

プールタイプ魚道の設置が北海道の通し回遊魚の流程分布に与える効果

下田和孝^{1,4}・中野繁²・小野有五³

¹〒061-1433 北海道恵庭市北柏木町3丁目373 北海道立水産孵化場

²〒520-2112 滋賀県大津市上平野町字大塚509-3 京都大学生態学研究センター（逝去）

³〒060-0811 北海道札幌市北区北10条西5丁目 北海道大学大学院地球環境科学研究所

⁴現住所 〒097-0001 北海道稚内市末広4-5-15 北海道立稚内水産試験場

(2002年6月5日受付；2002年11月9日改訂；2002年11月18日受理)

キーワード：魚道，通し回遊魚，河川内移動，生息密度

魚類学雑誌
Japanese Journal of Ichthyology

© The Ichthyological Society of Japan 2003

Kazutaka Shimoda*, Shigeru Nakano and Yugo Ono. 2003. Effects of pool type fishways on the distribution of diadromous fishes in Hokkaido. *Japan. J. Ichthyol.*, 50(1): 15–23.

Abstract The effects of pool type fishways on stream fish distribution in the Ishizaki River, Hokkaido, Japan, were evaluated from the view point of population density, estimated by mark and recapture experiments. The population densities of six diadromous species (*Salvelinus leucomaenis*, *Oncorhynchus masou*, *Gymnogobius urotaenia*, *Rhinogobius* sp. CO, *Cottus hangiongensis* and *Plecoglossus altivelis*) were estimated, only *S. leucomaenis* occurring above check dams that lacked fishways. Three species (*O. masou*, *P. altivelis* and *R. sp. CO*) were present above dams with associated fishways, but their population densities were frequently lower than below the dams. *G. urotaenia* and *C. hangiongensis* were collected only below dams with fishways, whereas *S. leucomaenis* was present above dams that lacked fishways, suggesting that they were landlocked by those dams. It was concluded that pool type fishways are not necessarily the best aid for the migration of diadromous fishes, most benthic fishes, in fact, not being able to use them.

*Corresponding author: Hokkaido Wakkai Fisheries Experimental Station, 4-5-15 Suehiro, Wakkai, Hokkaido 097-0001, Japan (e-mail: shimodak@fish-exp.pref.hokkaido.jp)

河川の流路を横断するダムや堰などの河川工作物は、魚類の河川内移動を物理的に阻害し、流程分布を制約する（下田ほか, 1993; 中野ほか, 1995; 松宮ほか, 2001）。特に、河川と海洋を往来する生活史を送る通し回遊魚の場合、河川内移動の阻害は繁殖場所と生育場所の分断をもたらし、個体群の維持の可否に関わる重大な問題となる（森, 1999）。このため、日本各地の河川では明治末期以降アユ *Plecoglossus altivelis* や遡河性サケ科魚類などの漁業対象魚種の遡上を目的とした魚道の設置が進められ（石田ほか, 1991），近年

では、これら以外の魚種の遡上を考慮した魚道の開発も試みられている（例えば、ヨシノボリ類 *Rhinogobius* sp., 廣瀬ほか, 1998; メダカ *Oryzias latipes* およびドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus*; 端, 2000; 小卵型カジカ *Cottus* sp. およびアユカケ *Cottus kazika*, 竹門, 2000）。

北海道の河川にはダムや堰などの落差を伴う河川工作物が10000基以上設置されている（菊池, 1993）。1979年以降こうした河川工作物に魚道の設置が進められ、また新設されるダム等には魚道が併設されるようになった。このため、魚道の設

置数は1978年の時点で91基であったが、1988年には343基に増加した。このうち324基がプールタイプ魚道に属している（柳原ほか、1990）。プールタイプ魚道とは、隔壁によって形成されるプール（淵）を階段的に連続させることで高度差を稼ぎ、魚類を上らせる形式の魚道と定義される。通常の直線的な階段式魚道に加え、らせん式、潜孔式およびアイスハーバー式等の発展形を含めると、日本国内に設置されている魚道のほとんどがプールタイプ魚道に含まれる（廣瀬ほか、1998）。

北海道に生息する淡水魚種のおよそ92%は通し回遊魚やその陸封魚および周縁性淡水魚などに含まれ、これらは海洋と関係のある生活環を持つか、あるいは海洋を通じて分布域を形成する魚種である（後藤・中野、1993）。このため、北海道の淡水魚群集を保全するうえで、流路を横断する河川工作物にはあらゆる魚種の河川内移動を補償する魚道を設置することが重要であると考えられる。しかしながら、北海道の河川に設置される魚道のほとんどはサケ科魚類の遡上の確保を目的としているため（柳原ほか、1990），魚道の設置効果についての報告や、魚道の構造についての検討はサケ科魚類を対象としたものに限られている（例えば、真山、1987；高橋ほか、1987；真山、1988；岩城ほか、1990）。したがって、サケ科魚類の遡上を目的とした魚道が、他の魚種に対してどの程度効果があるのかは明らかにされておらず、魚道の設置が北海道の魚類群集全体に与える効果についての知見は極めて乏しい。

魚道の設置効果の検証は、魚道内における魚類の遡上行動の観察によるものや、魚道上流部に捕獲装置を設置してそこでの捕獲状況から魚道の機能を推定するものなどが多い（高橋、2000）。こうした手法は限られた条件下における特定魚種の遡上の可否を調査するため、そこから得られる結果からは遡上対象魚種がその魚道を少なくとも遡上できるかどうかが判定できるにすぎない（高橋、2000）。一方、ダムや堰の設置は魚類の個体数や回遊様式、繁殖などその水域に分布する魚類の生活史全体にわたって著しい影響を及ぼすことから（森、1999），魚道の評価にあたっては生態学的調査に基いてその魚道が種々の魚類にとってどのような効果を持つのかを評価する必要がある（森、2000；高橋、2000）。しかしながら、こうした評価はこれまでほとんど行われたことはなく、また、その評価に基いて新しい魚道の開発が試みられることもなかった（森、1998）。

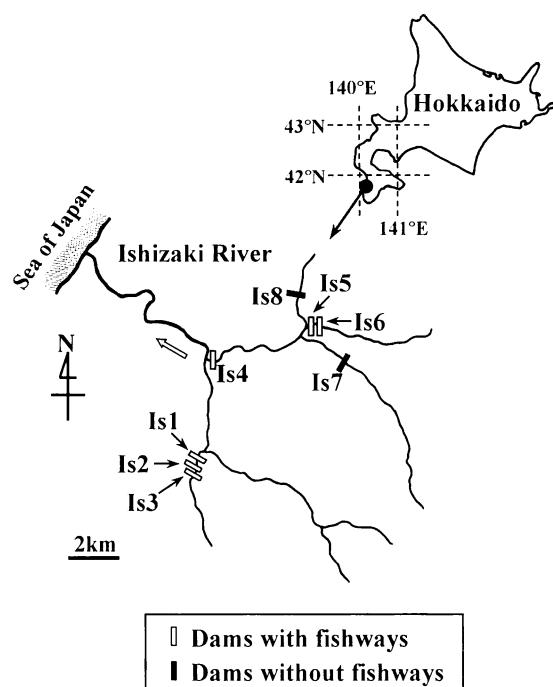


Fig. 1. Map of the study area and dams on the Ishizaki River, Hokkaido, Japan. Open arrow indicates direction of water flow.

森（1998）は魚道を生態学的に評価するためには、まず堰やダムの上・下流での個体数の程度を比較することが必要であるとし、そのうえで、それぞれの種の生態的特性に照らして魚道を遡上できる、あるいはできないということがその種にとってどのような意味を持つのかを判断することが重要であるとしている。本研究では北海道の河川で、プールタイプ魚道が付設された6基の堰と魚道が付設されていない2基の堰を調査対象にし、堰の上流側と下流側との間で通し回遊魚の生息密度を比較した。この結果をもとに、通し回遊魚に与えるプールタイプ魚道の設置効果を推定した。

調査場所と方法

調査は北海道南部日本海に注ぐ石崎川で実施した（Fig. 1）。石崎川は標高1071.6 mの大千軒岳に水源を発する流域面積176.6 km²、流路延長23.0 kmの河川で、可児（1971）の河川形態区分に従うと河口から0.5 km付近まではBc型、そこから7 km上流付近まではBb型またはAa-Bb移行型、これより上流はAa型の河川形態を示す。調査対象とした堰は1959年から1987年にかけて設置された8箇所（堰Is1からIs8）である（Table 1）。なお、堰Is8

の設置年は不明である。これらの堰は河口から8.0 kmから16.0 km上流の地点に位置する (Table 1)。各堰の落差は1.7 mから3.0 mで (Fig. 2), 大規模な多目的ダムの上流域に見られるようなダム貯水池を持たない。堰 Is7 および Is8 に魚道は設置されていないが、これら以外の堰には1982年から1988年にかけてプールタイプ魚道が設置された (Table 1)。これらのプールタイプ魚道はいずれも隔壁部に潜孔を持つ。なお、堰 Is4 の魚道の設置年は不明である。魚道の付設されている堰のうち堰 Is1, Is2, Is3, Is5 および Is6 は2つの堤体から構成される (Fig. 2)。これらのうち堰 Is1 および Is2 の魚道は2つの堤体の間に入口を持ち、堰 Is3, Is5 および Is6 の魚道の入口は下流側の堤体の直下に位置する (Fig. 2)。堰 Is4 は1基の堤体から成り、堤体の下流側は根固めが施され、魚道の入口はこの根固め上に位置している (Fig. 2)。

堰 Is4 および Is7 では1992年8月18日から8月19日の期間に、堰 Is1, Is2, Is3, Is5, Is6 および Is8 では1992年10月8日から10月14日の期間に調査を実施した。それぞれの堰の上流側と下流側とに調査区を設定し、各調査区に生息する魚類の生息個体数を標識再捕獲法 (久野, 1986) によって推定した。また、堰直下の淵の河床地形を推定するために、淵の水面上に2 m四方のメッシュを想定しその交点の水深を測定した。生息個体数を調査する際には、堰の直下の淵や、堰の上流側にみられる土砂が堆積した区域は調査区に含めなかった。調査区の水表面積は調査区の流路長と10個所で測定した川幅の平均値との積とし、111.3 m²から396.9 m²であった (Table 1)。魚類の採捕にはエレ

クトリック・フィッシャー（スミス・ルート社、モデル12）を用いた。個体数 (N) の推定には Chapman (1951) の小サンプル時の修正式 (1) を、推定個体数の分散 (V) の算出には Seber (1970) の式 (2) を用いた。

$$N = (M+1)(C+1)/(R+1) - 1 \quad (1)$$

$$V = (M+1)(C+1)(M-R)(C-R)/(R+1)^2(R+2) \quad (2)$$

ただし、 M は標識個体数、 C は再捕獲時の個体数、 R は再捕獲された標識魚の個体数である。再捕獲は標識放流の翌日に行った。

算出された推定個体数を調査区の水表面積で除し推定生息密度を求めた。堰上下の調査区間における推定生息密度の差の検定にはz検定を用い、下式で求められるz値が基準値(1.96)よりも大きい場合に有意差がある($p<0.05$)と判定した(久野, 1986)。ただし、 N_1 および N_2 は生息密度の推定値、 V_1 および V_2 は各推定値の分散である。

$$z = (N_1 - N_2) / \sqrt{V_1 + V_2}$$

結 果

堰下流側の淵の河床地形

調査対象とした堰の直下に位置する淵の河床地形を Fig. 2 に示した。2基の堤体から成る6個所の堰 (堰 Is1, Is2, Is3, Is5, Is6 および Is7) のうち、下流側の堤体の直下に魚道の入口が位置する3個所の堰 (堰 Is3, Is5 および Is6) の下流側はいずれも土砂の堆積により河床が上昇し、下流側の堤体が水面下に没していた。2基の堤体の間に魚道の入

Table 1. Distance from river mouth to dams. Construction years of check dams and fishways and area of study stations shown

Dam code*	Distance from mouth		Constructed year		Area of study station (m ²)	
	(km)		Check dam	Fishway	Below dam	Above dam
○ Is1	12.1		1976	1988	312.7	178.5
○ Is2	12.3		1981	1988	178.5	196.0
○ Is3	12.5		1987	1987	196.0	396.9
○ Is4	8.0		1959	Unknown	167.7	271.8
○ Is5	13.7		1982	1982	332.5	354.1
○ Is6	13.9		1986	1986	354.1	366.1
● Is7	16.0		1983	—	390.7	124.3
● Is8	14.5	Unknow		—	111.3	114.0

* ○, dam with pool type fishways; ●, dam without fishways.

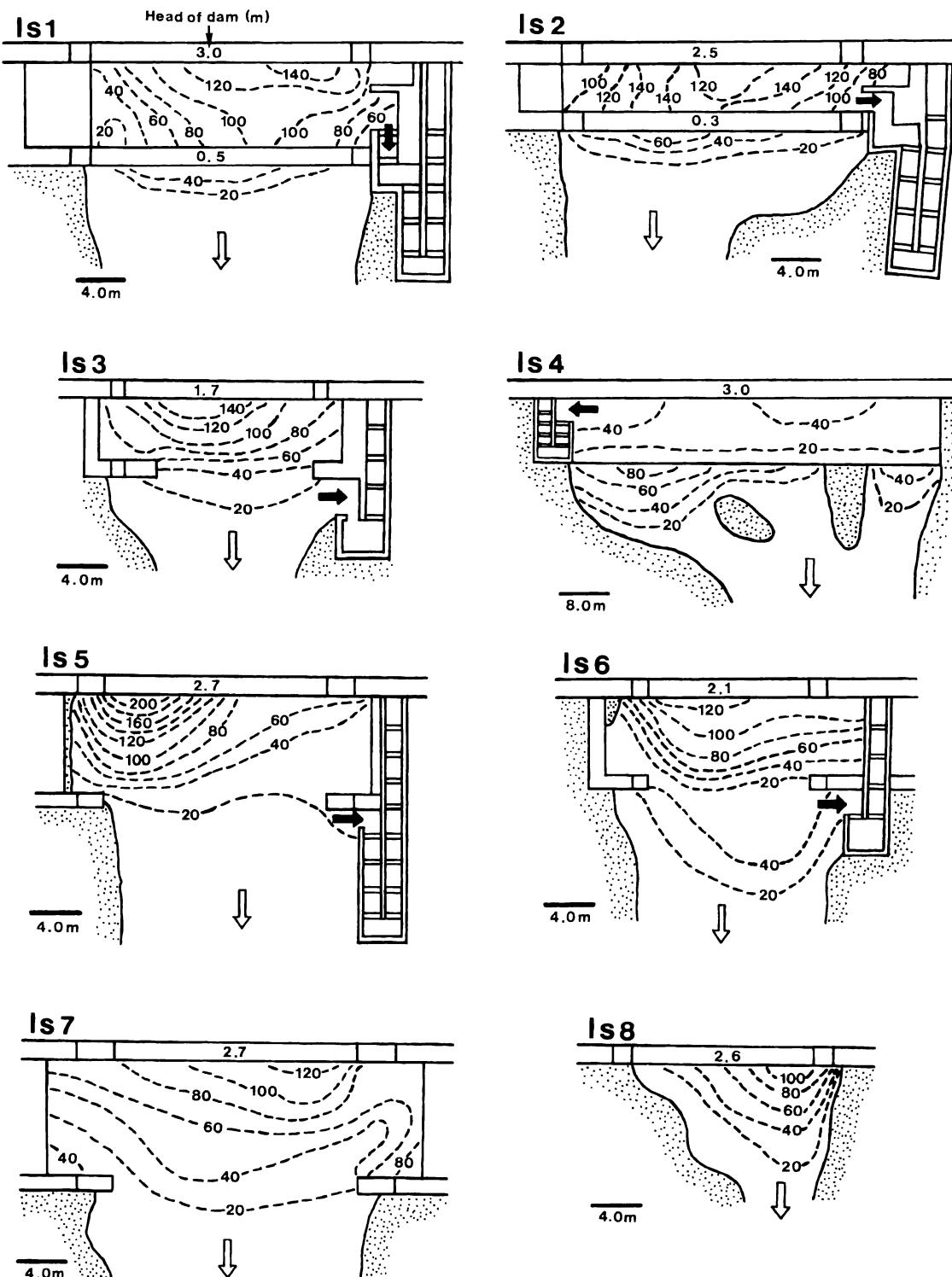


Fig. 2. Diagrammatic illustration of study dams. Head height represents difference in water surface elevation of pools immediately above and below dam. Open arrows indicate direction of water flow. Solid arrows indicate entrance to fishways. Figures on dotted lines indicate depth (cm) of pools. Dotted areas indicate river bank.

口を持つ堰 Is1 および Is2 においては、上流側の堰の下流部に最大水深 140 cm の淵が形成され、魚道の入口はこの最深部からは約 4 m、堰の直下から約 2 m 離れていた (Fig. 2)。1 基の堤体から成る堰 Is4 においては堰の下流側の根固め上に最大水深 40 cm の淵が形成され、根固めの直下には最大水深 80 cm の淵が形成されていた。これらの淵間の落差は 10 cm 未満であった。

魚類の生息密度

本研究では、サクラマス幼魚 *Oncorhynchus masou*、アメマス *Salvelinus leucomaenis*、アユ、カンキョウカジカ *Cottus hangiongensis*、ウキゴリ *Gymnogobius urotaenia* およびヨシノボリ（るり型）*Rhinogobius* sp. CO の 4 科 6 属 6 種の通し回遊魚の生息密度を調査し、この結果を Fig. 3 に示した。これら 6 種に加えウダイ *Tribolodon hakonensis* が堰 Is1 の下流側で採捕され、また、ヨシノボリ（るり型）が堰 Is3 の上流側、堰 Is5 の上流側と下流側および堰 Is7 の下流側で採捕されたが、いずれも標識数が 1 個体であり、これらは再捕獲されなかつたため結果からは削除した。

サクラマス幼魚の生息密度は魚道の設置されていない 2 個所の堰（Is7 および Is8）の下流側では 100 m^2 当たり 11.3 個体から 41.5 個体であったが、上流側では生息がみとめられなかった。魚道の設置されている堰においては上下流側ともサクラマス幼魚の生息がみとめられたが、これらのうち 2 個所（Is2 および Is5）では堰上流側の調査区において生息密度が有意に低かった ($Is2, z=2.24, P<0.05$; $Is5, z=2.66, P<0.05$)。

アメマスは魚道の設置されていない堰（Is7 および Is8）の上流側でも生息がみとめられ、堰 Is7 上流側の調査区では下流側と比べ有意に高密度であった ($z=2.30, P<0.05$)。また、魚道の設置されている堰 Is1 の上流側の調査区においても、アメマスの生息密度は下流側と比べ有意に高かった ($z=2.00, P<0.05$)。

アユは魚道の設置されていない堰 Is7 の上流側の調査区においては生息がみとめられなかつたが、魚道の設置されている堰 Is4 の上流域の調査区では生息がみとめられた。サクラマス幼魚の生息密度はこの堰 Is4 の上下流の調査区間では異ならなかつたが ($z=0.31, P>0.05$)、アユの生息密度は堰 Is4 の上流側の調査区で有意に低かった ($z=2.08, P<0.05$)。

カンキョウカジカおよびウキゴリは調査対象と

した流程のなかで最も下流に位置する堰（Is1 および Is4）の下流側の調査区だけで生息が確認された。特に、堰 Is4 の下流側の調査区では両種とも 100 m^2 当たり 80 個体を越える高い密度で生息していた。しかしながら、堰に魚道が設置されているにもかかわらず、堰の上流側の調査区では生息が確認されなかつた。

ヨシノボリは魚道の設置されている堰 Is4 の上流側の調査区でもその生息がみとめられた。ただし、サクラマス幼魚の生息密度は堰 Is4 の上下流の調査区間で異ならなかつたが ($z=0.31, P>0.05$)、ヨシノボリの生息密度は堰の上流側の調査区で有意に低かった ($z=2.03, P<0.05$)。

考 察

高橋ほか (1987) は、尾叉長約 50cm のカラフトマス *Oncorhynchus gorbuscha* の成魚を使って遡上実験を行ったところ、堰の下流側に水深 0.9 m の淵があるという状況でカラフトマスが 1.3 m の落差を越えられなかつたことを報告している。また、小宮山・高橋 (1988) は堰の下流側に水深 1.0 m の淵があるという状況でサケ *Oncorhynchus keta* の親魚が 1.0 m の落差を越えられなかつたことを観察している。本研究で調査を実施した堰はいずれも 1.7 m 以上の落差を持つため、上記の報告から今回調査対象とした堰をサケ科魚類は魚道が無ければ遡上できないと考えられる。

しかしながら、本研究の結果によるとアメマスは魚道の無い堰の上流側でも生息がみとめられた。北海道においてアメマスは遡河回遊型の生活史を示すとされているが (Takami, 1995; Yamamoto and Nakano, 1996)，遡上が不可能な堰の上流域に隔離された集団は陸封型の生活史を示すことが報告されている (Morita et al., 2000; 下田ほか, 2002)。今回の調査において魚道の設置されていない堰の上流側で確認されたアメマスの集団も、こうした陸封型の個体群である可能性が高い。

ダムや堰による通し回遊魚の陸封化はヨシノボリ (水野, 1989)、サクラマス (長内, 1962) およびアユ (廣瀬ほか, 1998) でも報告されているが、これら 3 種の陸封化は広い止水域を持つダム湖を海洋の代わりに利用することで達成されている。一方、今回調査対象としたような、広いダム湖を持たない低落差の堰による陸封化はアメマスだけ報告されており (Morita et al., 2000; 下田ほか, 2002)、本研究においてもアメマス以外の通し回遊魚が魚道の設置されていない堰よりも上流側

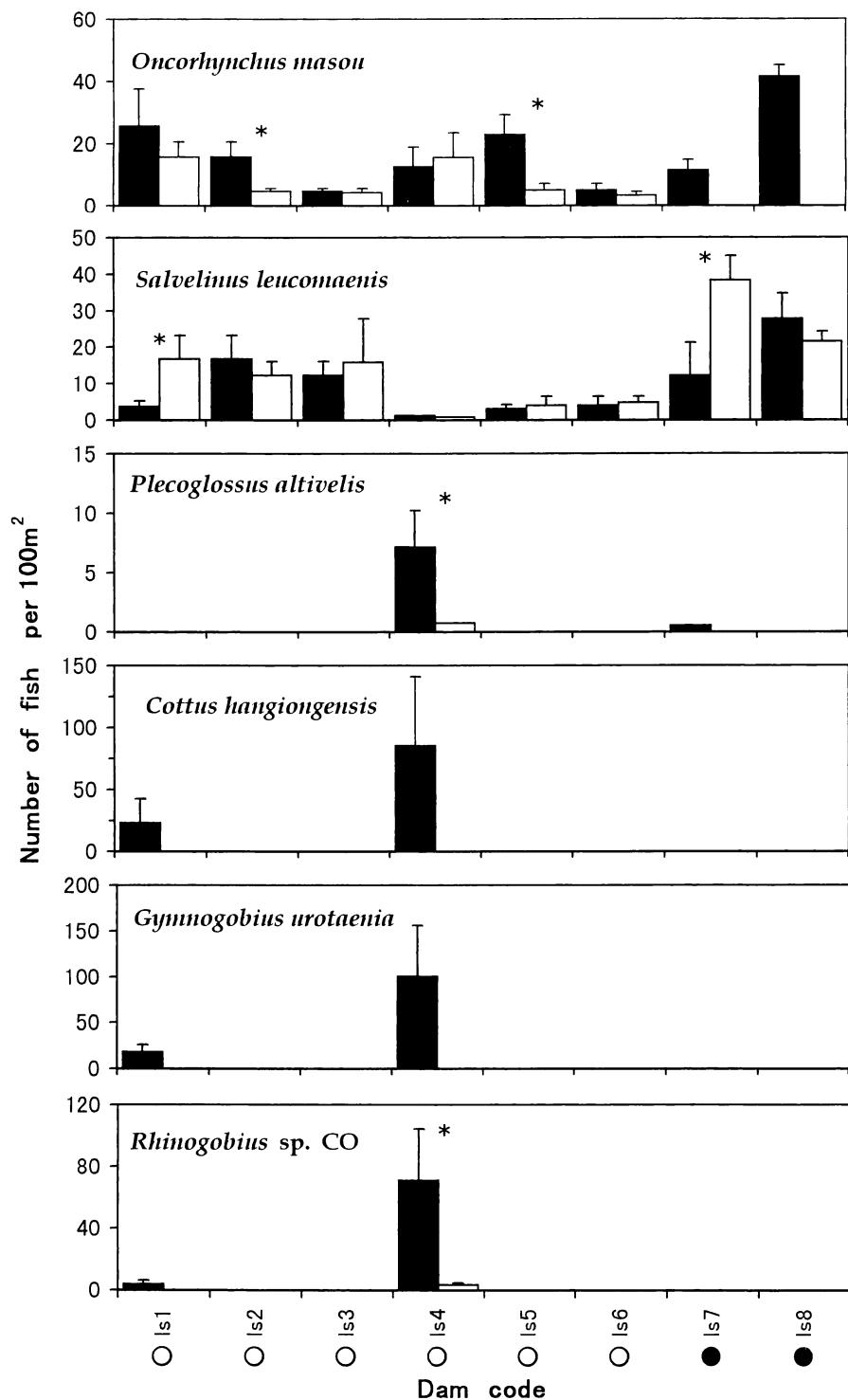


Fig. 3. Population densities of six species in the below (■) and above-dam sections (□). Error bars indicate standard deviations. ○, dam with fishway; ●, dam without fishway. Asterisks represent significant difference ($P < 0.05$) between above and below-dam sections by z -test (Kuno, 1986).

で採捕されることはなかった。したがって、アメマス以外の通し回遊魚が堰の上流側に分布するためには魚道を通過しなければならないと推定され、堰の上・下流の調査区間における生息密度の差の有無は魚道の設置効果を検証するうえで有効な判断材料となると考えられる。

サクラマスの幼魚はプールタイプ魚道の付設されたすべての堰の上流側で採捕された。このことから本種の成魚が魚道を通過して上流域へ遡上し、繁殖を行ったことが示唆され、これらの魚道はサクラマスの産卵域および幼魚の生息域の拡大に寄与したと考えられる。ただし、サクラマス幼魚の生息密度は2個所の堰 (Is2 および Is5)において堰の上流側の調査区で有意に低く、これらの堰に設置されているプールタイプ魚道が効果的に機能していないことが示唆された。

魚道機能の良否には魚道内外の水理条件や魚道の構造、設置位置、整備状態など様々な要因が関与すると考えられている（廣瀬ほか、1998）。なかでも、魚道の入口が魚類にとって見出しやすい位置にあることが重要で、こうした位置は一般に魚止めとなるダムや堰の直下や流心部付近にあるとされている（廣瀬ほか、1998）。堰 Is2 の魚道の入口は2つの堤体の間に位置し、魚止めとなる上流側の堤体からは2mほど離れ、堰の直下の最深部からは4mほど離れているため (Fig. 2)，流心部から外れた位置にあると推測される。また、堰 Is5 の魚道の入口は下流側の堤体の直下に位置しているが、この堤体は土砂の堆積により水面下に没しているため、この堰 Is5 まで遡上してきた魚類は上流側の堤体の直下にまで達すると考えられる。したがって、堰 Is5 の魚道の入口は魚止めとなる堤体よりも約10m離れた場所に位置することになる (Fig. 2)。これらのことから、堰 Is5 および Is2 を境に上流側の調査区でサクラマス幼魚の生息密度が低くなることと関係している可能性がある。

堰やダムなどの横断面の一部に設置された魚道は部分的魚道と呼ばれ、こうした魚道は破損や土砂堆積によって機能が低下しやすることが指摘されている（水野、2000）。本研究で調査対象とした魚道はいずれも部分的魚道に含まれ、特に堰 Is5 においては土砂堆積によって魚道機能が低下していることが示唆された。一方、堰やダムなどの横断面の全体に魚道機能を持たせたものは全断面魚道と呼ばれ、部分的魚道と比べ機能低下が少ないだけでなく、降河魚にとっても落下衝撃を緩和するという点で優れていると考えられている（水野、

2000）。今後、魚道設置にあたっては、全断面魚道の導入を検討するとともにその効果を判定する必要がある。

堰 Is4 の上流側におけるアユの生息密度は下流側にくらべ低かったが、サクラマス幼魚ではこの堰の上下流の調査区間で生息密度に差異はみとめられなかった。このことは、サクラマスの成魚にとって遡上可能なプールタイプ魚道であっても、アユにとっては遡上困難であることを示している。サクラマスは体長約35cmから70cmの成魚が河川を遡上するのに対し（待鳥・加藤、1985），遡上期のアユは体長約7cmから8cmの幼魚である（西田、1989）。アユ幼魚の遡上能力は回遊型サケ科魚類の成魚の6分の1から9分の1であると試算され、この差異は体サイズの差に起因するものと考えられている（廣瀬ほか、1998）。

北海道には底生性の通し回遊魚として10種のハゼ科魚類と3種のカジカ属魚類が分布する（後藤・中野、1993）。これらのなかでヨシノボリ類が最も上流域まで分布することが知られ（水野ほか、1982；後藤、1982），北海道の沙流川では、河口から44km上流の地点まで分布することが知られている（後藤、1982）。本研究でもヨシノボリ（るり型）については、河口から約16km上流の調査地点でも生息が確認された。しかしながら、その確認数は1個体と少なく、本種の生息密度はこの調査地点よりも下流に位置する堰 Is4 を境に明らかに低下していた。このことは堰 Is4 のプールタイプ魚道がヨシノボリ（るり型）の遡上に対して不十分なものであることを示唆している。さらに、同じ底生性の通し回遊魚のカンキョウカジカおよびウキゴリは、この堰 Is4 の下流側の調査区では100m²あたり80個体を越える高い密度で生息が確認されたにもかかわらず、その上流側の調査区においては生息がみとめられなかった。これは両種がプールタイプ魚道を利用できないために、堰 Is4 の上流側へ分布を拡大できなかったためと考えられる。

以上の結果および考察から、サケ科魚類の遡上を目的としたプールタイプ魚道は、サクラマスの遡上にはある程度効果がみとめられるものの、底生性魚類や小型の遊泳性魚類の遡上に対してはほとんど効果が無いと結論づけられる。特に、通し回遊性のカジカ属魚類やウキゴリ属魚類は既存のプールタイプ魚道を全く利用できないことが明らかであり、現在、北海道に生息するこれらの魚類は、最も下流に位置するダムや堰よりも下流域だ

けに分布する可能性が高い。こうした底生性魚類の中には流程に沿って生活史変異を示す種や（例えば、カンキヨウカジカ、Goto, 1987），近縁種間や同種内の型間で流程に沿った生息場所のすみわけがみとめられる種が知られている（例えば、ウキゴリ属3種、中西、1978；石野、1987；ヨシノボリ2型、水野ほか、1982）。ダムや堰による生息場所の分断はこうした生態的多様性の喪失をもたらす可能性が高い。

近年にいたって、底生性魚類や小型の遊泳性魚類の遡上を考慮した魚道として、緩勾配バイパス水路や粗石付き斜路が考案され、またプールタイプ魚道に底生魚遡上路を付設することも検討されている（Cowx and Welcomme, 1998；廣瀬ほか、1998）。北海道の淡水魚群集の多様性を保全するためには、今後これらの技術を導入するとともに、その効果を評価する必要がある。

現在、魚道を評価するうえで、生態学的に調査された魚類の実態と、それに対応した物理環境の計測値が切望されている（森、2000）。本研究の結果によるとサクラマス幼魚の生息密度は魚道が付設された堰の上下流間で有意差がみとめられる場合とみとめられない場合があった。この原因について今回は魚道の物理環境の差異からは言及できなかつたが、このことを明らかにし一般化することが魚道の改良とその効果の検証には重要であると考えられる。そのためには、既に設置された数多くの魚道について、その構造や設置位置、魚道内や周囲の水理条件などの物理環境データを経時的に収集し、これらのうちでダムや堰の上下流間における生息密度の差の有無やその程度を決定付ける変量を統計学的手法により抽出し、魚種毎に各変量の最適値や変量間の相互作用を明らかにする必要がある。

謝 詞

本研究を進めるにあたり、有益な助言をいただいた北海道大学大学院地球環境科学研究科の高橋英紀助教授および野外調査の便宜を図って頂いた北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの夏目俊二助手に感謝の意を表します。

引 用 文 献

- Chapman, D. G. 1951. Some properties of hypergeometric distribution with application to zoological census. *Univ. Calif. Publ. Stat.*, 1: 131–160.
- Cowx, I. G. and R. L. Welcomme. 1998. Enhancement of fish migration. Pages 179–195 in L. G. Cowx and R. L. Welcomme, eds. *Rehabilitation of rivers for fish*. Fishing News Books, FAO.
- 後藤 晃. 1982. 北海道の淡水魚相とその起源. 淡水魚, 8: 19–26.
- Goto, A. 1987. Life history variation in males of the river sculpin, *Cottus hangiongensis*, along the course of a river. *Env. Biol. Fish.*, 19: 81–91.
- 後藤 晃・中野 繁. 1993. 淡水魚類の分布と生態. 東 正剛・阿部 永・辻井達一（編），pp. 209–221. 生態学からみた北海道. 北海道大学図書刊行会, 札幌.
- 端 憲二. 2000. 田圃につける小さな魚道. 応用生態工学, 3: 231–234.
- 廣瀬利雄・赤尾恒博・石田力三・井上和也・柏井条介・上條勝彦・河村三郎・越澤 治・自閑茂治・高須修二・高橋陽一・竹林征三・田代文男・谷 剛・田原昇二・為沢長雄・寺蘭勝二・原 稔明・藤田乾一・真山 紘・森下郁子・山崎典和・和田吉弘・渡辺 昭. 1998. 最新魚道の設計. 信山社サイテック, 東京. 581 pp.
- 石田力三・中村中六・中村俊六・竹林征三. 1991. 魚道の概要. ダム水源地環境整備センター（編），pp. 5–65. 魚道の設計. 山海堂, 東京.
- 石野健吾. 1987. ウキゴリ類—すみ場所への適応と分化. 水野信彦・後藤 晃（編），pp. 189–197. 日本の淡水魚類. 東海大学出版会, 東京.
- 岩城勝義・山本義弘・片山利幸・妹尾優二. 1990. 河川改修と魚道の考え方—「北海道の農村地域における中小河川の改修」を例として—. *Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan*: 349–353.
- 可児藤吉. 1971. 溪流棲昆虫の生態（復刻版）, 可児藤吉全集. 思索社, 東京. 427 pp.
- 菊池健三. 1993. 北海道における魚道設置に係る諸要件について. 育てる漁業, 239: 2–15.
- 小宮山英重・高橋剛一郎. 1988. 河川の魚類. 大泰司紀之・中川 元（編），pp. 15–57. 知床の動物. 北海道大学図書刊行会, 札幌.
- 久野英二. 1986. 動物の個体群動態研究法I. 共立出版, 東京. 114 pp.
- 待鳥精治・加藤史彦. 1985. サクラマス (*Oncorhynchus masou*) の産卵群と海洋生活. 北太平洋漁業国際委員会研究報告, 43: 1–118.
- 松宮由太佳・渡辺勝敏・井口恵一郎・岩田祐士・山本軍次・西田 隆. 2001. 福井県嶺南地方を流れる南川水系の淡水魚類. 魚類学雑誌, 48: 93–107.
- 真山 紘. 1987. 魚道型実験水路におけるサクラマス幼魚のそ上行動. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 41: 137–153.
- 真山 紘. 1988. サケ親魚のそ上行動実験—「魚がのぼれる魚道」をもとめて—. 魚と卵, 157: 44–55.
- 水野信彦. 1989. ルリヨシノボリ. 川那部浩哉・水野信彦（編），pp. 592–593. 日本の淡水魚. 山と溪谷社, 東京.
- 水野信彦. 2000. 魚の生態からみた魚道の見方. 応用生態工学, 3: 209–218.

- 水野信彦・向井正夫・後藤 晃・濱田啓吉. 1982. 北海道の淡水魚に関する研究-II. ヨシノボリ2型の分布. 北海道大学水産学部研究彙報, 33: 115–125.
- 森 誠一. 1998. 自然に配慮することの実態と今後. 森 誠一 (編), pp. 3–11. 魚から見た水環境. 信山社サイテック, 東京.
- 森 誠一. 1999. ダム構造物と魚類の生活. 応用生態工学, 2: 165–177.
- 森 誠一. 2000. 必要な魚道, 不必要な魚道. 応用生態工学, 3: 235–241.
- Morita, K., S. Yamamoto and N. Hoshino. 2000. Extreme life history change of white-spotted char (*Salvelinus leucomaenoides*) after damming. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 57: 1300–1306.
- 中西照幸. 1978. ウキゴリ(*Chaenogobius annularis* Gill)3型の分布および生態について. 北海道大学水産学部研究彙報, 29: 233–242.
- 中野 繁・井上幹生・桑原禎知・豊島照雄・北条元・藤戸永志・杉山 弘・奥山 哲・笹賀一郎. 1995. 北海道大学天塩・中川地方演習林および隣接地域における淡水魚類相と治山・砂防ダムが分布に及ぼす影響. 北海道大学農学部演習林報告, 52: 95–109.
- 西田 瞳. 1989. アユ. 川那部浩哉・水野信彦 (編), pp. 66–79. 日本の淡水魚. 山と渓谷社, 東京.
- 長内 稔. 1962. 陸封型サクラマスの生態調査 I. 雨竜人工湖の湖況の遷移と湖産サクラマスの食性について. 北海道立水産孵化場研究報告, 17: 21–29.
- Seber, G. A. 1970. The effect of trap response on tag-recapture estimates. Biometric, 26: 13–22.
- 下田和孝・中野 繁・北野 聰・井上幹生・小野有五. 1993. 知床半島における河川魚類群集の現状. 北海道大学大学院環境科学研究所邦文紀要, 6: 17–27.
- 下田和孝・中野 繁・山本祥一郎. 2002. ダム建設による遡河回遊型アメマスの陸封化. 魚類学雑誌, 49: 25–32.
- 高橋剛一郎. 2000. 魚道の評価をめぐって. 応用生態工学, 3: 199–208.
- 高橋剛一郎・安田伸生・西沢茂雄. 1987. 知床半島ルシャ川の低ダム群に設置した簡易魚道について. 淡水魚, 13: 91–97.
- Takami, T. 1995. Migration of anadromous white-spotted charr, *Salvelinus leucomaenoides*, in southwestern Hokkaido, Japan. Nordic J. Freshw. Res., 71: 432–437.
- 竹門康弘. 2000. 長良川河口堰の建設と運用が小卵型カジカ (*Cottus* sp.) ならびにアユカケ (*Cottus kazika*) に及ぼした影響. 日本自然保護協会 (編), pp. 79–89. 河口堰の生態系への影響と河口域の保全 (日本自然保護協会河口堰問題小委員会報告書). 日本自然保護協会, 東京.
- Yamamoto, S. and S. Nakano. 1996. Growth and development of a bimodal length-frequency distribution during smolting in a wild population of white-spotted charr in northern Japan. J. Fish Biol., 48: 68–79.
- 柳原邦男・菊池健三・妹尾優二. 1990. 北海道における魚道の概要. Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan: 289–294.