

総説 REVIEW

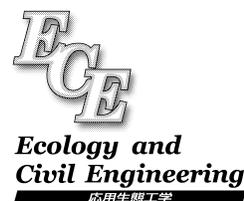
生息場の科学としての応用生態工学

竹門 康弘

京都大学防災研究所水資源環境研究センター 〒611-0011 宇治市五カ庄

Yasuhiro TAKEMON: Ecology and Civil Engineering as a science of habitat. *Ecol. Civil Eng.* 10(1), 41-46, 2007.

Water Resources Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Gokasho, Uji 611-0011, Japan



Abstract: In order to show inclinations of ecology and civil engineering researches in these ten years, a total of 145 papers printed in 16 books of 9 volumes of Ecology Civil Engineering (from 1st to 9th Volume) have been overviewed and classified from aspects of study methods, objectives, target ecosystems, ecological subjects focussed on, physico-chemical factors dealt in the paper, and spatial scales for the study. Recent increase in the number of original papers and case study papers shows a sound condition of the society at present. The papers are characterized by prevailing number of topics on river and estuary, aspects of habitat structure for biological populations and communities, descriptive works on human impacts on ecosystems, field work-approaches for research, and flow regimes, inundations, sediment dynamism and longitudinal connectivity as physico-chemical factors for habitat traits. In order to integrate ecology and civil engineering into an original field of science, more works aiming at prediction of ecological phenomena using engineering methods are required as well as those for finding out physical mechanisms of habitat structure based on ecological methods. One of our goals may be to establish "Habitatology" defined by "science for structure, function and maintenance mechanisms of habitat".

Key words: integration, ecology and civil engineering, habitat structure, habitatology, maintenance mechanism

はじめに

1997年に本学会が研究会として設立された背景には、河川法改正に象徴される公共事業のパラダイム転換があった。環境保全を事業目的に位置づけるという社会的変革は、1999年の海岸法改正や食料・農業・農村基本法、さらには2003年に施行された自然再生推進法にも反映されている。

その結果、最近は多くの生態系について、保全・修復・再生のための努力(鷺谷・草刈 2003; 島山・柿澤 2006)や生態系管理(エコシステムマネジメント)が必要であ

e-mail: takemon@wrcs.dpri.kyoto-u.ac.jp

るという考え方が一般的になりつつある(松田ほか 2005; 鈴木 2006)。また、生態系の仕組みには不明の部分が多いことから、順応的な管理によって基礎的な知見を蓄積しながら次の手にフィードバックさせる考え方に ついても定着している(鷺谷・松田 1998; 松田ほか 2005)。さらに、これらの究極的な目的は、生態系の機能や「生態系サービス」(人社会にとっての便益に繋がる生態系の働きのすべて)(Costanza et al. 1997)を持続させることと説明されることが多い。

しかし、こうした理念を事業として具現して行くためには、生態系の成り立ちと人為影響についての知識や保全・修復・再生の技術に関する体系化が必要である。前

世紀には、社会基盤の整備に関わる公共事業の多くが、工学の研究成果を基礎として計画され実施されてきた。このため工学分野には、各種事業目的に対応した研究分野が存在し、基礎研究と事業への適用を前提にした応用研究とを両輪としながら産官学の連携が実現していた。ところが、その学問体系に生態学分野が入っていなかったため工学の体系にも変革が求められていた。また、生態学においても、生態系に対する人為影響の評価や将来予測などの応用課題に応えるために、学問としての目的や理念に変革が求められていた（川那部 1998）。

応用生態工学会は、まさにこのような社会的要請に応えるために設立され、この10年間に生態学と主に土木工学との協同を目指した研究が進められてきた。近年、異分野融合という用語がもてはやされているが、応用生態工学会の出発点において目指したのも、応用生態工学が生態学でもない工学でもない新分野となることであった（川那部 1998）。初代会長から学会誌編集委員長としてこの問題提起を受けて以来、応用生態工学が新たな学問となる道筋を自分なりに考えてきた。その答えの一つが「生息場の科学」であろうとの思いから、10周年記念シンポジウムの話題提供のタイトルを「生息場の科学としての応用生態工学」とした。講演では、応用生態工学の創刊号から9巻1号までの全16冊に掲載された論文を材料に、報文種類、研究方法、研究目的、研究対象の生態系種類の構成を示し、論文で注目された生態現象や生息場の特性・環境条件の内訳について、9年間の傾向を分析した結果を紹介した。本稿では、それらの分析結果から、生息場を巡る応用生態工学の現状を評価するとともに、「生息場の科学」の必要性と可能性について取りまとめた。

「応用生態工学」の動向分析

報文種類

創刊号から9巻1号までの全16冊には巻頭言や書評などを除き全145本の論文が掲載されている。報文種類の内訳は、原著論文が40%、総説が26%、事例研究が14%、短報9%、意見が12%であった（Fig. 1）。総説と意見が多い傾向があったが、これは生態と土木の相互理解のために、各分野の紹介や意見交換を促した結果である。また、最初の数年は原稿を集めるために特集による依頼論文に依存せざるを得なかったことも背景となっている。この点、6巻以降は原著論文や事例研究の本数が増えており学会誌としては健全化していると考えられる。

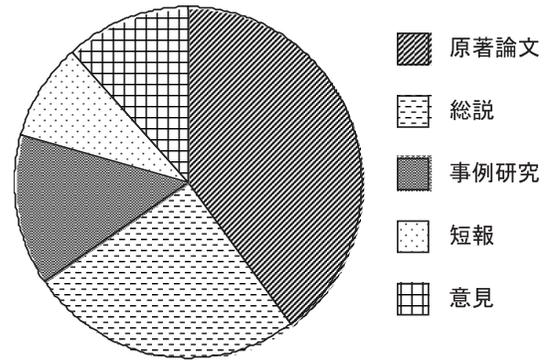


Fig. 1 応用生態工学 1-9 巻に掲載された145論文の報文種類の内訳

研究方法

いっぽう、同145論文の研究手法を7つに分類したところ、現地で採集、採水、計測などを行った野外研究が最も多く50%に達した（Fig. 2）。次いで、文献紹介を中心とした総説が28%、意見が9%、生態モデルと野外実験がそれぞれ8%であった。室内実験と水理・水文モデルはそれぞれ1本で0.7%しかなかったことは、土木工学が得意とする水理・水文計算や水理実験の研究が、応用生態工学分野では比較的未発達である現状を示している。

論文目的

次に、同145論文の研究・調査の目的について、以下の6類型に分類しその内訳を集計したところ、生態系に対する人為影響評価が62本（42.8%）を占め最も多かった（Fig. 3）。なお、人為影響の内訳は、貯水ダムが13本、河口堰が10本、堰やほ場の魚道評価が12本、ほ場整備などの土地利用が7本、その他が20本であった。ダムや堰などの横断構造物が河川生物に与える影響を評価した仕事が多いことがわかる。

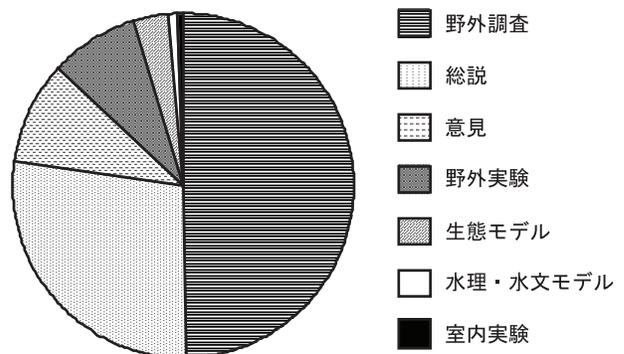


Fig. 2 応用生態工学 1-9 巻に掲載された145論文の研究方法の内訳

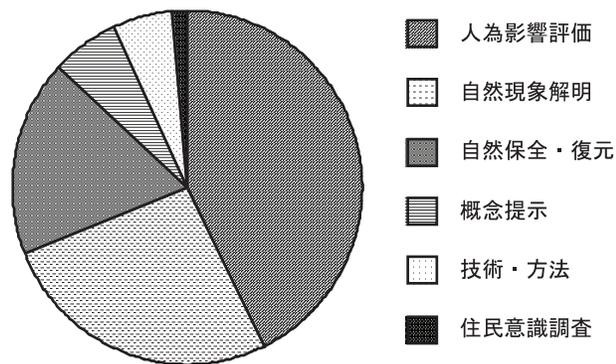


Fig. 3 応用生態工学 1-9 巻に掲載された145論文の研究目的の内訳

いっぽう、自然状態の生態現象を調査することによって、個体群や群集の成立の仕組みや水質形成過程を探る基礎科学的研究も 38 本 (26.2%) あった。これらの中には、レフェリーから応用面の趣旨が不明とのコメントが付いた論文も含まれているが、はじめにでも触れたように、生物現象や生態系の仕組みそのものを解明する仕事はまだ不足している現状では、このような仕事も推奨されるべきであろう。このような生態現象の追究を目的とした生態学プロパーの仕事に比べて、水理現象や土砂動態そのものをテーマとした土木工学プロパーの仕事が少ないことが気がかった。たとえば、生息場の構造特性やその維持過程解明に課題が設定された研究であれば水理計算主体の論文があってもいいはずである。応用生態工学が土木工学の研究者にとっても本格的な研究発表の場としてもっと魅力を持つ必要がある。

ついで、自然の保全・復元のための事業評価を目的とする研究が 26 本 (17.9%) あった。この目的の研究は今後増えるものと期待される。その他、意見や総説で新しい概念提案を目的とした論文が 9 本 (6.2%)、純粋に方法論を追究する論文が 8 本 (5.5%)、現地の住民意識アンケートによる社会調査が 2 本 (1.4%) あった。概念提示、技術・方法追究、意識調査のいずれについても、背景となる究極的な目的は、自然環境の保全や復元にあるものがほとんどだったが、ここでは論文としての執筆目的を分類の基準とした。

対象生態系

次に研究対象に具体的な生態系を設定している全 140 本の論文について、対象生態系を 6 つに分類し内訳を調べた (Fig. 4)。その結果、河川生態系が 82 本 (58.2%) と突出しており、汽水域生態系が 18 本 (12.8%)、沿岸生態系、陸域生態系、湖沼 (貯水池を含む) 生態系がい

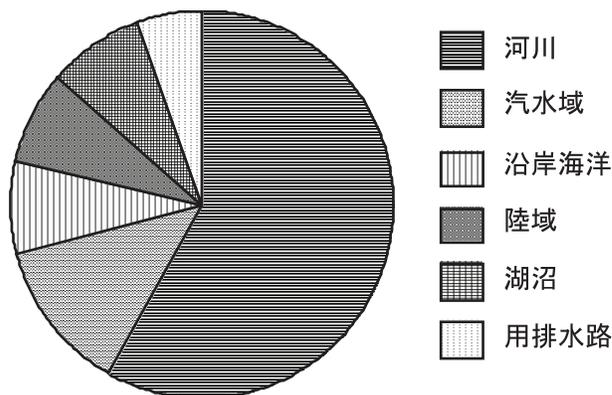


Fig. 4 応用生態工学 1-9 巻に掲載された140論文で主題となった生態系の内訳

ずれも 11 本 (7.8%)、農業用水と水田が 8 本 (5.7%) であった。本学会では、これまで河川生態系が中心的な課題として取り上げられてきたことは確かであり、河川関係の仕事に従事する学会員が多いのも事実である。しかし、国内外で保全や再生を必要とする生態系が、海洋・湖沼・湿地・草原・森林などにも多く存在することを考えると、本学会も河川生態系を特別視するわけにはいかない。したがって、他の生態系の研究もバランスよく増やしていく努力が必要ではあるが、少なくとも現時点では、河川生態系の仕組みや管理手法の研究や、流域-河川-汽水域-沿岸生態系の連関研究などを本学会の売りなし旗印として位置づけるのが現実的かもしれない。

対象の生態現象

応用生態工学に掲載された 145 論文のうち、研究対象となる生態現象が記載されている論文は 129 本に昇った。それらの生態現象を 9 類型に分けて整理した (Fig. 5)。1 論文で複数の生態現象を扱った例もあったので、129 本の論文から 272 事例が抽出された。それらのうち生息

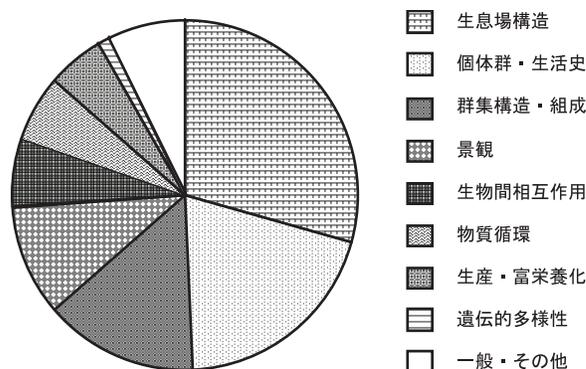


Fig. 5 応用生態工学 1-9 巻に掲載の129論文で取り上げられた生態現象の内訳 (n=272)

場構造に関するものが29%を占め最も多く、次いで個体群を対象とした生活史などの研究課題(20%)、群集構造(14%)、景観(10%)、生物間相互作用(6%)、物質循環(6%)、生産量や富栄養化を扱ったもの(5%)、遺伝的多様性(1%)などが挙げられた。意見などの報文種類では一般的に議論され生態現象の分類困難なもの(7%)もみられた。以上の結果は、個体群や生物群集の特性を生息場構造と結びつけた研究が多く、生物間相互作用や物質循環の研究が比較的少ないことを示している。

生息場の物理化学的環境条件

応用生態工学1-9巻の掲載論文のうち、生息場や生態現象を規定する物理化学的条件を記載ないし論じた論文が126本あった。それらの物理化学的条件を12類型に分けて整理したところ317の事例が抽出された(Fig. 6)。そのうち流況・氾濫に関する要因(19%)が最も多く、ついで土砂動態に関する要因(16%)、堰やダムなどの河道の連続性阻害要因(13%)、湖沼の水位(11%)、水質(10%)、底質(9%)、汽水域や内湾の潮位(7%)、水温(6%)、地下水位(3%)、気候・気象(2%)、掃流力(1%)、その他(3%)であった。流速、流況、水位、土砂移動、底質などの物理的条件が多く取り上げられており、水質などの化学的要因が比較的少ない傾向が認められた。

研究対象の空間スケール

応用生態工学1-9巻の掲載論文のうち、研究対象の空間スケールを特定できるものが138本あった。空間スケールを地理分布、水系・湾などの広域スケール、セグメント・地域のスケール、蛇行区間(リーチ)・浜・林分のスケール、瀬・淵・生息場(ハビタット)のスケールに分けて整理したところ、160の事例が抽出され、中には

複数のスケールを扱った事例が22例あった。調査や議論の対象とされた空間スケールは、リーチスケール(40%)が最も多く、次いでセグメントスケール(32%)、瀬・淵スケール(18%)、水系スケール(10%)の順であった(Fig. 7)。学会内では、土砂管理などをはじめとして流域スケールの視点で対策を検討すべき課題が掲げられている割には、セグメントスケールよりも狭い範囲の研究や議論が多いのが現状である。

生息場の科学の必要性と可能性

上記の分析結果から、これまでの応用生態工学研究では、各種人為影響や保全対策の評価を目的とした研究であっても、研究対象として生物現象を取り上げたものが多く、物理化学的現象については環境条件として扱われることが多いことがわかった。これは、生態現象をモデルによって予測するような工学的発想の研究がまだ少ないことと、逆に生息場の形成に働く物理化学現象を生態学的手法によって実証する研究が少ないことを示している。応用生態工学が生態学と工学に根ざした独自の分野として意義を発揮するためには、生態学と工学の手法を相互乗り入れして生物現象と物理化学現象の両面から各種生態系の応答を明らかにする必要がある。そのための課題設定の仕方として、「生息場(habitat)」に着目することが有効であろう。生息場は、「個体の生育生息する場」であり「各種の生活要求を満たす環境条件を備えた場」として生息場所、生息地、ハビタット、棲み場所、棲み場などと同義に用いられている。このため、生息場は、生き物の要求する条件に応じた複数の空間スケールにわたる構造として意味をもつ点で、地点(location)や地域(area)とは異なっている。また、生息場は生物の営みの場であると同時に物質循環の場でもある(Fig. 8)。

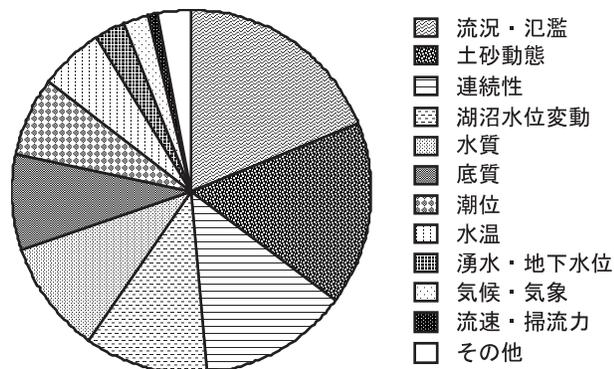


Fig. 6 応用生態工学1-9巻に掲載の126論文で取り上げられた生息場の物理化学的条件の内訳 (n=317)

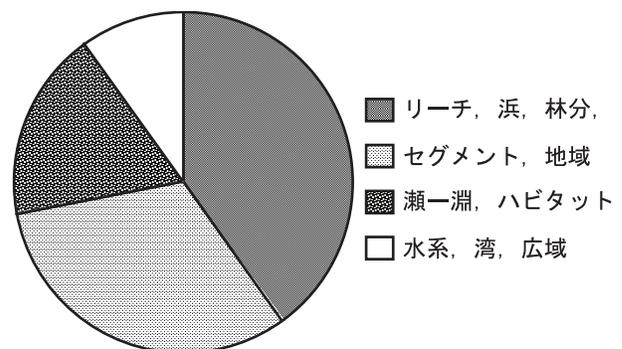


Fig. 7 応用生態工学1-9巻に掲載の138論文で研究対象となった空間スケールの内訳 (n=160)

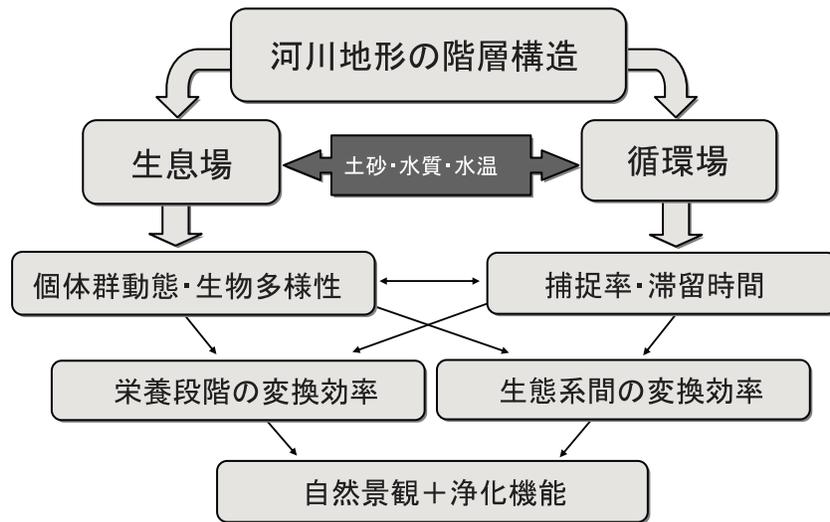


Fig. 8 河川生態系の応用生態工学的把握図式

しかし、生物種の分布要因や生活史要求に比べると、河川地形に対応した物質循環過程については未だ現象把握そのものが不足している。したがって、生息場を循環場として捉えて河川地形の階層構造に対応した機能評価をする研究が必要である。

前世紀の生態学では、生態系の仕組みとして捕食・寄生・競争などの生物間相互作用が注目され、個体群や群集の成立基盤となる生息場構造の解明は二の次であった。しかし、本学会ができた1990年代頃から各生物種の生活史を支えている生息場構造を階層的に記述する機運が高まった。これは、原生的自然をできるだけ人手を加えずに保全しようとした自然保護の時代から、損なわれた自然を取り戻すための管理を考える時代になってきた時期に対応している。また、研究手段としてリモートセンシングやGISを利用できるようになったことも、階層的な空間スケールで研究デザインをする上で追い風となっている。

いっぽう、土木工学でも主に水理学を用いた流れ場の記述と流況予測、溶存態物質の動態、土砂水理に基づく河床変動予測などの研究分野を発達させてきたが、その研究目的に生息場の構造の形成維持機構の解明を位置づけてはこなかった。例えば、植生を組み合わせた研究は比較的早期より行われてきたが、植生の存在を土砂挙動の条件として扱っていた。今世紀になって、植生との相互作用を加えて、土砂動態から植生の発達や衰退を予測するといった研究も行われるようになり、漸く生息場構造の形成維持機構の解明が土木工学分野で市民権を得つつある。

今後、応用生態工学分野で「生息場の構造の機能やその形成・維持機構」を追究することによって、「生息場の科学」(生息場学: Habitatology) という新たな学問を発展させることができると期待される。また、こうした試みは、シンポジウムで取り上げられた「生態と土木の壁」も低くすることに繋がると考えられる。シンポジウムでは、辻本氏によって、生息場の形成維持機構を水と土砂の物性で解く枠組みができれば、そこからは土木工学の一分野でしかなくなる可能性が指摘された。しかし、生態系の機能や「生態系サービス」を持続させる自然管理手法を発展させるためには、生物やその生産物を主役にした研究がまだまだ必要である。Fig. 9は、HEP (Habitat Evaluation Procedure)の研究手法(田中 1998; 中村 2000)を生息場のみならず循環場にも拡張した研究手法の図式である。このうち生態学的変数と生息場構造の関係(図中の左側部分)については、すぐに予測ができるほど情報の蓄積が進んでいない。生態系機能の観点からどのような地形特性に着目すればよいかという問いそのものを追究しなければならない段階にある(竹門 2007)。言い換えれば、生息場の形成維持機構解明に際して目的変数そのものを野外調査によって研究する必要がある。また、生息場は建設された構造物のように完成形がある訳ではない。人為、気候、生物間相互作用などの影響下で、その形状とともに機能も変化する存在である。したがって、物理過程のみならず場の機能や意義を明らかにするためには生態学の課題を解き続ける必要がある。

さらに、生息場の応用生態工学に必要な学問分野は、生態学と工学だけでは不足であると考えられる。生息場

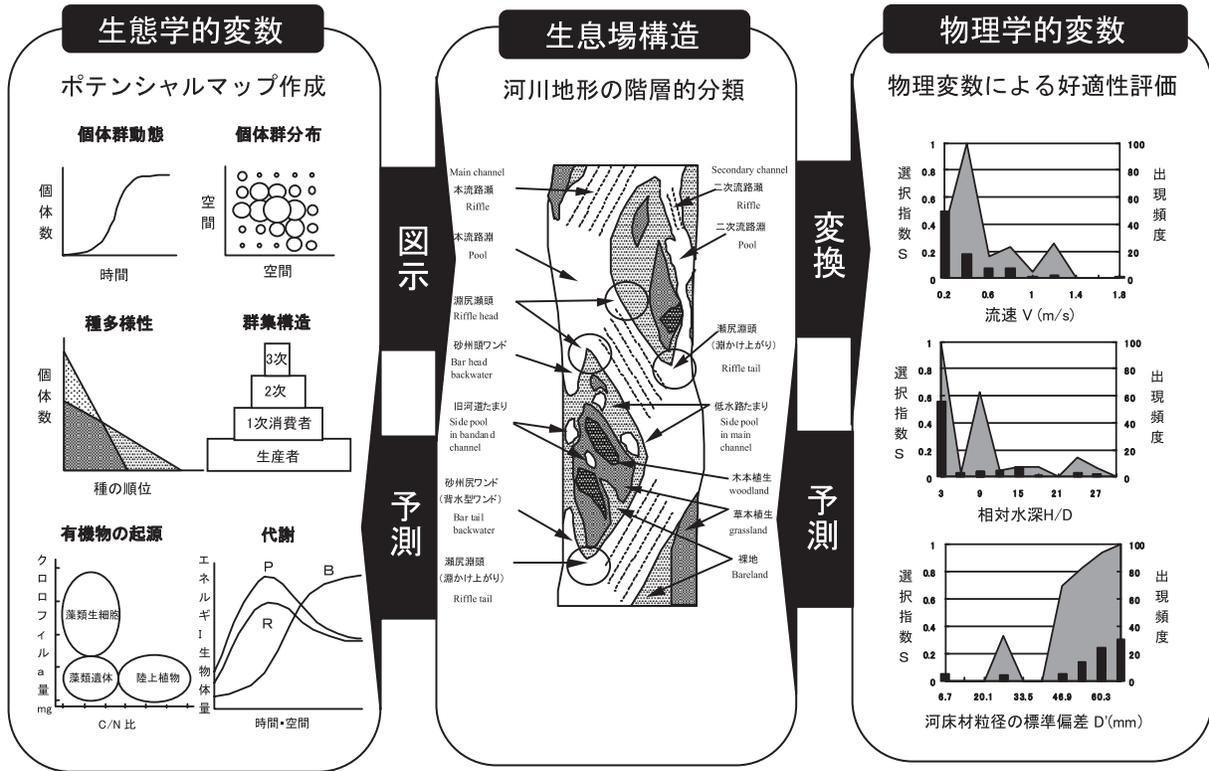


Fig. 9 生息場学におけるHEP型研究手法. 生息場構造は竹門 (2007) による.

形成維持に関わる時空間スケールは、流域地形や地質の形成年代や、有史以前から現代に至るまでの人類と自然との相互作用の歴史に及ばざるを得ない。その過程を科学的に追究するためには、考古学や社会科学も含む幅広い分野との協働も不可欠であると考えられる。

引用文献

Costanza R. et al. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* **387**: 253-260.
 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.
 鈴木邦雄 (2006) マネジメントの生態学—生態文化・環境回復・環境経営・資源循環. 共立出版. 304pp.
 畠山武道・柿澤宏昭編著 (2006) 生物多様性保全と環境政策—先進国の政策と事例に学ぶ. 北海道大学図書刊行会. 438pp.
 松田裕之・矢原徹一・竹門康弘・波田善夫・長谷川真理子・

日鷹一雅・ホーテスシュテファン・角野康郎・鎌田磨人・神田房行・加藤真・國井秀伸・向井宏・村上興正・中越信和・中村太士・中根周歩・西廣 (安島) 美穂・西廣淳・佐藤利幸・嶋田正和・塩坂比奈子・高村典子・田村典子・立川賢一・椿宜高・津田智・鷺谷いづみ (2005) 自然再生事業指針. *保全生態学研究* **10**: 63-75.
 中村俊六 (2000) 魚類生息場評価. (玉井信行・奥田重俊・中村俊六編) *河川生態環境評価法*. 東京大学出版会, 東京, pp. 168-183.
 竹門康弘 (2007) 砂州の生息場機能. *土と基礎の生態学*, 講座, 土と基礎, **55**(2): 37-45.
 田中章 (1998) 生態系評価システムとしてのHEP. 「環境アセスメントここが変わる」, pp. 81-96. 環境技術研究協会. 大阪.
 鷺谷いづみ・松田裕之 (1998) 生態系管理および環境影響評価に関する保全生態学からの提言 (案). *応用生態工学* **1**: 63-75.
 鷺谷いづみ・草刈秀紀 (2003) 自然再生事業—生物多様性の回復をめざして. 築地書館. 371pp.