

# 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

ANALYSIS OF HIERARCHICAL STRUCTURE IN RIVER LANDSCAPE WITH  
GEOLOGIC AND TOPOGRAPHIC INFORMATION IN WATERSHED AREA

田代 喬<sup>1</sup>・佐藤圭輔<sup>2</sup>・中村直斗<sup>3</sup>・登立公平<sup>4</sup>・辻本哲郎<sup>5</sup>  
Takashi TASHIRO, Keisuke SATO, Naoto NAKAMURA,  
Kohei NOBORITATE and Tetsuro TSUJIMOTO

<sup>1</sup>正会員 博(工) 名古屋大学大学院助教 工学研究科社会基盤工学専攻  
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

<sup>2</sup>正会員 博(工) 名古屋大学大学院研究員 工学研究科社会基盤工学専攻

<sup>3</sup>正会員 長野県木曾建設事務所(〒397-0001 長野県木曾郡木曾町福島2757-1 木曾合同庁舎5階)

<sup>4</sup>学生会員 名古屋大学大学院博士(前期)課程学生 工学研究科社会基盤工学専攻

<sup>5</sup>フェロー 工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻

Screening of habitat condition is a crucial material for ecological conservation. The lack of this process would promote accidental destructions of ecological functions in river landscape. The present study is conducted for predicting microscopic geomorphology in river landscape with macro-scale geographical information such as geology and topography in the watershed area. Physical characteristics in sub-watershed scale have been investigated by using the GIS (Geographical Information System) technique, whereas microscopic geomorphology in river landscape has been described with field measurement. By combining the results of multi-scale information of geology and topography, river landscape could be hierarchically illustrated.

**Key Words :** river landscape, hierarchical structure, geology, Geographical Information System, sub-watershed scale

## 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構成している<sup>1)</sup>。このように体系化された概念にしたがえば、上位(マクロ)要素が下位(ミクロ)要素を支配することは自明である。実際、Davies *et al.*<sup>2)</sup>やTownsend *et al.*<sup>3)</sup>は、流域スケールの情報によってリーチスケールの特性を記述しようと試みてきた。こうした研究事例は景観生態学(Landscape Ecology)の分野に多いが、流域の地形特性に加え、土地利用や植生分布といった人為的営力に関連した情報が重視されるトレンドにあって地質情報(ここでは、表層地質を指す)が取り扱われることは少ない。河川工学の分野にあっても、日本全国の一級河川の情報分析を進めてきた山本<sup>4)</sup>により、地質区分と河道特性の関連性について言及されるこ

とはあったが、これまでに系統的な整理がなされたことは無かった。しかし、斜面破壊や地すべりを扱う治山分野では、破壊形態や産出土砂が異なることから地質区分が重視されてきた<sup>5)</sup>。こうした現状と流域内にモザイク状に入り組んだ地質分布を併せて考えるに、幹線流路を始めとする中下流においては、地質構造が流域特性に及ぼす影響は複合的な要因により見え難くなるが、源頭部を含む上流の流域特性は地質による影響は顕著であって、河川景観に及ぼす影響も小さくないものと想像される。本研究はこうした認識に根差したものであり、地質構造に関する情報を用いて流域の地形形成を理解し、河川景観の階層性を分析することを目的とする。なお、「河川景観」という概念は、昨今、「地形、地質、気候、植生等様々な自然環境や人間の活動、それらの時間的・空間的な関係や相互作用、そしてその履歴なども含んだ環境の総体的な姿」<sup>6)</sup>とされることもあるが、本研究では、原義の景観そのものとして取り扱うものとしている。

ところで、わが国の河川管理の現状を鑑みるに、国が管理する直轄区間における情報の充実とは対照的に、それより上流の中小規模の河道においては情報の蓄積が少ない。そのため、適切な管理をする判断材料に乏しく、豊かな自然が残されていてもそれを知らないままに改変してしまう危険性が高い。したがって、マクロスケールの地図情報から河川景観を推測する技術開発は、中小河川においてこそ求められるものであり、潜在的な生息環境を把握するためのスクリーニング技術構築のための端緒としても重要な位置づけにあるものと考えられる。

## 2. 材料と方法

### (1) 対象流域の概要

対象流域は、中央構造線が左右に横断することにより、南北に多様な地質構造が表れている三重県から、一級河川（鈴鹿川、雲出川、櫛田川、宮川）流域を選定した。図-1に示すように、櫛田川流域に位置する中央構造線より北側の内帯に鈴鹿川・雲出川流域が、これより南側の外帯に宮川流域が位置する。図中には、流域面積、幹線流路延長など各流域の属性を併記した。おおよそ同規模のスケールをもった4つの流域が異なる地形および地質を有していることから、河川景観の階層性を分析するに相応しい地域であると思われる。地質区分は「20万分の1土木地質図（建設省中部地方建設局、1991）」における分類から以下の主要な4区分を採用した。すなわち、一志層群、領家帯、三波川帯、秩父帯である。鈴鹿川、雲出川流域に局在する一志層群を除けば、西南日本に広く分布する地質と言える。一般的には、中央構造線より北側で土砂生産が活発な風化花崗岩を有する領家帯、これより南に位置し急峻な地形を形成する三波川帯および秩父帯として知られる<sup>5)</sup>。

### (2) 流域情報の解析

Arc View 9.1 (ESRIジャパン株式会社) を情報抽出、演算に用いた。地質構造に着目した解析を進めるため、各流域について源頭部を含んだ1次支川流域に分割し、これを「サブ流域」と定義して、サブ流域単位でのデータ解析を行うものとした。なお、図-1にはサブ流域の区分も併せて示した。

サブ流域単位における占有面積比率が最大となる地質区分を代表地質として採用し、地形特性の算出に当たっては、「数値地図25000空間データ基盤（国土地理院、2002）」に収録されている数値標高データと河川の位置情報を用いた。ただし、ここで言う河川の範疇には人工的な水路も含まれるため、「数値地図25000地図画像（国土地理院、2002）」により人工水路は除去した。

基本地形量は、鈴木<sup>7)</sup>を参考に、谷口高度、最高点高度、最大起伏（流域内の最大比高）、最高点距離（谷口

から最高点までの直線距離）、流域縁辺長、流域面積、両谷壁角（流域内の平均勾配 $S$ ）、水流次数<sup>9)</sup>、総流路延長を採用した。さらに、これら諸量の組み合わせから、以下に挙げる起伏比<sup>9)</sup>、面積高度比曲線<sup>10)</sup>、円形度<sup>11)</sup>、水流頻度<sup>9)</sup>・水流密度<sup>9)</sup>を算定し用いた。

#### a) 起伏比

起伏比 $R_v$ には最大起伏比と流域起伏比があるが、ここでは最大起伏を最高点距離で除した最大起伏比を流域の起伏比とした。起伏比は流域の急峻度を表し、水や土砂の流出の制限要因であるとされている<sup>7)</sup>。

#### b) 面積高度比曲線

面積高度比曲線は流域内の高度分布を表すものであり、それぞれ0~1で基準化した比面積と比高の関係を示す。この曲線を積分した比積分値 $H_b$ は、流域全体の侵食・堆積傾向を示す指標となる<sup>7)</sup>。

#### c) 円形度

流域の平面形状は多様であるから、定性的には見た目の形状で分類される。定量的な係数も様々存在するが、ここでは円形度 $R_c$ を使用することにした。

$$R_c = 4\pi A_b / P_b^2 \quad (1)$$

ここで、 $A_b$ ：流域面積、 $P_b$ ：流域周長である。流域面積が同じならば、細長い流域より幅の広い流域の方が河谷発達が進んだ状態にあり、流域の平面形状は河系模様などと共にハイドログラフを制約する<sup>7)</sup>ことから、河川景観を判断する際には重要な指標と考えられる。

#### d) 水流頻度と水流密度

単位面積当たりの谷線（水系）の発達程度を表したもので、全水流次数の総本数または総流路延長を流域面積で除すことにより、水流頻度または水流密度が得られる。

ここで算出した各地形量（流域平均傾斜、起伏比、面積高度比曲線の比積分値、円形度、水流頻度、水流密度）について、代表地質による集団を作り、代表地質ごとに各変数の正規性、ならびに、地質区分間のデータセットについて等分散性を検定し、正規性、等分散性が確認された場合には一元配置分散分析を、それ以外の場合にはクラスカル・ウォリス検定を実施した。さらに、流域スケールの大小によらず、地質区分のよって生じる各地形量の複合的な影響について考察するため、全6変数を用いて主成分分析を行った。

### (3) 河川景観情報の取得

地質構造が(2)の流域地形のみならず、河川景観に及ぼす影響について考察するため、均質な地質区分により構成される小流域を選定し、河川景観について調査した。調査地選定の際には、上流にダムや堰堤などが存在せず、改修事業が行われていない河川を選定したうえで、以下の条件に見合った調査場所を抽出した。

- ・ 流域面積：5~10 km<sup>2</sup>程度
- ・ 水流次数：2 以下

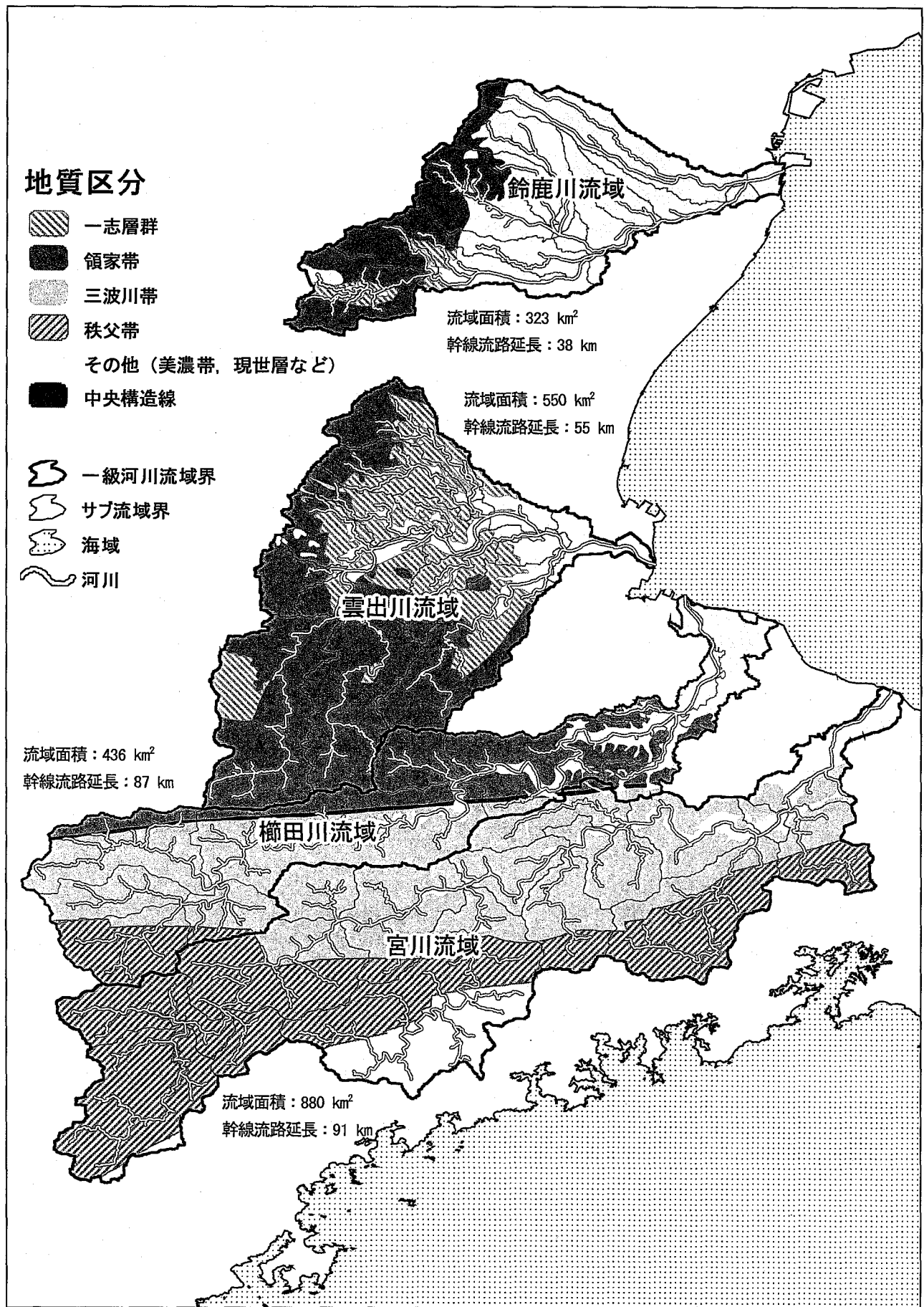


図-1 対象流域（鈴鹿川、雲出川、榑田川、宮川）の概要と地質区分

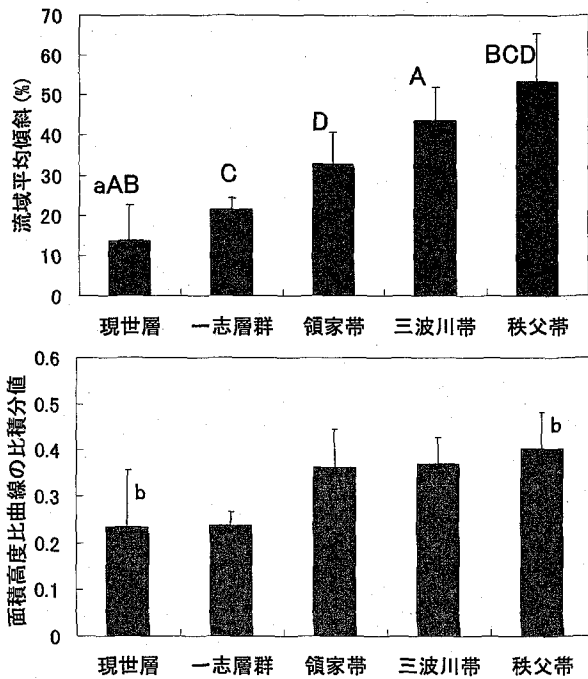


図-2 代表地質によって異なる流域地形  
(上：流域平均傾斜，下：面積高度比曲線の比積分値，英大文字：P<0.01，英小文字：P<0.05，Scheffe's test)

・ 河床勾配：1/150～1/10

ここでの河床勾配は地図情報より得たものである。調査は2007/1/27-28および同3/15-16の日程で、鈴鹿川水系2河川(領家帯)、雲出川水系3河川(領家帯)、櫛田川水系1河川(三波川帯)、宮川水系6河川(三波川帯1, 秩父帯5)で実施した。滞筋に沿った縦断形状を測量し、河床材料の粗・細粒分を計測した。粗粒分は東<sup>12)</sup>の手法を参考に、流路内5m×5m区画における上位5位までの材料サイズ(長・短径)を計測する一方、細粒分は淵尻に堆積した表層材料を採取し、持ち帰って粒度分析を行った。また、各調査地における1横断面において水深、流速(60%水深点)を計測して流量を算定した。

### 3. 結果と考察

#### (1) 地質特性から見た流域地形

地質区分によって有意な差が検出された地形量は、6変数のうち、流域平均傾斜、面積高度比曲線の比積分値であった。これら2変数の地質による違いを図-2に示す。流域平均傾斜に関しては紀伊山地の中核を形成する秩父帯の値が最も大きく、第三紀以後の地質を除くと南から秩父帯・三波川帯・領家帯の値が大きい。また、比積分値をみると、第三紀以降の堆積層である現世層・一志層群とそれ以外の深成岩・変成岩・付加体である領家帯・三波川帯・秩父帯を代表地質とする流域で大きな差があった。つまり、紀伊山地の中核に近づくほど急峻な斜面の占める割合が多くなっており、地形の急峻さは地質

表-1 主成分分析における使用6変数と各主成分の因子負荷量と寄与率(太字：P<0.05)

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
比積分値	0.78	-0.38	0.18
流域平均傾斜	<b>0.92</b>	-0.01	0.29
最大起伏	<b>0.84</b>	0.19	-0.25
円形度	<b>0.81</b>	0.16	-0.45
流路密度	-0.34	<b>0.88</b>	-0.12
流路頻度	0.37	<b>0.84</b>	0.36
寄与率 (%)	51.1	28.2	8.7

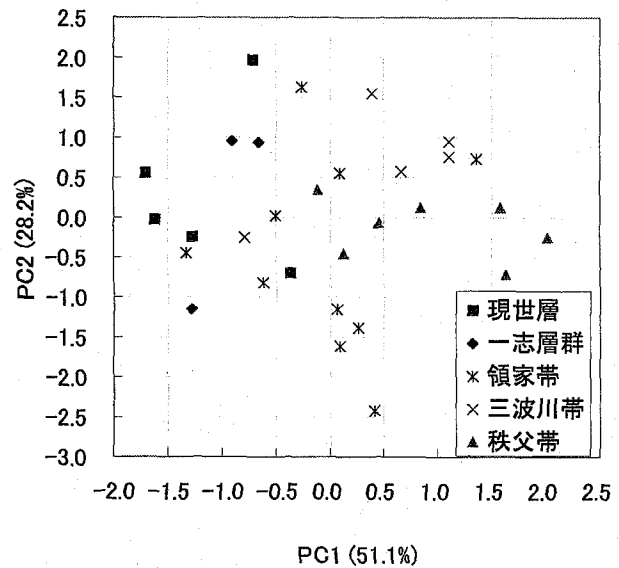


図-3 代表地質の異なるサブ流域を対象とした流域地形量を用いた主成分分析(括弧内は各主成分の寄与率)

だけによるものではないことを示唆する結果であったと言える。

続いて、6変数を用いた主成分分析を行ったところ、第3主成分までの累積寄与率が大きく、89.0%に達した。表-1には使用した6変数と各主成分の因子負荷量を、図-3には第1, 2主成分で展開された散布図を示す。表より、横軸に寄与するのは、流域平均傾斜、起伏比、円形度、比積分値の順であり、円形度を除けば流域の起伏形態に関わっている一方、縦軸に寄与するのは水流密度、水流頻度のみであることから、流域における流路網の性質の違いを表しているものと思われる。凡例の地質区分に着目すると、秩父帯では流路網はおおよそ同じ状態を呈し、比較的急峻な流域が多い。三波川帯は秩父帯ほど急峻ではなく、谷密度もやや大きいと良く似た特性をもっている。領家帯では、秩父帯・三波川帯と比べるとやや緩やかな地形を形成しているものの、流路網配置に関するばらつきは大きいようであり、新生代堆積層(第三紀以後の堆積層)である現世層、一志層群になると、さらに全体的な起伏が緩やかになって、水流密度(水流頻度)のバラつきも同様に大きかった。地質区分から見た結果、地形量の複合的影響が見出されたように見えるが、地質構造の有する地形形成的背景も考えられるため、今後はそうした視点からの検討が必要になるかも知れない。

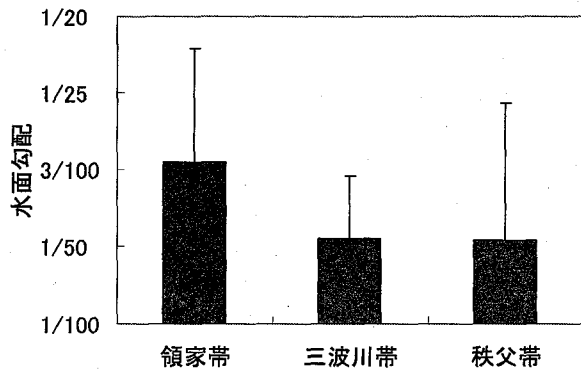


図-4 調査河川の水面勾配の比較 (平均値と標準偏差)  
(サンプル数: 領家帯 5, 三波川帯2, 秩父帯 5)

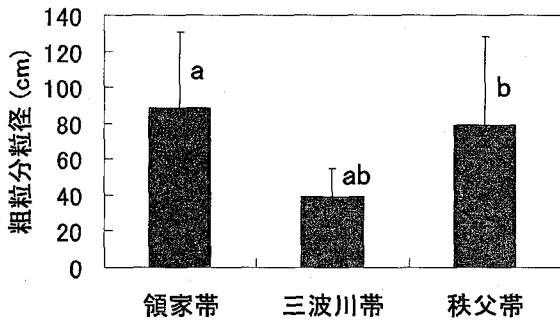


図-5 流路内にある粗粒分材料の比較 (平均値と標準偏差)  
(領家帯 5×5河川, 三波川帯2×5河川, 秩父帯 5×5河川)  
(英小文字:  $P < 0.05$ , Sheffe's test)

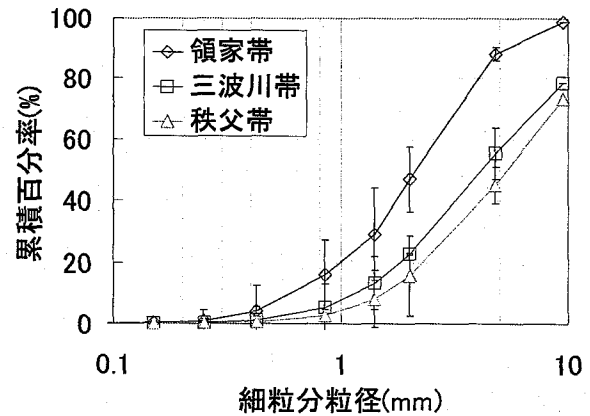


図-6 淵尻に堆積した細粒分材料の粒度 (平均値と標準偏差)  
(サンプル数: 領家帯 5河川で計6地点, 三波川帯2河川で計2地点, 秩父帯 5河川で計5地点)

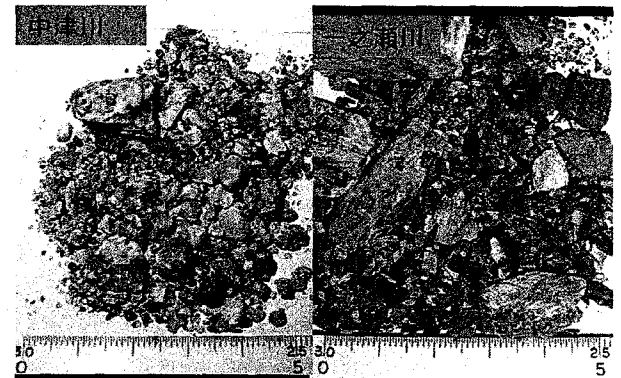


図-7 領家帯 (左: 鈴鹿川水系中津川) と三波川帯 (右: 雲川水系一瀬川) の細粒分材料の比較

## (2) 河川景観情報の分析

図-4には、調査河川において縦断測量を実施した結果として得られる水面勾配を示した。ここでは、瀬・淵を1組以上含む区間について算定したものを採用したが、領家帯においてやや急勾配であったものの、地質による有意な差は認められなかった。これは、調査地の絞込みに際して流域面積、水流回数に条件を付与した効果であると考えられ、結果的に類似した特性を有する河道を選定できたものと思われる。したがって、各河川の河床材料構成を左右する流送材料には大きな差が無いものと考えられた。

河床材料に関する調査結果として、図-5には流路内の粗粒分粒径を、図-6には淵で採取した細粒分の粒径加積曲線を示す。粗粒分では、領家帯と秩父帯はほとんど差が無く、三波川帯では前二者に比べて有意に小さかった。その一方で、淵尻に堆積した細粒分にあつては、領家帯、三波川帯、秩父帯の順に「粗」な材料の占める割合が大きくなっていった。これらの結果がほぼ同様な河道条件のもとに生じていることを踏まえると、流域の地質区分の違いによって河床材料組成が大きく異なることは明白であると考えられる。なお、このことは、図-7の写真に示すように、隣接する流域でありながら地質区分が領家帯から三波川帯へと入れ替わることによって、河床材料の

持つ色、形などが異なった観察結果とも結びつくものであった。

こうした結果を読み解くに、花崗岩を主な構成要素としてもつ領家帯については、表面は風化して剥離しやすく、真砂を産出する<sup>9)</sup>ものの、基層部は固いといった特性が影響した結果、粗流分はより大きく、細粒分はより小さい材料組成が成立したものと考えられた。秩父帯では、領家帯や三波川帯に比べて風化しにくく表層土発達<sup>9)</sup>が貧弱なため、細粒の土砂を産出しにくい<sup>9)</sup>一方で、降雨時にはアースフローと呼ばれる山腹崩壊を起しやす<sup>9)</sup>特性があり、流路内に存在する大粒径成分はこうした周辺地形から供給されるものと考えられた。また、領家帯や秩父帯のそれに比べて扁平な形状を呈する三波川帯の細粒分 (図-7参照) についても、三波川帯を構成している泥質片岩などの結晶片岩がもつ層状構造が剥離崩壊していった結果、淵に扁平な砂が堆積したものと考えられた。

## 4. おわりに

本研究では、流域内にモザイク上に分布する表層地質

情報を用いて、流域の地形特性、ならびに、河床を構成する材料特性について記述した。GIS (Geographical Information System) による地理情報の分析と河道スケールの現地観測を併せて行ったところ、表層地質によって異なる流域地形および河床材料構成が生じる要因は、地形形成とそれに伴う材料の産出プロセスの違いによるものであることが明らかになった。河川景観の階層性の分析という枠組の中では、階層構造における直接的な連関性を系統的に記述するまでには至らなかったものの、地質というキーワードを介し、マクロな流域の地形特性とミクロな河道内特性の繋がりを見出すことができたものと思われる。ただし、本研究では、地形や材料の「質」を取り扱ったに過ぎず、上流流域から侵食され、下流へ供給される土砂の「量」についての検討は行っていない。今後の課題である。

ところで、本論では直接言及しなかったが、河道内に分布する材料構成は、河床や河岸の空隙によって供される生息環境 (例えば、ネコギギ *Pseudobagrus ichikawai* を始めとする底生魚の棲み場所<sup>13)</sup>) を理解するうえで重要である。したがって、流域の表層地質と河床材料構成を関連付けた本研究は、広範囲にわたるモニタリングが難しい生物の生息環境の面的な評価・スクリーニング技術を構築する上でも重要な役割を担う可能性が高いことを付け加えておきたい。

今後は、河畔植生、瀬・淵構造、平面形状など河川景観を構成するほかの要素についても検討を進め、流域の情報と河川景観を密接に関連付けて理解すべく、系統的な記述を進めたい。これがひいては、情報整備の進んでいない中小河川における生息環境のスクリーニング技術の構築に繋がるものと考えている。

謝辞：本研究は、著者の一人が (独) 土木研究所自然共生研究センター (萱場祐一センター長) 在籍時に実施した調査研究<sup>13)</sup> から示唆を得て、科学技術振興調整費委託事業「伊勢湾流域圏の自然共生型環境管理技術開発」(代表：辻本哲郎)、ならびに、(財) 河川環境管理財団の河川整備基金助成事業「希少魚ネコギギの生息場修復技術の開発に関する研究」(代表：田代喬) により行った。ここに記して、関係各位に謝意を表す。

## 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) Davies, N.M., Norris, R.H. and Thoms, M.C.: Prediction and assessment of local stream habitat features using large-scale catchment characteristics, *Freshwater Biology*, Vol.45, pp.343-369, 2000.
- 3) Townsend, C.R., Dolédec, S., Norris, R., Peacock, K. and Arbuttle, C.: The influence of scale and geography on relationships between stream community composition and landscape variables: description and prediction, *Freshwater Biology*, Vol.48, pp.768-785, 2003.
- 4) 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。
- 5) 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，津，120p，2005。
- 6) 国土交通省河川局：水辺の環境：河川景観ガイドライン「河川景観の形成と保全の考え方」，<http://www.mlit.go.jp/river/kankyou/riverscape/pdf/ref.pdf>。
- 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，東京，942p，2000。
- 8) Strahler, A.N.: Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms, *Geological Society of America, Bulletin*, Vol.69, pp.279-300, 1958.
- 9) Shumm, S.A.: The evolution of drainage systems and slopes in badland at Perth Amboy, New Jersey, *Geological Society of America, Bulletin*, Vol.67, pp.597-646, 1956.
- 10) Strahler, A.N.: Dynamic basis of geomorphology, *Geological Society of America, Bulletin*, Vol.63, pp.923-938, 1952.
- 11) Miller, V.G.: A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch mountain area, Va. and Ten., *Office Naval Research Project, NR 389-042, Technical Report*, Vol.3, Columbia University, 1953.
- 12) 東三郎：石れき指標に関する砂防学的研究，北海道大学農学部演習林研究報告，第40巻，第1号，pp.197-227，1983。
- 13) 田代喬・佐川志朗・萱場祐一・齊木雅邦・長谷川浩二：中小河川における希少魚ネコギギの生息環境，河川技術論文集，Vol. 11, pp.471-476，2005。

(2007.4.5 受付)