特集：河床の見方—水理学と生態学，河川中上流域を中心として—

Feature: Perspectives on the hydraulic and ecological studies on the role of riverbed in the upper and middle reaches

総説 REVIEW

河川地形と生息場の分類
～河川管理への活用に向けて～永山 滋也^{1)*}・原田 守啓^{1)**}・萱場 祐一²⁾

1) 国立研究開発法人 土木研究所 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) 国立研究開発法人 土木研究所 河川生態チーム 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6

Shigeya NAGAYAMA^{1)*}, Morihiro HARADA^{1)**}, Yuichi KAYABA²⁾:Classification of morphology and habitat in streams and rivers: application to river management. *Ecol. Civil Eng.* 18(1), 19-33, 2015

1) Aqua Restoration Research Center, Public Works Research Institute, Kawashimakasada, Kakamigahara, Gifu 501-6021, Japan

2) River Restoration Team, Public Works Research Institute, 1-6, Minamihara, Tsukuba, Ibaraki 305-8516, Japan

Abstract: Six stream habitat (morphology) classification systems were reviewed from the aspect of spatial scale and location within watershed. Classification systems at a segment scale (10^3 – 10^4 channel width) covered whole river segments within a watershed, but they did not adequately classify mountain streams. Segment subdivision using a reach-scale classification system can solve this issue. Classification systems at a reach scale (10^1 – 10^2) and a channel unit scale (10^0 – 10^1) were constructed for $\leq 3^{\text{rd}}$ -order mountain streams. These classifications can be applied to $\geq 4^{\text{th}}$ -order rivers in canyons, valley plains, and coastal alluvial plains. Subunit types were commonly classified according to various purposes and targets. However, general subunit types can be based on river morphology and planar flow conditions that are important spatial units, particularly in large alluvial rivers. Our review found that existing classification systems and general subunit types can be applied to better understand the overall physical and ecological features of streams and rivers, and can promote effective river management.

Key words: aquatic organisms, fluvial process, habitat classification, morphology, river management

はじめに

河川は、源流から海に至るまで、流程に沿って様々な姿を変化させる。その変化は、例えば、大きな空間スケールで捉えられる河道の形状（川幅、蛇行度など）や、より小さい空間スケールで識別できる河道内の地形（瀬や淵など）として現れる。こうした流程や空間スケールによって異なった様相を呈する河川地形を分類する試み

ールで捉えられる河道の形状（川幅、蛇行度など）や、より小さい空間スケールで識別できる河道内の地形（瀬や淵など）として現れる。こうした流程や空間スケールによって異なった様相を呈する河川地形を分類する試み

2014 年 9 月 22 日受付, 2014 年 12 月 23 日受理

*e-mail: s-naga77@pwri.go.jp

**岐阜大学流域圏科学研究センター 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

Present Address: River Basin Research Center, Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu, Gifu 501-1193, Japan

は、地形学のみならず河川生態学の立場からも行われてきた。地形学分野では、河床や河道の形態に着目することから、bedform classification や stream (channel) classification として、河川生態学分野では、水生生物の生息場と捉えることから、habitat classification として発展してきた。本論では、これらを含意する言葉として「河川地形の分類」と表現する。

河川地形の分類は、学際的に関心の高い研究テーマとして認識されてきた。特徴の異なる河川区間を識別し分類することは、各区間の地形形成プロセスを理解するための土台を提供する (Rosgen 1994; Kondolf 1995)。また、河川地形は河川に生息する生物の生息場そのものであることから、河川地形の分類は生物個体の分布や行動を理解する上で、また生物群集の動態を理解する上で基礎的な情報を提供する (可児 1944; Kondolf 1995)。加えて、分類された地形タイプは、異なる研究分野間や、研究者と河川管理者間の共通の用語として機能し、話し合いの円滑化と理解の向上に寄与する (Rosgen 1994; Kondolf 1995)。それゆえ、複数の研究分野にまたがる課題を持ち、研究者、管理者、技術者がその課題解決に関わる河川管理において、特に、河川地形の分類は重要な役割を持つと考えられる。

現在、国内において、河川に関わる管理者や研究者の間で使われる河川地形の分類体系は複数存在する。ただし、研究分野や立場によって実用的な分類体系が異なっている。例えば、河川生態学分野では、同分野の研究者の間で広く読まれている専門書 (Hauer & Lamberti 2006; Allan & Castillo 2007) に依拠する 경우가多いが、河川工学分野や管理者・技術者の間では、邦文で発表されている専門書 (山本 1994) や論文 (例えば、可児 1944) に依拠することが多い。

実用とされる分類体系が複数あることは、関係者間での科学的理解や円滑な話し合いに支障をきたしている可能性がある。問題の1つは、分類体系によって用語が異なることにある。この問題については、主要な分類体系を紹介するとともに、分類体系間で用語 (ここでは、分類された地形・生息場タイプ) の対応関係を整理した萱場 (2013) で概ね解決できていると思われる。もう1つの問題として、各分類体系が対象とする「空間スケール」と、表現しうる「流程」に関して、正確な理解と明確な共通認識が欠如していることが挙げられる。この問題は、河川区間の特徴を間違った分類によって誤って理解してしまう事態や、分類が正しく適用されても、関係者間の認識が一致しないといった事態を招いてしまう。

本論では、これまで世界および日本で行われてきた河川地形の分類について、特に「空間スケール」と「流程」に着目して体系的な整理を行い、課題を抽出するとともに、流程全体に適用するための検討および提案を行うことを目的とした。これにより、河川地形の分類に関する理解の向上と共通認識の構築を図り、河川管理へ適切に活用するための土台を提供する。

河川における空間スケールの階層構造

河川地形の分類体系は、空間スケールの概念を導入することにより、明確な整理が可能となる。そこで、まず最初に、河川生態学分野でよく知られている、河川における空間スケールの階層構造について整理する。この概念は、地形変化に関連する時間スケールも取り込んだものであるが、ここでは空間スケールについてのみ言及する。

Frissell et al. (1986) は、流域内の河川に着目し、水系 (stream)、セグメント (segment)、リーチ (reach)、瀬淵 (pool/riffle)、微生息場 (microhabitat) からなる5つの空間スケールを提唱した (Fig. 1)。そして、上位の空間スケールの地形は下位の空間スケールの地形を支配し、下位の空間スケールの地形によって入れ子状に構成されるという、階層構造の概念を示した。論文の中では、山地河川 (3次河川以下) を具体例として解説しているが、概念的には平野部を流れる大河川も含む流域全体に適用可能なものである。

Frissell et al. (1986) 以降、「瀬淵スケール」は「流路単位 (channel unit) スケール」、「微生息場スケール」は「サブユニット (subunit) スケール」として扱われることが多い (Grant et al. 1990; Sedell et al. 1990; Gregory et al. 1991; Hawkins et al. 1993; Bisson et al. 2006)。「流路単位」は、このスケールにおける河川の構成要素を総称する上で、特定の要素を連想させる「瀬淵」よりも適している。また、「サブユニット」は対象生物に依存せず一貫した空間的概念を保持する上で、「微生息場」よりも適している。それゆえ、本論でも、「流路単位」および「サブユニット」を用いることとした (Fig. 1)。また、Frissell et al. (1986) は、各空間スケールのサイズを絶対値 (メートル表示) で表現したが、本論では、汎用性の観点から、流路幅を基準に、その倍数で表す方法 (Grant et al. 1990; Gregory et al. 1991) を採用した (Fig. 1)。以上の変更点はあるが、Frissell et al. (1986) の提唱したこの階層的な空間スケールの枠組みを、以下では Frissell システムと呼ぶ。なお、多くの専門書でも、Frissell シ

Figure 1. Hierarchical organization of spatial scales in streams and rivers. Numerical characters indicate spatial dimensions based on in situ channel width. Modified from Frissell et al. (1986) based on Grant et al. (1990) and Gregory et al. (1991).
 河川における空間スケールの階層構造。数字は、対象とする場の流路幅の倍数であり、空間サイズを表す。Grant et al. (1990) と Gregory et al. (1991) に基づき、Frissell et al. (1986) を一部改変。

システムの概要を知ることができる（例えば、Hauer & Lamberti 2006；Allan & Castillo 2007；中村 2013）。

水系スケールは、流域に相当する空間スケールをもち、その地形の特徴は流域の地史（地殻の構造運動、火山活動など）や気候に依存している。流域全体に蓄積される自然攪乱や人為的改変等の影響を評価するときに考慮すべき空間スケールである。また、水系スケールは、生物地理的な考察を行う上で必須となる。

セグメントは、主に、大きな支川合流点や基盤地質の変化点などに依存しており、地形図（例えば、縮尺 1/25,000 や 1/50,000）から判読される縦断勾配がほぼ一様な区間で、区間長は一般に対象となる場の流路幅の $10^3 \sim 10^4$ 倍に相当する（Gregory et al. 1991）。セグメントスケールは、大ダムの建設、河道改変、砂利採取などによる比較的広域に及ぶ影響を検討するのに適している。山本（1994）は、セグメントについて、河道の形態的特徴の単位であるとともに、河川生態系の空間区分の単位であることから、河川管理を行う上で意識すべき重要な空間単位であると説明している。

リーチはセグメントを構成する単位であり、縦断長は一般に、対象となる場の流路幅の $10^1 \sim 10^2$ 倍に相当する（Gregory et al. 1991）。リーチは縦断勾配や河床の構成材料といった物理的特徴が類似する区間であり、その意味でセグメントと本質的に変わりはない。しかし、リーチは、瀬や淵といった流路単位スケールで識別される河川の構成要素のセットを内包する区間として線引きが可能である点において、セグメントと区別される。つまり、対象となる場で識別される流路単位タイプのセットが 1 つだけ内包される区間を取り出して、1 つのリーチ

とみなすことが可能である。また、流路単位タイプのセットが 2 つ以上内包される区間をリーチとして扱うことも可能である。もし、同じ流路単位タイプのセットを持つリーチが長距離にわたって繰り返し出現する場合、その区間はセグメントスケールで分けられた区間に相当することもあり得る。これは、セグメントとリーチの本質的な区別が困難であること物語っている。つまり、リーチは、対象となる場で識別される流路単位タイプのセットを内包する区間として、便宜的に設定される区間と考えることができる。こうした河川構造の繰り返しを反映して、リーチを単位とし、類似の生物群集構造が繰り返し現れるといった特徴も知られている（例えば、可見 1944）。それゆえ、自然攪乱や人為的改変が河川構造と生物群集に及ぼす影響やそれらの因果関係を検討する上で役立つ空間スケールである。

流路単位は、対象とする場の流路幅以上 ($10^0 \sim 10^1$ 倍) の縦断長を持ち、リーチを構成する単位である（Gregory et al. 1991）。例えば、流路幅 10 m 程度の河川を河岸から観察した時、白波の立つ瀬や深みの感じられる淵が、流路幅と同程度以上の長さを持って、繰り返し出現することに気付く。この瀬や淵が流路単位であり、他にも多数の流路単位がこれまでに類型化されている（「河川地形の分類体系」を参照）。流路単位は、地形、平面流況、主流路に対する平面配置などを反映した構造として区分される。例に挙げた瀬や淵は主流路を構成する要素であるが、河岸部や河畔域（または氾濫原）に形成されるものもある。流路単位は、河川生態系（生物・非生物を含む）の構造の変動に深く関わっており、生息場の基本的な単位でもあることから、極めて重要な空間スケールで

ある (Grant et al. 1990 ; Gregory et al. 1991).

サブユニットは、流路単位内のパッチであり、対象とする場の流路幅以下 ($10^{-1} \sim 10^0$) の空間スケールを持つ (Grant et al. 1990 ; Gregory et al. 1991). 相対的に一様な河床材料、水深、流速等によって区分されるが、サブユニット (パッチ) を特徴付ける環境やサブユニットのサイズは、対象となる生物や調査の目的によって変化する。水生生物の行動、3次元的な空間利用、基質の選択性などを検討する上で適している。

なお、地形学分野では、河床形態 (bedform) の分類に関連して、空間スケールを上位から megaform, macroform, mesoform, microform の4つの階層で捉えている (Jackson 1975 ; Church & Jones 1982). この階層構造は、河床形態の大きさと存続時間、すなわち時空間スケールによって定義されることにおいて、Frissell システムの考え方と同様である。しかし、河床形態の分類は地形のみに、Frissell システムは地形と水生生物の生息場機能

に着目した分類である点において本質的に異なっている。

日本の河川工学や土砂水理学の分野では、河床形態について、小規模河床形態と中規模河床形態の区別がなされている (土木学会水理委員会 1973). 「小規模」という言葉に惑わされ易いが、小規模河床形態の中には、上述の macroform (反砂堆など), mesoform (砂堆など), microform (砂漣など) に属する、空間スケールの異なる河床形態が混在している。中規模河床形態は、概してより空間スケールが大きい砂州 (bar) の発生形態の分類に主眼が置かれており、その点において小規模河床形態と区別されている。

河川地形の分類体系

国内において、河川に関わる管理者や研究者の間で使われる主要な河川地形の分類体系として、6つの分類体系を取りあげた (Table 1). Rosgen (1994) の分類体系

Table 1. Correspondence of spatial scales and types of river morphology (habitat) in each classification system.
各分類体系における空間スケールと地形 (生息場) タイプの対応

Classification system 分類体系	Spatial scale 空間スケール				
	Stream 水系	Segment セグメント	Reach リーチ	Channel-unit 流路単位	Subunit サブユニット
Rosgen (1994)	—	7 major stream types (A-G)	94 stream types subdivided from 7 major stream types	—	—
Yamamoto (1994) 山本 (1994)	—	5 major segment types (M, 1, 2-1, 2-2, 3) Sub-segment (concept only)	—	—	—
Kani (1944) 可児 (1944)	—	5 stream types: 3 major types (Aa, Bb, Bc) and 2 transition types	(Aa-Bb, Bb-Bc)	4 channel units (rapid, run, pool, marginal area)	—
Montgomery & Buffington (1997)	—	3 valley segments (colluvial, bedrock, alluvial)	8 reach types*: colluvial, bedrock, and 6 alluvial channel types (cascade, step-pool, plane-bed, pool-riffle, dune-ripple, braided)	—	—
Hawkins et al. (1993)	—	—	—	2, 4, and 18 channel units at first, second, and third level categories, respectively, in a three-level hierarchy	—
Kawanabe et al. (1956) 川那部ほか (1956)	—	—	—	5 pool types**: meander, rock, substrate, dam, and oxbow types	—

* Based on Bisson et al. (2006) modified from Montgomery & Buffington (1997). Montgomery & Buffington (1997) を基に改変した Bisson et al. (2006) に基づく

** Based on Mizuno & Gose (1993) modified from Kawanabe et al. (1956). 川那部ほか (1956) を基に改変した水野・御勢 (1993) に基づく

は、日本国内での認知度はあまり高くないが、アメリカ北西部では広く河川管理者に使われていることから (Kondolf 1995), 本論でも含めることとした。なお、以下の説明において、特に断りがない場合、「沖積河川」は臨海沖積平野を流れる河川を指す言葉として使用した。また、「山地河川」は、臨海沖積平野を除くすべての区間を流れる河川であり、谷底平野や盆地の区間も含む言葉として使用した。

Rosgen (1994) は、北アメリカのすべての気候帯に属する大小様々な数百の河川を網羅的に調査し、勾配、横断形状、流路の平面形状から7つの主要な河川タイプ (A-G stream types) を分類し (Table 1), 山間地からデルタを含む流程に沿って模式的に配置してみせた (Fig. 2)。論文では、セグメントという言葉を使っていないが、Frissell システムに照らすとセグメントスケールの分類であると判断される (Table 1)。さらに Rosgen (1994) は、7つの河川タイプを、94 の河川タイプに細分した (Table 1)。この細分は、主要7河川タイプの分類と同様、河床勾配や河床材料を基にして行われ、データの空間解

像度 (調査河道のサイズ) も変わっていない。それゆえ、分類の考え方としては、セグメントタイプの分類と同じであることに注意が必要である。ただし、「数十メートルもしくは数キロメートルの“リーチ”に適用できるだろう」と述べられていることから、Rosgen (1994) の考えを尊重すれば、リーチスケールの分類となる (Table 1)。河川タイプの分類に使用された各パラメタのレンジの妥当性は、アメリカ、カナダ、ニュージーランドにおける450 河川のデータを基に検証されている (Rosgen 1994)。

山本 (1994) は、セグメントとは、河床勾配がほぼ同一で、河床材料や種々の河道特性が似ている区間である (Mackin 1948), という定義を明確に意識し、勾配、河床材料の代表粒径、河岸構成物質、蛇行、河岸侵食に着目して、5つの大セグメントを分類し (Table 1), 山間地からデルタに至る流程に沿って模式的に配置してみせた (Fig. 2)。5つの大セグメントのうち、セグメント M を除く4つの分類 (セグメント 1, 2-1, 2-2, 3) は、ほぼ沖積平野を流れる河川に対応している。セグメント 1 は扇状地、セグメント 2-1 と 2-2 は自然堤防帯、セグメン

Figure 2. Target reach locations for each spatial scale in each classification system. Segment types are shown to correspond with reach location. Segment types in parentheses do not necessarily correspond to the reach location.

各分類体系が対象とした空間スケール別の流程位置。セグメントの分類タイプについては、代表的な流程位置と対応するよう表記した。ただし、括弧で括った分類タイプは、必ずしも流程位置と対応しない。

ト3はデルタに概ね対応している。また、山間地ではあるが、盆地を含む谷底平野を流れる河川についても、大セグメントの分類を適用することで河道特性を把握し、技術的対応をとることを提案している。

加えて、山本（1994）は、これら的大セグメント内でも、河道特性が変化する場合には、小セグメントに分割して、河川管理を行うことを推奨している。特に、山地河川にあたるセグメントMについては、後に記す Montgomery & Buffington（1997）のセグメント分類と類似した視点で、小セグメントに分割可能であることを認めており、その必要性を強調している（山本 2010）。ただし、小セグメントの分類タイプについては言及せず、概念のみを提示している。山本（1994, 2010）の提唱する小セグメントへの分割は、基本的に大セグメントの分類と同様、勾配や河床材料に着目して行われ、流路単位の構成に注意は払われない。それゆえ、小セグメントへの分割は、あくまでセグメントスケールの捉え方によるものと考えることができる（Table 1）。

可児（1944）は、2つの屈曲部に挟まれた1辺における瀬と淵の分布ならびに瀬から淵への流れ込み方に着目し、それらの組み合わせから3つの基本となる型（Aa, Bb, Bc）と2つの推移型（Aa-Bb, Bb-Bc）からなる5つの河川形態型を分類した（Table 1）。ここで、可児（1944）では、Bb-Bc型はグラフに示されたのみで説明はなかったが、水野・御勢（1993）によって明示的に説明がなされた。河川形態型の分類は瀬と淵（流路単位）の分布様式に依ることから、これはリーチスケールの分類と判断される（Table 1）。可児（1944）は、いくつかの河川を例として、流程に沿って多数の調査リーチを設け、場所ごとの河川形態型を判別し、各河川形態型が縦断形に対応した連続的な区間として見出されることを示した（Fig. 3）。これは、前章でも説明したように、同一タイプのリーチが長距離にわたって連続する場合、それを繋いだ区間はセグメントスケールで分けられた区間に相当する可能性を示唆する。こうした実河川での観測結果を基に、可児（1944）は、上流（山地）、中流（谷底平野や扇状地）、下流（自然堤防帯やデルタ）に概ね Aa 型、Bb 型、Bc 型がそれぞれ相当し、特に「溪流」については Aa 型と Aa-Bb 推移型の一部が相当すると説明した（Fig. 2）。この流程への当てはめは、空間スケールの観点からはセグメントスケールの分類に相当すると判断される。ただし、これは流路単位の分布に基づくリーチタイプ分類を拡張したものであり、河床勾配などからトップダウン的に区分するセグメントの分類とは判断基準

Figure 3. Pattern diagram of reach type distribution along the longitudinal river profile. Plots indicate reach types in each survey reach (10^1 - 10^2 channel width). Double-headed arrows indicate segments (10^3 - 10^4 channel width). Modified from Kani (1944).

河川縦断形に沿ったリーチタイプ分布の模式図。個々のプロットは調査リーチ（流路幅の 10^1 - 10^2 倍）におけるリーチタイプを示す。両矢印はセグメント（流路幅の 10^3 - 10^4 倍）を示す。可児（1944）を改変。

が異なっている。

なお、可児（1944）では、河川形態型の定量的な物理指標や瀬淵の分布様式以外の定性的な描写がなく、河川形態型から河道の特徴を把握しづらい。そこで、後述する Montgomery & Buffington（1997）により分類されたリーチタイプとその物理的な特徴、ならびに可児（1944）の河川形態型の対応関係を Fig. 4 にまとめた。可児（1944）の河川形態型では、必ず瀬と淵の分布様式が考慮されている。そのため、明瞭な淵を持たない平坦河床リーチと Aa-Bb 推移型を対応させることは、やや不適切かもしれない。しかし、相対的に水深の大きい箇所は不明瞭ながら存在すると考えられること、平坦河床リーチはステップ・プールリーチと瀬・淵リーチの中間的なリーチと説明されることから、この対応は概ね妥当と考えられる。

可児（1944）は、流路単位スケールに相当する分類として、河川の構成要素（形態要素）は早瀬、平瀬、淵、川岸の4タイプがあると説明した（Table 1）。「川岸」は、どの流路単位タイプにも存在するパッチの一つであり、サブユニットスケールの分類とみなすこともできる。事

Segment セグメント	Colluvial 崩積	Bedrock 基岩	Alluvial 沖積					
Reach リーチ	Colluvial 崩積	Bedrock 基岩	Cascade カスケード	Step-pool ステップ・ プール	Plane-bed 平坦河床	Pool-riffle 瀬・淵	Dune-ripple 砂堆・砂漣	Braided 網状
Predominant bed material 河床材料	variable 様々	bedrock 基岩	boulder 巨礫	cobble/ boulder 大/巨礫	gravel/ cobble 中/大礫	gravel 中礫	sand 砂	variable 様々
Typical slope 勾配 (%)	>20	variable 様々	4-25	2-8	1-4	0.1-2	<0.1	<3
Pool spacing 淵間隔 (倍) *	variable 様々	variable 様々	<1	1-4	none なし	5-7	5-7	Variable 様々
Kani (1944) 可児(1944)**				Aa	Aa-Bb	Bb	Bc	

* Multiple of a channel width in target sites. 対象となる場の流路幅の倍数.

** Reach types classified by Kani (1944). 可児(1944)によって分類されたリーチタイプ.

Figure 4. Segment types, reach types, and reach type characteristics based on Bisson et al. (2006) modified from Montgomery & Buffington (1997), and corresponding with reach types classified by Kani (1944).

セグメントとリーチの分類タイプおよびリーチタイプごとの特徴. Montgomery & Buffington (1997) を改変した Bisson et al. (2006) に基づく. 可児 (1944) によって分類されたリーチタイプとの対応も示す.

実, 可児 (1944) も, 流路単位タイプによって川岸の物理環境が変化することを認識していることから, 流路単位の内部環境として捉えている. しかし, 川岸の物理環境の多様性を認めつつも, 結論としては, 流路単位に相当する「構成要素」の1つとして川岸を扱った. ただし, 早瀬や淵のように明確な構成要素であると断言することはためらっている. Frissell システムに照らせば, 「川岸」は, より詳細に分類した上で, サブユニットとして扱う方が適切であると考えられる. なお, 可児 (1944) の河川形態型の分類は, 流路単位の分布様式に基づくことから, 流路単位の分類も上流域から下流域まで適用可能である (Fig. 2). ただし, 早瀬は, 緩勾配となる沖積河川下流部のように, 流程によっては見られない.

河床の石の状態を表す言葉として, 可児 (1944) は「浮き石」と「はまり石」を用い, 前者は早瀬に, 後者は平瀬に分布すると説明した. これらの言葉は, 後にサブユニットスケール相当の生息場としてしばしば扱われている (例えば, 谷田 2007). しかし, 可児 (1944) においては, これらは河床の状態を表す言葉として, 「泥」や「砂」と並列的に扱われていることから, サブユニットの分類ではなく, 単に底質の分類に近いと考えられる.

Montgomery & Buffington (1997) は, 河川次数が 3

次以下の山地河川を対象として (Fig. 2), セグメントとリーチスケールにおける階層的なタイプ分けを行った. 現在, 再整理を経て, セグメントタイプは 3 つに, リーチタイプは 8 つに分類されている (Bisson et al. 2006) (Table 1, Fig. 4). 河川最上流部の崩積土や基岩に制約を受けて形成されるセグメントタイプ (colluvial, bedrock) は各々 1 つずつリーチタイプを持ち, 河川が運搬してきた堆積土砂からなる沖積地のセグメントタイプ (alluvial) には, 6 つのリーチタイプが分類されている (Fig. 4). なお, 図表には含めていないが, 倒木や岩盤の突出によって, 本来は平坦河床リーチであるところに, 局所的かつ強制的に瀬淵リーチが形成されるような場合もあり, こうしたリーチは強制リーチ (forced reach) として区別されている (Bisson et al. 2006). 以上のリーチタイプは, 山地河川において縦断的に, ある程度の規則性を持って出現することが確かめられている (Montgomery & Buffington 1997). なお, Montgomery & Buffington (1997) は, これらのリーチタイプですべての河道が説明できるわけではないとし, 例として, 河口域, 粘着性河床の河道, 植物の繁茂した河道をあげている.

Hawkins et al. (1993) は, 3 つのレベルを持つ階層的枠組みの中で, 段階的に流路単位の分類を行い, 第 1,

第2, 第3レベルにおいて, それぞれ2タイプ, 4タイプ, 18タイプの流路単位を分類した (Table 1). 現在, 用語の再整理を経て Fig. 5 のように提案されている. 上位のレベルほど粗い分類となっており, レベル1の2タイプは, 「速い流れ (fast water)」であるか「遅い流れ (slow water)」であるかの区別のみである. 下位のレベルほど, より詳細に地形や平面流況を反映した分類となり, 調査者は目的に応じて分類レベルを使い分けることができるのが特徴である. レベル1の「速い流れ」と「遅い流れ」は, 河川地形学における主要な構成単位 (Keller & Melhorn 1978) として, また既存の流路単位タイプ分類における大分類 (Bisson et al. 1982, 1988) として認識されていた瀬 (riffle) と淵 (pool) をそれぞれ言い換えたものである. Hawkins et al. (1993) の分類体系は, Bisson et al. (1982) 以降の流路単位タイプ分類

を土台として再整理されたものであり、山間地における3次以下の小河川を対象として確立された (Fig. 2).

川那部ほか(1956)は、山間地の狭い谷底平野を流れる河川を対象に(Fig. 2), 形態と成因から、淵を5つのタイプに分類した(Table 1, Fig. 5). 視点としては、Bisson et al. (1982, 1988) と Hawkins et al. (1993) が「淵(遅い流れ)」を細分したのと同様であり、流路単位スケールの分類にあたる。可児(1944)と川那部ほか(1956)によって提唱された流路単位タイプ(ただし、可児(1944)の「川岸」を除く)は、Hawkins et al. (1993)の分類タイプと定義が完全に一致するわけではないが、およその対応をFig. 5に示した。川那部ほか(1956)とHawkins et al. (1993)による淵タイプの対応について、それらの名称からは対応をとりづらい印象を受けるものも含まれるが(例えば、岩型-渦型、三日月型-ワンド

Figure 5. Hierarchical classification of stream channel units produced by Hawkins et al. (1993), and corresponding (I-VIII) with channel unit types proposed by Kani (1944) and Kawanabe (1956). English names of channel units in Hawkins et al. (1993) are based on Bisson et al. (2006), and English and Japanese names in Kawanabe (1956) are based on Mizuno and Gose (1993). Hawkins et al. (1993) によって提唱された流路単位の階層的な分類と、可児 (1944) および川那部ほか (1956) によって提唱された流路単位タイプとの対応 (I – VIII). Hawkins et al. (1993) による流路単位の英名は Bisson et al. (2006), 川那部ほか (1956) による流路単位の英名と和名は水野・御勢 (1993) に基づく.

型)、その分類タイプの説明を読めば、類似の流路単位を指すものと判断される。なお、川那部ほか(1956)による各淵タイプの特徴は、水野・御勢(1993)にも記載されているが、正確に特徴を把握するには、川那部ほか(1956)を参照する必要がある。また、Hawkins et al.(1993)の分類タイプの詳細な特徴は、Bisson et al.(2006)に記載されている。

課題と提案

水系スケールの分類は、地質・地形学的観点において古くから行われているが(Howard 1967)、本論でとりあげた河川地形の分類体系には含まれていなかった。以下の議論では、水生生物の生息場形成に密接に関連し、河川管理上、特に重要と考えられる、セグメントスケール以下を対象とする。

山地河川

山地河川のセグメントタイプとして、Rosgen(1994)は7タイプのうち2タイプ(A, B)、山本(1994)は5タイプのうち1タイプ(M)、可児(1944)は5タイプのうち2タイプ(Aa, Aa-Bbの一部、ただし溪流相当部分として)、Montgomery & Buffington(1997)は3タイプ(崩積谷、基岩谷、沖積谷)を分類した。ただし、山本(1994)は、山間地における谷底平野については、沖積平野を主な対象として分類した著者のセグメントタイプを当てはめることは可能としている。

著者らの指摘または記載内容に共通していることは、山地河川における河道特性の変化の幅が大きいことである。山地河川では、露出した基盤岩や溪岸崩壊による崩落堆によって河道が制約される区間が、縦断的に繰り返し出現することが知られている(Grant & Swanson 1995)。これらの制約区間では、流水の通り道となる幅(谷底の氾濫原を含む幅)は狭く、勾配は急で、巨石が多くなる。制約区間は縦断的に見れば狭窄部となるので、その上流側には堆積傾向を示す沖積区間が形成される。また、溪岸崩壊は地震や豪雨が誘因となって時折発生するが、その蓄積によって山地河川のいたるところに影響を残す。それゆえ、山地河川における河道特性は、時空間的に変動幅が大きいという特徴を持つようになる。

セグメントの定義は、河床勾配がほぼ一定で種々の河道特性が似ている区間である(Mackin 1948)。この定義に照らすと、例えば、山地河川における山本(1994)のセグメントタイプMは、より細分化されて然るべきである。山地河川の管理において山本(1994, 2010)が強

調する小セグメントへの分割は、まさに、この問題への対応を意識したものと言える。

山地河川における縦断的な河道特性の変化(セグメントもしくは小セグメントの変化)を把握していく上で、Montgomery & Buffington(1997)の8つのリーチタイプが役立つと考えられる(Fig. 4)。崩積リーチは最上流部の細流であり、基岩リーチは基盤岩が露出した区間を指す。溪岸崩壊による崩落堆で片方の谷壁に押し寄せられた狭い河道は、カスケードやステップ・プールの形態を示すであろう。狭窄部上流側の沖積地では、その埋積の程度に依存して、その他の沖積性のリーチタイプが形成されるものと考えられる。これらのリーチタイプを用いて、可児(1944)が実践したように河川に沿ってリーチタイプを調べ、同一リーチタイプが連続して現れる区間(セグメントもしくは小セグメント)を見出すことにより(Fig. 3)、峡谷や谷底平野を含む山地河川においても、縦断的に変化する河道特性を詳細に把握することが可能となり、区間ごとに効果的な技術的対応をとることが可能になると考えられる。

ここで、Montgomery & Buffington(1997)のリーチタイプの分類は、ほぼ3次河川以下を対象にしたものであり、峡谷や広い谷底平野を含む山地河川全域を対象にはしていなかった(Fig. 2)。しかし、Montgomery & Buffington(1997)のリーチタイプを用いることで、峡谷や谷底平野の区間もタイプ分けすることは可能であると考えられる。例えば、峡谷は基岩リーチに分類され、谷底平野上の区間は、沖積性の6つのリーチを用いて判別可能と考えられる。谷底平野において、支川の扇状地が張り出した区間では、勾配の急なステップ・プールリーチが形成されるかもしれない。狭窄部上流側の盆地(広い谷底平野)では、勾配の緩やかな平坦河床や瀬・淵リーチ、土砂供給量が多ければ網状リーチが形成されるかもしれない。

なお、Rosgen(1994)のリーチスケール相当の分類では、7つの主要な河川タイプ(A~G)から94タイプを細分したが(Table 1)、河道の平面形状や縦横断形状といった特徴を、タイプ間で明瞭に区別しにくい。これは、イラストと写真付きで分類タイプを個別に解説したRosgen(1996)においても同様である。Rosgen(1994)は、7つの河川タイプを94タイプへ細分する段階において、河床材料を使用する。これにより、主要な7つの各河川タイプには、優占する河床材料が異なるサブ河川タイプが複数属するという階層構造が成立する。しかし、もともと主要な7つの河川タイプは、河床勾配や河床材

料に強く支配された特有の河川地形を示すタイプとして定義されたものである。それにもかかわらず、7つの各河川タイプに、異なる河床材料が優占するサブ河川タイプが分類されるというのは、論理的な矛盾を孕んでいる。それゆえ、Rosgen (1994) による河川タイプの細分（サブ河川タイプの分類）では、タイプごとの特性やその差異が分かりづらいものになっていると考えられ、河川管理への活用には慎重を要する。この問題は、後述する沖積河川についても同様である。

可児 (1944) および川那部ほか (1956) が世界に先駆けて行った流路単位の分類タイプのほぼすべてが、Hawkins et al. (1993) の 18 タイプでカバーされた (Fig. 5)。このことから、Hawkins et al. (1993) の流路単位タイプは、アメリカ北西部の山地河川を中心に確立されたものであるが、普遍性を持って、日本の山地河川にも適用できるものと考えられる。リーチスケールの分類と同様、Hawkins et al. (1993) の流路単位タイプの分類も、ほぼ 3 次河川以下を対象としていた (Fig. 2)。しかし、峡谷や谷底平野における 4 次以上の河川についても、これらの流路単位タイプを用いて、タイプ分けが可能であると考えられる。例えば、峡谷では、切り立った河岸と河床を構成する岩盤の凹凸により、トレンチ型や縮流型の淵、シュートが多く形成されることが考えられる。また、谷底平野では、早瀬、瀬、平瀬、淵といった基本的な流路単位が繰り返し現れ、堆積土砂の洗掘による淵（側方侵食型や落ち込み型）、岩や流木などの障害物に起因する淵（渦型、縮流型、デブリダム型）も多数出現すると考えられる。

沖積河川

沖積河川のセグメントタイプとして、Rosgen (1994) は 7 タイプのうち少なくとも 4 タイプ (C, D, E, G)、山本 (1994) は 5 タイプのうち 4 タイプ (1, 2-1, 2-2, 3)、可児 (1944) は 5 タイプのうち少なくとも 3 タイプ (Bb, Bb-Bc, Bc) を分類した。特に、山本 (1994) の分類は、臨海沖積平野の特徴である扇状地、自然堤防帯、

デルタの各地形区分とよく対応していた。また、可児 (1944) の河川形態型では、Bb 型は扇状地の河川に（ただし谷底平野でも見られる）、Bc 型は自然堤防帯やデルタの河川に相当していた。日本の沖積河川の特徴とよく対応するこれらの分類は、河川管理上、有用である。河川地形の平面パターン等を同時に考慮することで、各セグメントタイプの理解が一層深まると考えられる。

可児 (1944) の河川形態型は、Montgomery & Buffington (1997) のリーチタイプの一部と対応していた (Fig. 4)。この対応に基づく、扇状地の河川 (Bb 型) は瀬・淵リーチ、自然堤防帯やデルタの河川 (Bc 型) は砂堆・砂連リーチから構成される。扇状地の河川に瀬・淵リーチが存在することは、実河川に照らして妥当と思われる。ただし、扇状地の河川では流路が網状を呈する区間も多いことから、瀬・淵リーチに加えて網状リーチも扇状地河川の構成リーチと考えた方が良いであろう (Fig. 6)。自然堤防帯やデルタでは、波立つ瀬 (Bb 型に見られる瀬) は見られず、河床材料は砂以下の細粒となり、縦断的な河道特性の変化は扇状地よりもさらに乏しくなることから、砂堆・砂連リーチのみから構成されていると考えられる (Fig. 6)。山地河川では、溪岸崩壊による崩落堆や基盤岩の露出といった河川以外の作用 (non-fluvial processes) が縦断的なリーチタイプの変化を強く支配していた (Grant & Swanson 1995)。こうした外的作用がない、もしくは相対的に規模が小さい沖積河川では、河川作用 (fluvial processes) が卓越し、結果としてリーチスケールでの河道特性の変化は乏しいのだと考えられる。

沖積河川における流路単位スケール相当の分類として、可児 (1944) の分類があった。可児 (1944) は河川の全流程を概観し、早瀬、平瀬、淵、川岸を流路単位として見出した（ただし、川岸はサブユニットと捉えた方が良好であろうことは先に述べた）。この分類を、より沖積河川に着目して整理すると、早瀬は、白く波立つがやや勾配が緩い「瀬」に、淵は流路の屈曲に伴う「側方侵食

Figure 6. Reach types in alluvial rivers.
沖積河川におけるリーチタイプ.

型の淵」に読み替え可能と考えられる。そして、扇状地では、この「瀬」、「側方侵食型の淵」、そこから次の瀬に向かう区間で波立ちのない「平瀬」の3タイプが繰り返し出現し、流路を構成していると考えられる。また、自然堤防帯やデルタの区間では、白く波立つ瀬が消失し、「平瀬」と「側方侵食型の淵」のみが流路を構成するようになると考えられる。ただし、沖積河川では、一部本川と連結した水域や、二次流路もしくは旧河道の跡に残るたまり状の水域が存在する。Hawkins et al. (1993) の分類で言えば、前者はワンド型の淵 (backwater)、後者はたまり型の淵 (abandoned channel) に相当する。これらは、流路単位の空間サイズの定義であった流路幅と同等以上 ($10^0 \sim 10^1$ 倍) のサイズで存在することしばしばであり、流路単位タイプの1つと捉えてよいだろう。このように、沖積河川においても、山地河川を対象として確立された Hawkins et al. (1993) の流路単位タイプの一部を用いることで、流路の構成を説明できると考えられる。以上をまとめると、沖積河川における流路単位の分類は、Fig. 7 のように示すことができると考えられる。

しかし、流路幅の大きな沖積河川（以下、沖積大河川）では、1つの流路単位内に特徴が明瞭に異なる大きなパッチが存在する。例えば、側方侵食型の淵では、外岸側に深い淵が形成されるが、内岸側には土砂が溜まり浅い領域が形成される（中野ほか 2005；Nakano & Nakamura 2008）。これらのパッチは、流路幅よりも小さなサイズのサブユニット ($10^{-1} \sim 10^0$ 倍) であるが、沖積大河川においては、地形や平面流況に基づく分類も可

能であり、かつ分類されたサブユニットタイプは、異なる群集の生息場として機能することが報告されている（永山 2011）。それゆえ、沖積大河川において生物による生息場利用を検討する上で、サブユニットは有効な空間単位であると考えられる。

自然堤防帯を流れる沖積大河川において、地形および平面流況に基づいて明瞭に分類可能なサブユニットとしては、先に述べた、側方侵食型の淵に見られる2つのタイプを挙げることができる。すなわち、外岸側の淵と内岸側の浅場であり、前者を水衝部、後者を寄洲水際部と呼べば分かり易いかもしれない。また、ワンド型 (backwater pool) に似るが、それが小規模な（流路幅未満の）入り江状のよどみの場合、サブユニットの一つとみなすことができる（永山 2011 も参照）。このように、自然堤防帯を流れる河川では、「遅い流れ（淵）」に属する流路単位タイプ (Fig. 7) をサブユニットに分類することが可能である。

一方、扇状地を流れる沖積大河川では、規模の異なる流路が網状を呈するため、自然堤防帯の「遅い流れ（淵）」のサブユニットタイプに加えて、「速い流れ」に属する流路単位タイプ (Fig. 7) も規模に応じてサブユニットに分類する必要があるかもしれない。ただし、流路規模の境界を設定することは難しく、また設定できたとしても小規模から大規模まで、瀬や平瀬を細分化することになり、煩雑である。それゆえ、「2分岐流路」あるいは「3分岐流路」といったように、分岐数に応じて流路をまとめて分類することも1つの方法であると考えられる（Arscott et al. 2000；Ward et al. 2002）。

Figure 7. Hierarchical classification of channel units in alluvial rivers modified from Hawkins et al. (1993). English names of channel units are based on Bisson et al. (2006).

沖積河川における流路単位の階層的分類。Hawkins et al. (1993) を改変。流路単位の英名は Bisson et al. (2006) に基づく。

デルタの区間では、勾配は一様に緩やかで、瀬や淵といった流路単位は不鮮明であり、河床は比較的平坦である。そのため、河川地形の特徴によってリーチや流路単位を分類することは困難であると考えられる。デルタにおいては、日常的な潮汐による汽水域、干潟域などが生物の重要な生息場となっており、山間地から自然堤防帯の河川とは異なる視点で、生物生息場としての場を識別する必要があると考えられる。例えば、河道内では、干潮時でも干上がることのない常時流路部と常時ワンド（たまり）部、ならびに干潮時に干上がる干潟を大別することができるだろう。また、外海に面するラグーンにおいても、常時水域部と干潟を大別可能である。デルタでは、リーチや流路単位という河川に沿う概念よりも、面的な概念を強く含む河川景観の視点に基づき分類を行うことで、水生生物の生息場とより良い対応を取ることが可能になると考えられる。

サブユニットスケール

本論で取り上げた6つの分類体系では、サブユニットスケールの分類は含まれていなかったが、実際は、個別の研究事例の中で、多数の分類が試みられている（例えば、Davis & Barmuta 1989；Inoue & Nakano 1999；Davey et al. 2005；谷田 2007；Nagayama et al. 2009）。これらの既存研究に見られる分類タイプは、流路単位内のパッチであることにおいて、サブユニットとみなすことができる。しかし、その空間サイズは、対象とする生物（遊泳魚、底生魚、水生昆虫など）、注目する環境（河床間隙、流況、基質など）、空間解像度（定位点、水柱など）等によって、著しく異なっている。つまり、サブユニットは着眼点によって無限に分類できてしまう。これは、サブユニットの分類が、上位の空間スケールとは異なり、地形に直接関連しない要素によっても、分類できてしまうことに起因する。

ただし、沖積河川の考察で具体的に述べたように、地形や平面流況に基づくならば、上位の空間スケールと同様、普遍性のあるタイプ分けはサブユニットスケールにおいても可能であると考えられる（Inoue & Nakano 1999；永山 2011）。サブユニットスケールの分類タイプが与えられたとき、それが河川地形に依存する普遍的なタイプであるか否かを区別することは重要である。普遍的なタイプであれば、流路単位タイプに付随する構造として、技術的な取扱いが間接的に可能になると考えられる。

流域特性

流域における地史、気候、地質は、溪岸崩壊や土石流、洪水の発生頻度を左右し、河川に供給される土砂の量や

粒径といった生産土砂の特性や動態に影響し、河川地形を最上位で支配している（Frissell et al. 1986）。例えば、山体を構成している基盤岩の種類によって、生産土砂の特性は異なる。たとえ同じ種類の基盤岩であっても、発達した節理の特徴や風化の程度によっても、それは変化する。さらに、山体全体に蓄積される隆起量は、谷の下刻（侵食）に影響するとともに、溪岸崩壊の発生頻度にも影響を与える。降雨量が多ければ、溪岸崩壊や土石流の頻度も増し、土砂の生産や運搬に拍車がかかるが、その一方で、降雨に支えられて発達する森林は土砂生産量を抑制する。

これらの流域特性が河川地形に強く影響していることに間違いはないが、本論で議論してきた空間スケールごとの分類タイプは、流域特性の違いを超えて、幅広く適用し得るものと考えられる。例えば、流域地質が異なる同規模の2つの河川を比べた時、瀬や淵といった各流路単位タイプの内部環境（水深や流速など）が河川間で違ったとしても、これらの流路単位タイプは同一河川内において相対的に区別することが可能である。リーチタイプについても、構成材料は違っても、崩積、基岩、沖積性のリーチから河川が構成されることに違いはない。流域特性の違いは、各分類タイプの存在比には影響を与えるものと考えられるが、分類タイプそのものに変更を迫るものではないと考えられる。

まとめ

河道計画の作成や環境管理を効果的に進める上で、河道の特性を把握し、それを関係者間で共通認識とすることが重要である。河川地形および生物生息場の分類体系は、そのツールとして有効である。本論では、空間スケールごとに既存の分類体系をまとめ、課題を抽出するとともに、流程全体へ適用するための検討および提案を行った。

セグメントスケールの分類体系は流程を網羅していたが、山地河川では、縦断的に大きく変化する河道特性を表現するには分類が不十分であった。しかし、この課題は、詳細に類型化された Montgomery & Buffington (1997) のリーチタイプを使い、河川縦断形に沿った同一リーチ区間を見出すことで（Fig. 3）、解決できるであろうことを示した。これは、山本（1994, 2010）で言うところの「小セグメント区分」であり、特に山地河川では、技術的対応をとるにあたって重要な視点であると考えられた。

リーチおよび流路単位スケールの分類体系は、国外に

においては、主に3次以下の山地河川を対象として確立されていた (Hawkins et al. 1993; Montgomery & Buffington 1997). 国内では、可児 (1944) および川那部ほか (1956) によって、世界に先駆けて実施されていたが、それらの分類タイプは、国外の分類タイプの一部に相当していた。このことから、国外の分類体系を用いることで、より詳細に国内山地河川のリーチおよび流路単位タイプを把握できると考えられた。また、これらの分類タイプの一部を用いることで、山間地の谷底平野や峡谷、さらには沖積平野を流れる河川についても、リーチおよび流路単位タイプを把握することが可能であると考えられた。山地河川では、溪岸崩壊や基盤岩の露出といった外的要因が河道特性の縦断変化に強く寄与しているのに対し、沖積河川ではセグメント全体にわたって河川作用が卓越することで、相対的に一様なリーチまたは流路単位の構成になるものと考えられた。

サブユニットは、着目する生物や環境、調査の目的等によって空間サイズが大きく変化する。そのため、概念上、無数のサブユニットタイプが存在し、リーチや流路単位のような普遍的なタイプを見出すことが難しい。しかし、地形や平面流況に着目することで、普遍的なサブユニットタイプを見出すことは可能であり、特に流路幅の大きな沖積大河川では、それが生物の生息場利用を把握する上で、重要な空間単位であると考えられた。こうした地形に依存するサブユニットは、それを内包する流路単位に付随する構造であることから、技術的な取扱いが間接的に可能であり、河川管理上、着目すべき空間構造であると考えられる。

河川管理では、まず対象河道の特性をおおまかに把握するために、セグメントタイプを識別することが基本となろう。このとき、特に山地河川では、リーチタイプに基づく小セグメント区分が重要な役割を果たすと考えられる。次に、(小) セグメントを構成するリーチタイプならびに流路単位タイプの構成や配置を把握することが肝要である。このとき、同一リーチが連なって (小) セグメントに相当していることもあり得る。対象河道が既に人工的であれば、同一リーチタイプの一般的特徴もしくは近隣河川の同一リーチタイプに基準を求めてもよいだろう。リーチタイプの把握は河道特性の具体的な理解を助ける。また、流路単位のセットを内包するリーチのサイズを把握することは、生物群集構造を知るための空間単位を提供する。さらに、流路単位タイプの構成や配置を把握することは、生物群集が必要とする生息場とそのセットを理解することにつながる。沖積大河川におい

ては、流路単位だけでなくサブユニットも対象とすることで、生物の生息場利用との対応がより取り易くなる。このように、空間スケールごとの河川地形の分類を適用することで、対象河道の物理的、生態的な特徴を把握できるようになる。これを関係者間で共有することで、円滑な議論、適切な決定ができるようになり、効果的かつ効率的な河川管理につながると考えられる。

謝 辞

本論は、科学研究費補助金 (基盤研究 A : 23248021, 若手研究 B : 26740048) の助成を受けたものである。2名の査読者からは、本論を大幅に改善する極めて有益なコメントを多数いただいた。特に、査読者の一人である井上幹生氏には、空間スケールの概念、分類体系の汎用性の考え方において、極めて重大なご指摘をいただいた。また、本論は、多くの研究者、実務者の方々との議論を通じてまとめ得たものである。特に、中村太士氏には、第一著者の大学院生時代から今日までに、本論につながるアドバイスを多数いただいた。

摘 要

本論では、これまで世界および日本で行われてきた河川地形と生息場の分類体系について、特に「空間スケール」と「流程」に着目して体系的な整理を行い、課題を抽出するとともに、流程全体に適用するための検討および提案を行った。

セグメントスケール (流路幅の $10^3 \sim 10^4$ 倍) の分類体系は流程全体を網羅していたが、縦断的に大きく変化する山地河川の河道特性を表現するには不十分であった。しかし、この課題は、山地河川で確立されたリーチスケールの分類体系を活用し、小セグメントに区分することで解決できると考えられた。

リーチ (流路幅の $10^1 \sim 10^2$ 倍) と流路単位スケール (流路幅の $10^0 \sim 10^1$ 倍) における分類体系は、国外において、3次以下の山地河川を主な対象として確立されていた。これらの分類体系は、国内で行われた先駆的な分類体系をカバーしていた。また、これらの分類体系は、峡谷、谷底平野、臨海沖積平野を流れる4次以上の河川にも適用できると考えられた。

流路単位内のパッチであるサブユニット (流路幅の $10^{-1} \sim 10^0$ 倍) は、対象とする生物、環境、調査の目的等によって無数に分類可能である。しかし、地形や平面

流況に着目することで、普遍的なサブユニットタイプを見出すことは可能であり、特に流路幅の大きな沖積大河川では、それが生物の生息場利用を把握する上で、重要な空間単位であると考えられた。

空間スケールごとの河川地形の分類を適用することで、対象河道の物理的、生態的な特徴を把握することができるようになる。これを関係者間で共有することにより、円滑な議論、適切な決定ができるようになり、効果的かつ効率的な河川管理につながると考えられる。

引用文献

- Allan J.D., & Castillo M.M. (2007) Stream ecology. Second edition. Springer, Netherlands.
- Arscott D.B., Tockner K., & Ward J.V. (2000) Aquatic habitat diversity along the corridor of an Alpine floodplain river (Fiume Tagliamento, Italy). *Archiv für Hydrobiologie* **149**: 679–704.
- Bisson P.A., Montgomery D.R., & Buffington J.M. (2006) Valley segments, stream reaches, and channel units. In: *Methods in stream ecology*, Second edition, (eds. F.R. Hauer & G.A. Lamberti), pp.23–49. Academic Press, San Diego, California.
- Bisson P.A., Nielsen J.L., Palmason R.A., & Grove L.E. (1982) A system of naming habitat types in small streams, with examples of habitat utilization by salmonids during low streamflow. In: *Acquisition and Utilization of Aquatic Habitat Inventory Information* (ed. N.B. Armantrout), Symposium proceedings, pp.62–73. The Hague Publishing, Billings, MT.
- Bisson P.A., Sullivan K., & Nielsen J.L. (1988) Channel hydraulics, habitat use, and body form of juvenile coho salmon, steelhead, and cutthroat trout in streams. *Transactions of the American Fisheries Society* **117**: 262–273.
- Church M., & Jones D. (1982) Channel bars in gravel-bed rivers. In: *Gravel-bed rivers: Fluvial processes, engineering and management* (eds. R.D. Hey, J.C. Bathurst, & C.R. Thorne), pp.291–338. John Wiley and Sons, Chichester, United Kingdom.
- Davey A.J.H., Hawkins S.J., Turner G.F. & Doncaster C.P. (2005) Size-dependent microhabitat use and intraspecific competition in *Cottus gobio*. *Journal of Fish Biology* **67**: 428–443.
- Davis J.A. & Barmuta L.A. (1989) An ecologically useful classification of mean and near-bed flows in streams and rivers. *Freshwater Biology* **21**: 271–282.
- 土木学会水理委員会移動床流れの抵抗と河床形状小委員会 (1973) 移動床流れにおける河床形態と粗度. 土木学会論文報告書 **210**: 65–91.
- Frissell C.A., Liss W.J., Warren C.E., & Hurley M.D. (1986) A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environmental Management* **10**: 199–214.
- Grant G.E., & Swanson F.J. (1995) Morphology and processes of valley floors in mountain streams, Western Cascades, Oregon. In: *Natural and anthropogenic influences in fluvial geomorphology*. Geophysical Monograph 89. (eds. J.E. Costa, A.J. Miller, K.W. Potter, & P.R. Wilcock), pp.83–101. American Geophysical Union, Washington, DC, USA.
- Grant G.E., Swanson F.J., & Wolman M.G. (1990) Pattern and origin of stepped-bed morphology in high-gradient streams, Western Cascades, Oregon. *Geological Society of America Bulletin* **102**: 340–352.
- Gregory S.V., Swanson F.J., McKee W.A., & Cummins K.W. (1991) An ecosystem perspective of riparian zones: focus on links between land and water. *BioScience* **41**: 540–551.
- Hauer F.R., & Lamberti G.A. (2006) *Methods in stream ecology*. second edition. Academic Press, San Diego, California.
- Hawkins C.P., Kershner J.L., Bisson P.A., Bryant M.D., Decker L.M., Gregory S.V., McCullough D.A., Overton C.K., Reeves G.H., Steedman R.J., & Young M.K. (1993) A hierarchical approach to classifying stream habitat features. *Fisheries* **18**: 3–12.
- Howard A.D. (1967) Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* **51**: 2246–2259.
- Inoue M., & Nakano S. (1999) Habitat structure along channel-unit sequences for juvenile salmon: a subunit-based analysis of in-stream landscapes. *Freshwater Biology* **42**: 597–608.
- Jackson R.G. II (1975) Hierarchical attributes and a unifying model of bed forms composed of cohesionless material and produced by shearing flow. *Geological Society of America Bulletin* **86**: 1523–1533.
- 可児藤吉 (1944) 溪流棲昆虫の生態. 日本生物誌「昆虫, 上巻」, pp.171–317. 研究社, 東京.
- 川那部浩哉・宮地伝三郎・森主一・原田英司・水原洋城・大串竜一 (1956) 溯上アユの生態—とくに淵におけるアユの生活様式について—. 京都大学理学部生理生態学研究業績 **79**: 1–37.
- 萱場祐一 (2013) 河川地形の特徴とその分類. 「河川生態学」(中村太士編). pp.13–33. 講談社, 東京.
- Keller E.A., & Melhorn W.N. (1978) Rhythmic spacing and origin of pools and riffles. *Geological Society of America Bulletin* **89**: 723–730.
- Kondolf G.M. (1995) Geomorphological stream channel classification in aquatic habitat restoration: uses and limitations. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **5**: 127–141.
- Mackin J.H. (1948) Concept of the graded river. *Geological Society of America Bulletin* **59**: 463–511.
- 水野信彦・御勢久右衛門 (1993) 河川の生態学. 築地書館, 東京.
- Montgomery D.R., & Buffington J.M. (1997) Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin* **109**: 596–611.
- 永山滋也 (2011) 蛇行河川の魚はどこに棲んでいるのか? 「川の蛇行復元—水理・物質循環・生態系からの評価—」(中村太士編). pp.201–205. 技報堂出版, 東京.
- Nagayama S., Kawaguchi Y., Nakano D., & Nakamura F. (2009) Summer microhabitat partitioning by different size classes of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in habitats formed by installed large wood in a large lowland river. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **66**: 42–51.
- 中村太士 (2013) 河川生態学. 講談社, 東京.

- Nakano D., & Nakamura F. (2008) The significance of meandering channel morphology on the diversity and abundance of macroinvertebrates in a lowland river in Japan. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **18**: 780-798.
- 中野大助・布川雅典・中村太士 (2005) 再蛇行化に伴う底生動物群集の組成と分布の変化. *応用生態工学* **7**: 173-186.
- Rosgen D.L. (1994) A classification of natural rivers. *Catena* **22**: 169-199.
- Rosgen D.L. (1996) *Applied river morphology*. Second edition. Wildland Hydrology, Colorado.
- Sedell J.R., Reeves G.H., Hauer F.R., Stanford J.A., & Hawkins C.P. (1990) Role of refugia in recovery from disturbances: modern fragmented and disconnected river systems. *Environmental Management* **14**: 711-724.
- 谷田一三 (2007) 河川における土木工学と生態学の共通性と異質性～生息場所再考～. *応用生態工学* **10**: 35-40.
- Ward J.V., Tockner K., Arscott D.B., & Claret C. (2002) Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology* **47**: 517-539.
- 山本晃一 (1994) 沖積河川学—堆積環境の視点から—. 山海堂, 東京.
- 山本晃一 (2010) 沖積河川—構造と動態—. 技報堂出版, 東京.