593-2602, 1995.
 - 11) 三國谷隆伸, 知花武佳: 河床構造に着目した山地河川のサブセグメント区分と河床材料粒径の規定要因, 河川技術論文集, Vol.17, pp.131-136, 2011.
 - 12) 芦田和男・江頭進治・西野隆之・亀崎直隆: 階段状河床波の形成・破壊過程における流砂機構, 京都大学防災研究所年報, 第30号, B-2, pp.493-506, 1987.
 - 13) Pasternack, G., Ellis, C., Leier, K. A., Vallé, B. L. and Marr, J.: Convergent hydraulics at horseshoe steps in bedrock rivers. *Geomorphology*, Vol.82, pp.126-145, 2006.
 - 14) 巖島怜・佐藤辰郎: 花崗岩山地源頭部における河床形態の出現特性と階段状河床形態の構造, 水工学論文集, Vol.74, pp. I_1255-I_1260.
 - 15) Frissell, C., Liss, W., Warren, C.E. and Hurley, M.: A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context. *Environmental Management*, Vol.10, pp.199-214, 1986.
 - 16) Itsukushima, R.: Influence of stream channel characteristics on bed morphology and step-pool structure in a rhyolitic headstream watershed. *Catena*, Vol.204, 105427, 2021.
 - 17) Maner, S. B.: Factors affecting sediment delivery rates in the red hills physiographic area. *Eos Trans. AGU*, Vol.39, pp.669-675, 1958.
 - 18) Jones, K.: A comparison of algorithms used to compute hill slope as a property of the DEM. *Computers & Geosciences*, Vol.24, pp.315-323, 1998.
 - 19) Horton, R. E.: Drainage Basin Characteristic, *Transactions, American Geophysical Union*, Vol.13, Issue 1, pp. 350-361, 1932.
 - 20) Horton, R.: Erosional development of streams and their drainage basins, Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol.56, pp.275-370, 1945.
 - 21) Smith, G.: The Relative Relief of Ohio. *Geographical Review*, Vol.25, pp.272, 1935.
 - 22) 高山茂美: 河川地形, 共立出版, 1974.
 - 23) Zaprowski, B. J., Pazzaglia, F., and Evenson, E.: Climatic influences on profile concavity and river incision. *J. Geophys. Res.*, Vol.110, F03004, 2005.
 - 24) Comiti, F., Mao, L., Wilcox, A., Wohl, E. E. and Lenzi, M. A.: Field-derived relationships for flow velocity and resistance in high-gradient streams. *Journal of Hydrology*, Vol.340(1-2), pp.48-62, 2007.
 - 25) MacFarlane, W. A. and Wohl, E.: Influence of step composition on step geometry and flow resistance in step-pool streams of the Washington cascades. *Water Resources Research*, Vol.39, 1037, 2003.
 - 26) Brardinoni, F. and Hassan, M. A.: Glacial erosion, evolution of river long profiles, and the organization of process domains in mountain drainage basins of coastal British Columbia. *J. Geophys. Res.*, Vol.111(F1), 2006.
 - 27) 渡辺武夫: 幼年～早壮年山地の開析度と崩壊発生との関係, 日本林学会誌, Vol.51, pp.24-27, 1969.
 - 28) 川越清樹・風間聡・沢本正樹: 数値地理情報と降雨極値データを利用した土砂災害発生確率モデルの構築, 自然災害科学, Vol.27, pp.69-83, 2008.
 - 29) 池田宏: 三重県, 朝明川・三滝川・内部川の河床縦断形について, 地理学評論, Vol.43-3, pp.148-159, 1970.
 - 30) 水谷武司: 急勾配溪流の縦断形状とそれに示されている土砂流送形式の差異について, 新砂防, Vol.112, pp.2-9, 1979.
 - 31) 榎根勇: 計量地理学, 水系網の法則性—ホートンの法則—, pp.62-81, 共立出版, 1973.
 - 32) 水谷武司: 山地における流送土砂量式とそれから導かれる山体の開析過程について, 地理学評論, Vol.49-8, pp.538-549, 1976.

(Received June 30, 2021)
(Accepted September 3, 2021)

RELATIONSHIP BETWEEN DISTRIBUTION OF STREAM BED MORPHOLOGY AND GEOMORPHIC FEATURE OF MOUNTAINS IN HEADSTREAM AREA

Rei ITSUKUSHIMA

This study investigates the relationship between distribution characteristics of fluvial morphology and geomorphic characteristics of the headstream area. The gradient of the fluvial morphology at the reach scale is large in the order of fall-pool, cascade, step-pool and pool-riffle. Slope relief and drainage density were selected as mountainous characteristic quantities that affect the longitudinal profile and the distribution characteristics of the fluvial morphology. These indices are considered to be important factors because they are related to sediment production and specific height difference of the stream bed.