Ⅱ．生態系にやさしい下水道の整備手法

１．検討項目及び検討手順

生態系にやさしい下水道の整備は、以下の手順に沿って検討を進める。

また、各検討段階において、住民や研究者等との協働を図りながら進める。

①現況特性の把握
②生態系にやさしい下水道の目標設定
③生態系にやさしい下水道の整備計画の策定
④維持管理
⑤事後評価

【解説】

本章では、生態系にやさしい下水道を計画、維持管理、評価する際の検討項目と手順を提示する。２章以降で各検討内容について解説する。

(1) 検討項目

①現況特性の把握

下水道や生態系の現況特性を把握し、生態系にやさしい下水道の目標設定のための基礎情報を得る。

②生態系にやさしい下水道の目標設定

“現況特性”を踏まえて、生態系にやさしい下水道の目標設定方法について示す。

生態系にやさしい下水道の目標として、保全・創出の対象となる“生物群集”を設定する。なお、目標は地域の特性に応じて個別に設定するものであるから、本手引書では、目標設定の際に必要となる各種視点及び目標の事例を提示する。

③生態系にやさしい下水道の整備計画の策定

“生態系にやさしい下水道の目標達成”に向けた整備計画の策定方法について示す。まず生物群集に応じた水環境改善レベルを、水質、流況、空間の面から、既往知見に基づき整理する。次に、水環境改善レベルを達成するための施設整備計画の検討方法を提示する。最後に事業化に向けた留意事項を示す。

なお、目標達成に向けた整備内容が多岐に渡り、長期間を要する場合には、段階的な整備を行い、整備効果を確認しながら事業を進めていくことが肝要である。

④維持管理

生態系にやさしい下水道の事業実施における、維持管理面での留意点を示す。特に、住民協働のもとで行うことを勘案した維持管理方法を説明する。

⑤事後評価

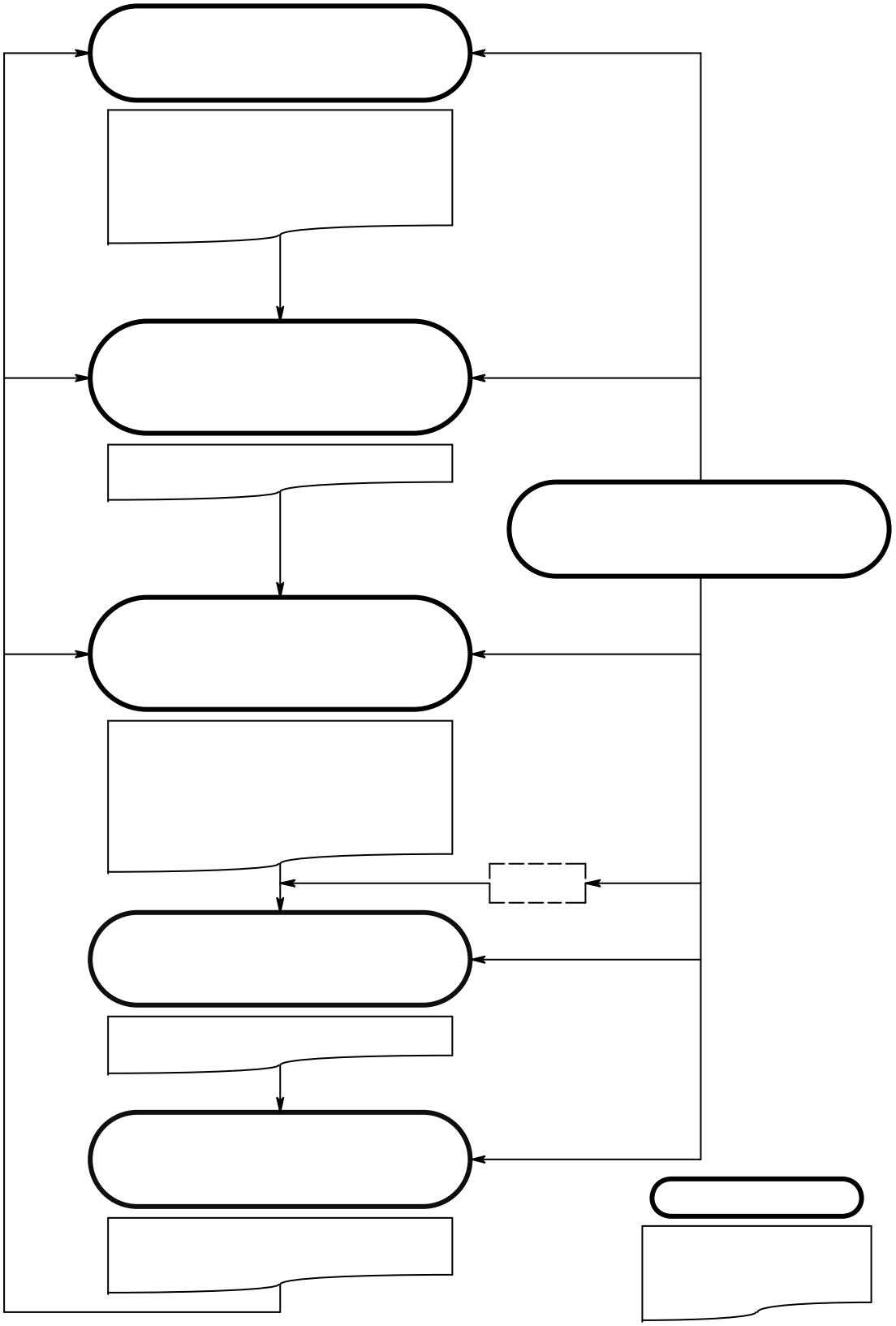
生態系にやさしい下水道事業はまだ始まったばかりであり、それらの関係についての知見は少ないため、データ蓄積と分析、評価によって、生態系にやさしい下水道整備へのフィードバックが必要である。ここでは、事後評価による整備効果把握の考え方と、今後の調査、計画、整備、維持管理に向けての問題点の抽出及び反映方法を示す。

本編では、以上の項目について掲載するとともに、調査、計画・設計に際して参考とすべき既往の各種マニュアル及び指針などの図書を巻末に挙げる。

さらに、実際に生態系にやさしい下水道の整備を進めていく上では、調査、計画、整備、維持管理、評価の各段階における住民との協働が必要不可欠となるため、本手引書では、住民協働の基本的な考え方についても述べる。

図Ⅱ－１に、生態系にやさしい下水道を計画・維持管理・評価するまでのフロー図を示す。

（2）検討フロー



図Ⅱ－1　生態系にやさしい下水道の整備手法の検討手順

２．現況特性の把握

本章では、生態系にやさしい下水道の目標設定などのため基礎情報となる現況特性の把握方法について示す。

２－１．放流先水域・周辺地域の特性把握

放流先水域の特性として、以下の項目について把握する。

・流況、水質、河道特性、底質

同様に周辺地域の特性として、以下の項目について把握する。

・土地利用、社会特性、地形、植生

なお、特性把握は、既往の調査結果を活用すると共に、情報が不足している場合には、現地調査により必要なデータを収集する。

【解説】

放流先水域や周辺地域の特性を把握するための調査項目は以下を参考とする。なお、既往の調査は、放流先のみでなく、必要に応じて、広域的な流域を対象としたものも含める。

(1) 観測地点の設定

放流先水域の観測地点は、下水道の影響・効果が比較できる地点として、下水処理水の放流地点とその上流及び下流地点などとする。なお、放流先水域においては縦断方向のみでなく、必要に応じて、横断方向における処理水と河川水などとの混合状態の変化についても留意した観測地点の設定が必要である。また、周辺地域は下水処理水の導水などの施策を実施することを考慮して、影響が及ぶ可能性のある幅広い範囲を対象とする。

(2) 放流先水域の特性把握

放流先水域・周辺特性の把握に際し、他の特性（例えば生物相特性と下水道特性）との関連を把握できるように、調査回数・時期を設定する。

①流況について

流量年表、公共用水域の水質測定結果などの利用できるデータを極力利用する。

・流況指標の例：流量、流速、水深、河床勾配、流況（豊,平,低,渇水流量）、河状（河況）係数（年間の最大流量と最小流量の比）、処理水混合率　など

②水質について

公共用水域の水質測定結果などの利用できるデータを極力利用する。

・測定項目の例：pH、水温、DO、BOD、SS、COD、T-N、NH_4-N、NO_2-N、NO_3-N、T-P、PO_4-P、残留塩素　など

③河道特性（河床状況、護岸形態、河道形態）について

河川を管理する事務所の資料などの利用できるデータを極力利用する。

・河床状況の例：泥、砂、礫など（粒度分布等）
・護岸形態の例：コンクリート護岸、土羽、蛇かご、堤防法勾配、植生、管理状況など
・河道形態の例：瀬、淵、砂洲の有無、蛇行形態　など

④底質について

河川の底泥の有機物、栄養塩類等について調査する。

・測定項目の例：COD、T-N、T-P、硫化物、強熱減量　など

(3) 周辺地域の特性把握

周辺特性として把握する項目は以下である。

・土地利用項目の例：流域面積、土地利用用途別面積、用途地域、
緑地・水辺空間の分布状況　など
・社会特性項目の例：人口密度　など

なお、周辺特性は、以下に示す統計的データや地図などによって把握する。

・各自治体の統計書
・土地利用現況調査、都市計画基礎調査報告書
・環境基本計画、緑の基本計画
・国土地理院の数値情報データ
・都市計画図、用途地域図、植生図　など

２－２．生物相特性の把握

放流先水域・周辺特性の調査と同じ地点において、以下の生物群集の生息状況を把握する。

・付着藻類、底生動物、浮遊生物、魚類、水生植物

・鳥類（既往調査が行われている場合）

なお、特性把握は、既往の調査結果（河川水辺の国勢調査など）を活用すると共に、情報が不足している場合には、現地調査により必要なデータを収集する。

【解説】

生物相特性を把握するための調査項目は以下を参考とする。なお、既往の調査は、放流先のみでなく、必要に応じて、広域的な流域を対象としたものも含める。

(1) 対象生物

対象とする生物は、水環境に大きく依存する付着藻類、底生動物、浮遊生物、魚類、水生植物を中心とするが、鳥類（水鳥）の生息状況について既往調査などがなされている場合はそれも活用する。

調査時期は、研究者、水産試験場・漁業協同組合などの意見や過去の調査結果を参考にして、河川の特性に応じて生物相が的確に把握できる時期に実施する。例えば、底生動物、魚類及び水生植物の調査回数の考え方は以下のとおりである。

・底生動物：早春、夏、冬の３回以上の調査を基本とする。水生昆虫は、「春」もしくは「春と秋」に羽化するグループが多いため、羽化直後などの時期を避ける。

・魚　　類：河川や対象魚類の特性に応じて年２～３回以上調査する。特に、遡上時期、夏などの活動時期、産卵時期などが目安となる。

・水生植物：春季と秋季を含む年２回以上調査する。なお、春季や秋季以外にも確認できる種類が多い季節に随時調査を行うことが望ましい。

(2) 調査項目

出現生物の種類数、個体数、生体量、優占種などを調査する。また、得られたデータに基づき、多様性指数、汚濁指数、スコア（大型底生動物による水質評価）などを算出すると全体をつかみやすいが、こうしたデータや指標値は、生物から見た生態系の一部分のみを表している場合もある。

例えば、「平成９年度版　河川水辺の国勢調査マニュアル河川版（生物調査編）／監修：建設省河川局河川環境課、発行：財団法人リバーフロント整備センター」に示されている底生動物の調査票は以下のとおりである。

底生動物現地調査結果一覧表（地区別）

地建・都道府県名	事務所・部局名	水系名	河川名	調査年度
○○地方建設局	■■工事事務所	▲▲川	△△川	200x

地区番号	地区名
○△□×	○○橋下流

No	綱名	目名	科名	種名		1回目	2回目	3回目	…
				和名	学名	早春	夏	冬	…
1	ゴカイ	ｻｼﾊﾞｺﾞｶｲ	ｶｷﾞｺﾞｶｲ	ｶｷﾞｺﾞｶｲ科の一種	Pilargidae.sp		●	●	
2		スピオ	スピオ	*Prionospio bocki*	*Prionospio bocki*	●	●		
3				ヤマトスピオ	*Prionospio japonicus*		●		
				Prionospio sp	*Prionospio* sp		●		
				スピオ科の一種	Spiondae sp				
4	マキガイ	ニナ	カワニナ	カワニナ	*Semisulcospira libertina*			●	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
種　　数						70	65	75	…

出典：平成９年版河川水辺の国勢調査マニュアル河川版（生物調査編）／
監修：建設省河川局河川環境課、発行：財団法人リバーフロント整備センター

◆生物相調査における調査項目

（１）付着藻類

付着藻類とは、水中植物、底泥、礫、岩石などの表面に付着している珪藻、藍藻、緑藻、紅藻などの藻類の総称である。付着藻類は殆ど移動しないため、その地点での水質などの環境要因の影響を受けやすいと考えられ、有機汚濁や富栄養化、重金属汚染などの指標に採用されている。また、クロロフィルａ量を測定することで、藻類の現存量を把握することができる。

（２）底生動物

底生動物とは、水生生物のうち、全くあるいはほとんど水底で生活する生物のことであり、ウズムシ、貝類、ミミズ、エビ、カニなどが含まれる。また、カゲロウやトンボなどの陸上昆虫の幼虫も多数含まれる。付着藻類と同様に、有機汚濁や富栄養化、重金属汚染などの指標に採用されている。

（３）浮遊生物

浮遊生物には、植物プランクトン（藻類等）と動物プランクトン（原生動物、水生生物の幼生）がある。止水域においては富栄養化の指標となる。流れのある水域では恒常的にいることが少ないため、調査地点における状況の把握は難しく、中小河川では必ずしも調査を必要としないが、植物プランクトンでは藻類の由来（上流からの流下、付着藻類の剥離）の把握、動物プランクトンでは処理水由来の生物の把握などを主眼として調査を行うこともある。また、クロロフィルａ量を測定することで、植物プランクトンの現存量を把握することができる。

（４）魚類

水環境を評価するために、種類や数、大きさ、棲み場における行動などを調査する。大型の甲殻類（エビやカニ）や貝類なども含めて魚介類調査とすることも多い。

（５）水生植物

水生植物について、目視と採集により調査する。自然度の高い沿岸帯では、陸側から沖に向かって、湿性植物、抽水植物、浮葉植物、沈水植物までの植物群落が形成される。これらの水生植物群落は、水辺の生物の生活に重要な役割を果たしている。

◆多様性指数とは

多様性の概念は地域的な群集の差や植物群落の遷移の研究における応用として、群集における種構成の１断面を表すものである。

この多様性指数は、種が多ければ多いほど、また種ごとの密度が均一であればあるほど高い。底生動物の群集を例に取った場合、一般的には渓流などの清水域では多くの種が見られ多様性は高くなるが、環境が単純になっている人工水路や水質が悪化している水域では生息可能な種が限られ、多様性は低くなる。

Shannon-Weaver による多様性指数は次のように定義される。

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \log_2 p_i$$

ここに S ：標本中の種類数

p_i ：ｉ番目の種類の個体数が総個体数に占める割合である。なお、底については、２、e、10 が用いられているが、ここでは比較的多く採用されている２を使用する。

ある地域の自然環境を定量的に表現することは容易ではないが、多様度という見方は場の評価において重要な指標のひとつである。多様性指数により求められる数値については、その解釈について様々な議論があるが、指数のひとつとしてこれまでにも多く用いられている。

なお、Carin らは、この方法による底生動物の多様性指数 1 以下は強汚染水域、3 以上は清水域、1～3 の範囲は中汚染水域としている（平成６年度　水生生物調査結果報告書／東京都環境保全局水質保全部）。

◆多様性指数の計算例

綱名	学名	細胞数 (cells/cm^2)	pi	$\log_2$pi	多様性指数 -(pi*$\log_2$pi)
藍藻類	*Oscillatoria geminata*				
	Oscillatoria sp.				
	Xenococcus sp.	790,000	0.023	-5.434	0.126
紅藻類	*Audouinella charybea*				
	Audouinella sp.				
珪藻類	*Achnanthes exigua*				
	Navicula cryptoceptala v. veneta	4,900,000	0.143	-2.801	0.402
	Navicula gregaria	160,000	0.005	-7.738	0.036
	Navicula minima				
	Nitzschia frustulum v. perpusilla				
	Nitzschia palea	420,000	0.012	-6.346	0.078
	Pinnularia spp.	53,000	0.002	-9.332	0.014
	Synedra rumpens				
	Synedra ulna				
緑藻類	*Characium* sp.	53,000	0.002	-9.332	0.014
	Chlamydomonas sp.	160,000	0.005	-7.738	0.036
	Chlorolobion sp.	4,100,000	0.120	-3.059	0.367
	Choricystis sp.	470,000	0.014	-6.183	0.085
	Cladophora sp.				
	Monoraphidium sp.	53,000	0.002	-9.332	0.014
	Scenedesmus spp.				
	Stigeoclonium sp.	23,000,000	0.673	-0.571	0.384
合計		34,159,000	1		1.558

前述の式に従って、北九州市の皇后崎浄化センターにおける付着藻類調査結果（平成 12 年 10 月 27 日）を例として計算した結果、当該地点の多様性指数は 1.558 となる。

◆汚濁指数とは

汚濁指数は Pantle u. Buck（1955）によって提案された生物の群集構成による河川の水質階級の算定方法であり、出現した生物種の汚濁に対する耐性と、その出現数に基づいた次のような考え方である。

ある水域において水質が清冽であれば、そこには清い水質を好む生物が生息し、また、汚い水質であれば、その水質に耐えることのできる生物が生息する。従って、ある水域に生息している生物種と生息数を調べることにより、そこの水域の汚濁状態を知ることができるというものである。

汚濁指数の算定法は、まず生物出現数を出現頻度（*h*）によって何段階かに分け、例えば、「少ない」を【1】、「普通」を【2】、「多い」を【3】として分ける。次に、生物を有機汚濁の耐性による汚濁階級指数（s）として４段階に分け、「貧腐水性指標種」を【1】、「β中腐水性指標種」を【2】、「α中腐水性指標種」を【3】、「強腐水性指標種」を【4】として分ける（ただし、すべての種に汚濁階級指数（サプロビ指数）が設定されているわけではないため、設定されている種のみで汚濁指数を算出する）。こうしてある１地点の調査において、そこに出てくるいくつもの種の出現頻度（*h*）と汚濁階級指数（s）とを用いて、以下に示す計算式によって算定したものが汚濁指数である。

$$S = \frac{\sum (s \bullet h)}{\sum h}$$

h：出現頻度の例（データにより区分する細胞数やカテゴリー数を変化させる）

1＝１～９cells／㎝^{2}
2＝10～99cells／㎝^{2}
3＝100～999cells／㎝^{2}
4＝1000～9999cells／㎝^{2}
5＝10000～99999cells／㎝^{2}
6＝100000～999999cells／㎝^{2}
7＝1000000～9999999cells／㎝^{2}

s：汚濁階級指数

1＝貧腐水性指標種
2＝β中腐水性指標種
3＝α中腐水性指標種
4＝強腐水性指標種

上記の計算により算出された値が、以下に示す汚濁指数（*S*）の範囲（1.0～4.0）のいずれかによって、清冽であるか汚濁しているかという水質階級の指標を得る。

S =1.0～1.5（貧腐水性水域）
S =1.5～2.5（β中腐水性水域）
S =2.5～3.5（α中腐水性水域）
S =3.5～4.0（強腐水性水域）

◆汚濁指数の計算例

以下に、北九州市の皇后崎浄化センターにおける付着藻類調査結果（平成 12 年 10 月 27 日）を例として、実際の計算イメージを示す。

		s	細胞数 (cells/cm2)					出現頻度 :h 細胞数の桁数)				
綱名	学名	汚濁階級指数	A 放流口	B 植生流入	C1 湿地流入(礫)	C2 湿地流入砂)	D せせらぎ	A 放流口	B 植生流入	C1 湿地流入礫)	C2 湿地流入砂)	D せせらぎ
藍藻類	*Oscillatoria geminata*			3,500					4			
	Oscillatoria sp.	3		11,000					5			
	Phormidium spp.	3			26,000					5		
	Xenococcus sp.		790,000	13,000				6	5			
紅藻類	*Audouinella charybea*			440					3			
	Audouinella sp.				160,000	31,000				6	5	
珪藻類	*Achnanthes exigua*	1		22,000	5,300	3,700	26,000		5	4	4	5
	Achnanthes hungarica	1			330					3		
	Achnanthes lanceolata	1		7,000	18,000	150,000	120,000		4	5	6	6
	Amphora spp.	2			660					3		
	Caloneis sp.			1,800					4			
	Cocconeis placentula	1			330		170,000			3		6
	Cyclotella sp.	2			330					3		
	Eunotia bilunaris			8,800	11,000	1,800	320,000		4	5	4	6
	Eunotia spp.				330					3		
	Gomphonema angustum	4			5,300					4		
	Gomphonema gracile				2,600		13,000			4		5
	Gomphonema minutum				1,300					4		
	Gomphonema parvulum	4		220	5,900	5,500	53,000		3	4	4	5
	Gomphonema pseudoaugur	4		220		460			3		3	
	Navicula bacillum	1				460					3	
	Navicula confervacea	2		1,300	2,600	3,700	53,000		4	4	4	5
	Navicula cryptocephala	2				460					3	
	Navicula cryptoceptala v. veneta	3	4,900,000	7,000	4,000	920	13,000	7	4	4	3	5
	Navicula gregaria	3	160,000	13,000	17,000	3,700		6	5	5	4	
	Navicula minima	4		4,400	5,300	1,800			4	4	4	
	Navicula minuscula			880					3			
	Navicula pupula	4		220					3			
	Navicula subminuscula	4					110,000					6
	Nitzschia amphibia	2		5,300	2,600	1,800	93,000		4	4	4	5
	Nitzschia filiformis	2			1,300					4		
	Nitzschia frustulum v. perpusilla	2		1,800	17,000	7,400	53,000		4	5	4	5
	Nitzschia palea	4	420,000	6,200	1,300			6	4	4		
	Nitzschia vermicularis	1			330					3		
	Pinnularia spp.		53,000					5				
	Rhoicosphenia curvata	1			660					3		
	Synedra fasciculata				2,600	460				4	3	
	Synedra rumpens	2					13,000					5
	Synedra ulna	2			1,300	1,800	13,000			4	4	5
緑藻類	*Characium* sp.		53,000	880	1,300			5	3	4		
	Chlamydomonas sp.	3	160,000	880	2,600			6	3	4		
	Chlorolobion sp.		4,100,000					7				
	Choricystis sp.		470,000				280,000	6				6
	Cladophora sp.						200,000					6
	Monoraphidium sp.		53,000					5				
	Oedogonium sp.	2		440			220,000		3			6
	Rhizoclonium sp.			440			240,000		3			6
	Scenedesmus spp.						53,000					5
	Stigeoclonium sp.		23,000,000	91,000	90,000	9,200	800,000	8	5	5	4	6
								3.2	2.7	2.4	2.4	2.2
								汚濁指数 :S				

① 元データの細胞数（左側の欄）を桁数に変換して、出現頻度（h）とする（右側の欄）。

② 出現がみられた生物のうち、汚濁階級指数（s）が設定されている生物種の h について、対応する s との積を求める。

③ ②で求めた積の和を計算する。

A放流口では：(3×7)＋(3×6)＋(4×6)＋(3×6) ＝ 81 ⇒［Σ（s×h）］

④ 計算対象となった生物種の h の和を計算する。

A放流口では： 7＋6＋6＋6 ＝ 25 ⇒［Σh］

⑤ 汚濁指数（S）を Σ（s×h）÷Σh から計算する。

A放流口では： 81÷25 ＝ 3.24 3.2

⑥ S＝3.2 となったことから、このA放流口水域は「α中腐水性」であると判定される。

以上のように、植生池、湿地における浄化作用により、放流水が浄化されていることが、汚濁指数の減少により明らかとなっている。

◆スコア法による大型底生動物から見た水質評価

地方公害研究所によって、既に大型底生動物を用いて水質の状態を評価する「大型底生動物による河川水域環境評価マニュアル（スコア法）」が実用に供されている。

これらの生物の同定を科のレベルまでにとどめ、採集された大型底生動物の各科に与えられているスコア（汚染に対する感受性に基づきあらかじめ科毎に設定）の合計を科の総数で除した値（平均スコア値、ASPT 値）で評価するものであり、全国公害研協議会環境生物部会により全国版の手法として検討されてきたものである。

ASPT 値は１から 10 までの値を取り、10 に近いほど汚濁の程度が少なく、自然状態に近いことを示す。ASPT 値は、河川の水質状況に加え、周辺環境もあわせた総合的な河川の環境の良好性を相対的に表す指標となっている。

スコアの計算例

河川名：○○川　　採集年月日：　年　月　日

科　名	スコア	地点名 A	地点名 B	地点名 C
チラカゲロウ科 Isonychiidae	9	○		
ヒラタカゲロウ科 Heptageniidae	9	○		
コカゲロウ科 Baetidae	6		○	
マダラカゲロウ科 Ephemerellidae	9	○		
カワカゲロウ科 Potamanthidae	8			
モンカゲロウ科 Ephemeridae	9	○		
ムカシトンボ科 Epiophlebiidae	9			
サナエトンボ科 Gomphidae	7	○	○	
オナシカワゲラ科 Nemouridae	6		○	
カワゲラ科 Perlidae	9	○		
ミドリカワゲラ科 Chloroperlidae	9			
ヘビトンボ科 Corydalidae	9	○		
ヒゲナガカワトビケラ科 Stenopsychidae	9	○		
シマトビケラ科 Hydropsychidae	7		○	
ナガレトビケラ科 Rhyacophilidae	9	○		
ヤマトビケラ科 Glossosomatidae	9	○		
エグリトビケラ科 Limnephilidae	10	○		
カクツツトビケラ科 Lepidostomatidae	9			
ヒラタドロムシ科 Psephenidae	8	○	○	
アミカ科 Blepharoceridae	10			
ブユ科 Simuliidae	7			
カワニナ科 Pleuroceridae	8		○	
ミミズ綱 Oligochaeta	1			○
ヒル綱 Hirudinea	2			○
ミズムシ科 Asellidae	2			○
サワガニ科 Potamidae	8	○		
ＴＳ(総スコア)値		114	42	5
総科数		13	6	3
ＡＳＰＴ(平均スコア)値		8.8	7.0	1.7

注：採集された科に○を付ける。

Ａ地点の計算例

ＴＳ(総スコア)値の算出：採集された13科のスコアを合計する。

TS＝9+9+9+9+7+9+9+9+9+9+10+8+8＝114

ＡＳＰＴ(平均スコア)値の算出：ＴＳ(総スコア)値を採集科数で割る。

ASPT＝114÷13＝8.8　(小数点第2位を四捨五入する)

出典：平成１１年度　水生生物等による水環境評価手法検討調査／環境庁水質保全局（現環境省水環境部）