

河道の直線化改修がサクラマス幼魚の 微生物息場所に与える影響

中野 繁*¹・井上 幹生*²

Effects of channel alternation on masu salmon microhabitat in a tributary of the Teshio River

Shigeru Nakano*¹ and Mikio Inoue*²

The physical environment and microhabitat use by juvenile masu salmon, *Oncorhynchus masou*, were compared between a stream section altered by straightening and a natural section with well developed pool-riffle sequences in a small tributary of the Teshio River, the northernmost Japan. Population density of the salmon in the natural section was considerably larger than that in the altered one. Two out of six microhabitat types, which were classified based on the characteristics of five microhabitat variables (depth, current velocity, current diversity, substrate and cover), was selectively used by the salmon. In the natural section, a regular pattern was recognized for the distribution of these microhabitat types, but not in the altered one. Disappearance of both the distribution pattern and small abundance of the preferred microhabitat type were considered to be a cause of the low salmon density in the altered section.

はじめに

近年における土地利用形態の変化に伴い、日本各地の河川で国土保全、防災および治水などを目的とした治山・砂防ダム建設や河川改修工事などが進められてきた。しか

し、これら河川構造物の導入は、多くの場合、生物の生息場所としての自然河川の機能を何等考慮することなく行われてきた。現在、これらの急激な河川環境の改変によって、多くの淡水魚類個体群が減少しつつあり、群集の多様性は急速に失われようとし

*¹北海道大学農学部附属中川地方演習林 (Nakagawa Experimental Forest, Faculty of Agriculture Hokkaido University, Otoineppu, Hokkaido 098-25, Japan)

*²北海道大学農学部森林科学科 (Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060, Japan)

ている。

河川流路の拡幅、河床の掘削、直線化、築堤、護岸、さらには河床堆積物の除去などといった環境改変を伴う河川改修は、河川の縦横断形状を単純化し、直接的に淡水魚類に好適な生息空間の消失をもたらすことが知られている (Brookes 1988)。このような河川改修に伴う魚類個体群の生息密度や現存量の減少、および群集の種構成の変化や多様性の低下についてはこれまでも数多く報告されており、その主な要因としては瀬一淵の連続構造の消失、平均水深の減少とこれに伴う流速の増大などが指摘されている (Elser 1968; Golden and Twilley 1976; Swales 1982; Takahashi and Higashi 1984)。しかしながら、これらの研究の多くは、単に河川の改修部と非改修部において魚類の生息状況と流路形態を対比したものが多く、その影響のメカニズムについては未だ不明の部分が多い。

サクラマス (*Oncorhynchus masou*) は、サケ (*O. keta*) やカラフトマス (*O. gorbusha*) といった他の北海道産の遡河性サケ属魚類とは異なり、比較的長い期間河川生活 (通常1-2年) を送り、さらに、個体群中の雄の一部には生涯を通じて河川に留まる河川残留個体がみられる (久保 1980; 真山 1992)。そのため、近年におけるサクラマス天然個体群の資源量の減少には、幼魚期の生息場所としての河川環境の荒廃が大きく関与していると考えられており、本種の保護には河川環境の保全および復元が重要であることが指摘されている (Takahashi 1989, 1990; Mayama 1990; 真山 1993)。しかしながら、河川改修が本種の生息場所に与

える影響については、Takahashi and Higashi (1984) が北海道南西部の河川の例について検討しているにすぎない。また、本種は、河川流路内において瀬や淵といった流路単位よりさらに小規模な微生息場所を嗜好利用していることが知られている (名越ら 1988; Nakano 1995)。そのため、改修の影響のメカニズムを明らかにするためには従来のアプローチに加え、河道内における魚類の利用空間をより微細なスケールで把握していく必要がある。

本研究は、河川流路内の微環境構造とサクラマス幼魚の微生息場所との対応関係を明らかにすることにより、直線化を伴う河川改修が本種個体群に与える影響を検討することを目的とした。また、本研究が提供する河川の微環境構造に関する知見は、今後の河川性サケ・マス類の保全を目的とする河川工法の改善のための有意義な基礎資料となるものと思われる。

材料と方法

調査地の概況 調査は1991年6月から7月にかけて、北海道北部を流れる天塩川水系の天北川 (44°45'N, 142°15'E) で行った。本河川は流域面積22.9 km²、流路延長5.2 km、平均河床勾配0.8%の小河川であり、標高100 m前後の丘陵地帯 (北海道大学農学部附属中川地方演習林内) を蛇行して天塩川に合流する。河川形態は可児 (1944) の分類によると Bb 型、最大流路幅および水深はそれぞれ 3 m および 1 m 程度である。

自然河川の特質である瀬一淵の連続構造 (可児 1944; Keller and Melhorn 1978) がよく発達した区間に30 m (自然区間)、河

道が改修された区間に25 m(改修区間)の調査区を一ヶ所ずつ設定し、流路内の微環境要素と魚類の微生息場所に関する調査を行った。改修区間は、橋の架換工事に伴い、その上下流約80 mに渡って河床および河岸部に三面コンクリート護岸が施された部分である。調査時点では施工から15年を経過しており、河床のコンクリート上の一部には砂礫の堆積が見られた。なお、両調査区間は約30 mを隔てて近接しており、水温、水質条件に大きな違いはないものと考えられた。調査期間中の水温は11-15°Cであった。

本河川の主要生息魚種はサクラマス(*Oncorhynchus masou*) 幼魚、エゾウグイ(*Tribolodon ezoe*) およびフクドジョウ(*Noemacheilus barbatulus toni*)であり、これらの内、今回は、サクラマス幼魚のみを分析の対象とした。

調査方法 今回の調査では、流路内の物理的な微環境要素として水深、流速、底質およびカバーの4項目を計測した。自然区間および改修区間の両調査区において、流路水面上のほぼ全域にわたり25 cm×25 cmのメッシュを設定し、水深および流速の計測を行った。水深は、全てのメッシュ交点において最小計測単位1 cmで計測した。流速は、全てのメッシュ交点において、垂直方向に20 cm間隔で計測した。底質は、岩盤、砂、小礫、中礫および大礫の5つのクラスに分類し、1/50の流路平面図にこれらの分布を記録した。カバーは水中の倒流木などといった強い水流や捕食者からの避難場所を意味するが、これらも同様に流路平面図に記録した(詳細については、井上・中野[1994]を参照)。

魚類の微生息場所は、昼夜別に主に潜水観察により調査した。ただし、潜水が困難な浅い場所では陸上から観察を行った。観察は3日間にわたって、昼間2回、夜間3回の合計5回行った。1回の観察毎に、観察されたサクラマスの定位点の位置を流路平面図上に記録した。なお、各調査区における合計5回の観察個体数の平均値を生息密度の指標として用いた。

データ解析 両調査区間の流路水面上に設定したメッシュの升目4つを1組にして50 cm×50 cm×水深の水柱を想定し、これをデータ解析における単位(以下これをセルと呼ぶ)として扱った。各セルの環境特性を(1)平均水深、(2)平均流速、(3)流速変異、(4)底質の粗度および(5)カバーの面積占有度の5項目の微環境要素の特性値によって表わした(詳細については井上・中野[1994]を参照)。

主成分分析とクラスター分析を用いて、各微環境要素を総合的に評価し、両区間を構成するセルをいくつかの微環境タイプに分類した。また、サクラマスの微生息場所の特徴を検討するために、これら微環境タイプに対する選好性をJacobs(1974)の選択指数を用いて評価した。

結果および考察

自然区間と改修区間の環境特性の比較および微環境タイプの分類 自然区間においては、流路に沿って、水深の浅い部分(瀬)と深い部分(淵)とが交互に出現し、これに伴う流速の大きな変動が認められた(図1)。また、流速の変異は、これら水深の移行部で大きかった。これに対し、改修区間

においては水深および流速ともに変動が小さく、瀬と淵の連続構造は認められなかった。すなわち、自然区間は改修区間に比べて流況、河床形状ともに変化に富んでいた。水深、流速、流速変異、底質およびカバールの各微環境要素を自然区間と改修区間で

比較した結果、全要素において有意な差が認められた(図2)。平均水深は、改修区間よりも自然区間で有意に大きく、後者では最大水深が約90 cmであり変域が大きいのに対し、前者ではすべての測点で20 cm未満であった。これとは逆に、平均流速は自然区

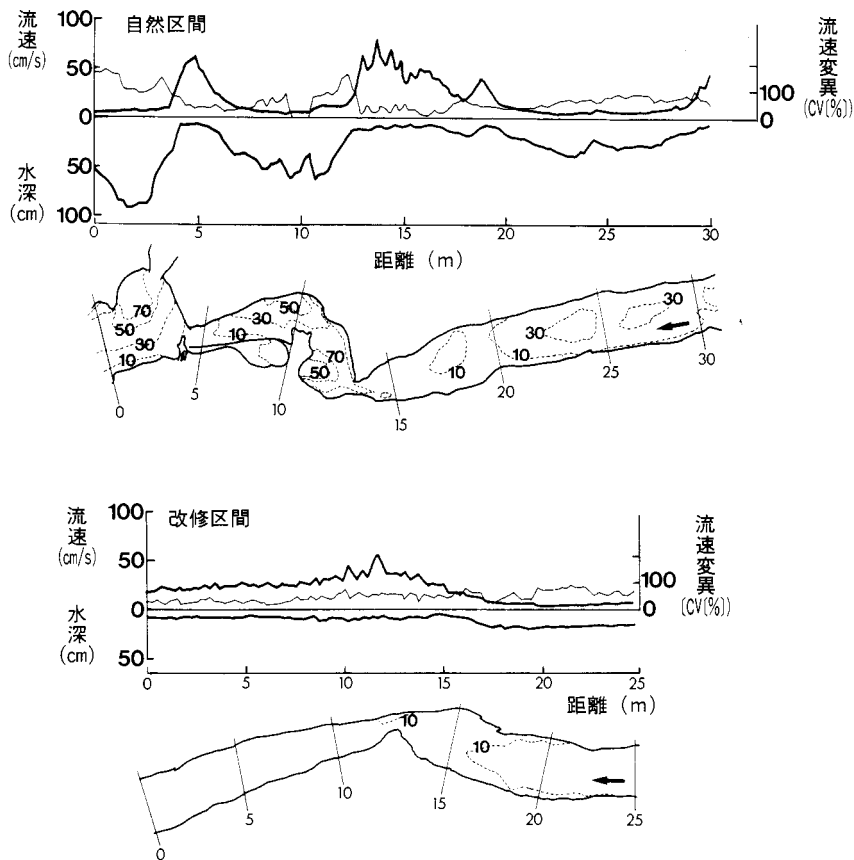


図1 自然区間および改修両区間における流況および河床形状。グラフは平均水深、平均流速および流速変異(変動係数 [%])の縦断変化(それぞれは、流路を横断するトランセクト上に25 cm間隔で設けたすべての計測点から算出)を示す。グラフの細い線が流速変異。平面図中の破線および矢印は、それぞれ等深線(cm)および流向である。各トランセクトに付した数字はグラフの距離に対応する。

間よりも改修区間で有意に大きく、前者では毎秒20 cm以下の部分が多いのに対し、後者では毎秒20 cm前後に分布が集中していた。また、流速変異は改修区間よりも自然区間で大きかった。改修区間の底質は自然区間に比べて細かく、大礫から構成される部分が全く認められなかった。また、カバーは改修区間の方が少なかった。

主成分分析の第3主成分までの主成分スコアを用いたクラスター分析の結果、自然区間および改修区間を構成するセルはそれぞれ異なった特徴を持つ6つの微環境タイプに分類された(井上・中野 1994)。これらのセルは、まず、第1主成分の特性により(1)水深が小さく流速の大きなグループ(SF型)と、(2)水深が大きく流速の小さいグループ(DS型)に大別され、さらに、両グループは第2主成分および第3主成分の特性によ

り以下のようにそれぞれ3つのタイプに分けられた。

(1) SF型

SF-1: SF型の中でも特に流速が大きく、底質が粗い。

SF-2: 流速変異が小さく、底質が細かい。

SF-3: 流速変異が小さく、カバーが多い。

(2) DS型

DS-1: 底質が粗く、DS型の中では最も流速が大きい。

DS-2: DS型の中でも特に水深が大きく流速が小さい。また、カバーが多い。

DS-3: 底質が細かく、DS型の中では最も水深が小さい。

瀬-淵の連続構造が発達した自然区間においてはこれら各微環境タイプの規則的な配置様式が認められた(図3)。これを瀬-淵の連続構造に照らしあわせると、瀬は主

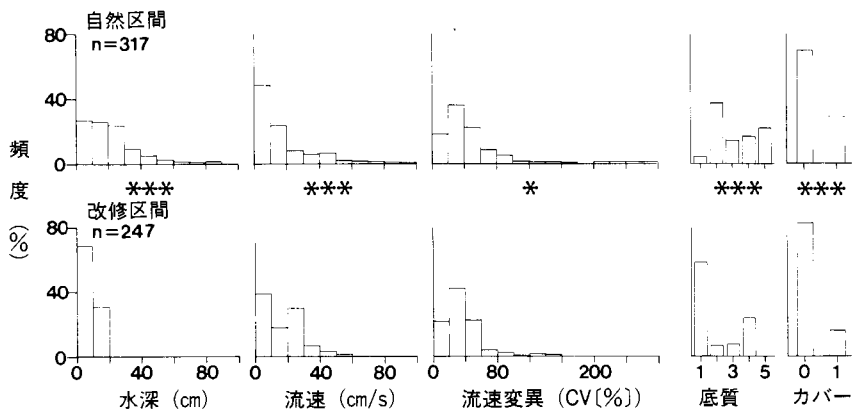


図2 自然および改修区間における各環境要素の比較。底質は、岩盤(1;コンクリートを含む)、砂(2)、小礫(3)、中礫(4)および大礫(5)の5段階、カバーは、カバー有り(0)、およびなし(1)の2つに分けて示した。両区間の間に有意差が認められる場合には、有意水準をアスタリスクで示した(ただし、水深、流速および流速変異はKolmogorov-Smirnovの二試料検定、底質およびカバーはMann-WhitneyのU検定による)。*、 $P < 0.05$; **、 $P < 0.01$; ***、 $P < 0.001$ 。

に水深が小さく流速の大きなSF型、淵は主に水深が大きく流速の小さなDS型から構成されるとみなすことができる。淵の上流部はDS-1, 中央部はDS-2, 縁辺部はDS-3によって構成されている。一方、淵から瀬への移行部分, すなわち瀬の上流部は, SF-2とSF-3から成り, 瀬の下流部はSF-1から構成される。そして, このSF-1は再び淵上流部のDS-1へ連なることによってこれら6つの微環境タイプは規則的な繰り返しを呈する。

これに対し, 改修区間では各微環境タイプの構成は自然区間と異なり, 自然区間においては特に少ないSF-2が最も多く, DS-2は特に少なかった(図4)。さらに, 改修区間では, 自然区間に認められたような微環境タイプの規則的な配置様式は認めら

れなかった(図3)。

サクラマス幼魚の微生息場所と改修区間における生息密度の減少 サクラマスの生息密度は, 改修区間では 0.02 ± 0.02 (平均 \pm SD, $n=5$) 個体/ m^2 であり, 自然区間の 0.41 ± 0.09 ($n=5$) 個体/ m^2 と比べてきわめて小さかった(Mann-WhitneyのU検定, $P < 0.05$)。

1991年7月26日の昼間および夜間におけるサクラマスの流路内における分布の例を図5に示した。昼間, サクラマスの多くは, 淵頭(流入部)の流心近くに定位点を持ち, 盛んに流下物を採餌していた。一方, 夜間には, ほとんどの個体がより浅い淵の岸寄りの渦流域に分散し, 休息していた(図5)。

自然区間においてサクラマスが利用したセルを上記の微環境タイプと対応させると,

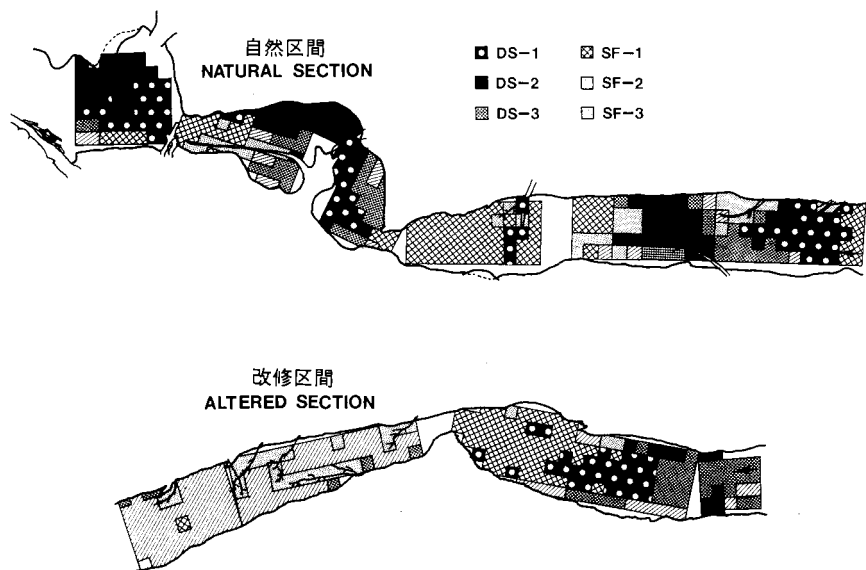


図3 自然区間および改修両区間における各微環境タイプの配置様式。矢印は流向を示す。なお、図中の白い部分は計測の行われなかった部分である。

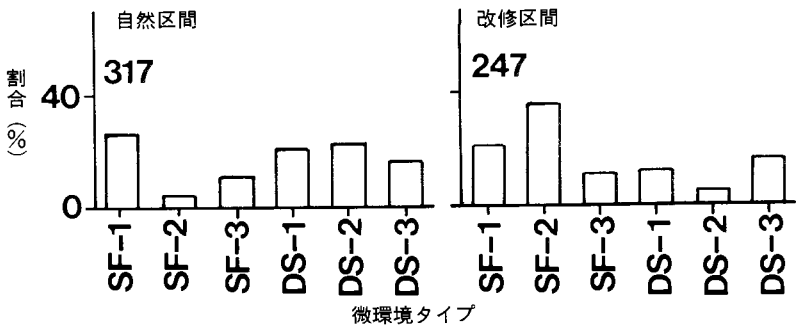


図4 自然区間および改修区間における各微環境タイプの構成比。グラフ中の数字はセルの数。

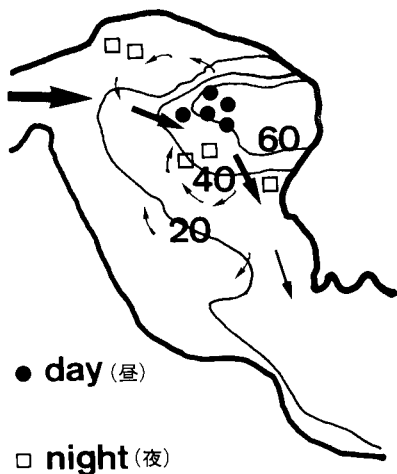


図5 昼間および夜間で流路内におけるサクラマス分布の例。データは、7月26日の昼と夜に得られたものである。図中には等深線 (cm) と流向をあわせて示した。

本種は昼間はDS-1に高い選好性を示したのに対し、夜間には、昼間には全く利用しなかったDS-3に選好性を示した(図6)。すなわち、サクラマスは、昼間と夜間に異なった微環境タイプをそれぞれ選択的に利用

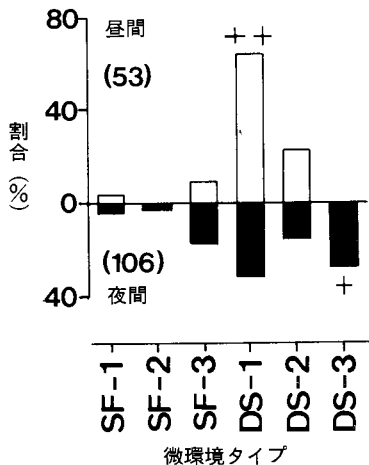


図6 サクラマスの利用したセルの(昼夜別の)微環境タイプ。図中のカッコ内の数字はセルの数を示す。なお、各微環境タイプに対する選好性をJacobs(1974)の選択指数で示した。+, 0.3~0.6; ++, > 0.6。

していたことになる。これら両微環境タイプは、ともに淵を構成する微環境である。

サクラマスが選好した微環境タイプDS-1およびDS-3の占有度を両調査区間で比較すると、DS-3ではほとんど差が認められな

いものの、改修区間のDS-1は自然区間の約1/2であった(図4)。このような好適な微環境タイプの減少が、両区間での本種の生息密度に影響したと考えられる。しかしながら、両区間における生息密度の差は極めて大きく(改修区間では約1/20)、この差異を好適な微環境タイプの量的な差のみから説明するのは困難である。そこで、サクラマスが選好した微環境タイプについて、これらの配置様式を検討すると、サクラマスが昼間に強く選好したDS-1は、自然区間では微環境タイプの規則的な配置に従い常にSF-1の下流側に位置するのに対して、改修区間ではDS-1の上流側はDS-3によって占められていた。一般に、サクラマスをはじめとする河川性サケ科魚類の主な採餌様式として、流水中の一点に留まるように泳ぎながら、周囲に流下してくる餌を待ち受ける定位行動が知られており、これらサケ科魚類の微生息場所には、流下動物の供給量と定位行動に伴うエネルギー消費量を規定する流速が極めて重要であることが知られている(Fausch 1984; Hill and Grossman 1993)。また、一般に流下動物の流下量は流速に正比例して増大することが知られている(Allan and Russek 1985)。すなわち、自然区間では流速が特に大きいSF-1はDS-1への餌の供給源とみなすことができる。これに対して、改修区間でDS-1の上流側に位置したDS-3は流速が小さく、改修区間のDS-1はサクラマスにとっては好適な微生息場所ではないものと考えられる。改修区間での本種の極めて低い生息密度には、採餌場所として選好する微環境タイプの量的な減少のみならず、各微環境タイプの規

則的な配置様式の消失も大きく影響していると思われる。

おわりに

これらのことより、サクラマスの生息環境には好適な微生息場所の広がりのみならず、それらの配置様式が大きく関与していると言える。本研究の結果は、瀬-淵の連続構造に規定された自然河川の流路内の微環境構造が、サクラマスに好適な生息場所の物理的条件として極めて重要であることを示唆するものである。流路の直線化を伴う河川改修は、本種の選好する微生息場所を直接的に減少させることのみならず、その規則的な配置様式をも消失させることになる。自然河川の特質である瀬-淵の連続構造を復元することにより、サクラマスの生育に最低限必要な微生息場所を確保することができるであろう。ただし、北アメリカにおける研究例によると、流路縁辺部や側流部のよどみなどといった稚魚期や越冬期に特異的に要求される微生息場所の量が、河川性サケ科魚類の生息密度の制限要因となっていることも示されており、生息場所の造成に当たっては単に河川の主流路の環境を復元するだけでは不十分であることが指摘されている(Moore and Gregory 1988a, b; Nickelson et al. 1992a, b)。

今回の調査は、時間的にも空間的にも、ごく小規模な視点から河川の直線化改修がサクラマスの微生息場所に与える影響を検討したものである。しかしながら、河川改修は、より大きな時空間スケールにおいても様々なプロセスを経て河川性魚類の生息環境に影響を及ぼすことが知られている。例

えば、改修がかなりの流路延長にわたって行われた場合、夏季における急激な水温上昇や流出特性の変化に伴う増・濁水時における避難場所の消失などを引き起こす(Brookes 1988; Wilcock 1991)。これらはサクラマスの生育に致命的な影響を与えると予測される。今後、河川改修がサクラマス資源に与える影響を総合的に明かにし、有効な改善策を確立していくためには、様々な時間空間スケールの視点からの検討が必要とされる。

謝 辞

北海道大学農学部の新谷融教授、中村太士助教授と清水収助手には本研究を進めるにあたって有意義な助言を頂いた。北海道大学中川地方演習林の方々には、調査期間中様々な便宜を図って頂いた。ここに記して、深謝の意を表わす。なお、本研究の一部は、文部省科学研究費(課題番号04454078)、河川環境管理財団による河川整備基金および科学技術庁地域流動研究の援助を受けた。

引用文献

Allan, J. D., and E. Russek. 1985. The quantification of stream drift. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.*, 42: 210-215.

Brookes, A. 1988. *Channelized River- Perspective for Environmental Management*. John Wiley & sons. 326p.

Elser, A. A. 1968. Fish population of a trout stream in relation to major habitat zones and channel alternations. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 97: 389-397.

Fausch, K. D. 1984. Profitable stream positions for salmonids: relating specific growth rate to net energy gain. *Can. J. Zool.*, 62: 441-451.

Golden, M. F., and C. E. Twilley. 1976. Fishery investigation of a channelized stream, Big Muddy Creek watershed, Kentucky. *Trans. Kentucky Acad. Sci.*, 37: 85-90.

Hill, J., and G. D. Grossman. 1993. An energetic model of microhabitat use for rainbow trout and rosyside dace. *Ecology*, 74: 685-698.

井上幹生・中野 繁. 1994. 小河川の物理的環境構造と魚類の微生物息場所. *日生態会誌*, 44: 151-160.

Jacobs, J. 1974. Quantitative measurements of food selection: a modification of the forage ratio and Ivlev's electivity index. *Oecologia*, 14: 413-417.

可児藤吉. 1944. 溪流棲昆虫の生態. 「昆虫, 上」(古川晴男編), pp.117-317. 研究社, 東京.

Keller, E. A., and W. N. Melhorn. 1978. Rhythmic spacing and origin of pools and riffles. *Geol. Soc. America Bull.*, 89: 731-743.

久保達郎. 1980. 北海道のサクラマス生活史に関する研究. さけ・ますふ研報, (34): 1-95.

Leopold, L. B., and M. G. Wolman. 1957. River channel patterns: braided, meandering and straight. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper*, 282 B: 39-84. 229-

- Mayama, H. 1990. Masu salmon propagation in Hokkaido, Japan. Bull. Inst. Zool., Academia Sinica, 29: 95-104.
- 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.
- 真山 紘. 1993. 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—. 魚と卵, (162) : 9-18.
- Moore, K. M. S., and S. V. Gregory. 1988a. Summer habitat utilization and ecology of cutthroat trout fry (*Salmo clarki*) in Cascade Mountain streams. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45 : 1921-1930.
- Moore, K. M. S., and S. V. Gregory. 1988b. Response of young-of-the-year cutthroat trout to manipulation of habitat structure in a small stream. N. Am. J. Fish. Manage. 117 : 162-170.
- 名越 誠・中野 繁・徳田幸憲. 1988. 渓流域におけるアマゴの成長に伴う生息場所および食物利用の変化. 日水誌, 54 : 33-38.
- Nakano, S. 1995. Individual difference in resource use, growth and emigration under the influence of a dominance hierarchy in fluvial redspotted masu salmon in a natural habitat. J. Anim. Ecol. 64 : 75-84.
- Nickelson, T. E., J. D. Rodgers, and M. F. Sollazzi. 1992a. Seasonal change in habitat use by juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in Oregon coastal streams. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 49 : 783-789.
- Nickelson, T. E., M. F. Sollazzi, S. L. Johnson, and J. D. Rodgers. 1992b. Effectiveness of selected stream improvement techniques to create suitable summer and winter rearing habitat for juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in Oregon coastal streams. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 49: 790-794.
- Swales, S. 1982. Environmental effects of river channel works' used in land drainage improvement. J. Environ. Mgmt., 14 : 103-126.
- Takahashi, G. 1989. Status of charr and masu salmon management in Japan ; a call for conservation guideline. Physiol. Ecol. Japan, Spec. Vol.1 : 683-690.
- Takahashi, G. 1990. On the consistency of conservation of freshwater fish and 'Sabo' works in streams. Bull. Inst. Zool., Academia Sinica, 29 : 105-113.
- Takahashi, G., and S. Higashi. 1984. Effect of channel alteration on fish habitat. Jpn. J. Limnol., 45: 178-186.
- Wilcock, D. N. 1991. Environmental impacts of channelization on the River Main, County Antrim, Northern Ireland. J. Environ. Mgmt. 32 : 127-143.