

直線河道における 魚類生息環境の復元の試みとその効果

—自然共生研究センター実験河川を利用して—

Effects on Restoration of Fish Habitats in Straightening Channels
Using Experimental Streams

萱場祐一¹・傳田正利²・田中伸治³・島谷幸宏⁴・佐合純造⁵

Yuichi KAYABA, Masatoshi DENDA, Shinji TANAKA, Yukihiro SHIMATANI, Jyunzou SAGOU

- ¹ 正会員 工修 独立行政法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6)
² 正会員 独立行政法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6)
³ 正会員 工修 国土交通省国土技術総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1)
⁴ 正会員 工博 独立行政法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6)
⁵ 正会員 工修 独立行政法人土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6)

Stream modification based on straightening, widening, dredging and installing revetment had affected tremendous disturbance on streams in Japan. In this study, a restoration method using structures are proposed to create ideal habitat patterns and are examined in the experimental streams in Aqua Restoration Research Center. Pool and riffle structures and stream benches are mainly focused on and vane structures, mound, deflectors and etc are used to promote erosion, deposition and control of flow. Results are that habitat patterns and fish community are enhanced by this techniques, and especially the fish biomass is 5 times after the restoration than before. This is a significant improve and this restoration techniques proposed in this paper have a high possibility as the way to enhance habitats of fishes.

Key words: restoration technique, habitats, fish, stream modification, vane, deflector, pool and riffle

1. はじめに

本研究では、中小河川改修により自然環境が単調化した河川を対象にした復元手法について論じる。直線河道は河道内微地形に変化をもたらす要因が少ないため復元が難しい。ここでは、直線河道に構造物を設置して、流水の洗掘・堆積作用を促進し、河道内微地形の形成を図る方法について検討する。また、自然共生研究センター実験河川直線部に考案した復元工法を実際に設置し、魚類の生息環境に及ぼす効果を調査した結果を報告する。

2. 中小河川改修のレスポンスと復元方法

中小河川の多くは比較的早い時期に一次改修が行われ、河道の直線化、拡幅、河床の掘削と平坦化、護岸の設置といった典型的な従来型の改修が施されていることが多い。表-1は、中流域における中小河川(Bb型とBc型

の河川の一部¹⁾)を対象に従来型の中小河川改修によるインパクトとそのレスポンスをまとめたものである。流水域においては瀬・淵の構造の消失、水際域においては淀みの消失や水際植生の消失、湧水の消失等が主な影響として考えられる²⁾。従って、中小河川における復元手法を検討する場合には、このようなレスポンスの軽減を目的とする必要がある。

表-1 中小河川改修によるインパクトとレスポンス

代表的なインパクト	主たるレスポンス
河道の直線化	湾曲部外岸側に発生する瀬の消失とそこに落ち込む瀬の消失(瀬・淵構造の消失)土砂の分級に伴う内岸側の砂州、流れが遅くなる淀み域の消失が生じる。また、周辺の崖地、河畔林と位置的に離れ環境の質が低下する場合がある。
河道の拡幅	平常時の流速、水深の低下する。また、出水時の揚流力が低下して河床材料の移動機会が減少し、瀬・淵構造を形成する微地形の回復が遅れることが考えられる。
河道掘削	河床堆積物の厚さが薄いところでは基盤が露出し、流速の増大、河床のハビタットとしての質が低下する。また、掘削断面を平坦な場合で、微地形の回復が難しい場合には、長期間平坦な河床が維持される。
護岸の設置	水際域の線形が単調となり淀み域が消失する。また、植生基盤がなくなるため水際植生帯が消失する。場合によっては湧水の減少が生じる。

復元手法は、規模や方法から大きく2つに分類できるだろう。一つは比較的長い区間にわたって再蛇行化等を行うことにより、河道内微地形の自己回復を促し、ハビタットを復元する方法であり、大規模な縦断形状、平面形状の変動を伴う。もう一つは河道の平面、縦断形状は変更せず、現河道の中で局所的にハビタットを復元する方法である。ここで目標とするハビタットは、少数の瀬や淵の再生、入り組みのある自然河岸等の個々のハビタットであり、巨石を配置したり、ベン工やデフレクター（小さい水制）といった構造物を用い、流水と流砂の相互作用により局所的なハビタットの復元を行う。

前者は平面や縦横断形の改変を伴うため、より本質的な復元手法と言えるが、復元規模が大きく現状では適用が難しい。一方、後者は現河道の中で復元が可能だが、復元できるハビタットの規模も相対的に小さく、かつ、局所的である。例えば、改修前に接していた河畔林や崖地との位置関係まで修復することはできない。

しかし、後述するように、この方法を実験河川に適用したところ、魚類の生息環境が有意に向上したことから、現状の劣悪な自然環境を緊急避難的に回復する方法としては検討の余地があると考えられる。ここでは、後者の小規模な復元手法に着目し、実験河川への適用事例とその効果について述べる。

3. 実験河川³⁾における試み

3. 1 実験河川と復元手法の概要

実験河川の平面図を図-1に示す。復元手法を適用したのは実験河川B及びCの一部の直線区間（以下、復元区間）で長さは60m、川幅は底幅で6mである。この区間は他の区間（通常は底幅で2.5~3.0m）より川幅が広く、かつ、直線的な平面形となっていたため、流速・水深は小さく一様でハビタットは極めて単調だった。また、

1999年の魚類調査結果から、他の区間と比較して魚類生息量、種類数は少なかった³⁾。各復元手法はハビタットを形成するメカニズムの違いから以下に示す3つの方法に分類した。

①洗掘作用を利用する方法

ベン工⁴⁾、丸太工⁵⁾といった構造物周辺に生じる局所洗掘、最下流の両岸に設置したデフレクター⁶⁾の急縮作用を利用して淵のような深みを形成する。実験河川では人為的に掘削した淵への土砂堆積抑制を目的としてこの方法を採用した。

②堆積作用を利用する方法

木杭や盛土工等⁶⁾の構造物により流速を低下させて流水中の浮遊砂の沈降、堆積、自然河岸の形成を促す。また、自然河岸の形成に伴う水際植生帯が期待できる。自然河岸とは堆積現象に基づいて形成された河岸を意味する。

③流れを制御する方法

デフレクター⁶⁾、早瀬工⁸⁾は洗掘や堆積作用による微地形の変化は期待できないが、直接平常時の流れを制御し、みお筋の固定や蛇行、河岸沿いの淀み域を形成する。これら3つの方法を組み合わせることにより、直線河道であっても、瀬・淵の構造、水際植生帯や淀みといった従来型の中小河川改修で消失したハビタットの復元がある程度可能になると考えられる。復元に際しては、まず、①期待するハビタットの分布と微地形を想定し、②これを実現するために最も相応しい工法を配置していった。以下にその詳細を記す。また、この区間に適用した復元工法の配置状況を図-2に、実験河川で採用した工法の特徴を表-2に、代表的な工法の状況を写真1,2に示した。

①期待するハビタットについて

みお筋は実験河川上流部の蛇行区間（図-1）を参考にして幅（約2.5~3m）及び蛇行波長（幅の10倍）を決定した。復元区間最上流、最下流点及びその中間点が蛇行の頂点に相当しここに淵を想定した。また、最上流部

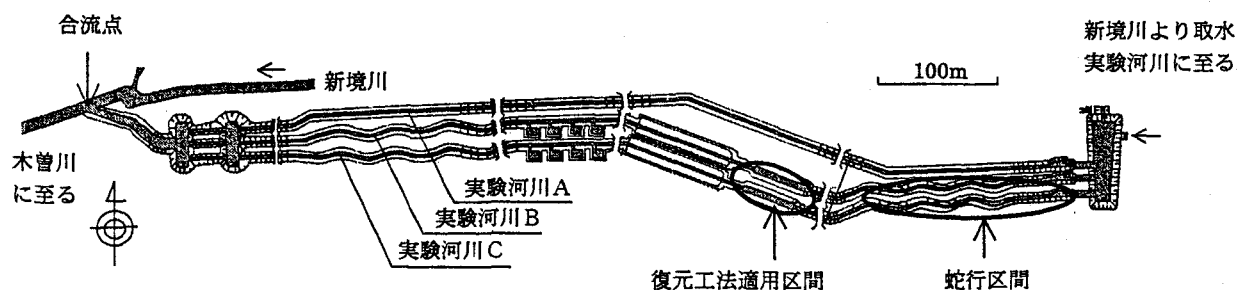


図-1 実験河川平面図

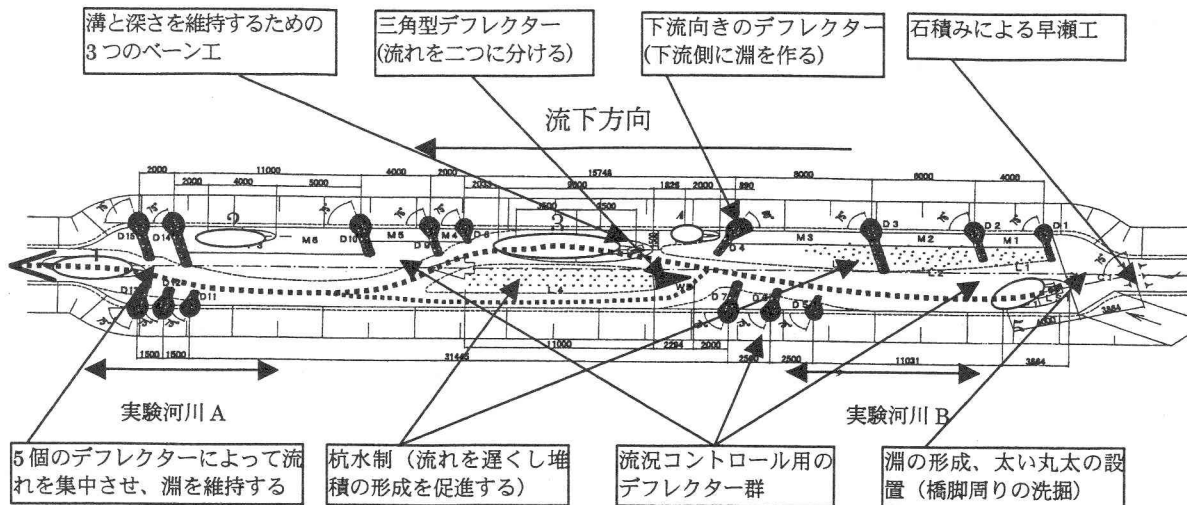


図-2 復元区間における工法の配置状況

表-2 復元工法の特徴

工法	概要
ベン工	流れに対して20度程度の仰角を持たせて河床に設置するパネル状の構造物で、計画河床からは10cm程度突き出ている。出水時にベン工から流れ方向を軸とした渦が発生することにより周辺の流砂を制御し局所的な洗掘域を形成する。ここでは淵への細粒土砂の堆積抑制を目的として縦断的に3基復元区間中流の淵に設置した。
丸太工	出水時に丸太周りに発生する馬蹄形渦を利用することにより流砂を制御し局所的な洗掘域を形成する。ここでは、淵への細粒土砂の堆積抑制を目的として最上流の淵に2組設置した。
デフレクター	河岸から河道の中心に向かって突き出た不透水性構造物である。高さは10～20cm程度で主として平常時における水の流れを制御し、河岸付近の流れを河道中央へと誘導することにより、目標とする低水路法線形の形成、河岸付近の淀み域の形成を促す。また、出水時には河岸付近の流速を低減させ、浮遊砂の沈降と堆積、自然河岸の形成を促す。
木杭工	河岸沿いに群として設置することにより、河岸沿いの流速を低減させ浮遊砂の沈降と堆積、自然河岸の形成を促す。
盛土工	河岸沿いに設置した高さ10～20cm程度の盛土で、通水初期は盛土上部の水深を減少させ植生基盤を形成する。また、出水時にはこの部分の流速を低減させ浮遊砂の沈降と堆積、自然河岸の形成を促す。
早瀬工	河床に石を積み人工的に早瀬を模した構造物である。流れ方向の断面形状は高さ20cm程度の三角形で、頂点より下流には早瀬(勾配1/10程度)を上流には堰上げによりとろを形成する。粒径は掃流力との関係から当該区間で移動しない程度の材料を設置した。

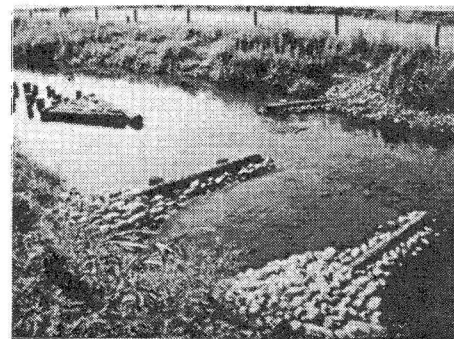


写真-1 中流部に設置したデフレクター

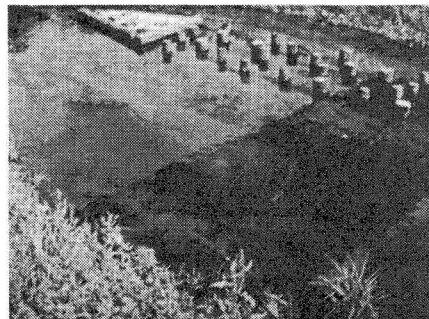


写真-2 中流部に設置した淵とベン工

中流部の状況、向こうに見えるのが三角型デフレクターで右側がみお筋、左が細流となる。写真-2は反対側から撮影したもの。

手前にあるのが人為的に掘削した淵、ここにベン工が3基設置してある。平常時でもベン工の高さは低いため確認しにくい。

の淵の上流には早瀬を想定し、瀬一淵の構造を期待した。

区間中流部は右岸にみお筋を左岸に細流を形成させ、この間に中州を想定した。右岸側と左岸側の一部には平面的に入り組みのある自然河岸を想定し、ここに水際植生帯を期待した。

②実現するための工法の配置

みお筋の蛇行は上向きデフレクターを配置することにより行った。淵は人為的に掘削し堆積抑制を目的として丸太工(上流)、下流向きデフレクター(中流)、ベン工(中流)、デフレクター(下流)を設置した。早瀬の形成は早瀬工により、主流と細流の分離は三角型デフレクターにより行った。中州及び自然河岸の形成は木杭工、

盛土工による堆積を期待し、自然河岸の入り組と水際における淀みの形成はデフレクターにより行った。

3.2 ハビタットと魚類の生息状況の変化

(1) 調査方法

実験では復元工法を設置しない状態で約1年間通水(1999年)して、その後復元工法を設置した状態で約8ヶ月通水(2000年)し、両時期の比較を行った。平常時の流量は0.05～0.1m³/sである。1999年は全河川で定期的に人工出水(0.2～2.5m³/s)を、2000年は実験河川A及びCで定期手に人工出水(0.3～1.5m³/s)を実施した。

このため、復元工法の比較も両時期で出水のあった実験河川Cで行うこととした。また、両時期で条件が比較的同一と考えられた実験河川Aのコンクリート設置区間に2つの対照区間を設置し、両時期における魚類相の変化傾向を調査した。この区間は両岸にコンクリートが設置しており、両時期における植生の繁茂状況の違いによる影響を受けにくい区間である。

魚類調査は以下のように行った。1999年の調査（復元工法実施前）では復元区間のハビタットの状況が区間内ではほぼ同質であったため1区間で魚類調査を実施した。2000年の調査（復元工法実施後）では、復元工法の実施に伴い空間的にハビタットの状況が異なったため2区間で魚類調査を実施した（図-2中に調査区間を記載、下流：A区間、上流：B区間）。1区間の延長は対照区も含めいずれも15mである。魚類採捕は電気ショッカーを用いて行い、単位面積当たりの努力量は同一とした。魚類の採捕は1999年は8月、10月、12月に2000年は8月、9月、10月、11月、12月に実施した。

(2) 結果

1) 微地形、植生、ハビタットの変化

復元工法実施直後に、デフレクターが流水を制御し、河道の中央部に緩やかに蛇行し流速が相対的に大きいみお筋を、河岸付近に流速が小さい淀みを形成した。また、最上流部の早瀬工には早瀬が出現し、この下流に設置した淵と一体となって瀬-淵の構造が再現できた。通水後

数ヶ月が経過すると水深が小さい河岸沿いの盛土部に植物が繁茂し、水際植生帯を形成した。出水実験によって河道内微地形は大きく変化しなかった。これは、上流に土砂供給源がないため、堆積作用をもたらす浮遊砂濃度が小さいこと、そして、平均的な河床材料の粒径が出水時の掃流力に対して大きく、微地形が変化する河床変動がなかったことによる。ただし、河岸及び河床由来と推定される細粒分が出水中に掃流砂として移動し、これが復元区間の淵に流入する様子が出水中に観測できた。このような細粒分の流入にも関わらず淵を維持できたのは、淵への堆積を抑制するために設置した構造物の効果と考えることができるだろう。

2) 魚類の生息状況について

復元工法実施前後における調査時期別及び魚種別採捕個体数を表-3に示す。また、図-3に時期別の魚種数及び個体数をそれぞれ示した。実施前調査には、実施後で魚種数、個体数ともピークに達する9月の調査が存在しないため最大種数及び個体数の比較は難しいが、調査時期が同一の8月、10月、12月の調査結果では、いずれの時期においても復元工法実施後の方が魚種数、個体数とも多い結果となっている。実施前から見られたドジョウ、シマドジョウ類、タモロコ、フナ類に加えて、実施前には見られなかった、コイ、ニゴイといった比較的大型の個体、砂河床を好むカマツカ、礫河床を好むヨシノボリ類が比較的多く見られるようになった。また、実施前は

表-3 復元工法実施前後における魚類相の状況

	1999年(実施前)				2000年(実施後)															
調査月 標準和名	7	8	10	12	8			9			10			11			12			
					A	B	計	A	B	計	A	B	計	A	B	計	A	B	計	
アブラハヤ									1	1										
イモシメタナゴ												1	1	2	1	3				
ウキゴリ									1	1										
ウグイ									1	1										
ウナギ																	1		1	
オイカワ		1			5	4	9	15	53	68	2	30	32		28	28		19	19	
オオクチバス		5			2		2	2	1	3				1		1				
カマツカ									1	1	3	1	4	3	2	5	3	2	5	
カムルチー								2		2										
キンギョ									1	1										
コイ					12	8	20	8	5	13		1	1	1		1				
シマドジョウ類	1	2	1		1	1	2	14	4	18	14	6	20	29	7	36	9	13	22	
スゴモロコ類								3	5	8										
タモロコ	1	11	2		3	22	25	23	41	64	2	50	52	2	50	52	1	8	9	
ツチフキ						1	1	1		1	3		3					1	1	
ドジョウ					2	3	5		2	2	4	3	7	5	3	8	3	7	10	
ナマス	2	1				1	1					1	3	2	2	4	1	1	2	
ニゴイ								2	26	28		40	40	1	24	25				
フナ類	7	16	1		16	25	41	39	21	60	25	16	41	6	20	26	3	8	11	
ブルーギル					1		1	7	3	10	13	2	15	10	3	13				
モツゴ					1	1	2		3	3		5	5				1			
ヨシノボリ類									17	17	2	10	12		11	11	2	5	7	
個体数総計	13	36	4	0	43	66	109	116	186	302	70	166	236	62	151	213	24	64	88	
種類数	5	6	3	0	9	9	11	12	17	19	10	13	14	11	11	13	9	9	10	

注1) 調査年月日について

1999年 7月21日、8月18～19日、10月25～26日、12月7～8日

2000年 8月20～22日、9月17～19日、10月15～17日、12月10～12日

注2) 実施後の種類数はA区間もしくはB区間で採捕された魚種の合計を示す。

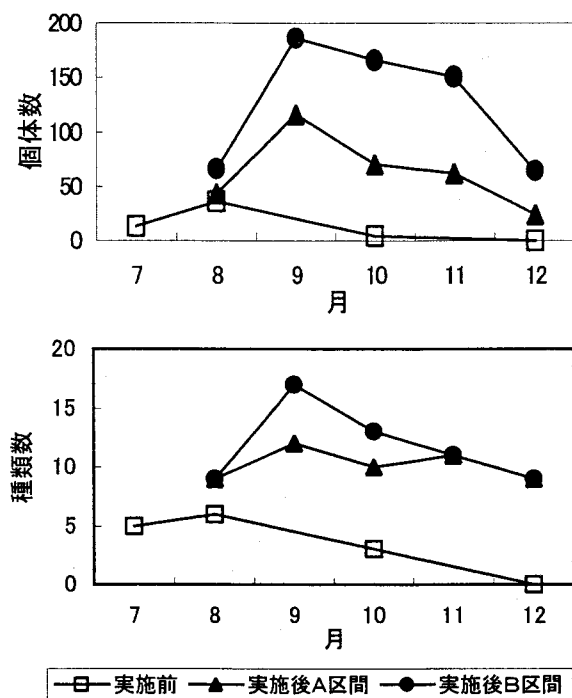


図-3 復元実施前後における
個体数（上）、種数（下）の変化

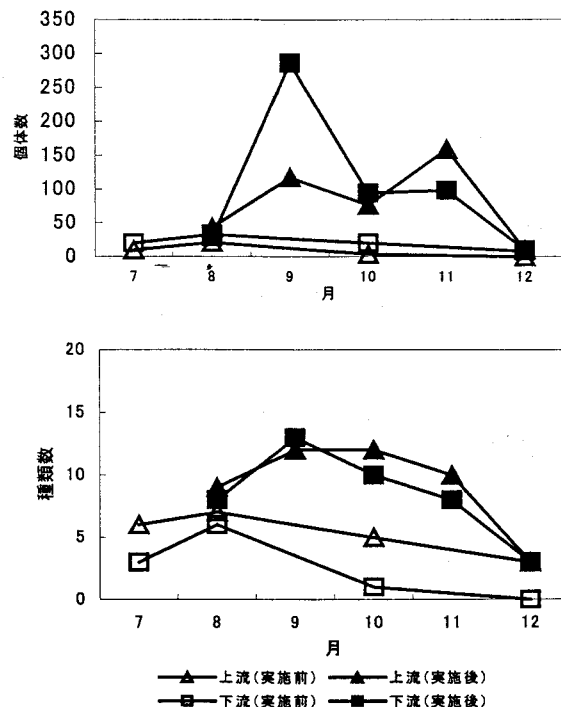
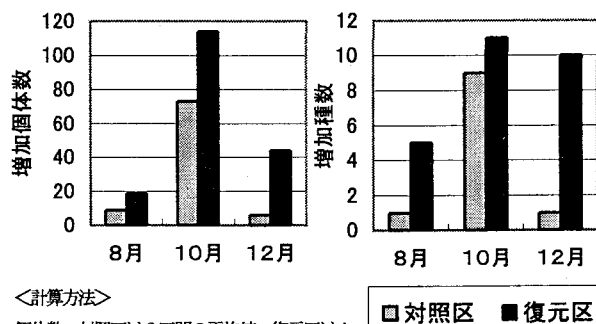


図-4 対照区間における事業実施前後の個体数及び種数

あまり見られなかったオイカワの数も実施後は増加した。これらの結果から、復元工法実施後は異なるハビタットを選択する魚種が増えただけでなく、その数も増加している。実施後のA・B区間における違いを見ると、B区間における魚種数、個体数が多い。これはB区間に早瀬・淵の構造を含んでいることに起因すると考えられる。

次に対照区間における個体数と種類数変化を図-4に示す。1999年及び2000年は魚類の生息条件がほぼ同一と考えられたが、両年の生息状況は大きく異なる。これは実験河川内の魚類の生息状況が実験河川内の条件のみによって既定されないことを示唆し、復元工法の評価に当たってもこの影響を考慮する必要がある。そこで、1999年に対する2000年の増加個体数及び種数を対照区間と比較することにより復元工法の評価を行う。図-5は両年で調査時期が一致する8、10、12月の両区間における増加個体数及び増加種数の変化を示す。全体として復元工法区間の増加数は大きく、特に冬季における差は顕著である。ハビタットが比較的単調な場合は、夏期は魚類の生息量が増加し、冬季に減少する傾向が実験河川で認められている³⁾。従って、冬季における生息状況の改善は復元工法設置に伴う効果と考えてよさそうである。なお、増加個体数については有意な差は認められるが

(Pairedt-test 5%有意水準)、種数については認められなかった。これは実験河川の規模が大きく、同一条件を有する対照区を用いて実験できない点に起因している。



<計算方法>

個体数：対照区は2区間の平均値、復元区はAとBの平均値を示す。種数：対照区、復元区ともいずれかに区間で採捕された合計種数を示す。

図-5 復元区間及び対照区間における
増加個体数及び種数（1999年から2000年）

4. 実河川への適用に関する課題

実験河川では魚類の生息環境に対して一定の効果が認められたが、実河川の適用には幾つかの課題がある。構造物の設置による水位上昇や構造物自体の耐久性は当然の課題としてあげられる他、洗掘作用や堆積作用を構造物の諸元や配置、当該区間の河道特性と定量的に関連付けることも今後の課題である。また、構造物を用いた復元手法の適用が可能な、もしくは、適切な河川を判断・判定する方法の開発も大きな課題である。特に、今回の試みは実験河川という特殊な条件下で行ったものである。

実験河川は木曽川扇状地に立地し、河床材料の平均的な粒径は実験河川の掃流力に比して大きい。このため、河床材料のC集団とA集団の多くは移動しない静的に安定した河道といえる⁹⁾。このような河川では、河道内の微地形を自ら形成することができないため、構造物を用いた復元の適用は比較的適切であり、かつ、構造物の破壊や過大な局所洗掘の発生の可能性は低い。一方、上流域に土砂生産源があり地形自体を自ら形成してきた河川は、ハビタットを自己形成する可能性が高く、このような復元手法が不必要な場合もあるだけでなく、構造物の破壊、過大な局所洗掘等危険性も増大するだろう。復元方法を中小河川の河道特性と関連付け、その特性に応じた計画、設計手法を検討することが今後の大きな課題である。

参考文献

- 1) 可児藤吉：可児藤吉全集 第1巻，思索社，1979
- 2) 島谷幸宏・萱場祐一・小栗幸雄：中小河川改修前後の生物生息空間と魚類相の変化，水工学論文集第38号，pp.337-343，1994.
- 3) 佐合純造・島谷幸宏・藺田顕彦・萱場祐一・皆川朋子・清水高男・吉富友恭・戸谷三知郎：平成11年度自然共生研究センター研究報告書，土木研究所資料，第3747号，2000.
- 4) 福岡捷二・渡辺明英：ベーン工の設置された湾曲部の流れと河床形状，土木学会論文集，第447号Ⅱ-9，pp.98-109，1992.
- 5) 須賀堯三・西田祥文・高橋晃・坂野章：橋脚による局所洗掘深の予測と対策に関する水理的検討，土木研究所資料，第1797号，1982.
- 6) Ohio Department of Natural Resources Division of Soil and Water Conservation：Rainwater and Land Development，1996.
- 7) 建設本省，土木研究所，地方建設局等：河岸防御の設計手法に関する研究，土木技術資料38-4，pp.44-60，1996.
- 8) James A. Gore：The Restoration of Rivers and Streams，Butterworth Publishers，BUTTERWORTH PUBLISHERS，1985
- 9) 山本晃一：沖積河川学，山海堂，1994.

(2001. 4. 16 受付)