

意見 OPINION

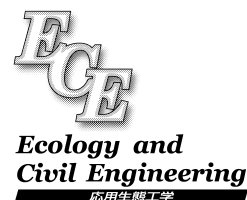
河川における土木工学と生態学の共通性と異質性～生息場所再考～

谷田 一三

大阪府立大学大学院理学系研究科 〒599-8531 堺市学園町1-1

Kazumi TANIDA: Commonality and dissimilarity between ecology and civil engineering in rivers with a reconsideration of stream habitats. *Ecol. Civil Eng.* 10(1), 35-40, 2007.

Graduate School of Science, Osaka Prefecture University, Gakuencho 1-1, Sakai-shi 599-8531 Japan



Abstract: Several topics on commonality and dissimilarity between ecology and civil engineering in rivers and streams of Japan were provided. Both contain the fields of spatial sciences. Thus, habitat becomes a principle importance for both sciences. In river and stream ecosystems, habitat produces species richness, which enhances the biodiversity within river ecosystem. I also revised a check-sheet of microhabitats which is conformed by three spatial layers: channel center and margin, riffle-pool sequences, and habitat elements.

はじめに

1995年秋に東京で開催された海岸工学が中心の国際学会 Ecoset95 に、中村俊六先生(当時:豊橋技術科学大学)に誘われて参加したのが、本格的な土木工学者との付き合いの始まりと記憶している。この国際学会においては玉井信行先生の特別講演も聴いた。確か、出版されたばかりの「河川生態環境工学-魚類生態と河川計画」の紹介をされていた。この図書も、水野信彦先生などの河川生態学の研究者と、玉井先生と中村俊六先生などの河川土木工学者との合作だった。その国際学会ではじめて会った、金沢大学(当時)の辻本哲郎先生と一緒に、翌年の3月に石川県山代温泉での研究会を企画した。小規模ではあったが、河川工学と生態学が一体となった研究会の嚆矢の一つだった。土木研究所の萱場祐一さんにも河川の新しい見方を習った。その翌年にはこの応用生態工学会の前身、応用生態工学研究会が発足し、これらの2分野の統合は急激に加速された。それから10年以上を越えた今、土木工学と生態学の共通性と異質性を、生息場所(ハビタット)に軸足を置いておもに生態学の立

e-mail: tanida@b.s.osakafu-u.ac.jp

場から考えることにしたい。

場の科学としての共通性、そして異質性

生態学は多面的な科学で、コンピュータの中だけ、頭の中だけで考える数理生態学や理論生態学もある。しかし、特定の場を対象とする生態学は、生物や生物群を対象とする生態学とともに、もっとも研究者の多い分野だろう。水域の生態学のなかで、海洋生態学に比べて陸水生態学のフィールドは狭いが、陸水のなかの河川生態学の研究者の数は少なくはない。日本の野外動物生態学の端緒の一つも河川だった。河川というフィールドは、日本の生態学にとって無視できない場である。河川工学は、もちろん河川という場がなければ成立しない科学である。しかし、近年までは生態学と工学が対象としてきた河川への見方は、大きく違っていた。

河川工学の世界に入り込んだときの最初の衝撃は、河川や水辺生物の生活空間が「堤外地」と呼ばれていることだった。この言葉は、「××番外地」を連想させるもので、そこに生活するものやその環境が軽視されているように思ったものだ。「河床材料」という述語も、最近こそ

耳慣れたが、当初はかなりの違和感があった。生態学では「底質」、「河床型」、「河床状態」とは言うが、材料とは言わない。河川工学には、やはり「河川を造る」科学としての側面があるのだろう。

改正河川法が環境を河川管理の目的とするまでは、河川管理のための工学は、おもに洪水や高水を扱ってきた。いっぽう、水利用の工学や水文学は渇水時を対象としてきたようだ。それに対して、生態学が扱う河川は、圧倒的に平水時が多い。もちろん、生態学から見ても重要な河川地形や生息場所は、洪水や高水がその枠組みを決めるし、多くの河川生物の繁殖の引き金は増水が引き起こす。渇水も生態的な影響は大きい。現在は、流況のどの部分を扱うかは、土木工学・生態学ともに対象とする幅が確実に広がっている。しかし、河川の生態学と工学が扱う流況の主体は、前述したようにはっきりと異なっている。この違いは、河川のどの場を主要な対象とするかに現われる。生態学の対象は流路も含めた低水路が中心だが、工学は堤防や高水敷も主要な対象となっているように思われる。

いっぽう低水時の河川については、改正河川法のもとに策定する河川整備基本方針では、流水の正常な機能を維持するための流量を、動植物の生息・生育地に、景観、流水の清潔、塩害防止、地下水位、舟運などで求め、それに水利権水量を加えて、算出するという。動植物の生息地の維持が取り上げられたことは、河川管理にとっても革命的である。しかし、今のところは、魚類の遡上や移動が可能な水深といった視点しかない。今後は、河川の生息場所が動的に維持されるよう、高水や中小洪水時の流況も含めたダイナミクスを確保することにも配慮が必要だろう。

「生息場所」にこだわって

河川法では、動植物の生息・生育地という述語を、ハビタット habitat に対応させている。最近の河川生態学術研究の概要のパンフレット「川の自然環境の解明に向けて」では、ハビタットと生育・生息地が共存している。ハビタットの訳語について少々ならず気になって、「生態学辞典」(巖佐ほか編 2003)を紐解いた。ハビタット、生息場所などの述語は、項目からはずされ、単語としては「生息地」が使われていた。ちなみに、「生物学辞典第4版」(八杉ほか編 1996)においては「生息場所」という項目があげられ、「habitatの訳、生息地、すみ場、すみ場所、立地と同意」としている。「生物の個体あるいは

個体群がすんでいる場所。生物にとって生息場所は、最も近接的・直接的な諸条件を与える場である。したがって生息場所は、単に位置的な場としてではなく、個体あるいは個体群にとっての生活環境として個体の適応度や個体群増加率に影響を及ぼす。そのため種の生活史形質や個体群動態と生息場所の時間的・空間的変動性には、特定の関係が見られるという指摘もある」。さらにビオトープとの関係など、かなり詳しい記述が続く。「生態学辞典」において、生息場所など habitat に対応する項目が絶滅した事情については、多少の興味はあるが、ここでは深くは追求しないことにする。

河川はその環境が空間的にも時間的にも大きく変動するいっぽう、生息する生物には環境の制約を強く受けるものが多いことから、生息場所をめぐる考究は避けて通ることはできない。また、この生息場所は、流況、土砂輸送、河川構造、それら以外の河道特性によって決まることから、生息場所の基盤の解析には、河川工学が大きな関わりを持つことになる。応用生態工学会で、また河川生態学術研究においても、生息場所が大きな研究課題となってきた所以でもあろう。少なくとも河川においては、生息場所は土木工学と生態学の重要な接点になりうる。

生物多様性と生息場所

生物多様性は、「生物多様性条約」においては、「すべての生物(陸上生態系、海洋その他の水界生態系、それらが複合した生態系その他の生息又は生育の場のいかんを問わない。)の間の変異性をいうものとし、種内の多様性、種間の多様性及び生態系の多様性を含む」と規定されている。種内の遺伝子レベルの多様性、種レベルの多様性、生物の相互関係レベルの多様性と、3つのレベルが明確に指摘されている。ちなみに条約の規定によるハビタットは、「[「生息地」とは、生物の個体若しくは個体群が自然に生息し若しくは生育している場所又はその類型をいう]となっている。「条約」では3つのレベルの多様性が主要課題とされている。これらの多様性の保全には、遺伝子、種、個体群あるいは群集、生態系、景観に注目することが必要とされる(鷲谷・矢原 1996)。

河川管理のなかで河川生態系の保全を具体的に考えるときには、次の3つのレベルに注目するのが一つの方法だと私は考えている(谷田 1996b)。種多様性とその上部の構造である生態系の多様性は、「条約」とほぼ同義に考えてよいだろう。しかし、やや応用的な保全や復元の

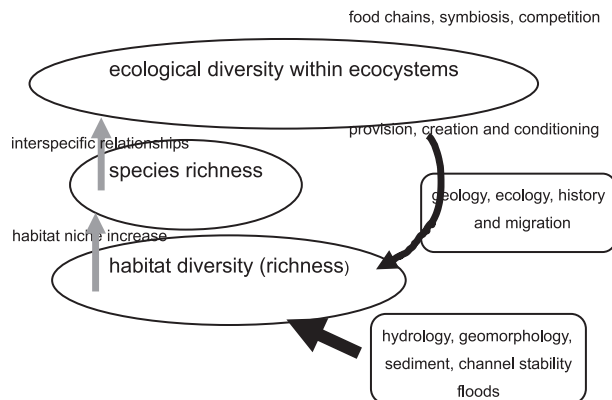


Fig. 1. Biodiversity in stream ecosystems: a three layers structure of habitats, species and ecosystems.

生態学，あるいは河川工学の立場にたってみると，この2つの多様性を支える下部構造，あるいは容れ物として，生息場所（棲み場所）の多様性を考えると判りやすい。生息場所は生態システムや種個体群とより直接的な関連があり，さらに河川においては水と土砂を基盤として形成される点でも土木工学との関連性も高い (Fig. 1)。遺伝子レベルの多様性の保全はもちろん重要だが，この課題についてはまた稿を改めて論じたい。

生息場所の多様性を評価する

可児 (1944) は河川の構造論をまとめるにあたって，早瀬・平瀬・淵・川岸という場 (生息場所) を景観的に区別し，それらから構成される最小ユニット (リーチ，瀬-淵構造) を，「河川の単位形態」と名づけた。可児の卓見は，今は世界的にも広く認知されている瀬-淵配置と

いう構造的あるいは地形学的な単位形態を世界に先駆けて発見したことだけではない。この単位が，生物群集の単位にもなっていることを底生動物の分布調査から明示したことである。

この景観的に区分された生息場所は，さらに詳しく区別することは可能である。淵については，成因や配置などから細分や再検討が早くから試みられている (川那部ほか 1956; 水野・御勢 1993)。また，瀬については，底が浮き石でできた早瀬 rapid とはまり石が主体の平瀬 riffle/glide を区別するとともに，滝になっている場所 (階段瀬あるいは小滝 step or small cascade) も区別されている (Church 1992)。

私ども (川那部ほか 1992; Takemon & Tanida 1993; 谷田・竹門 1995; Takemon 1997) は，奈良県東吉野村の高見川 (吉野川水系) において，当時としてはかなり詳細な微環境と底生動物の分布様式の調査から，11の生

Table 1. Habitat types and fauna in a mountain stream of central Japan.

habitat	fauna
hyporheic zone over entire bar	young nymphs of mayflies (Ephemeroptera)
hyporheic zone along the edge of point bar	elmid beetles (Coleoptera), tipulids (Diptera), <i>Gibosia</i> (Plecoptera), Naididae
shore of accumulated gravels	mature nymphs of leptophlebid mayflies (Ephemeroptera)
shore of rocky substrata	peltoperlid nymphs (Plecoptera)
accumulated stones in high riffle	mayfly nymphs of <i>Epeorus</i> (Ephemeroptera), blepharocerid larvae
litter-packs	elmid beetles, Gomphidae (Odonata)
moss-mat on bedrock	<i>Micrasema</i> (Trichoptera), hydroptychid larvae (Trichoptera)
lateral scour pools	Gomphidae, <i>Ephemera</i> (Ephemeroptera), young Zacco fish
emerged stones	frogs, wagtails
pool-riffle transition	ephemerid mayfly (oviposition) (Ephemeroptera)
rock caves	minnow, dace (refuge of adults)

Partly after Takemon (1997)

Table 2. Checklist for micro-habitats of mountain streams in central Japan (from Tanida, 1996a).
habitat elements

zones	habitat units	bed rocks	hyporetic areas	accumulated stones	embedded stones	gravels	submerged plants	roots of plants	moss mats	sand bottoms	deposited litter packs	trapped litter packs	hyporheic zones
centre	steps	+		+	+				+			+	+
	rapids	+		+	+				+			+	+
	runs	+		+	+		+	+					+
	pools	+		+	+					+			+
margin	steps	+	+	+					+			+	+
	rapids	+	+	+					+			+	+
	runs	+	+	+					+				+
	pools	+	+	+					+				+
	lateral pools	+		+					+				+

息場所を区別した(Table 1). すなわち, 1. 河床内間隙 (ハイフォレイックゾーン), 2. 砂州とその周辺, 3. 砂利堆積海岸, 4. 岩盤河岸, 5. 浮き石早瀬, 6. 落葉落枝堆積 (リターパック), 7. モスマット (蘚苔マット), 8. 水たまり(サイドプール) 9. 抽水石礫部, 10. 流速漸移帯, 11. 岩穴. このような生息場所は, 日本の山地溪流ではかなり普遍的に存在するものであり, 程度の差はあるものの各々に特徴的な生物群集が見られる.

瀬一淵の基本構造に, これらの微生息場所分析を加えて, 山地溪流についてのもう少し一般的な生息場所チェックリストの作成を試みた (谷田 1996a, b, 1999) (Table 2). 先ほどの種多様性の基礎となる生息場所多様性が評価できないかというのが, その目論見である.

まず, 流心部と周辺部を区別した. さらに, 山地溪流をおもな対象とするために, 階段瀬 step を早瀬 rapid から区別した. 河道の本流にできる淵 pool と周辺部に形成されるワンド lateral scour pool やタマリ separation zone のような場所は区別した. ここまでの区分はリーチ内の大区分であり, 魚類などの生息場所スケールにも対応する. しかし, 肉眼的無脊椎動物 (macroinvertebrates) ベントスの生息場所としては, かなり粗いように思われる.

早瀬や階段瀬や小滝の周辺には, しぶきのかかる場所 (湿潤区 hygropetric zone) が発達する. 水生昆虫の特異な一群がここには見られる. 自然河川での重要な生息場所要素である. コケが密集したモス (蘚苔) マット moss-mat は, 水中だけでなく, 湿潤区や水辺など, いろいろな場所に見られる. ここにも, 特有のベントス群集が見られる. 陸上に形成されている場合にも, 水生昆虫の産卵場所 (ホタルが著名), 採餌場所, 休息場所として, 重要な役割を果たしている.

ベントスから川岸を見ると違った要素が区分できる. 砂利の堆積河岸, ヨシの生えている岸, 岸辺や水中の植物 (抽水植物) の水中根, 岩盤の河岸, 土手と, 川の中の位置や, 岸辺の植物や微地形によって様々なタイプが見られる.

水中に溜まる落ち葉 (リターパック) は, 簡単に目につく緩流部に溜まる「堆積型」accumulated litter pack だけではない. 早瀬の部分にも, 石と石にはさまれて落葉堆がある. ダム型 (捕捉型) のリターパック trapped litter pack と名づけた. これらの落ち葉や小枝は, 水生昆虫の餌として重要なだけでなく, 生息場所も創出する. リターパックのある場所によって, 底生動物の種類相は変わるし, 分解の進行に伴っても種類組成や現存量は劇的に変化していく.

Table 3. Characteristics of habitat elements in Japanese mountain streams.

habitat elements	origin	stability	faunal endemism	faunal richness
bed rocks	erosional	stable		poor
hygropetric area	erosional	stable	peculiar	restricted
accumulated stones	erosional/depositional	dynamic		rich
embedded stones	depositional	moderate		moderate
gravels	depositional	dynamic		moderate
submerged plants	vegetational	temporal	peculiar	rich
roots of plants	vegetational	dynamic		
moss mats	vegetational	moderate	peculiar	rich
sand bottoms	depositional	dynamic		restricted
litter packs (deposited)	vegetational	seasonal	peculiar	rich
litter packs (trapped)	vegetational	seasonal	peculiar	diverse
hyporheic zones	depositional	stable?	peculiar	restricted

平瀬 (riffle, low gradient riffle, run) は、一般に早瀬より単調な環境である。それでも川岸と流れの中央部とは、底生動物の種組成や微環境が変わる。川の蛇行の内側と外側も、違った生息場所になる。流れが緩い淵でも色々な形が見られる。中流や下流にあるような、川の蛇行点にできる大きな淵 (M型淵) は少なくなるが、滝 cascade の下にできる淵 (F型淵 Plunge pool), 石礫瀬 riffle の下にできる淵 vertical scour pool, 岩の影にできる淵 (R型淵 lateral scour pool), 河原にある水たまり (サイドプール: separated pool, backwater), それぞれ微環境も違い、すんでいる底生動物も違っている可能性が高い。しかし、ここでは淵やタマリの生息場所を、微生物要素との組み合わせから区分することにした。

3つの空間的スケール (次元) によって微生物要素をまとめた表 (Table 2) では、理論上は出現しない生息場所区分もある。いずれにしても区分数が多いほど、まずは生息場所多様度の高い河川と判断できるだろう。これらの生息場所区分とベントス群集の対応やそれらの多様性の対応関係については、まだ多くの研究が必要ではあるが、固有性の高い群集の見られる区分や、固有性は低いが多様性の高い群集の見られる区分とを、区別することができる (Table 3)。

固有性の高い生息場所区分として注目される場としては、階段瀬や早瀬などの周辺に形成される湿潤区、岸辺の抽水植物やその根、瀬などに形成されるモスマット、堆積型のリターバックなどがある。それらに対して、固有性は低いものの多様性の高い生息場所としては、早瀬や階段瀬の浮き石、平瀬や岸辺の砂礫底などがある。種の多様性が見られるためには、これらの2つのタイプの生息場所があることが重要であろう。また、底生動物や

魚類の生活史過程のなかで重要な役割を持つ生息場所としては、河床間隙や流路の周辺に形成されるワンドやタマリ (lateral scour pools) なども重要な役割を持つ。

いっぽう、これらの生息場所要素の起源と安定性を見ると、植物が形成する要素で季節性を持つものが多いことが注目される。岩盤などに形成される区分を別にすれば、安定的に長期に存在する区分は少ない。すなわち、生息場所を人為で直接に作り維持するのは困難であることが判る。生息場所の枠組みとなる構造を作ることは可能かもしれない。しかし、そこに河川そのものの流水の変動、土砂の移動 (浸食と堆積) によって生息場所が形成され、さらに河道内の植物や溪畔の植物が生息場所を豊かなものにする。このシートには含めなかったが、造網性のトビケラ幼虫も、生息場所を形成する (谷田 1995; Nakano et al. 2005)。

このチェックリストと生物群集とを比較検討する研究は、いまだに公表されていないが、2, 3の河川では生息場所リストの有効性も確認されている (竹門ほか 未発表)。さらに多くの山地河川での検証を行うことが必要だろう。また、中流河川、とくに筆者らが長期にわたって研究を実施してきた砂河川の淀川水系の木津川、良好な環境の保全されている由良川などをモデル河川として、さらに広い河川生息場所の多様性評価システムの開発を試みたい。

謝 辞

本稿については、大阪府立大学生態研究室におられた竹門康弘さん (現京都大学防災研究所) との討議や共同作業に負うことが多い。また、シンポジウムを企画され、

辛抱強く原稿を待って頂いた兵庫県立大学の江崎保男さんにも、深く感謝します。

引用文献

- Church M. (1992) Channel morphology and typology. In: The Rivers Handbook 1 (eds. P. Calow & G. E. Petts), pp. 126-143. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- 巖佐庸・松本忠夫・菊沢喜八郎・日本生態学会(編)(2003) 生態学事典. 共立出版, 東京.
- 可児藤吉(1944) 溪流棲昆虫の生態. 「日本生物誌, 昆虫, 上」(古川晴男編), 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・大串龍一(1956) 遡上アユの生態, とくに淵におけるアユの生活様式について. 京都大学理学部整理生態研究業績 **79**: 1-37.
- 川那部浩哉・谷田一三・竹門康弘・平松和也・Ivan Silva・中田兼介・糸川泰一(1992) 豊富な動物群集保全のために必要な河川環境要素の研究. 地球環境研究 **20**: 65-123.
- 水野信彦・御勢久右衛門(1993) 河川の生態学(補訂版). 築地書館, 東京.
- Nakano D, Yamamoto M. & Okino T. (2005) Ecosystem engineering by larvae of net-spinning stream caddisflies creates a habitat on the upper surface of stones for mayfly nymphs with a low resistance to flows. *Freshwater Biology* **50**: 1492-1498.
- Takemon Y. (1997) Biodiversity management in aquatic ecosystems - dynamic aspect of habitat complexity in stream ecosystems. In: Biodiversity, Ecological Perspective (eds. T. Abe, M. Higashi, S. A. Levin), pp. 259-275. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Takemon Y. & Tanida K. (1993) Environmental elements for recovery and conservation of riverine nature. In: Proceedings of International Symposium of University of Osaka Prefecture on Global Amenity (ISGA Osaka '92), pp. 349-356.
- 谷田一三(1995) 河川ベントスの棲み込み関係, キースピーシスとしてのトビケラ. 「棲み場所の生態学」, pp. 95-128. 平凡社, 東京.
- 谷田一三(1996a) 川虫で河川水辺の自然度を調べる. 「昆虫ウォッチング」(日本自然保護協会編), pp. 260-266. 平凡社, 東京.
- 谷田一三(1996b) 生息場所・種・生態関係の多様性から「多自然の川作り」を考える. 水処理技術 **37**: 443-451.
- 谷田一三(1999) 水生昆虫と河川環境—底生動物群集と生息場所によるエコアッセイ試論—. 化学工業 **50**: 688-694.
- 谷田一三・竹門康弘(1995) 日本の2, 3の山地溪流における微生物場所構造と底生動物群集. *Ecosec'95: International Conference on Ecological System Enhancement Technology for Aquatic Environments*. pp. 95-100.
- 鷺谷いずみ・矢原徹一(1996) 保全生態学入門—遺伝子から景観まで. 文一総合出版, 東京.
- 八杉龍一・小関治男・古谷雅樹・日高敏隆(編)(1996) 岩波生物学辞典 第4版. 岩波書店, 東京.