

生物指標による水環境の指標化に関する研究

1. はじめに

河川の環境に関心が寄せられる中、安全で潤いのある河川を目指した広範な取り組みが進められている。多自然型川づくり、河川水質の改善等とともに、市民のグループによる河川環境の調査等への参画も広がってきている。

このような状況において、多様な河川の水環境を総合的に表現する指標として生物指標は重要な役割を担っている。

本報では、水環境に係わる生物指標に関するこれまでの多くの研究や知見を整理するとともに、河川管理の観点から求められる役割と今後への展望と課題をまとめ概説する。

2. 生物指標による評価手法の概要

生物指標による評価手法について、盛下は「生物指標の概念と種類. 1981.5. 公害と対策」で、その有効性について、

- ・生物の存在そのものが環境の総合結果であること。
- ・その時点の生物の存在は、過去の環境要素の変化の集積結果であること。
- ・物体あるいは細胞・諸器官等の物質に対する反応を把握することによって影響を予測したり評価できること。

などがあるとしている。

本稿では、この報文を基に、他の調査、研究を加えて、生物指標の現状と総合的水環境指標化について取りまとめる。

2-1 生物指標の分類

水環境に係る「生物指標 (Biological indicator)」は、表一に示すように「生態学的指標 (ecological method)」と「生理・生化学・細胞生物学・的指標 (physiological, biochemical, and cell biological method)」とに分類される。後者は、生物検定 (bioassay) と称されるもので、特定生物種の成長、増殖や細胞内小器官、細胞等の生物反応等を規準とするものであることから、本稿においては出現する生物群集の種組成の変化、指標種の出現頻度、現存量、個体数、種類数の変化量などを評価基準とする生態学的指標を対象とする。

表一 生物指標の分類と評価基準

A. 生態学的指標 (本文の主対象)	B. 生理・生化学・細胞生物学・的指標
(1) 生物種の特性、種類、個体数を利用するもの	(1) 個々の生物あるいは混合集団の酸素消費量
(2) 優占的に出現する生物の特性を利用するもの	(2) 個々の生物体の細胞・組織の反応
(3) 群集構成状態、(多様性)を利用するもの	(3) 特定な生物の増殖状態
(4) 一つの系中における物質代謝栄養性、酸素要求等を基準として利用するもの	(4) 特定な生物物質・生活物質の変化
	(5) 個体・細胞、細胞内小器官の生物応答結果及び変異原性

2-2 生態学的生物指標

現在用いられている生態学的生物指標は、Kolwitz and Marssonらが提唱し、Liebmannによって確立された「汚水生物体系 (Saprobiensystem)」に基づくものが多い。

主要な生態学的生物指標の内容を表一2に要約した。

3. 生物指標の研究と活用状況

3-1 生物指標の調査・研究の状況

我国における生物指標の調査、研究について、1960年から1993年迄に公表 (JICSTに登録) された諸報文・調査結果を年代別に整理した結果、1975年から1990年迄に非常に多くの調査研究が行われ、特に行政研究機関 (衛生研究所、公害研究所、環境研究所等) による事例が多いことがわかった。

内容的には理論的研究報文は全体の約12%程度で、ほとんどのものが「汚水生物体系」にもとづくもので、水環境あるいは河川水質汚濁レベルの判定を目標としたものは、汚水生物体系の4階級基準による判定が多く、物理化学的指標との整合を行ったものは少ない。

3-2 生物指標の利用状況

我国においては、1940年頃より当時奈良女子大学の津田松苗博士を中心として研究が行われ、津田が著した1964年「汚水生物学」、1972年「水質汚濁の生態学」の中で「汚水生物体系 (Sprobiensystem)」が紹介された。その後、多くの水生生物研究者によって、「水質汚濁状況の生物学的水質判定手法」として汚水生物体系に基づく手法が定着した。

特に、建設省と環境庁の共同で1983年に策定された「水生生物による水質調査法」を基に、両省庁がそれぞれに、全国の主要河川において一般市民や関連機関の協力を得ながら調査を行っている。

海外における流れとしては河川管理者が一般的に使用でき、かつ肉眼で見える「無脊椎動物」を指標生物として用いる例が多いが、ドイツ・ハンガリー・ポーランド等の国々のように生物分類学研究者が豊富な国々においては、様々な生物群を用い「汚水生物体系」を中心とした研究を行っている。また、イギリスでは、1976年にスコア法の改良が行われ、利用の単純化が行われている。

表一 2 主要生態学的生物指標の要約

指標法名	Kolkwitz-Liebmann法 (1951年)	Knöpp法 (1955年)	Pantle u Buck法 (1955年)	Zelinka u Marvan法 (1961年)
事項				
カテゴリー	汚水生物体系(伝統性)指標種法	汚水生物体系(数字表現法)指標種法	汚水生物体系(数字表現法)指標種法	汚水生物体系(数字表現法)指標種法
指標生物および使用法	細菌類から魚類迄の様々な生物群の種を用い階級表により階級を判定する。	Kolkwitz-Liebmann法で用いられている指標生物と個体数を用いず、多少を見積り2つの評点を加え図を作成して評価する。	Kolkwitz-Liebmann法で用いられている指標生物を用い、その出現多少度を用い汚濁階級指数を算出し数値を算出し汚濁強度を評価する。	細菌類・藻類・微生物(蠕虫類・貝類・甲殻類・ミズダニ類・水生昆虫類)にサブロビ値を与え評価平均点で階級を評価する。
被指標項目	水質階級(4階級)総合的階級性格	水質階級(4階級)	水質汚濁階級(強度)14階級	水質汚濁階級(5階級)
国名	ドイツ他東欧諸国・日本	ドイツ	ドイツ・日本	ドイツ、中欧
長所	指標生物の選択が可能	河川の縦断方向の変化を相対比に数値的に把握することができる。	定性的汚濁度を数字で評価しえる。	汚濁階級を的確に数字で評価できる。
短所	種の同定に技術(熟練)を要する。水質階級の定量表現が不可能。	種の同定に技術(熟練)を要する。階級を数値表現できても、総合的かつ定性的色彩が強い。	種の同定に技術(熟練)を要する。階級を数字表現できるが汚濁の物理・化学的状況を定量的に表現しえない。	種の同定に技術(熟練)を要する。その出現種についてサブロビ値表を作成しなければ使用できない。汚濁の物理・化学的状況を定量的に表現しえない。
指標法名	Sládeček法 (1966年)	Fjerdingstad法 (1963年)	Caspers u Karbe法 (1967年)	多様性指数法 (Shannon u Weaver 1945年) (数字表現法)
事項				
カテゴリー	汚水生物体系分割拡張的	汚水生物体系優占種・群集構成法	汚水生物体系改変法(物質代謝法)	非汚水生物体系多様性・理論法
指標生物および使用法	細菌類・菌類・原生動物・底生動物・植物・魚類を階級表を作成して該当階級(水質特性)を評価する。	細菌類・原生動物類(但し鞭毛虫類のみ)藻類の優占種による群集型と構成状態で評価する。	指標生物を使用せず、1次生産と全呼吸量、酸素収支、生物群集の栄養構造等から評価する。	出現する種の多様性を基準として、多様性度から水質汚濁の状況を評価する方法
被指標項目	水質階級(10階級)総合的階級	水質階級(9階級)特定項目(H ₂ S, BOD, NH ₃ -N, N系物質の存在状態、他)	水質汚濁階級(6階級)	特に規定なし
国名	チェコを中心とした東欧諸国	デンマーク	ドイツ	米国・日本
長所	有機性汚濁以外の物理的影響・無機性(放射能・毒物を含む)水質状況	どのような水質なのか、上記項目を考慮した水域像を求められる。	汚水生物体系と栄養体系を結びつけ指標種重視から生態的、生物経済的なものとして評価される。(静水域をも含む)	出現全生物群を用いるため各生物の指標を問わない。
短所	種の同定に技術(熟練)を要する。被指標項目との定量的関係を明確に出来ない。	種の同定に技術(熟練)を要する。デンマークの緩流河川で細菌、繊毛虫を除く原生動物、微小藻類のみを用いたもので、汎用性が確立されていない。定量的表現は不可能。	生物生産量・酸素収支、呼吸量を計測する必要があるため一般的でなく、実施上多面的技術を必要とする。	採取方法・試料サイズに規定がないこと、多様性度と被指標項目の整合性・理論的裏付けがないこと、普遍性に問題がある。
指標法名	DAI _{no} 法 (渡辺・他 1986年) (数字表現法)	トレント生物指標法 (Woodiwiss 1964年) (数字表現法)	チャンドラースコア法 (Chandler 1970年) (数字表現法)	ASPT(平均スコア法) (Armitage 1983年) (数字表現法)
事項				
カテゴリー	汚水生物体系群集種組成法	汚水生物体系指標生物法	汚水生物体系指標生物法	汚水生物体系指標生物法
指標生物および使用法	珪藻群集種組成し、群集中の好汚濁性種と広適応性種、好清水性種等の相対頻度を用いて水質評価する方法	肉眼的無脊椎動物の種または科レベルの出現生物を用い、グループ数の合計を用い、水質評価を行う。	肉眼的無脊椎動物の種または科レベルの出現生物を用い出現状況ごとに点数を与え水質評価を行う。	肉眼的無脊椎動物の科レベルの出現生物を用いるが、個体数を勘案しない汚濁非耐性から耐性種までに10~1までの点を与え14項目の水質を指標・評価する。
被指標項目	有機汚濁階級(7階級)BOD, EC, T-P, T-N, COD	DO, BOD, COD, NH ₃ -N, NO ₂ -Nアルカリ度、等の絶対値	DO, BOD, COD, NH ₃ -N, NO ₂ -N総アルカリ度、pH 他	アルカリ度、pH 他
国名	日本・米国	英国	英国	英国
長所	具体的な水質(例BOD)を用いて汚濁階級の判定が出来る。	高度の同定技術を有しなくても実施でき、具体的な水質値を決定できる。一般河川管理者にも使用できる。	高度の同定技術を有しなくても実施でき、調査法も簡単。水質状況を点数で表現できる。一般河川管理者にも使用できる。	高度の同定技術を有しなくても実施でき、調査法も簡単。水質・水域状況を数字(平均スコア値)で表現できる。一般河川管理者にも使用できる。
短所	種の同定に高度な技術と精度を必要とし、専門技術者でないと使用できない。研究者向きで一般的かつ普遍性が少ない。	数ヶ年間の調査・解析・検討が必要。特定生物の選定は各河川または地域で実施・検証する必要がある。	数ヶ年間の調査・解析・検討が必要。特定生物の選定は各河川地域で実施・検証する必要がある。	数ヶ年間の調査・解析・検討が必要。特定生物の選定は各河川・地域で実施・検証する必要がある。

(※注): 表中の国名は、各手法の利用に向けて積極的に取り組んでいる国を示す。

4. 生物指標の展望と課題

4-1 生物指標を適用する目的

我が国ならびに諸外国において、生物指標を水環境の指標として適用して行く目的について、表-3 にその現状をとりまとめた。

4-2 生物指標の役割と総合的な指標化

今後一層の発展が期待される水質や多自然型川づくり等と生物指標との係わりについて表-4 に挙げる。

表-3 生物指標の適用目的

適用目的	現 状
①水環境の快適性の評価	化学、物理的指標が主となるが、快適性を表現する要素である透明度・濁度・色相成分となるプランクトンや付着藻類などの単位面積または容積中の現存量を指標の一つとして使用するものがあるが、方法論的に確立されていない。
②漁業等2次生産性の評価	主として藻類・底生無脊椎動物の単位面積または容積中の現存量、または1次生産量等を使用するもので、漁業学・生態学ではその方法論がほぼ確立されている。
③有機性汚濁状況の評価	汚水生物体系にもとづく指標生物を使用する方法(既記)
④有毒物質の評価	有毒物質の濃度と各種の生物の死亡率を用いるBioassay法(生物検定法)として、技術的に確立されている。この他変異原性試験法と呼ばれるものがある。
⑤富栄養化度の評価	プランクトン中の優占度、群集構成状態を指標とし、水中の栄養塩類レベルとの対応結果から評価するもので、汚水生物体系法の中にもある。
⑥濁質汚濁影響の評価	濁質量と光合成量の変化、付着藻類・底生動物量の関係を調査するもので方法論としては完全に確立されていない。
⑦温排水影響の評価	温排水と水生生物の生存率、生長、増殖等の関係を調査するもので、Bioassay的手法・現場調査法が確立されている。
⑧レクリエーション可能性の評価	腸内細菌類、大腸菌類等の存在と量を衛生学的安全性の指標とするもので、下水試験法・上水試験法等の内で方法論としては確立されている。
⑨灌漑用水としての評価	大腸菌類、腸内細菌類、寄生虫類等の存在を指標とするもので、用水基準の中に1部位位置付けられている。
⑩原水および処理水の評価	病原性微生物の存在を指標とするもので、上水試験法・下水試験法の中で位置付けられている。

「合田健編. 1979. 水環境指標 思考社」より引用、一部加筆

表-4 河川と生物指標の今後の関わりについて

(a)水質管理における指標として
①水質情報、河川諸情報との整合性を統計学的に検討し、特定生物群の科、属、種、あるいは群集型を用いることにより、より明確な水質値、階級判定。
②底生無脊椎動物を指標生物とし、その生死、現存量を用いた水質事故発生の有害物流入点および河川縦断方向の影響状態の把握。
③底生無脊椎動物、魚類等と河川形態等との関係を検討することによって指標生物によって河川形態、水理特性を指標する。等
(b)河川構造物および環境形成機能に係る生態学的評価指標
①構造物周辺の調査による生態学的多様性の程度を用いた多自然型川づくりによる護岸等水色、水中構造の生態学的評価。
②多様性の程度と汚水生物体系の従来の手法を組み合わせによる親水機能、水辺レクリエーション利用性等についての評価。
(c)河川浄化機能の評価指標として
①2地点間の優占種あるいは群集型、多様性度の比較手法を用いることによる区間内浄化状態、あるいは水質階級の改善評価。

これを進めていくためには、「指標生物の同定」「指標生物と被指標項目との関連性」「結果の定量的表現方式」等の問題点を解決し、総合的水環境指標化にむけた検討が必要である。

「水環境の状態」を総合的に指標させるためには、現在の方法論のみでは限界があり、水環境を構成する様々の要素と状態を総合的に把握し得る「生態学的視点に立脚する指標体系」の検討を行う必要がある。

4-3 今後の生物指標適用のための課題

汚水生物体系に基づいた生物指標を水質汚濁階級の指標として使用するためには、以下のことを進める必要がある

- ・「生物指標の補完」と「水質階級像の整理」を進める。
- ・「理化学的測定値」との関連性を統計学的手法を用いてその整合性がとれる程度に整理する。

これらの課題に対して、まず基本情報の整備が必要であり、欧米諸国における権威ある動・植物誌あるいは指標生物の「分類学的同定」に用いる「分類学的基準資料」を、我が国においても整備していくことが待たれる。

5. おわりに

生物指標は、河川環境の改変などによる生物への影響を生物量などから直接的に、また生物の固有の生息環境から間接的に把握できるなど、現在鋭意推進されつつある豊かでうるおいある川づくりに寄与することが期待される。最後に、本文を作成するに当たって多大なるご支援、ご協力をいただいた東京水産大学盛下勇氏に感謝する次第である

