

総説 REVIEW

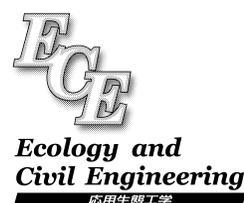
応用生態工学が担ってきた研究領域と未知の領域 —現状認識と新たな視点の発掘をめざして—

中村 太士

北海道大学大学院農学研究院 森林管理保全学野 〒060-8589 札幌市北区北9西9

Futoshi NAKAMURA: Scope and knowledge gap of ecology and civil engineering — Present situation and future dimensions — . *Ecol. Civil Eng.* 10(1), 47-58, 2007.

Department of Forest Science, Graduate school of Agriculture, Hokkaido University, Kita 9 Nishi 9, Kita-ku, Sapporo 060-8589, Japan



Abstract: The majority of published papers in ECE were relating to aquatic ecosystems and written by university and/or institute members. Other fields such as terrestrial or coastal ecosystems should be more focused, and consultant and government employee should be encouraged to submit their case studies. As a philosophy and a target of ECE, interdependence between ecology and civil engineering, holistic view of environment, target for restoration, and ecological health were discussed. At investigation and planning stage, life history trait, habitat condition, disturbance, material cycle, interactions between organisms were examined. The focus should be given to the key habitat corresponding to the key life-stage such as reproduction stage. IBI, RHS and habitat evaluation by GIS were introduced and other multivariate statistical analyses were employed. I believe that evaluation of ecosystem health in a broad scale is an important theme to build effective conservation or restoration plan. At the implementation stage, I doubt the necessity to draw the detail design of engineering structures, rather I feel it produce great mischief. Design with nature or passive restoration should be the first priority. The studies on this stage were very few, probably because evaluation of engineering works was not planned before implementation, and evaluation has not been fulfilled. Thus, at monitoring and evaluation stage, Before-After-(Reference)-Control-Impact design were recommended, and critical lines to refine or improve management plan and engineering works should be presented before implementation.

Key words: ecosystem management, habitat, monitoring, restoration, river environment

はじめに

1997年10月15日に応用生態工学研究会が発足し、2003年10月5日に応用生態工学会と改称した。両者の期間を含めて今年ではや10年が経ったということは、発足から携わったものとして感慨深いものがあると同時に、時の過ぎる早さに驚かされる。筆者がこの研究会ならび
e-mail: nakaf@for.agr.hokudai.ac.jp

に学会に参画することになったきっかけは、もちろん学問的な興味があったからに違いないが、それとともに第1期の副会長をされ、その後2000年に応用生態工学会の名誉会員になられた故大島康行先生の勧めがあったからだと思う。大島先生との出会いは‘溪畔林研究会’という小さなグループでの活動からだった。生態学、地形学、応用科学を問わず、集水域を対象として研究してみたいという筆者の横着な研究テーマに研究会の時代から興味

を持って頂き、事あるごとに様々なアドバイスを頂いた。その後、応用生態工学会の発足と時期をほぼ同じくして始まった‘河川生態学術研究会’にもお誘い頂き、生態学と土木工学が同じフィールドで共同調査を実施するという画期的なプロジェクトに参画することができた。この10周年の記念大会に大島先生とお話できなかったことは本当に残念でならないが、大島先生に育てて頂いたかつての若手研究者の一人として、感謝を込めてここに応用生態工学会の10年間の歩みを振り返り、今後の発展性を議論してみたい。本論では、これまで学会誌‘応用生態工学’に発表された論文を中心に、応用生態工学が担ってきた領域を概観する。さらに、事業実施のながれを意識し、報文の内容を‘理念・目標’‘調査・計画’‘解析’‘実施・施工’‘モニタリング’に分けて、達成できた内容と内在する問題点を明らかにし、今後の方向性を探りたい。また、筆者の力量不足もあって、本論で紹介できなかった多くの重要な論文も応用生態工学には掲載された。これらを網羅できなかった点については、どうかご容赦いただきたい。

応用生態工学が担ってきた領域

1998年に会誌‘応用生態工学’の創刊号が発刊されて以降、数多くの論文が掲載された。会誌の発行にあたり、刊行規程や投稿規程の作成など、論文スタイルや手法が大きく異なる生態学と土木工学の融合ということで、様々な問題が浮上した。その陣頭指揮に当たり会誌の骨格を作った初代編集委員長の竹門康弘氏の熱意と努力に敬意を表したい。筆者は2代目編集委員長ということで、

初代とくらべれば投稿等の規程や制度はすでに整っており、役目といえば、さらなる内容の向上と英文誌の発刊、現場技術者からの投稿促進にあった。この役割を実現するために様々な努力をしてきたつもりであるが、一方で「掲載されている論文が応用生態工学としてふさわしくない」といった、裏を返せば「応用生態工学とは何か」を問うコメントを頂いた。その時の私の答えは、学会のシンポジウム等でお話ししているとおり、いつも「応用生態工学としての学問領域や手法がまだ確立していない段階で、編集委員長の裁量で枠をはめることは危険である。この枠は自由な議論のなかで育てるべきものであり、学問である以上、‘おもしろい’と思ったことをやればよい。」というものであった。現在でもその考えに変わりはない。

応用生態工学が担ってきた領域を、創刊号が発刊された1998年から対象生物で区分すると、河川環境や魚類、水生動物に関する論文が大半を占め、陸域もしくは海域生態系に関する論文がきわめて少ないことがわかる(Fig. 1)。全体的に掲載論文数は漸増しているが、この傾向は2006年までほとんど変わらない。応用生態工学会は河川や水生生物の問題に強いと外部から言われるゆえんであり、このことは森林科学や造園学、海洋科学などを専門にする会員が少ない理由につながる。また、掲載された英文論文は、原著論文で64編中6編、事例研究は21編中1編、総説は37編中4編、短報は12編中2編であり、全体の1割にも満たない。

投稿者については、大学・研究機関が全体の75%を占め、実際の実務を実施しておられるコンサルタントや行政からの投稿数はきわめて少ない(Fig. 2)。この点は今後、

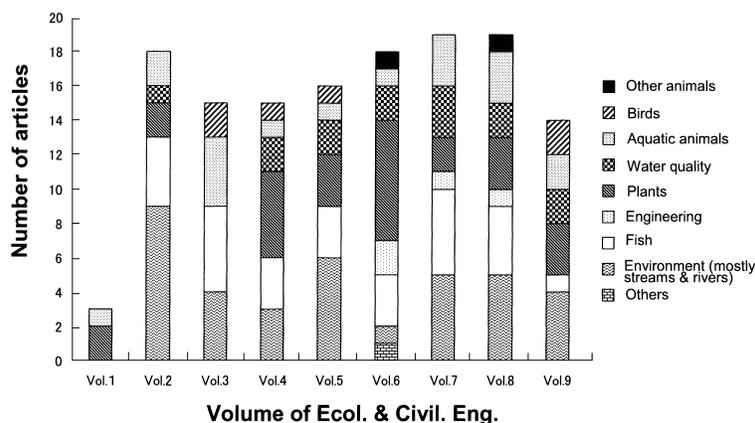


Fig. 1. Categories of subjects and themes of articles published in Ecology and Civil Engineering.

図1 応用生態工学に発表された報文のテーマ、主題に関する分類。

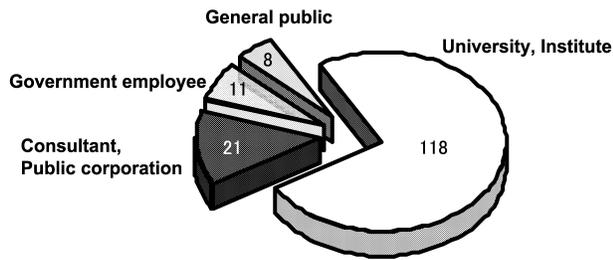


Fig. 2. Affiliation of the first authors.
図2 報文筆頭者の所属.

さらなる改革が必要と思われる重要課題である。応用生態工学は、ある意味、査読が非常に厳しい雑誌であると思う。理由は、生態学をバックグラウンドに持つ会員が工学的なアプローチを使うと、工的手法の完成度の低さから厳しいコメントをもらい、土木工学専門の会員が生物を扱くと、生態学的な興味や手法からかけ離れていると厳しいコメントをもらうためである。また、どちらか一方に片寄せると、それは応用生態工学の論文ではないとまたお叱りを受ける。投稿者のなかには、そうしたコメントで苦々しい思いをした方々が多くおられたと思う。研究者が投稿してもそうしたコメントが返ってくる人が多い現状では、コンサルタントや行政の方々から‘敷居の高い雑誌’と思われるのも仕方ないのかもしれない。

現状を踏まえて、今後の方向性を探りたい。応用生態工学会の理念を語った‘発足趣意書’には河川や湖沼生態系を中心に活動するとは全く書かれていない。したがって、応用生態工学にとって陸域や海域も対象とする範疇である。ましてや、河川・湖沼生態系が周辺生態系からの滋養で成り立っている事実を鑑みれば、当然のことながら、様々な生態系を扱う会員が一同に会して研究成果を発表することが重要である。この一つの試みとして‘International Consortium of Landscape and Ecological Engineering (ICLEE)’が2005年に発足し、陸域の植生修復に重点を置く日本緑化工学会、生態系間の相互作用を扱っている日本景観生態学会、そして応用生態工学会が基幹学会として参画した。この他にも韓国や中国、台湾の関連学会が加わり、2005年合同英文誌‘Landscape and Ecological Engineering (Springer 出版)’が発刊された。また、2006年8月には‘International conference on ecological restoration in East Asia 2006, Osaka’と題する合同研究発表会が大阪万博記念館で開催され、同様なテーマを共有する日本の他学会、ならびに東アジアの学会と学術交流がもてたことは、意義があった。

古川ほか(2000)は、実務的な発表を増やすためには、学

会内に実務の具体的な検討結果を評価・批判するための場が必要であることを述べた。その後、学会誌に‘事例研究’というジャンルが加わり、2001年には2日間にわたって「生態学リサーチマネジメントをアシストする勉強会(第1回)」が開かれた。筆者は、この勉強会に参加できなかったため詳細はわからないが、ニュースレターや参加者から聞いた範囲では、「内容についてのコメントが多く、まとめ方に関するアドバイスはわずかだった」「会場の参加者との議論はほとんどなかった」「発表事例が非常にすぐれているものばかりで、事例研究の平均的な内容とは言えなかった」などの感想があった。コメントーターに学会を代表する錚々たるメンバーが並んでいるのは、発表者は若干萎縮してしまい、本来の意味でのアシストには成りにくかったのかもしれない。したがって、この企画の第2回は現在まで開催されていない。

その反省をもとに、現場からの論文または事例研究の投稿を促進するため、2005年編集委員会が中心になって、NPO法人応用生態工学研究会主催の‘論文執筆のための講習会’を実施した。最初の講習会は筆者が講師をしたが、あくまでも論文の構成や書き方の基本を教えたものであり、投稿するにはマンツーマンでの指導が必要になると思われる。応用生態工学会が立ち上がった理由は、学問的興味よりも長良川河口堰問題に代表されるような社会的要請による。したがって、「農学栄えて農業減ぶ」のたとえのように、「応用生態工学栄えて自然環境減ぶ」では存在意義がない。現場の施工事例が生物にとって良くならなければ学会として社会的役割を果たしているとは言えない。多くの事例研究が発表され、学会誌に掲載されることが、この学会にとってきわめて重要であることを今一度認識し、事例研究投稿の促進を進めなければならない。

理念そして目標

創刊号から応用生態工学における理念・目標に関して、様々な意見が掲載された。川那部(1998)は、‘生態学と工学の相互浸透性’という言葉を使って、「せっかく生態学と土木工学が互いに手を差し伸べて、境界領域をともに考え実行して行こうとするのなら、それによって、生態学のほうにも新しい領域が作り上げられ、あるいは、生態学自身にもある種の変更が起こりえる、そのような契機となる可能性が考えられるべきではないだろうか」と述べている。この相互浸透性が10年間で達成できたかと言えば、答えは否であろう。社会的要請が応用生態工

学発足の契機であったならば、これは無理のないことかもしれない。高度経済成長期以降、日本の土木工学は安全で便利な社会の実現に貢献したが、これによって良好な生物生育・生息環境を失ったのも事実である。「生態学の知識が必要である」という切実な願いは、土木工学から寄せられたものであり、いわば片思いの状態が続いている。その証拠に、大学の旧土木工学科に採用される若手生態学者がちらほらとみられるのに対して、その逆は筆者の知る限りない。川那部氏が期待する相互浸透性は、応用生態工学が社会的要請のみならず学問的興味からも成熟した段階に至って、はじめて達成できるものと思われる。今後に期待したい。

石川 (1999) は、「風景画としての河川生態学研究」と題して、部分と全体の問題について問いかけた。その内容は興味深く、部分の総合による環境 (全体) の理解ではなく、部分のつながりに注目した風景画的研究としての応用生態工学を提案している。石川が期待する全体的なものの見方は、まだまだ達成されていない感があるが、生物同士のつながり、もしくは物理現象と生物現象のつながり、さらに陸域と水域生態系のつながりに着目した研究は徐々に発表され始めている。先に紹介した河川生態学術研究会などの成果は、調査地を同じくして様々な角度から調査研究を実施しており、風景画としての総合的成果に注目したい。

自然復元における目標についても、多くの議論がなされた。辻本 (1999a) は、安芸 (1944) の‘河相’を生物と物理環境の相互作用によって形成されるものと定義し、玉井 (1999) が提案した‘潜在自然’の概念を引用して、「河相変質が顕在化した誘因と考えられる大規模かつ急激なインパクトだけがなかったと仮定した河相の変化を想定し……これを目標景観と考える」ことを提案した。概念としては理解できるが、具体的な方法論は未だ議論途上である。

さらに、2000年10月に開催された第4回応用生態工学研究会では、米国ワシントン大学のJames R. Karr教授を招聘し、「健全な生態系とは何か?」と題するシンポジウムが開催された。Karr & Rossano (2001) は、自身が発展させたIBI (Index of Biological Integrity) を総合的指標として提案した。島谷 (2001) は、‘生物多様性の保全’そのものである「そこに住むべき生物が、ちゃんと生息していけること」が健全性かどうかの目安であると主張し、指標は個々の場所の保全目標に応じて決定すべきであると述べた。環境目標、復元目標、健全性ともに、概念的にはある程度整理され、会員の間でも共通の認識が

醸成しつつあるが、具体的な評価手法や設定手法となると未だ暗中模索の感がある。その理由の一つとして、日本では環境や広域にわたって生態系を粗く評価するスクリーニングの手法が発達していないことによる。この点については後述する。

調査・計画段階における研究

応用生態工学会においては、全国各地で実施されている事業の調査・計画段階における業務内容に関連して、様々な研究がなされている。生態学と土木工学の接点として最も注目され、掲載された数多くの論文が注目しているテーマは、生物の生育・生息場環境、いわゆるハビタット (habitat) 解析である。応用生態工学に掲載された論文のほとんどは、直接環境傾度 (direct environmental gradient) としてハビタットを形成する物理変量 (たとえば植物では光・土壌条件等、魚類では流速・水深等) を計測しており、それぞれの生物種はある複合した環境傾度によって形成される特有なハビタットに生育・生息するという結論が導かれている (たとえば、藤咲ほか 1999; Mori et al. 2000; 長坂ほか 2000; 美濃部・桑村 2001; 佐川ほか 2002; 中村ほか 2004)。PHABSIM (Physical Habitat Simulation System) や HEP (Habitat Evaluation Procedure) も同様な手法である。

一方で、こうした生物種は生活史の様々な段階で、異なるハビタットを選択することもよく知られている。とりわけ、動物種では顕著であるが、個体として移動しない植物でも長い生活環を持つ樹木種は、生活ステージに対応して自らハビタット条件を変化させ異なる生育環境を形成している (Shin and Nakamura 2005; Nakamura et al. 2007)。そのためハビタット解析は、生活ステージに対応して実施しなければならないが、個々の生物種の生活史が未解明な段階で、そのハビタット特性をステージごとに明らかにすることはきわめて難しい。こうした現状を考えると、対象とする生物の鍵となる生活ステージ (key life-stage) に対応した鍵となるハビタット (key habitat) の特性を明らかにすることが重要である (Fig. 3)。多くの生物種にとって最も重要な key life-stage は繁殖ステージであり、繁殖可能な環境 (ハビタット) を失いリクルートが確保できない場合、絶滅に向かう。こうした key life-stage に着目した応用生態工学の研究としてはモクズガニの稚ガニ期の着底と遡上過程に注目した Kobayashi (1998)、カブトガニ産卵地に着目した清野ほか (2000)、サクラマス幼魚の越冬環境を検討した渡辺ほ



Fig. 3. Spawning environment, a key habitat to conserve *Hucho Perryi*.
図3 イトウの生息を保障するために必要な産卵環境.



Fig. 4. Shifting mosaic of floodplain forests in the Satsunai River.
図4 札内川における河畔林の動的モザイク構造.

か (2006) などがあげられる。

一方で、ハビタットの質的・量的変化について時系列解析された研究は未だ少ない(阿部・中村 1999; 傳甫ほか 2006; 海野ほか 2006)。常時変動することによって維持される河川生態系に着目した場合、攪乱は生態系の維持機構として完全に組み込まれており、攪乱を止めることがむしろ生態系の劣化に拍車をかける(谷田 1999; 中

村 1999a)。また、攪乱によって形成されるハビタットに依存した種も多く、変動によって形成された異なるハビタットのモザイク分布が、生活史を全うするためにも重要であることが近年わかってきた(Nakamura et al. 2007) (Fig. 4)。ハビタット環境を生活史と攪乱の視点からいかに統合するかが、応用生態工学としても重要なテーマである。

さらに、こうしたハビタットの質的变化は、生態系間の物質やエネルギーの移動に制御されていることが多い。水量・栄養塩・土砂・有機物等の物質・エネルギー収支については、土木工学や生態系生態学でも多くの観測例が報告されているが、その収支の結果、ハビタットが量的・質的にいかに変化したかを明らかにした研究は少ない(辻本 1999a; 村上ほか 2001; 梶野ほか 2003; 小部ほか 2005; 横山 2005; 吉村ほか 2006)。こうした物質循環とハビタットの変化が、定量的に明らかにできれば、先に述べた環境傾度分析を生かしながら、将来予測と対策内容の具体化が可能になると思われる。

もう一つ把握しておかなければならない重要なテーマに、生物間相互作用があげられるが、これに関わる論文は応用生態工学ではほとんど発表されていない(たとえば高橋・紙谷 2003; 柳井ほか 2006 など)。多分、こうした生物間相互作用については、生態学者の得意とするところであり、実務をあずかる土木工学者としては、知識として必要とされるものの、研究対象にはなりにくいのであろう。

解析手法に関する進歩

ハビタット解析や生態系の評価、健全性指標といった応用生態工学がかかえる主要テーマにおいても、近年解析手法の発達が著しい。

広域的解析や健全性指標として、先に述べた IBI の他、英国で発展した RHS (River Habitat Survey) (大石ほか 2006) や、GIS を使った回帰モデル(田村ほか 2004; 福島・亀山 2006)、二進木解析(伊勢・三橋 2006) などが発表されてきた。これら広域解析手法は、生態系保全区域の指定や自然再生箇所抽出、さらに戦略的アセスメントの評価手法としても重要であり、現存する生態系の診断カルテになる。また、それらの診断カルテは地図化してこそ実行力のあるものとなる(三橋・鎌田 2006)。日本の環境アセスメントや復元事業が、未だ初歩的段階にある原因の一つがこのスケールにおける解析がきわめて遅れていることに起因する。また、現存する自然生態系が、その重要性も認識されずに安易に改変を受けているのも、このスケールの解析に基づいた結果が地図化されていないことによる。地域スケールの解析はいわば‘生態系’の評価と保全を目的に実施されるものであり、‘種’の保全とともに、自然保護を進めるうえでの車の両輪を形成する。日本の保護論の多くは「絶滅に瀕する種 (endangered species)」には向けられるが「絶滅に瀕する生態系 (endangered ecosystem)」に対する配慮はきわめて弱い。米国では 1990 年代の初めから生態系管理 (ecosystem management) が台頭し、生態系プロセスを模倣することによって、生物多様性を保全しようとする動きが顕著になった (Franklin 1993, Fig. 5) のに対して、日本では種や遺伝的なレベルにおける多様性保全にとどまって



Fig. 5. Forest cutting and successive burning to mimic natural fire disturbance.

図5 自然の山火事をまねて実施した森林伐採とその後の火入れ。

いる。現状の生態系の評価ができないならば、保護や保全・再生の検討はできないと言っても過言ではない。

広域の生態系評価はあくまでも集団検診レベルであり、詳細な精密検査レベルでは次に述べるような多くの説明変量によって解析した方法や精度の高い新たな分析手法が用いられることになる。この10年間で応用生態工学会に発表された特定の生物種に注目した解析として、ガン属3種の成長モデル（田中ほか 2003）、ヨシの再成長モデル（湯谷ほか 2004）、スケール区分して階層的な生息環境パラメータを抽出した研究（渡辺ほか 2001）などがあげられる。また、群集を目的変量として解析した事例としては、分類樹木を使った鳥類生息場所の解析（加藤ほか 2003）やCCA (Canonical Correspondence Analysis) による底生動物群集（長坂ほか 2000）、魚類群集（佐川ほか 2002）、さらに湿原植物群集（中村ほか 2004）の解析結果が発表されている。また最近ではNMS (Nonmetric Multidimensional Scaling) を使った底生動物群集の解析結果も示され（金澤・三宅 2006）、多変量解析の発展が注目される。また、食物連鎖網を解析する手段として、炭素・窒素安定同位体比が使われることが多いが、河川生態系への適用について、高津ほか（2005）がレビューし、その可能性と限界についてまとめている。その後、炭素・

窒素安定同位体比を使った柳井ほか（2006）の研究によって、サケの死骸から供給された栄養塩が、水辺の植物ならびに河川の底生動物へ及ぼす影響が示された。今後は、河川生態系の健全性を示す評価指標としての利用が期待されるが、現状は未だその段階に達していない。

実施・施工段階における研究

実施・施工段階における研究としては、河川に関する事例が非常に多い。なかでも魚道は、工学的に様々な先行研究がなされており、本誌でも特集号が組まれ議論がなされた。森（2000）も指摘するように、魚道は治水・利水目的で作られる横断構造物の付加的施設として設計され実施されてきた。そのため、魚類個体が水理条件的に通過できるかどうかには焦点が置かれ、魚類個体群の生活史全体において、どのような影響を及ぼしているかという視点はほとんどない（高橋 2000）。そもそも生物学者にとって、「魚道ありき」から研究を始めることはほとんど興味はわかないのではないだろうか。筆者も魚道から議論を始めることは、魚道が免罪符となってしまう、横断構造物そのものを改良する視点を失わせるように思える（Fig. 6）。

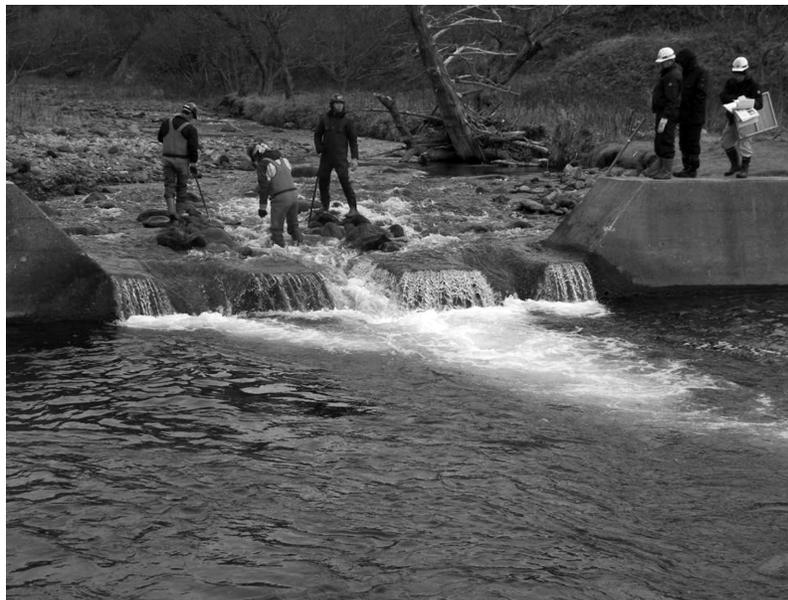


Fig. 6. Notches created in a low-dam (bed stabilization works) to ease upstream migration for spawning salmon in Shiretoko Peninsula, one of the World Natural Heritage sites.

図6 知床世界自然遺産区域内における低ダム群の改良。ダムに切り欠きを入れることによって、産卵に来たサケ科魚類の遡上を容易にした試み。

また、魚道については多くの権威者を生んだが、それが逆に個々の技術に対する客観的な検証を遅らせているように思える。同様な傾向は、緑化の分野でも認められる。現場技術者も権威者の言葉を鵜呑みにしてしまい、疑うことなく実施している例も多いし、どういう状態になれば魚道が機能したか、その調査検証方法すら確立されていないと思われる。ぜひとも生物学者との共同による評価手法を確立してほしいものである。さらに、魚道の維持管理、魚類の降下に与える影響についても、ぜひ検証していただきたい。その中で落下実験による生存率を明らかにした佐川ほか(2004)の成果は重要である。

多自然型川づくり、新河川法に始まった環境重視の河川改修・管理の理念は、その後の自然再生推進法の制定に引き継がれた。この10年の間に応用生態工学にも、先に述べた理念的なものから、現場で実施された事例紹介と評価に至るまで数多くの自然再生事業に関連する論文が掲載された。多自然型川づくりについては、多胡ほか(2000)が、多自然型魚道(全面魚道)への改善について報告したほか、馬場(2001)が北海道で実施された現地ワークショップの紹介と多自然型川づくりの紹介を行い、柳井ほか(2004)が木製構造物を使ったサクラマスの生息環境改善効果を報告した。河川の部分的な修復にはとどまらない自然再生事業としては、中村(2003)、渡

邊ほか(2005)が北海道釧路川と標津川の氾濫原ならびに蛇行流路の復元について紹介し、中野ほか(2005)が再蛇行化の評価を底生動物の組成と分布の視点から、河口ほか(2005)が魚類の生息環境の視点から報告している(Fig. 7)。島谷(2003)は多摩川永田地区の河原の再生をめざした河道修復事業について報告し、全体計画論における永田地区修復事業の位置づけ、さらに人為的な関与なくして維持できない再生事業の難しさについて述べた。西廣ほか(2001)は霞ヶ浦におけるアサザの局所個体群がここ数年で絶滅の危機にあることを述べ、保全と再生への提言を行った。また、Woo et al. (2003)は韓国における河川復元事業の現状を、一井(2006)は米国ノースクリーク川の湿地再生事業を報告した。

スイス・ドイツで実施されている河川再生事業の説明を聞く限り、詳細な設計図は描かれていない。一方、日本では自然再生事業と言えども、細かな設計図が描かれ、それに忠実に施工される。筆者はこの点に違和感を覚える。川の設計は、「川がみずから行い、人間はあくまでも舞台づくりをめざす」が原則であり、受動的再生(passive restoration)が重要であるといわれる所以であろう(中村2003)。それにもかかわらず、道路や橋の設計と同様に川の設計が行われている現状は、なんとかしなければならぬ。そのためには、会計検査等の仕組みのみならず、



Fig. 7. Re-meandering project in Kushiro River. The central channelized section is planned be reconnected with the old meandering reach (right side of the picture).

図7 釧路川における河道の再蛇行化。直線流路の一部区間を写真右側(左岸側)の旧川と連結するプロジェクト。

設計図を渡して施工業者が事業を実施する仕組みも変えなければならない。設計者と施工者が完全分担作業にならずに、現場で協同し、状況に応じた完成形をめざす仕組みが必要である。

応用生態工学における重要なテーマに、攪乱体制 (disturbance regime) をいかに管理に組み入れるかという問題がある。ダムの影響評価に関する特集 (中村 1999a) では、こうした攪乱体制の変化が地形 (辻本 1999b; 池田ほか 1999) や水質 (香川 1999), 水辺林 (中村 1999b), 水生動物 (谷田・竹門 1999; 森 1999) に与える影響についてレビューされている。辻本 (1999a) は、河相変化を記述する立場から、流況 (洪水の頻度と強度) と土砂供給条件の重要性を指摘した。こうした視点から、鎌田ほか (2002) は、正木ダムによる流況変化や土砂供給量の減少が河床材料や堆積面の比高に影響を及ぼし、植物群落の組成を変化させている実態を明らかにした。また、佐川ほか (2004) は、滝里ダムにおけるダム運用前後を比較し、物理環境ならびに魚類、底生動物への影響を検討した。さらに、小部ほか (2005) は、三春ダムにおけるフラッシュ放流の効果を、浮き石割合、河床の透水性、構成材料、付着藻類量の変化から定量的に示した。

流況変化や土砂供給、流域土地利用の変化は、最終的に沿岸域に波及する。こうした観点から沿岸域の保全に焦点を当てた特集号が組まれた (清野 2000)。また、その後、森・川・海の連鎖系に着目した有明海・八代海の特集が生まれ (楠田・堀家 2005)、どちらも大きな反響を呼び、社会的関心の高さに驚いた。前者は現在の沿岸域生態系の現状と課題について、生物と工学また産業的な視点から整理した特集であった。これに対し、後者は

陸域側の研究者も加わって、流域土地利用の視点から海域への影響を明らかにし、現状の問題点と今後の提言に結びつけようとするものであった。ほとんどの物質が重力に支配されて上流から下流へ移動することを考えると、陸域生態系ならびに生産活動によって生み出される物質が集積するのが海岸域である。現在、その生物生産基盤ならびに環境の質的悪化は目に余るものがある。負の連鎖を止めるためにも、応用生態工学が積極的に担うべき分野だと思われる。

施工後のモニタリング調査をいかに実施するか

事業実施後のモニタリング調査は、順応的管理を支える最も重要なステージである。またモニタリングは、事業実施前から始めなければならない。基本的には事前事後、実施区・対照区といったフレームで調査すべきことが提言され (Fig. 8)、これを BACI (Before-After-Control-Impact) デザインと呼んでいる。自然再生事業では、これに目標とする生態系との比較が加わるであろう (中村 2003)。残念ながら各地で実施されているモニタリングの実態は、事業実施区域における事後調査のみという場合がほとんどで、科学的評価は難しい。また、統計的な差を検出するためにはくり返しが必要であるが、自然再生事業の規模が大きくなればなるほど、対照区や改変区のくり返しを設定することは不可能になる。その場合、それぞれ 1 地区において複数回の事前事後調査を実施し、この時間的くり返しで統計的有意性を検証する方法をとる。今本ほか (2003) は、岩盤斜面での外来牧草緑化 20 年後の影響評価を実施し、植物の多様度は、外来牧草主

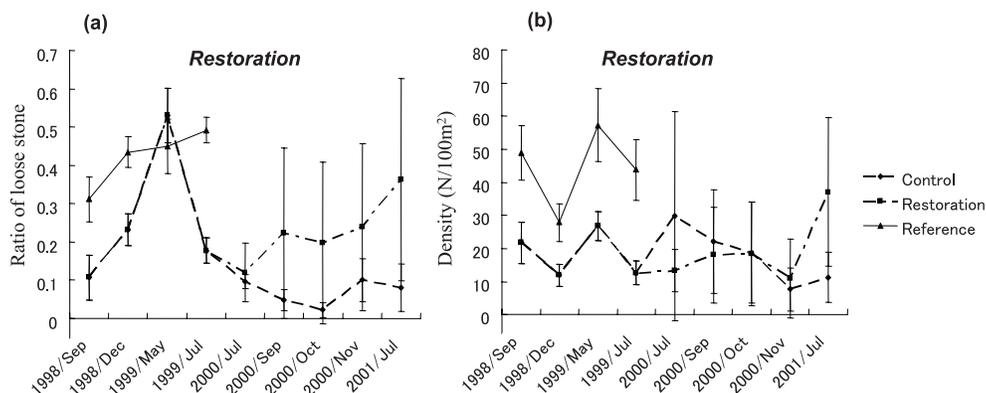


Fig. 8. The abundance of (a) loose stone and (b) sculpin before and after the experimental restoration, compared between control and reference sites (after Nakamura et al. 2005).

図8 改修実験箇所、対照区、基準区における実験前後の (a) 浮き石量ならびに (b) ハナカジカの生息数の比較 (Nakamura et al. 2005より引用)。

体の緑化工を実施した調査区で低く、外来牧草が在来種への移行を妨げている可能性を報告した。

今後は、こうしたモニタリング調査のみならず自然再生の目標設定、実施計画段階においても地域住民の積極的参加が望まれる。渡辺・鷺谷(2006)は住民の意識調査を実施し、知識や参加意欲に関しても世代間における大きな差があることを明らかにした。また長坂ほか(2006)は川の濁りの問題をとりえ、居住地区(上流と下流)や従事する仕事内容によって、濁りの成因に対する認識に大きな開きがあることを明らかにした。どちらも、事業に対する理解や合意形成、社会的参加を実現するうえで重要な視点であり、応用生態工学会としても今後発展させたい社会科学分野である。

これまで実施されてきたモニタリング調査の大きな問題は、調査結果の評価方法を事前に検討せずに、調査項目を適当に選び実施している点である。これは、「献立やレシピを決めずに材料を買いに行く」に等しく、あまりに無駄が多い。深刻な場合は、評価するために最も重要な調査項目が欠落していて、現状のデータでは何も言えない、などの事例も多く存在する。こうした現状を改革するためには、モニタリング調査を実施する前に、評価内容と解析手法を決定しておく必要がある。たとえば事業評価の場合、モニタリングデータとその解析によって得られる合否ラインを方法とともに事前提示し、事後調査結果によって評価することはもちろん、否がついた場合、できる限り原因を推察できるモニタリング調査を組まなければならない。

摘 要

応用生態工学が担ってきた領域を対象生物で区分すると、河川環境や魚類、水生動物に関する論文が大半を占めている。投稿者は、大学・研究機関が全体の75%を占め、コンサルタントや行政からの投稿数はきわめて少ない。前者については、合同英文誌の発刊により他学会との連携が進みつつある。また後者については、論文執筆のための講習会を実施した。

創刊号から理念・目標に関する意見を読むと、①生態学と工学の相互浸透性、②風景画(部分と全体)、③環境目標、復元目標とは何か、④健全性とは何か、などのキーワードが浮かびあがる。残念ながら達成できている項目は少ない。

調査・計画段階に関する論文は多く、テーマとして、①生活史、②生息場環境、③攪乱、④物質循環、⑤生物

間相互作用があげられる。生活史全体を網羅して生息場環境との関連を議論することは重要であるが、労力的にも限界がある。そのため、生活史のなかでも鍵となる繁殖ステージの環境に関する調査研究の推進が必要である。さらに攪乱と物質移動にともなう生息場環境の変化も重要なテーマであろう。

解析手法としては、広域的解析や健全性指標として、IBI, RHS, GISを使った回帰モデルなどが発表されてきた。また、新たな解析手法として、植物の生長モデル、階層的な生息環境パラメーターによる解析、安定同位体解析、分類樹木やCCA, NMSを使った多変量解析などが注目される。

実施・施工段階は最も重要な段階である。これについても、詳細な設計図が必要か、魚道の問題点は解決されたか、という疑問が残る。流量変動や流砂の連続性維持など、流域レベルでの技術も含めながら今後の発展に期待したい

施工後のモニタリング調査も順応的管理を支える重要な段階である。事前事後、実施区・対照区といったフレームで調査すべきことが提言された。今後は、成否ラインの事前提示と事後調査によるチェックが必要である。

引用文献

- 阿部俊夫・中村土士(1999)倒流木の除去が河川地形および魚類生息場所におよぼす影響。応用生態工学 2: 179-190。
 安芸皎一(1944)河相論。常磐書房。
 馬場仁志(2001)多自然型川づくりの事例評価—現地ワークショップによる評価の試み—。応用生態工学 4: 49-58。
 傳甫潤也・岡村俊邦・堀岡和晃・米元光明(2006)北海道低地帯で区分された河道内の攪乱作用と河畔林の構造との関係。応用生態工学 9: 3-20。
 Franklin J.F.(1993) Preserving biodiversity: species, ecosystems, or landscape? Ecological Application 3: 202-205。
 藤咲雅明・神宮字寛・水谷正一・後藤章・渡辺俊介(1999)小河川・農業水路系における魚類の生息と環境構造との関係。応用生態工学 2: 29-36。
 福島路生・亀山哲(2006)サクラマスとイトウの生息適地モデルに基づいたダムの影響と保全地域の評価。応用生態工学 8: 233-244。
 古川整治・石澤伸彰・池田欣子(2000)実務的な発表(論文)を活発化するための一提案。応用生態工学 3: 137-138。
 一井直子(2006)ノースクリーク川と氾濫原の復元: ミティゲーションを超えた湿地生態系の復元事業について。応用生態工学 8: 157-164。
 池田宏・伊勢屋ふじこ・小玉芳敬(1999)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 2: 113-123。
 今本博臣・後藤浩一・白井明夫・鷺谷いづみ(2003)無土壌岩盤法面で実施した外来牧草による緑化が及ぼす植生遷移への影響。応用生態工学 6: 1-14。

- 伊勢紀・三橋弘宗 (2006) モリアオガエルの広域的な生息適地の推定と保全計画への適用. 応用生態工学 **8**: 221-232.
- 石川忠晴 (1999) 風景画としての河川生態学研究. 応用生態工学 **2**: 1-5.
- 香川尚徳 (1999) 河川連続体で不連続の原因となるダム貯水による水質変化. 応用生態工学 **2**: 141-151.
- 梶野健・浅見和弘・中嶋一彦・杉尾俊治・林貞行・高橋陽一 (2003) 浦山ダム下流に投入した土砂がウグイの産卵にもたらす効果について—ダム下流河川における土砂投入の効果—. 応用生態工学 **6**: 51-58.
- 鎌田磨人・小島桃太郎・吉田竜二・浅井孝介・岡部健士 (2002) ダム下流域における河相変化が砂礫堆上の植物群落の分布に及ぼす影響. 応用生態工学 **5**: 103-114.
- 金澤康史・三宅洋 (2006) コンクリート基質—自然基質間における河川性低生動物の群集構造の比較. 応用生態工学 **9**: 141-150.
- Karr J.R. & Rossano M.E. (2001) Applying public health lessons to protect river health. *Ecology and Civil Engineering* **4**: 3-18.
- 加藤和弘・一ノ瀬友博・高橋俊守 (2003) 分類樹木を用いた生物生息場所の分類河川水辺の鳥類を対象とした事例研究. 応用生態工学 **5**: 189-201.
- 河口洋一・中村太士・萱場祐一 (2005) 標津川下流域で行った試験的な川の再蛇行化に伴う魚類と生息環境の変化. 応用生態工学 **7**: 187-199.
- 川那部浩哉 (1998) 応用生態工学とは何か, それは今後どのように進めていくべきか. 応用生態工学 **1**: 1-6.
- Kobayashi S. (1998) Settlement and upstream migration of the Japanese mitten crab *Eriocheir japonica* (de Haan). *Ecology and Civil Engineering* **1**: 21-31.
- 小部貴宣・浅見和弘・大杉奉功・浦上将人・伊藤尚敬 (2005) 三春ダムにおけるフラッシュ放流によるダム下流河川の環境改善について. 応用生態工学 **8**: 15-34.
- 高津文人・河口洋一・布川雅典・中村太士 (2005) 炭素, 窒素安定同位体自然存在比による河川環境の評価. 応用生態工学 **7**: 201-213.
- 楠田哲也・堀家健司 (2005) 森・川・海の自然連鎖系を重視した有明海・八代海の再生. 応用生態工学 **8**: 41-50.
- 美濃部博・桑村邦彦 (2001) 琵琶湖周辺の内湖における魚類相の変化と生息環境分析—在来魚の繁殖・生息の場としての生態的機能の復元に向けて—. 応用生態工学 **4**: 27-38.
- 三橋弘宗・鎌田磨人 (2006) 野生生物の生息・生育適地推定と保全計画—特集を企画するにあたって—. 応用生態工学 **8**: 215-219.
- 森誠一 (1999) ダム構造物の魚類と生活. 応用生態工学 **2**: 165-177.
- 森誠一 (2000) 魚道の思想・機能評価・今後の魚道の在り方. 応用生態工学 **3**: 151-152.
- Mori Y., Kawanishi S., Sodhi N.S. & Yamagishi S. (2000) The relationship between waterfowl assemblage and environmental properties in dam lakes in central Japan: implications for dam management practice. *Ecology and Civil Engineering* **3**: 103-112.
- 村上まり恵・山田浩之・中村太士 (2001) 北海道南部の山地小河川における細粒土砂の堆積と浮き石および河床内の透水性に関する研究. 応用生態工学 **4**: 109-120.
- 長坂晶子・中島美由紀・柳井清治・長坂有 (2000) 河床の砂礫構成が底生動物の生息環境に及ぼす影響—森林および畑地河川の比較—. 応用生態工学 **3**: 243-254.
- 長坂晶子・柳井清治・長坂有・佐藤弘和 (2006) 流域環境の変化に対する上下流住民の意識—対応分析・等質性分析を用いた検討—. 応用生態工学 **9**: 73-84.
- Nakamura F., Inahara S. & Kaneko M. (2005) A hierarchical approach to ecosystem assessment of restoration planning at regional, catchment and local scales in Japan. *Landscape and Ecological Engineering* **1**: 43-52.
- Nakamura F., Shin N., Inahara S. (2007) Shifting mosaic in maintaining diversity of floodplain tree species in the northern temperate zone of Japan. *Forest Ecology and Management* **241**: 28-38.
- 中村太士 (1999a) ダム影響評価の背景と課題—特集を編集するにあたって—. 応用生態工学 **2**: 101-102.
- 中村太士 (1999b) ダム構造物が水辺林の更新動態に与える影響. 応用生態工学 **2**: 125-139.
- 中村太士 (2003) 河川・湿地における自然復元の考え方と調査・計画論—釧路湿原および標津川における湿地, 氾濫原, 蛇行流路の復元を事例として—. 応用生態工学 **5**: 217-232.
- 中村隆俊・山田浩之・仲川泰則・笠井由紀・中村太士・渡辺綱男 (2004) 自然再生事業区域釧路湿原広里地区における湿原環境の実態—植生と環境の対応関係からみた攪乱の影響評価—. 応用生態工学 **7**: 53-64.
- 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.
- 西廣淳・川口浩範・飯島博・藤原宣夫・鷲谷いづみ (2001) 霞ヶ浦におけるアサザ個体群の衰退と種子による繁殖の現状. 応用生態工学 **4**: 39-48.
- 大石哲也・天野邦彦・尾澤卓思 (2006) RHS・HQA の適用による円山川河川環境評価の検討. 応用生態工学 **8**: 179-191.
- 佐川志朗・中村太士・妹尾優二・木村明彦・三沢勝也・入江潔・藤田真人・渡辺敏也 (2002) 北海道渡島地方小渓流河川における魚類の春季生息場所選択—実験的管理における作業仮説の提示—. 応用生態工学 **5**: 85-102.
- 佐川志朗・近藤智・渡辺雅俊・三沢勝也・中森達 (2004) 床固工の改良が落下魚類の生存率へ与える影響. 応用生態工学 **6**: 121-129.
- 佐川志朗・中森達・秋葉健司・張裕平・近藤智・渡辺雅俊 (2004) 滝里ダム運用が下流河川の物理環境および水生生物に与える影響. 応用生態工学 **7**: 65-80.
- 清野聡子 (2000) 日本の沿岸環境保全における応用生態工学の展望—特に海岸の現状と問題点—. 応用生態工学 **3**: 1-6.
- 清野聡子・宇多高明・土屋康文・前田耕作・三波俊郎 (2000) カプトガニ産卵地の地形特性と孵化幼生の分散観測—希少生物生息地のミティゲーション計画のために—. 応用生態工学 **3**: 7-19.
- 島谷幸宏 (2001) 健全な生態系とは何か? その評価と復元. 応用生態工学 **4**: 19-25.
- 島谷幸宏 (2003) 多摩川永田地区の河道修復. 応用生態工学 **5**: 233-240.
- Shin N. & Nakamura F. (2005) Effects of fluvial geomorphology on riparian tree species in Rekifune River, northern Japan. *Plant Ecology* **178**: 15-28.
- 多胡治・織田沢勲・林不二雄 (2000) 群馬県押野川における落差工の多自然型魚道への改善とヤマメ *Oncorhynchus masou* の放流実験. 応用生態工学 **3**: 131-136.

- 高橋剛一郎 (2000) 魚道の評価をめぐって. 応用生態工学 **3**: 199-208.
- 高橋一秋・紙谷智彦 (2003) 結実季節の異なる鳥散布植物を利用した自然植生の誘導. 応用生態工学 **5**: 179-188.
- 玉井信行 (1999) 河川の自然復元に向けて. 応用生態工学 **2**: 29-36.
- 田村典子・宮本麻子・美ノ谷憲久・高嶋紀子 (2004) 市街地における移入種タイワンリスの生息分布と林分環境. 応用生態工学 **6**: 211-218.
- 田中規夫・浅枝隆・関渉 (2003) 日本産ガマ属3種の地下部動態とその生長戦略. 応用生態工学 **6**: 25-34.
- 谷田一三 (1999) 生態学的視点による河川の自然回復: 生態的循環と連続性について. 応用生態工学 **2**: 37-45.
- 谷田一三・竹門康弘 (1999) ダムが河川の底生動物へ与える影響. 応用生態工学 **2**: 153-164.
- 辻本哲郎 (1999a) 河川の自然復元—目標景観. 応用生態工学 **2**: 7-14.
- 辻本哲郎 (1999b) ダムが河川の物理的環境に与える影響—河川工学及び水理学的視点から—. 応用生態工学 **2**: 103-112.
- 海野修司・齋田紀行・伊勢勉・末次忠司・福島雅紀・佐藤孝治・藤本真宗 (2006) 多摩川永田地区における河道修復事業実施後の生物群集と物理基盤の変化. 応用生態工学 **9**: 47-62.
- 渡辺敦子・鷺谷いづみ (2006) アザメの瀬自然再生事業地周辺地域の水辺環境における生物多様性認識と事業への参加意欲に見られる世代間差. 応用生態工学 **9**: 31-45.
- 渡辺恵三・中村太士・加村邦茂・山田浩之・渡邊康玄・土屋進 (2001) 河川改修が底生魚類の分布と生息環境におよぼす影響. 応用生態工学 **4**: 133-146.
- 渡辺恵三・中村太士・小林美樹・柳井清治・米田隆夫・渡邊康玄・丸岡昇・北谷啓幸 (2006) 河川の階層構造に着目したサクラマス幼魚の越冬環境—越冬環境を考慮した川づくりの提言—. 応用生態工学 **9**: 151-165.
- 渡邊康玄・長谷川和義・森明巨・鈴木優一 (2005) 標津川蛇行復元における2 way 河道の流況と河道変化. 応用生態工学 **7**: 151-164.
- Woo H., Kim H. S. & Ahn H. K. (2003) Situation and prospect of ecological engineering in Korea. Ecology and Civil Engineering **6**: 61-72.
- 柳井清治・長坂有・佐藤弘和・安藤大成 (2004) 都市近郊溪流における木製構造物による流路とサクラマス生息環境の改善. 応用生態工学 **7**: 13-24.
- 柳井清治・河内香織・伊藤絹子 (2006) 北海道東部河川におけるシロザケの死骸が森林—河川生態系に及ぼす影響. 応用生態工学 **9**: 167-178.
- 横山勝英 (2005) 河川の土砂動態が有明海沿岸に及ぼす影響について—白川と筑後川の事例—. 応用生態工学 **8**: 61-72.
- 吉村千洋・谷田一三・古米弘明・中島典之 (2006) 河川生態系を支える多様な粒状有機物. 応用生態工学 **9**: 85-101.
- 湯谷賢太郎・浅枝隆・田中規夫・Karunaratne, S. (2004) 観測と再成長モデルによる刈取られたヨシ *Phragmites australis* の回復過程の評価. 応用生態工学 **6**: 177-190.