

# サクラマスのスモルト放流に関する生態学的検討 —河川の自然環境とサクラマス資源—

真 山 紘\*

## An ecological view on the enhancement of masu salmon through the release of smolts : masu salmon management and the stream habitats

Hiroshi Mayama\*

Recent environmental devastation in rivers have resulted in serious decreases of masu salmon resource. The smolt-release is considered to be an efficient method to rehabilitate the reduced masu salmon stock. However, it is difficult to enlarge smolt production quantitatively by the present rearing facilities and annual budget. This method should be used in combination with other means of propagation, "fry-release" in the first spring, "fingerling-release" in the autumn just before the overwintering, and protection of natural reproduction. This paper emphasizes that the conservation of stream environments and technological development for preserving and creating fish habitats are both important to increase the effectiveness of masu salmon propagation in Japan.

### スモルト放流によるサクラマス資源造成の動き

サクラマス資源を増大する計画が、1980年代半ばに国（水産庁）や地方自治体によっていっせいにスタートされた（野川 1993）。これらの計画に共通することは、降海型幼魚（スモルト）を大量に生産し、降海期に合わせて放流する「スモルト放流」をその増殖手法としていることである。

農林水産省のプロジェクト研究として1980年から9年間行われた「マリーンランチング計画」（近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究）の中で、河川汽水産卵型表中層性魚介類のモデル魚種としてサクラマスが取り上げられた（廣井 1989）。このプロジェクト研究のスタートに先だつ事例解析において、わが国でサクラマス資源を回復させるには、スモルト放流が最も

北海道さけ・ますふ化場業績B第17号

\* 北海道さけ・ますふ化場調査課（Research Division, Hokkaido Salmon Hatchery, Fisheries Agency of Japan, 2-2 Nakanoshima, Toyohira-ku, Sapporo 062, Japan）

有効であると判断された（農林水産技術会議 1980）。マリンランシング計画の「第 I 期の成果の概要」のまえがきには、スマルト放流がサクラマス資源培養のための中心的な手法とされた理由について次のように記されている。

「河川環境の損なわれ変ぼうしている現状での資源回復手段としては、とりあえず池産親魚によって種卵を確保し、降海型種苗（スマルト）を大量に生産することが最も妥当と考えられる。特に人為的に降海型種苗を効率的に生産することは、生産力の低い河川での幼稚魚の減耗軽減につながるばかりでなく、計画的な資源培養を可能にする。」（小林 1984）

すなわち、幼魚の生育環境が損なわれた河川では、河川の生産力をあてにしない「河川省略型の増殖法」であるスマルト放流が（とりあえずは）効果的であろう、という考え方である。

サケ（シロザケ）はふ化場のふ化槽と仔魚池を産卵床の代替とし、さらに死亡率の高い浮遊初期に人工餌を飼育池で与えられたことによって、河川規模により制限を受ける再生産量から解放され、国土の狭いわが国において昨今のような高水準の資源造成が実現された。河川を浮上後のごく短期間の生活にしか利用しないサケやカラフトマスにとっては、体重 1 g 前後の大きさまで飼育できる水と池さえあればこと足りた。しかしサクラマスの場合、このさき降海までに少なくとも 1 年間の河川生活を送りながら、スマルト化可能な条件を獲得していく。河川の代替としてふ化場の飼育池を利用し、すぐ海に向かうことのできる降海

型幼魚（スマルト）を作出して放流しようというのがスマルト放流であるが、放流魚の大きさが体重 20-30 g と大型であるため、飼育コストはサケとは比べものにならないほど高い。さらに、長期飼育につきものの魚病対策などリスクも大きく、漁業資源として将来利用しようとするものすべてをこの手法だけで生産するには難点が多い。

北米におけるギンザケやマスノスケ、そして欧州での大西洋サケの幼魚のように、河川生活期間の長いサケ・マス類の人工ふ化放流は、これらの国々でも最初はわが国のサクラマスと同様に春の稚魚 (fry) 放流から始められたが、やがて生残率をより高めようということ、夏から秋にかけての大型幼魚 (fingerling) 放流に変えられた。ところが思ったほどの回帰効果の改善が図られなかったことから、大西洋サケでは 1950 年代初めから (Lindroth 1963)、太平洋サケ・マス類（ギンザケ、マスノスケ）では 1960 年代初めから (Wahle and Smith 1979)、自然界での降海期に合わせたスマルト放流に順次移行され、現在ではこれら魚種を人工ふ化放流する場合、原則としてスマルト放流で行われている。しかし、これらの国々では、基本的に河川の生産力を有効に利用する天然繁殖保護によってサケ・マス資源が維持されていて、人工ふ化放流は取水目的のダムが作られたため上流への産卵親魚の移動が阻害された場合の補償として、あるいは、河川毎の固有の遺伝資源保全に必要な再生産量を維持しながら、沿岸漁業や遊漁に利用する量をさらに増やしたい場合に、補完的に行われてきたといっても過言ではない。利用する資源すべてを人工ふ化

放流（スモルト放流）によって作ろうという発想はここからは伺えない。

### 河川改修の影響をまともに受けたサクラマス

サクラマス資源を減少させ、その回復を拒んできた大きな要因の一つとされている河川環境の「変化」、「悪化」、「荒廃」がどのように進行し、サクラマス資源の培養にどのような影響を与えてきたかを振り返ってみよう。

自然の形態を残している川と、人手が大きく加わった川を図1に模式的に示してみた。図示した二つの川は、見方を変えれば同じ川がたどった変化としてみることもできる。

通常サクラマスは3年間の生涯のうち約3分の2を淡水域で過ごすため、河川の自然環境の人為的な改変により受けた影響は、以下に示すように多岐にわたっている。

遡上親魚のかくれ場の減少 雪解けのおさまりかける春の4-5月に河川遡上を始

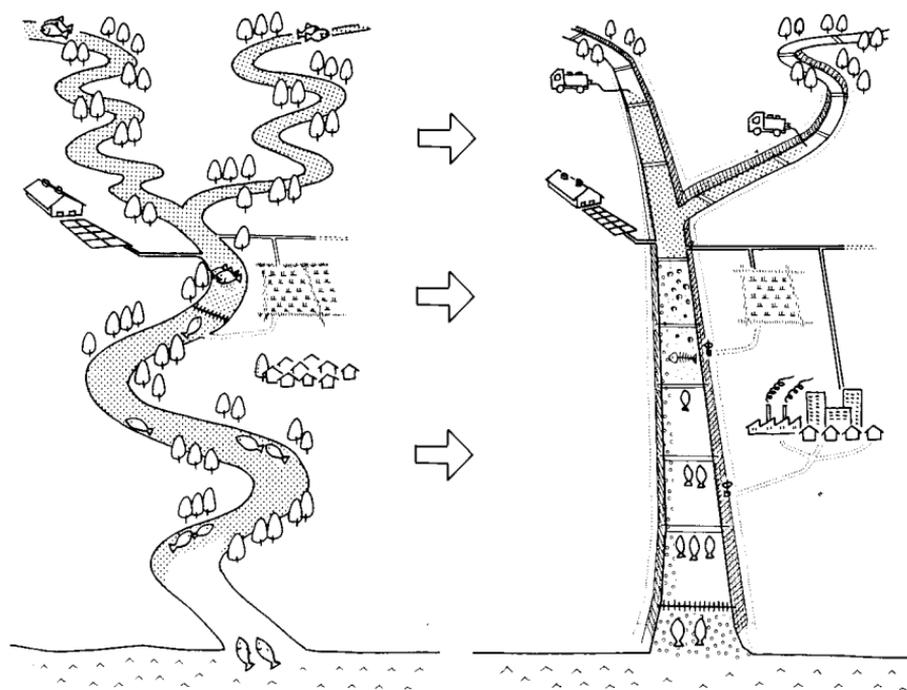


図1 自然の形態が残されていた頃の川（左）と人手が大きく加わった近年の川（右）の模式図。サクラマスの河川生活に利用可能な水域（■）は、近年では輸送放流した地点から下流に限られ、分布の下流端も淵の消失、流量の減少、夏期の高水温により往時に比較し上流側に位置している。現状の人工化放流体制のもとで遡上サケ親魚は河口域を、放流サケ稚魚は降下水路として河川の一部（図の右の□）を利用しているに過ぎない。

めたサクラマス親魚は、自然に蛇行した川の随所にみられる流れのゆるやかな大きな深みで休息しながら徐々に上流に向かう。9-10月の産卵期まで4-5カ月の間、代謝を抑えながら潜む場所もゆったりした流れの大きな深みの中である。一般に、親魚の越夏場は流れのゆるやかな本流で、産卵場となる支流への移動あるいは源流域への遡上は産卵の直前に限られる(真山1992)。

直線化され、流速断面が均一化された河道に休息可能な場所は少ない。河川遡上後に断餌する親魚にとって、休息適地を求めての大きな移動や不適な空間での休息のような予期せぬエネルギーの消費は、生理的障害をもたらす要因となることが予想される。

**産卵場への移動障害の増加** 河川に回帰した親魚は、いったん夏を過ごす場所まで移動してここに潜み、産卵期間近になると降雨による流量の増加に促されるように一気に産卵場に向かう(真山1992)。主要な産卵場である源流域への移動の妨げとなるものは、河川を横断して設置される大小のダムや堰であり、利水の強化による流量の減少である。

サケ・マス遡上河川における河川工作物への魚道の付設は、北海道ではおもにサクラマスの産卵遡上を助長する目的で1980年代になってから増加し、遡上環境については改善されつつある。魚道の構造や配置に問題が多いことも指摘されている(高橋1990)が、魚道設計に関する技術的な検討はわが国においても近年になって進展をみせている(廣瀬・中村1991)。

遡上障害の存在により、主たる産卵場である源流域へ到達できずに中流から下流に産卵せざるを得なくなるケースも多い。しかし、河道の直線化により瀬と淵の組み合わせの多くが消失されてきたため、産みつけられた卵の発生に必要な砂利底の中への河川水の浸透が不十分となり、産卵床内の卵・仔魚が正常に発育できる産卵適地は著しく減少している。

**幼稚魚の生育空間の減少** 生まれたばかりの体長3cmほどの稚魚は、4月から5月にかけて産卵場となった上流域から降下しながら河川に広く分散し、やがて5-6cmとなるとなわばりの形成が顕著になり定着性が強まる。広範囲に移動する体長5cmまでの稚魚は、小型であるため溯上能力は著しく低く、移動方向はほぼ下流側に限られる。したがって、産卵親魚の遡上が妨げられた地点から上流はサクラマス幼魚にまったく利用されない空白区間となる。人工ふ化稚魚を放流する場合、このような空白区間を減らそうということで、出来るだけ多くの支流の出来るだけ上流まで輸送して放流する「分散放流」が、1960年代に始められた。これにより効果のあがった例もあるが(Ohkuma and Nomura 1991)、人手により輸送できる範囲には限界があり、わずかな流れをも利用しながら源流域まで到達する産卵親魚の溯上能力には遠く及ばない。

北海道の小さな川では河口近くまで幼魚が生息していることもそれほど珍しくない。しかし利水の強化による流量の減少、そして川面を覆う森林の減少によって河川水温の上昇を招いてきた。たとえば、サクラマス幼魚の生息量が多い尻別川支流目名川の

いくつかの枝川の場合でも、かんがい用の取水によって流量が減少し、しかも砂防ダムが数多く連続して作られている川では、夏の晴天時には昼夜で14°Cもの水温差が生じ、日中には30°Cまでも上昇する（真山1992）。水温がおよそ18°C以上となると摂食活動の停滞することがこの川のサクラマス幼魚で確かめられている。夏の生育に不向きな空間の増加も、サクラマスの生産量を減少させる要因の一つとなっているに違いない。

河川流量が豊富、しかも水温条件も好適で、一見問題がなさそうに見える水域においても、より詳細に生育環境を観察すると利用できない空間の増加が著しい。サクラマス幼稚魚は、春から夏にかけて発育に伴なって岸寄りのゆるやかな流れから流心付近に、秋から初冬まではゆるやかな流れの深みに、そして越冬期には岸のくぼみの中などに生息場を変える（図2）。また、活動が停滞する夜間や増水時に潜む休息場あるいは待避場は、流れのゆるやかな岸寄りや

淵の中である。人手が加えられていない河川にはこのような多様な環境が入り組んで存在するので、魚は昼夜そして季節変化に伴う大きな移動のリスクを受けない。しかし、魚の生息環境に配慮を欠いた河川改修、特に護岸工事によって複雑な微環境の多くが失われてきた（写真1）。日中の餌場は豊富にあってもそれに見合う休息場が近くに求められないケースがふえ、両者を備えた環境を求めて魚が住み場を移すことによっても、魚の住まない空白区間が拡大してい

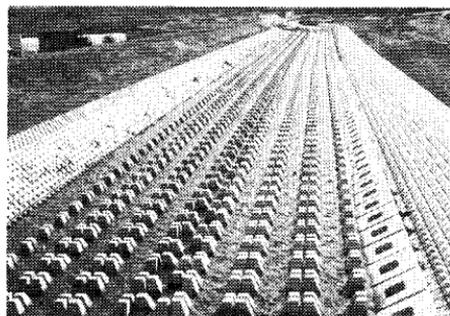


写真1 魚類の生息環境に配慮を欠いた河川改修の例（尻別川支流パンケメクンナイ川；1990年4月）。

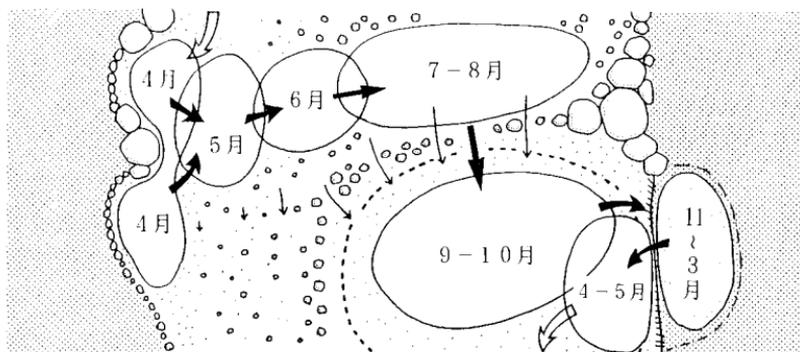


図2 河川生活期サクラマス幼魚の浮上から翌春の降海までの主要な住み場の季節変化。図中の細い矢印は流向と流速を示す。5月から8月までの生息場は日中のもので夜間は水際や淵（破線で囲まれた所）の中に移動する。

る。

一方、サクラマス幼魚の住み場が狭められたのと時代を同じくして、レジャーが多様化し、川沿いの道路網が整備されて、遊漁としての幼魚（ヤマメ）釣りの人口が増加した。魚が住むことのできる空間が沿川の開発によって狭められ、この限られたわずかな生息場に釣り人が集中したことにより、降海まで生き延びる幼魚量の減少はさらに加速された。

#### 河川改修による影響の少なかったサケ

河川環境の変化によってサクラマスの資源量が減少した一方で、同じサケ・マス類のサケは飛躍的な資源量の増加をみせた。サケは河川環境の変化と無縁だったのだろうか。前述したように、サケは卵から降海直前の発育期までをふ化場の中で過ごすため、本来産卵床内で過ごす卵期から仔魚期にかけては理想的な保育環境（水理条件の良いふ化槽、良質のふ化用水）が、そして浮上後には好適な生育環境（安定した水温と水量、十分な量でしかも高蛋白の人工餌の供給、外敵からの防御）が保たれ、自然界に比べこの期間の生き残りが高まった。

サケ稚魚の河川滞留期間は短く、通常は数日から1週間前後、長くても1カ月程度に過ぎない。1960年代に始められた1-2カ月間の短期飼育後の放流による魚体の大型化と、この年代から顕著となった放流尾数の増加（増殖施設の拡充・整備）により、サケ稚魚が河川にとどまる期間はいつそう短縮化した。

一方、親魚の河川遡上中の減耗要因（各種遡上障害、密漁など）を少なくし、増殖

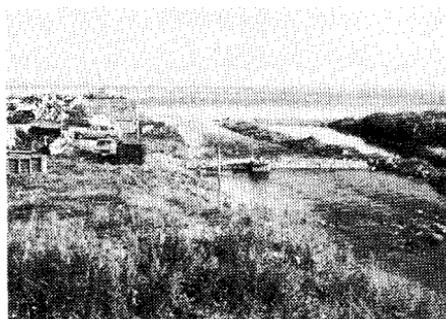


写真2 河口付近でのサケ・マス親魚の捕獲（薫別川、1977年9月）。

用（採卵用）親魚を数多く確保することを目的として、親魚の採捕場所は徐々に下流域に移され、河口付近で採捕するケースがふえた（写真2）。

このようにしてサケの場合、河川は稚魚の降海移動と親魚の遡上のために一時的に使われる通路に過ぎなくなってしまった。しかも遡上時には下流域のごく一部さえその条件を備えてさえいればこと足りることになった。サケに比べ河川生活への依存度が低いカラフトマスでも同じことがいえた。

本州の多くの河川では、河川漁業種としてアユが最も重要な魚類であるため、好ましい河川環境を検討するときアユがその対象魚種とされ、それぞれの河川に見合った生息環境の改善が図られてきた（水産庁1987）。しかし、北日本、特に北海道ではサケが最も重要な産業種であったため、その増殖手段が河川への依存度を低下させるにつれ河川環境改変への歯止めを失っていった。サケの人工ふ化放流事業の推進が、結果的に河川の自然環境の荒廃、そしてそこに住む生物の多様性の低下に寄与したとの印象は拭いがたい。そして、皮肉なことに

同じサケ・マス類のサクラマス資源の受けた影響が大きかった。

### 河川の生産力の効率的利用

サクラマスの自然再生産に欠かせない河川環境が失われてきた現状のもとで、絶滅の危機にある河川毎の固有資源を回復させ、沿岸漁業資源として利用できるほどの大きな個体群を造成するには、人工ふ化放流のような積極的な資源培養手段の導入は欠か

せない。

発育に伴う幼稚魚の生活様式の変化と、生息環境の季節変化の知見(真山 1992)から、人工飼育魚の河川放流で資源造成をめざす場合に高い効果が得られる季節(あるいは発育期)を検討してみよう。尻別川支流目名川の水温及び餌生物量の季節変化と、サクラマスの成長曲線(尾又長)を図3に示した。サクラマス幼魚の摂餌活動が活発化するのは水温が $5^{\circ}\text{C}$ 以上となる時で、稚

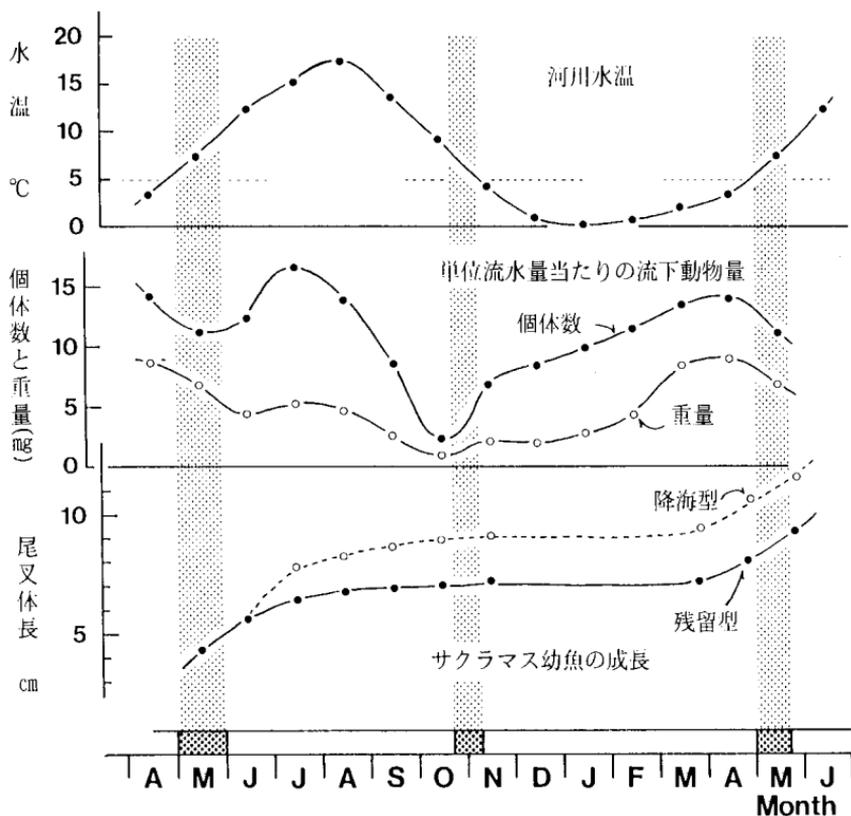


図3 尻別川支流目名川中流域におけるサクラマス幼魚の成長と生息環境の季節変化から求められた、人工ふ化サクラマス幼稚魚の放流に適した時期(①稚魚期、②越冬期直前、③スモルト降海期)。真山(1992)をもとに作図。

魚が砂利層から抜け出る浮上期の5月頃から10月までの約6カ月間と、翌春のスマルト降海期(4-5月)である。また幼稚魚の餌生物として利用度合いの高い流下動物量は、春季には豊富であるが夏以降秋にかけて急激に減少し、冬期間になって再び回復に向かう。このような生育環境の季節変化のもとで、幼魚は好適な水温条件と餌料環境が得られる5-7月に急激に成長する。しかし、残留型となる個体は7月にはすでに成長が鈍るし、降海型となるグループも8月以降成長が停滞し、越冬期(11月下旬から翌春3月中旬までのほぼ4カ月間)を迎える。

サクラマスは幼魚期に採餌なわばりを形成することは良く知られているが、個体間相互の反発性は体長5cm前後から急速に強まる(Maeda and Hidaka 1979; 真山1992)。また、流下動物への食物の依存度合いが低下し摂食方法が多様化する越冬期と、それに続くスマルト降海期には、なわばりが形成されなくなる。

このように季節によって変化する摂餌行動、個体間の社会的関係、そして生育環境から判断すれば、サクラマスの放流効果が高い時期は、①春の稚魚期、②晩秋の越冬期直前、③スマルト降海期、の3期と考えられる。

稚魚期の放流魚体サイズは、生残率が高くしかも雌雄それぞれの適応度を高める効果的な分散(真山1992)が生じるように、なわばり行動が強まる直前のサイズ(体長4-5cm)が最適と考えられる。また越冬前の「秋季放流」は、先住者の生残や成長に影響を与えずに翌春のスマルトの生産量

を上乗せできる時期、すなわち低水温により摂餌要求量が低下する越冬期直前が効果的であろう。また、スマルト放流は河川の生産力に依存しないことを前提とした増殖手法であるから、放流後の河川滞留期間が短いスマルト変態期に合わせて放流することが肝要である。

河川内の限られた生産力を効率良く利用しながら、サクラマス資源を安定的に増大するためには、河川毎にそれぞれ異なる生育環境を把握し、以下に示す天然繁殖を含めた増殖手法を有機的に組み合わせることが効果的と考えられる。

#### 天然繁殖保護(自然再生産):

自然選択を経る河川毎の遺伝資源の保存、利用空間の拡大

#### 人工ふ化放流(人工再生産):

安定的な資源増大

- ① 稚魚放流…河川生産力の有効利用
- ② 秋季未分化幼魚放流  
……………未利用生産力の活用
- ③ スマルト放流  
…早急な資源回復・基盤資源確立

#### 魚のための河川環境再生に向けて

サクラマスのスマルト放流は河川の実産力に制約を受けない特性を持つため、流域面積の狭いわが国に向く方法であることは言うまでもない。日本系サケが今日のようにふえたのも河川の利用を極端に少なくした人工ふ化放流にほぼ100%依存してきたためといえる。個体群サイズが小さくなってしまった河川毎の固有資源を短期間に回復させるスマルト放流の有効性は、その高い

回帰効果によっても確かめられてきた。しかし、サクラマスのスモルト生産にはサケの稚魚飼育とは比較にならないほどの経費を要するため、この方式だけで沿岸漁業資源を造成することは将来方向として現実的でなく、前述したような色々な形の増殖手法を組み合わせる必要がある。このため、河川の持つ生産力の効率的な利用は欠かさない。

河川の生育環境の変化がサクラマス資源を減少させてきた要因の一つであることから、これを放置したままでは増殖効果の向上は期待できない。培養効率のいっそうの向上のためには、一方で自然環境保全の努力を続けていくと共に、失われてきた生息環境を再生するための技術開発を進めることも不可欠である。

幸いなことに、昨今の河川管理者サイドの水辺をめぐる動きは、生物サイドからみても好ましい方向に大きく変わりつつある。当初はどちらかという人間が近寄りやすい美しい水辺を指す言葉として「親水性」が使われていたが、やがて生物全体に配慮した水辺へとその対象が広がってきて、多彩な川づくりに取り組まれている（リバーフロント整備センター 1992）。そのスローガンをもて、「多自然・近自然河川工法」、「魚・鳥・人にやさしい水辺づくり」、「自然豊かな川づくり」・・・などと、数年前までは考えられなかった変わりようである。

これら一連の動きは、1990年の建設省の通達にうたわれた「河川事業の目標は、河川が本来有している良好な生物環境に配慮し、自然景観を保全・創出することである」という「多自然型川づくり」構想に端を発

している。しかし、日本の河川は流況の変動が大きく、しかも氾濫域（沖積平野）に人口及び資産が集中しているという特性を持つことから、治水のための河川管理という基本姿勢は今後も貫かれるであろうから、サクラマスを含む淡水魚にとって好ましい河川環境を取り戻すには、種々の制約のもとで取り組まざるを得ない。そのためにも魚類生態や水産の専門家が積極的に参加して共に知恵を絞りながら最良の方策を生み出していく必要がある。

基本的に自然再生産によってサケ・マス類の資源を維持してきた北米では、古くから淡水域の生息環境が研究対象とされてきた。しかし、サケ主体でしかも人工ふ化放流一辺倒で資源培養してきたわが国では、この分野の研究がきわめて遅れている。河川工事とサケ・マス類との関わりについて、生物学的側面からの科学的な検討が急がれている。

## 引用文献

- 廣井 修. 1989. 遡河性魚類の資源増大をめざして - サクラマスを中心とする複合生産システム. 海洋牧場 マリーナランディング計画（農林水産技術会議事務局編）, 恒星社厚生閣, pp. 60-109.
- 廣瀬利雄・中村中六. 1991. 魚道の設計. 山海堂, 376 p.
- 小林哲夫. 1984. サクラマスの資源増大をめざして（河川, 汽水産卵型表中層性魚介類の生残率向上）. 近海漁業資源増大への新しいアプローチ（マリーナランディング計画）第I期成果の概要, 農林水産技術会議事務局, pp. 1-33.

- Lindroth, A. 1963. Salmon conservation in Sweden. Trans. Amer. Fish. Soc., 92: 286-291.
- Ohkuma, K., and T. Nomura. 1991. An approach to the efficient enhancement of masu salmon through the release of juveniles into streams. In Marine Ranching: Proceedings of the Seventeenth U.S.-Japan Meeting on Aquaculture, Ise, Japan, Oct. 16-18, 1988 (edited by R. S. Svrjcek). NOAA Tech. Rep. NMFS-102, pp. 151-159.
- Maeda, N., and T. Hidaka. 1979. Ethological function of the parr marks in a Japanese trout, *Oncorhynchus masou f. ishikawai*. Zool. Mag., 88: 34-42.
- 真山 紘. 1992. サクラマス *Oncorhynchus masou* (Brevoort) の淡水域の生活および資源培養に関する研究. さけ・ますふ研報, (46): 1-156.
- 野川秀樹. 1993. サクラマス増殖事業の概要. 魚と卵, (162): 29-37.
- 農林水産技術会議事務局. 1980. 河川産卵型浮魚の資源管理. マリーナランディング計画昭和54年度事例解析報告書, pp. 1-18.
- リバーフロント整備センター. 1992. まちと水辺に豊かな自然をII 多自然型川づくりを考える. 山海堂, 195 p.
- 水産庁. 1987. 内水面漁場環境・利用実態調査報告書 魚のすみよい川への設計指針 (案). 256 p.
- 高橋剛一郎. 1990. 砂防ダムに設置する魚道について. In Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan, October 8-10, 1990. pp. 209-214.
- Wahle, R. J., and R. Z. Smith. 1979. A historical and descriptive account of Pacific coast anadromous salmonid rearing facilities and summary of their release by region, 1960-76. NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-736, pp. 1-40.