

小規模堰堤の連なる溪流におけるアマゴの生息地選択と移動

齋藤竜也*¹・金澤拓也*¹・森本溪一郎*¹・中道一彦*²・川嶋尚正*³・鈴木邦弘*³・赤川 泉*¹Habitat selection and movements of *Oncorhynchus masou ishikawae* in a mountain stream interrupted by several small dams

Tatsuya SAITO, Takuya KANAZAWA, Keiichiro MORIMOTO, Kazuhiko NAKAMICHI, Naomasa KAWASHIMA, Kunihiro SUZUKI and Izumi AKAGAWA

Abstract

The influence of several small dams on habitat selection and migration of red-spotted masu salmon, *Oncorhynchus masou ishikawae*, was examined in the Hayakawasawa Stream, a tributary of the Keta River, part of the Tenryu River water system in central Japan. The preferred habitat of the species was determined on the basis of physical factors (water depth, capacity, boulders and woody cover), fallen organisms and fish distribution, surveyed in pools immediately below the dams. In addition, the migration was investigated by the mark and recapture methods. The salmon preferred deeper water pools, structured by complexly overlapped boulders thereby affording significant woody cover, plus woody cover from the bank. However, the site with the greatest input of potential prey organisms was not necessarily favored. Small size individuals ($\leq 100\text{mmFL}$; 26 residents and 28 migrants) were observed to move more frequently than large size (100mmFL ; 28 residents and 13 migrants). Daily growth rates did not differ significantly between residents and migrants. The latter were observed more frequently downstream (25 indivs.) than upstream (16 indivs.), being particularly rare above a dam higher than 50cm. It was concluded that dam construction higher than 50cm may present a significant barrier to upstream movement of the salmon, particularly small size one.

緒言

近年、日本の溪流には、大小さまざまな砂防堰堤が設置されている。砂防堰堤は、流下する土砂の量を調節するだけでなく、川岸の浸食や山麓の崩壊を防止する働きもあるため、河川の形態を維持し、土砂災害時などその被害を最小限にするために重要なものとされている（高橋ら、2001）。しかしながら、大規模な砂防堰堤の設置によって河川は分断され、その上流においてサケ・マス類を初めとする通し回遊魚の消滅による水域の生物多様性の減少が報告されている（Beamish & Northcote, 1989; Holmquist *et al.*, 1998; Pringle *et al.*, 2000; Morita, 2002）。また、小規模な砂防堰堤も河川の形状を大きく変化させる。天然の淵と

堰堤直下に形成される淵を比べると、前者は岩と岩の隙間から水が一点に集中して流れ込むのに対し、後者は流入口が広く、流れ込む水が広く拡散する。そのため、堰堤付近の流速は下がり、天然の淵に比べて広がりのある淵となる。

アマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae* は流れの中の一点に留まるように上流へ向かって泳ぐ定位行動を行い、周囲に流下する無脊椎動物を捕食する。このため、定位点の価値は餌の供給源からの距離、餌の供給（通過）量、定位行動のための遊泳コストおよび他個体との干渉などの要因間の相互作用で決定されると考えられる（中野・谷口、1996）。さらに、河川の淵のようなローカルハビタット内に生息する淡水性サケ科魚類の同種個体間には、餌や空間資源の獲得を巡る直接的な干渉行動（攻撃行動）がみられ

2012年10月30日受付 2012年12月19日受理

* 1 東海大学海洋学部 〒424-8610 静岡市清水区折戸3-20-1

* 2 気田川漁業協同組合 〒437-0625 静岡県浜松市天竜区春野町堀之内1010-2

* 3 静岡県水産技術研究所 富士養鱒場 〒418-0108 静岡県富士宮市猪之頭579-2

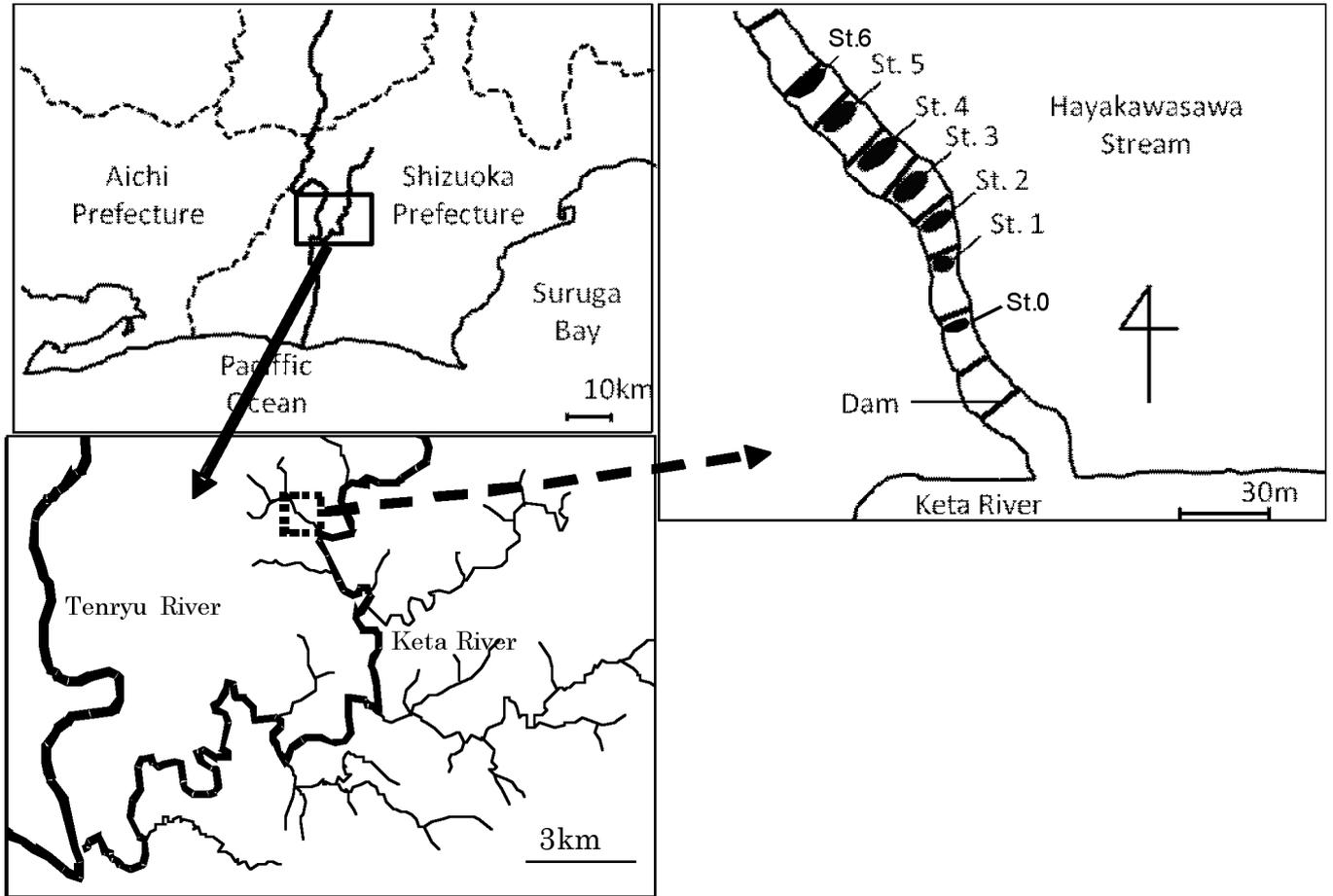


Fig. 1 Maps showing the study site (34°27' N.137°53' E.) in Shizuoka Prefecture.

(Chapman, 1962), 干渉型競争における個体の相対的な能力は一般に体サイズによって決定し, ローカルグループ内では体サイズに依存した順位が形成される (Bachman, 1984). また, 河川の魚類群集を構成する各魚種は, 種特有の選好性と様々な種間相互作用の影響により, 微小生息場所を分割利用していることが知られている (Schlosser & Toth, 1984; Moyle & Vondracek, 1985). しかし, 砂防堰堤の設置により形成された淵では, 流下してきた餌が淵全体に分散するため, アマゴのサイズヒエラルキーに依存した社会構造と競争のあり方を変化させることが示唆されている (山本ら, 2010).

砂防ダム等の河川横断物に対する研究は魚類の地理的隔離等に注目したものが多く (中野ら, 1995; 遠藤ら, 2006), 改修河川における魚類の生息地選択や個体の移動に注目した研究は少ない. さらに, 河川横断物は大小様々な種類のもが存在する. 本研究では, 完全な地理的隔離が起こらない小規模な砂防堰堤の連なる河川で, 堰堤直下に形成されるそれぞれの淵を対象として, 物理的条件と, 夏季に主食となる陸生昆虫 (Kawanabe, 1989) の落下量に注目し, アマゴが選好する環境条件を検証する. 同時にまた, 標識再捕調査により, どのような体サイズのアマゴがどの程度の落差の砂防堰堤を上・下流どちらの方向に越え

る移動を行うかを明らかにし, アマゴの生態における小規模な砂防堰堤の影響下を解明するための一助とすることを目的とした.

材料と方法

調査地点の特徴

静岡県浜松市天竜区春野町を流れる天竜川水系気田川の中流部に流入する早川沢 (北緯34°27', 東経137°53') においてアマゴの生息地選好と移動に関する調査を行った (Fig. 1). 早川沢は全長2.5km, 平均勾配13.5°の溪流であるが, その下流部には約30m 毎に幅10m の小規模な堰堤が10箇所あり, 各堰堤の直下には淵が存在する. 早川沢には, アマゴ, アブラハヤ *Phoxinus logowskii steindachneri*, アユ *Plecoglossus altivelis altivelis*, ウグイ *Tribolodon hakonensis*, オイカワ *Zacco platypus*, カワムツ *Zacco temminckii* などが生息しているが, これらは堰堤の淵に多く見られた.

2010年5~12月の間に計26回の調査を行った. 早川沢の下流部から4~8箇所目の堰堤直下の淵を調査定点とし, 下流から順に St. 1~5とした. 水温は12時から15時の間に1回 St. 1 で Water Quality Checker (HORIBA,

Table 1 Characteristics of each station in the Hayakawasawa stream, Keta River, Shizuoka.

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
Area (m ²)	19.32	23.85	15.88	8.28	19.90
Average water depth (m)	0.65	0.66	0.89	0.67	0.93
Pool capacity (m ³)	12.56	15.74	14.13	5.55	18.51
Height of the dam from the water surface of the pool (m)	0.45	0.60	0.80	0.35	0.50

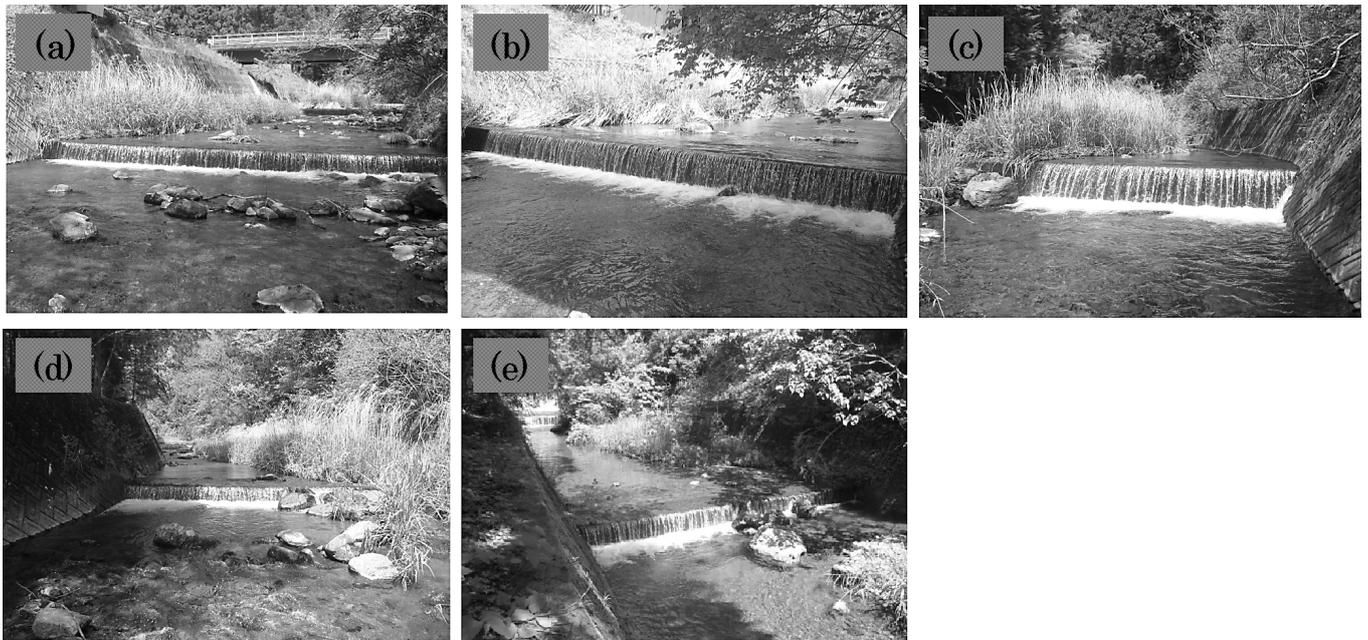


Fig. 2 Photographs of each station in the Hayakawasawa stream, the Keta River, Shizuoka. (a) station 1, (b) station 2, (c) station 3, (d) station 4, (e) station 5.

040801000HK-5) を使用して計測した。水深は10月5日に測定し、1 定点につき任意の10箇所を計測してその平均を求めた。また、同日に淵の水面から堰堤の高さを計測した。淵の容積は各淵の面積と平均水深を掛けて求めた (Table 1)。

各調査定点の特徴を説明すると、最下流の St. 1 は平均水深が0.65m と調査を行った各淵の中で最も浅く、樹木などのカバーが存在しない (Fig. 2a)。水底に小さな転石は多いが、魚が身を隠すような隙間は少ない。St. 2 は橋の下に位置しており、水底には転石が多く、それぞれの転石と水底の隙間に魚が身を潜めることのできる小さな場所があるが、2つ以上の転石から形成される複雑な隙間は少ない。また、水面を覆うようなカバーは存在しない (Fig. 2b)。St. 3 は水面上20cm の位置に左岸側からの樹木がせり出しカバーとなっており淵の7割近くが被われている。また、堰堤直下から1.5m 下流に水深1m を超え、平均水深も0.89m と深い淵が存在し。水底に転石が複雑に重なり合っており、水上からは確認できないような魚が身を潜める場所が数多く存在する (Fig. 2c)。St. 4 は淵の容積が5.55m³ と狭く、周囲には葦が生い茂っている。また、水面上

50cm の位置に右岸からの樹木がせり出しカバーとなっており淵の4割近くが被われている。水底には転石が複雑に重なり合った隙間が存在するが、St. 3 に比べて数は少ない (Fig. 2d)。調査区の最上流に位置する St. 5 は岩石で淵が左右に分断されており、平均水深は0.93m と最も深く、容積も18.51m³ と最も大きい。水底には転石が多く、それぞれの転石と水底の隙間に魚が身を潜めることのできる小さな場所がある。しかし、水面上より1m 以内にカバーは存在しない (Fig. 2e)。

落下動物調査

落下生物調査は、7～10月に計6回行った。洗濯用合成洗剤を溶解した水を注いだプラスチック製容器 (28×21×高さ9.5cm) を、各調査定点の右岸沿いに50cm 間隔で3箇所に1個ずつ、調査定点間は10m 間隔で2箇所に1個ずつ、計30個を24時間設置し採集を行った (Fig. 3)。本調査区の植生は、下流域 (St. 1, 2) では一年生草本が生い茂り、上流域 (St. 3～5) では針葉樹が連なる。これらをそれぞれ草地帯、樹木帯とした。

採集した動物は10%ホルマリンで固定後、研究室に持ち

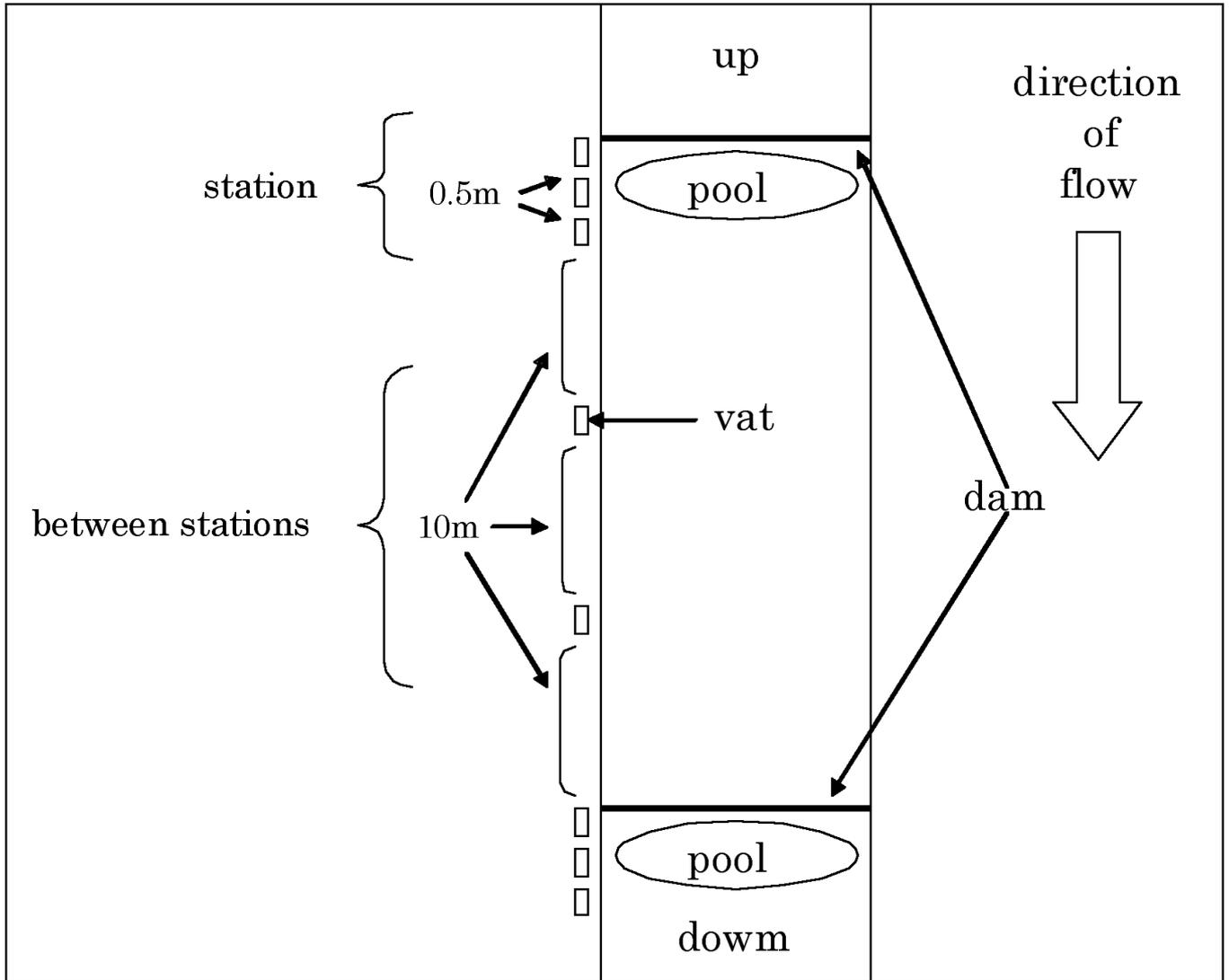


Fig. 3 Location of traps for the fallen organisms; three vats at intervals of 0.5m beside each station, two vats at intervals of 10m between each station.

帰り、目レベルまで同定した後に個体数を記録した。また、総乾燥重量 (mg) を計測し、どちらも 1m^2 当たりの値に換算した。乾燥重量は小型送風乾燥器 (株式会社ヨネザワ, MD-100) を用い、 60°C で3時間乾燥させたものを計測した。

魚種組成調査

魚種組成調査は、6～12月の間に計19回行った。St. 1～5の淵において、12時から15時の間に計1時間かけて目視観察を行い、魚種別の個体数、尾叉長を記録した。観察者は下流側から上流側に向かってシュノーケリングを用いて、岩の下なども隈なく観察した。対象魚種は早川沢内で頻繁に確認されたアマゴ、アブラハヤ、アユ、ウグイ、オイカワ、カワムツの6種とした。尾叉長 (FL) は付近の石や倒木などを目安に目測し、小型 ($<100\text{mm}$)、中型 ($100\text{mm} \leq, <150\text{mm}$)、大型 ($150\text{mm} \leq$) の3階級に

分けて記録した。

アマゴの移動調査

St. 1～5におけるアマゴの移動状況を標識再捕獲法を用いて調査した。また、本調査においてはSt. 1の約30m下流の淵をSt. 0, St. 5の約30m上流の淵をSt. 6として、それらの淵の個体についても調査した。

アマゴの捕獲は、餌釣りとエレクトロフィッシャー (SMITH-ROOT, INC. MODEL12-B, 以下「ショッカー」という) を用いた手網掬い (目合3mm) にて行った。

釣は、7～12月に計13回、気田川との合流地点から上流に約600m区間の早川沢にて行った (St. 0の下流130mからSt. 6の上流300mまで)。捕獲した個体は尾叉長を計測し、個体番号を記入したリボンタグ (三浦理化産業株式会社, $30\text{mm} \times 2\text{mm}$) を背鰭基部に縫い付け標識をした後に、各調査定点で個体数が均等になるように全ての定点に

放流した。後日、再捕獲された個体は尾又長を計測し、定点を記録後、速やかに再捕獲定点に放流した。

ショッカーを用いた調査は、8～12月の間に計6回、St. 0からSt. 6までを計1時間かけて行った。捕獲した個体は尾又長を計測し、餌釣りと同様の方法で標識し、捕獲された定点に速やかに放流した。後日、再捕獲した個体は尾又長を計測し、定点を記録後、速やかに再捕獲定点に放流した。

上記の方法で捕獲された個体の最初の捕獲定点と再捕獲定点が違っていった場合は移動と定義し、同じ場合は定住と定義した。再捕獲個体は前回測定時の尾又長に対する成長量を一日あたりに換算し、元の尾又長に対する日間成長率を次式により算出した。

$$\frac{L_2 - L_1}{(d_2 - d_1) \times L_1} \times 100$$

d_x : 捕獲した日

L_x : d_x における個体の尾又長

また、魚種組成調査の際に標識魚が観察された場合は、尾又長および、どの定点で放流した個体であることを記録した。

統計処理の方法

落下動物調査における個体数と乾燥重量を、草地帯と樹木帯で比較するためにMann-Whitney U-testを用いた。魚種組成調査では、調査日毎のアマゴの個体数の違いと定点によるアマゴの個体数の違いを比較するためにFriedman testを用いた。移動性調査は、アマゴのサイズ(大型・小型)による移動性(移動・定住)の違いを明らかにするためにChi-square test for independenceを用いた。移動個体と定住個体との日間成長率を比較するためにMann-Whitney U-testを、尾又長の増加の有無を比較するためにChi-square test for independenceを用いた。

結果

落下動物調査

採集された生物の総個体数は2,152個体、総乾燥重量は2.075gであった。確認されたのはハエ目、ハチ目、クモ目、カメムシ目、ゴキブリ目、バッタ目、チョウ目、コウチュウ目、ダニ目、カゲロウ目、カワゲラ目、トビケラ目であった。採集された個体数はハエ目が最も多く、総個体数の51.5%を、次いでハチ目が25.6%を占め、クモ目5.2%、カメムシ目4.2%も比較的高頻度で採集されたが、水生昆虫の成虫であるカゲロウ目、カワゲラ目、トビケラ目は合わせて1.7%であった。草地帯と樹木帯とで比較すると、草地帯はアリなどのハチ目が多く、周囲がスギやカエデなどの樹木帯はカ目などのハエ目が多く採集された。

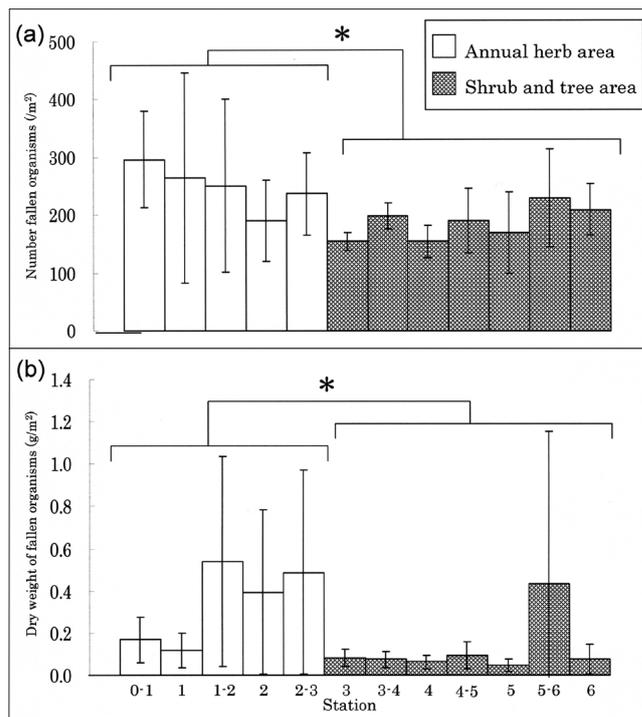


Fig. 4 Fallen organisms at each station and between each station.

(a) Mean individual number of fallen organisms per 24 hours. *P<0.05 (Mann-Whitney U-test, U=3)

(b) Mean dry weight of fallen organisms per 24 hours. Bars indicate standard deviation. *P<0.05 (Mann-Whitney U-test, U=3)

落下動物平均個体数は、草地帯(237.7±131.7個体/m², mean±SD)の方が樹木帯(186.5±58.0個体/m²)に比べて有意に多かった(Mann-Whitney U-test, U=3, P<0.05)(Fig. 4)。

草地帯はハチ目、クモ目、バッタ目、コウチュウ目の大型動物が落下した為に、平均乾燥重量でも同様に草地帯(0.336±0.402g/m²)の方が樹木帯(0.124±0.305 g/m²)に比べて有意に多かった(Mann-Whitney U-test, U=3, P<0.05)。

魚種組成調査

20回の潜水目視観察で確認された魚類の総個体数は1,417個体(大型, 134個体; 中型, 644個体; 小型, 639個体)であり、その内アマゴは508個体(35.8%)で、大型が34個体、中型が277個体、小型が197個体であった。アマゴの個体数は調査日(6/5~12/27)および調査定点(St. 1~5)においてそれぞれ有意な差が認められた(Friedman test, $\chi^2 = 36.53$, df=19, P<0.01; $\chi^2 = 20.45$, df=4, P<0.001)。

魚類の総個体数が554個体と最も多かったSt. 1では、アマゴの個体数割合は11.7%(63個体)と低かった(Fig. 5)。アマゴの個体数割合が83.2%(74個体)と最も高かつ

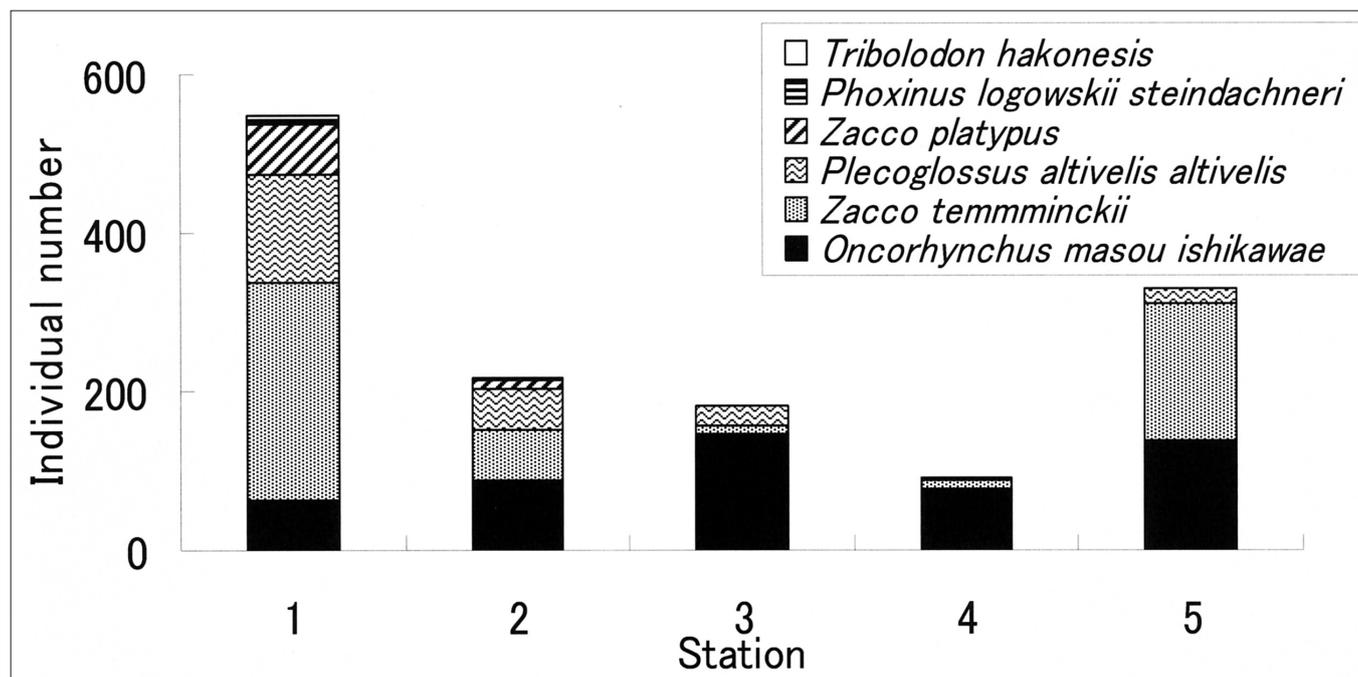


Fig. 5 Total number of fishes observed at each station by snorkeling.

Table 2 Mean density (indv./m³) and standard errors of *Oncorhynchus masou ishikawae* and other fishes at each station. Same letters in each line indicate non-significant differences ($P > 0.05$) following Tukey's multiple comparison test.

		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
<i>Oncorhynchus masou ishikawae</i>	Small size	0.103 ± 0.37 ^a	0.101 ± 0.022 ^a	0.155 ± 0.031 ^{ab}	0.333 ± 0.085 ^b	0.156 ± 0.043 ^{ab}
	Medium size	0.143 ± 0.058 ^a	0.155 ± 0.024 ^a	0.279 ± 0.050 ^{ab}	0.351 ± 0.057 ^b	0.199 ± 0.045 ^{ab}
	Large size	0.007 ± 0.005 ^a	0.022 ± 0.008 ^a	0.074 ± 0.017 ^b	0 ^a	0.010 ± 0.006 ^a
Other fishes	Small size	0.605 ± 0.114 ^a	0.177 ± 0.049 ^b	0.046 ± 0.024 ^b	0.117 ± 0.064 ^b	0.561 ± 0.089 ^a
	Medium size	1.130 ± 0.171 ^a	0.184 ± 0.050 ^b	0.046 ± 0.020 ^b	0.045 ± 0.017 ^b	0.018 ± 0.010 ^b
	Large size	0.246 ± 0.091 ^a	0.073 ± 0.028 ^{ab}	0.042 ± 0.019 ^b	0 ^b	0.008 ± 0.005 ^b

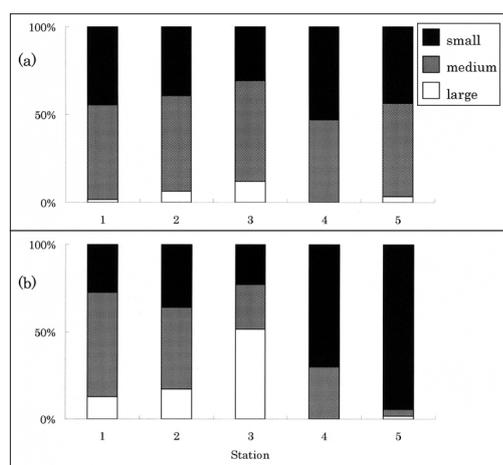


Fig. 6 Percentages of three body size classes of *Oncorhynchus masou ishikawae* (a) and other fishes (b) at each station. Fishes observed by snorkeling were separated into small (<100mm FL), medium (100 ≤, <150mm) and large (150mm ≤) size classes.

た St. 4は小型 (0.333 ± 0.085個体 /m³, mean ± SE) と中型 (0.351 ± 0.057個体 /m³) のアマゴの密度が他の調査地点と比べ最も高く (Table 2), 他魚種はカワムツと夏季に観察されたアユ3個体以外は見られず, いずれの魚種でも大型個体は観察されなかった (Fig.6). アマゴの総個体数が144個体 (大型, 21個体; 中型, 79個体; 小型, 44個体) と最も多かった St. 3はどの調査日でもアマゴの個体数割合が50%を超えており, 大型アマゴの総個体数 (21個体, 13.3%), で密度 (0.074 ± 0.017個体 /m³) も他の調査地点と比べ最も高かった.

アマゴの移動性調査

全ての調査で捕獲されたアマゴは246個体で, その内訳はショッカーによる捕獲が延べ111個体, 釣りが135個体であった. ショッカーによって再捕獲されたアマゴは44個体 (全体の17.9%) で, このうち釣りで捕獲した個体がショッカーによって再捕獲されたアマゴが13個体, 釣りで再

Table 3 Numbers of migrant and resident fish released at capture sites and at different sites (chi-square test for goodness of fit, $\chi^2 = 1.482$, $P > 0.05$).

	Released at the captured stations	Released at the different stations
Migrant	10	6
Resident	21	7

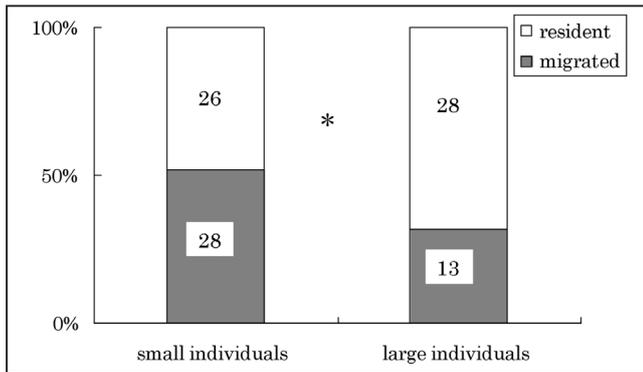


Fig. 7 Percentages of large (100mmFL<) and small (≤ 100 mmFL) migrant and resident *Oncorhynchus masou ishikawae* recaptured by electrofishing. Numbers represent individual numbers. * $P < 0.05$ (chi-square test for goodness of fit, $\chi^2 = 5.52$).

捕獲はなかった。再捕獲された44個体中16個体 (36.4%) のアマゴが堰堤を越えて移動した個体 (移動個体) で、28個体 (63.6%) は放流場所で再捕獲 (定住個体) された。また、ショッカー捕獲個体は捕獲場所に再び放流し、釣りで捕獲した個体は捕獲場所と異なる場所に再放流したが、両者の移動と定住に有意な差はみられなかった (chi-square test for independence, $\chi^2 = 1.482$, $P > 0.05$) (Table 3) ので以後は両データをまとめて扱う。

ショッカーにより再捕獲された44個体の尾叉長は 100.2 ± 11.5 mm (mean \pm SD) だったため、小型 (≤ 100 mm)・大型 (100mm<) と2つのサイズクラスに分けた。大型個体では移動した個体 (13個体) よりも定住した個体 (28個体) が多く (Fig. 7), 移動した個体は大型 (13個体) よりも小型 (28個体) のほうが多く、サイズクラスにより移動と定住の傾向は異なった (chi-square test for independence, $\chi^2 = 5.52$, $P < 0.05$)。また、目視でも同様の傾向がみられた (chi-square test for independence, $\chi^2 = 5.66$, $P < 0.05$)。放流場所より上流で捕獲された場合を上流移動、下流で再捕獲された場合を下流移動とすると、上流移動が16個体、下流への移動が25個体と下流移動のほうが有意に多かった (Comparison of two proportions, $z = 1.98$, $P < 0.05$)。さらに各堰堤別に詳しく見ると、上流移動は、St. 2とSt. 3の堰堤を越えた個体が3個体 (95.7, 111.0, 120.0mmFL) と最も少なく、St. 4の堰堤を越えた個体が9個体 (82.0~120.0mmFL) と最も多かった (Table

Table 4 Individual numbers of upstream and downstream migrants above each dam (height 0.35-0.80m above pool water surface).

	Height of the dam (m)				
	0.35	0.45	0.50	0.60	0.80
Downstream migration	7	3	12	4	7
Upstream migration	9	6	7	3	3

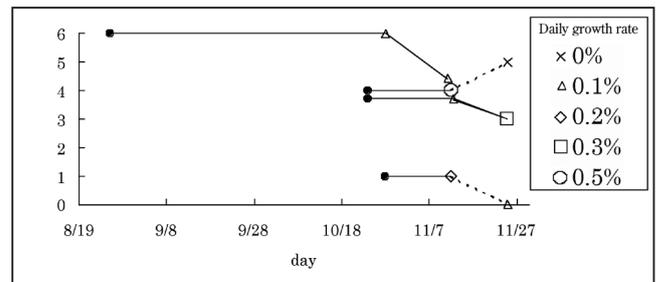


Fig. 8 Migration of fish and daily growth. Solid circles indicate first capture site, open plots indicating the second and third capture sites. Solid, bold and dotted lines indicate no change, increased and decreased daily growth rates respectively.

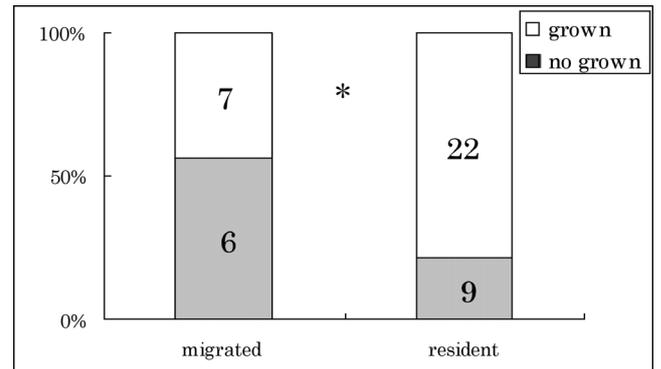


Fig. 9 Ratio of size-increased to size-stable migrants and residents. Numbers represent individual numbers. * $P < 0.05$ (chi-square test for independence, $\chi^2 = 4.051$)

4). 下流への移動では、St. 1の堰堤を越えた個体が3個体 (82.0, 84.0, 150.0mmFL) と最も少なく、St. 5の堰堤を越えた個体が11個体 (89.0~137.0mmFL) と最も多かった。

移動個体と定住個体の中で、元の尾叉長に対する平均日間成長率 (移動, $0.168 \pm 0.148\%$ $n = 13$; 定住, $0.176 \pm 0.189\%$ $n = 31$) に有意な差は見られなかった (Mann-Whitney U-test; $U = 125$, $P > 0.05$) が、3回捕獲された4個体のうち、St. 4からSt. 3へ、下流移動した1個体のみ日間成長率が0.08%から0.29%に増加していた (Fig. 8)。また、捕獲時に前回と比べて尾叉長が増加した成長個体と変化していない停滞個体が存在し、移動した個体 (成長7個体, 停滞9個体) よりも定住していた個体 (成長22個体, 停滞6個体) のほうが成長した個体数が有意に多かった (chi-square test for independence, $\chi^2 = 4.0541$, $P < 0.05$)

(Fig. 9).

考察

生息地選択

アマゴにとって好適な環境に定住個体が最も多いとすると、調査地の早川沢でアマゴが最も多く見られた St. 3は、1 m の深い淵に大きな転石が複雑に重なり合い水底に身を潜める隙間が多く、岸からの樹木のせり出しがカバーとなる場所であった（総個体数が144個体、平均密度が0.510個体/m³）。このような場所には、大型のアマゴも多く存在し、潜水して接近すると転石の隙間にすぐさま逃避した。しかも、釣りでも電気ショッカーでも捕獲が困難な場所であった。対照的に St. 1のように水深が浅く、転石が少なく、樹木の遮蔽物が存在しない場所にはアマゴは少なかった（総個体数が64個体、平均密度が0.255個体/m³）。

魚種別分布において、アマゴよりも他魚種が多く観察された場所（St. 1, 2, 5）と、逆にアマゴ以外は他魚種がほとんど観察されなかった場所（St. 3, 4）（Fig. 5）があった。アユは生息環境の濁りの影響で成長率が悪くなる（小泉・村上, 2006）ことが知られているが、早川沢は雨が降ってもすぐに濁りが引く（中道, 私信）ので、増水によって気田川が濁った場合は気田川のアユは水の澄んだ早川沢へ避難できるため、下流域（St. 1, 2）に多かったと考えられる。St. 3と4ではアマゴがほとんどで他魚種が少なく、上流（St. 5）はアマゴより他魚種が多く、他魚種のほとんどが小型のカワムツであった。St. 3と4にアマゴが優占的に分布する理由を考えると、片野（1999）によると何十尾ものカワムツはアマゴの縄張り後方に定位し、アマゴの縄張り内では摂餌することができなかつたと報告され、また、水槽実験においてカワムツからアマゴへの攻撃行動が見られず（石川ら, 私信）、さらに潜水調査においてアマゴが自分より大きなカワムツを攻撃することが観察された。これらのことから、種間関係で有利なアマゴが優占的に St. 3と4を利用し、その他の種を排除しているか、あるいは、カワムツが選好する環境がアマゴとは異なるためであろう。以上のように、アマゴと他魚種の分布の関係においても前述した St. 3のような環境はアマゴが選好する要件といえよう。

河川に生息するサケ科魚類は、主に摂餌成功率が高いスポットほど定位しやすい（谷口, 2004）とされ、餌供給量が多い場所に集まることが示唆されている。しかし、本研究では、アマゴが多く存在した樹木帯（St. 3~5）よりも、アマゴが少なかった草地帯（St. 1~2）の方が落下動物量が多かった。しかし、アマゴの死亡個体の胃内容物を調べたところ、落下動物よりも流下したと考えられる水生昆虫が多く確認された。このことより、本調査地においては流下動物もアマゴにとって重要な餌資源だと考えられる。水生昆虫の生物量は、川底の付着藻類に関係し、河畔林が増

加すると日当たりが悪くなり、河床の付着藻類が減少するため、これを餌とする水生昆虫はオープンな場所に多い（Feminella *et al.*, 1989）との報告もある。よって、河川への日当たりが良い草地帯の方が樹木帯よりも水生昆虫が多く、流下生物も多かったと推察される。

河川内構造物は捕食者の視界を遮り（Helfman, 1981）、捕食者からの物理的な避難場所を提供する（Reinhardt & Healey, 1997）。つまり、水面付近のカバーがあることと深い水深は鳥等の捕食者から発見されにくくし、さらに、複雑に重なり合った転石の隙間があれば即座に逃避できるシェルターとして機能すると考えられる。警戒を払う労力が減少し、安心して定位することができれば摂餌効率が上昇するだろう。以上のことより、早川沢においてアマゴは餌条件よりも、隠れ場所の条件で生息場所を選んだか、または、草地帯より少なかった樹木帯の餌量はアマゴにとって十分だったとすれば、水深が深く、水中の転石が複雑に重なり身を隠すスペースが存在し、水面付近には樹木のカバーがある場所を好適な環境としていることが推察された。今後は、水深や転石、カバーなどの様々な物理的要因がアマゴの定着にとって、それぞれどの程度重要なかを調べるために物理環境の定量化と摂餌量と個体成長などの関係を精査することが必要であろう。

移動

早川沢においてアマゴの大型個体は定住が多く、移動は小型個体で多かった。Nakano（1995）によると、同一の淵内に数個体のアマゴが遊泳する場合、激しい攻撃行動が観察され、他個体を排除する競争能力に最も優れた個体から順に好適な摂餌場所を占拠し、周囲を縄張りとして防衛するが、競争能力は一般に体サイズによって決定し、体サイズに依存した順位が形成される。以上のことは本調査においても観察された。さらに、優位個体は特定のローカルハビタットに定住する傾向が高いことに対し、個体間干渉によって成長が抑制される劣位個体は移動分散するものが多い（谷口, 2004）との報告がある。つまり、干渉型競争において優位な大型個体は好適な環境を占有し、そこに定住するが、劣位な小型個体は移動を余儀なくされたと推察される。

成長についてみると、移動個体は定住個体と比べ成長でなかつた場合が多いことから（Fig. 9）、移動し今よりも優位な順位を獲得し成長することは容易ではないと言えよう。つまり、移動を余儀なくされる小型個体にとって移動は必ずしもよい戦略ではないので、半数しか移動しなかつたと考えられる（Fig. 6）。逆に、大型個体で移動より定住のほうが多かったことは体サイズに依存した競争関係で優位なために移動するリスクを冒さなくとも、今居る淵の中で良い定位点を確保できるからであろう。しかし、1個体（93.4mmFL）ではあるが St. 4から St. 3に移動した個体の日間成長が上昇したことは（Fig. 8）、淵内での順位が上昇

したためと思われたが、順位は11個体中(78.4~117.2mm)9位から8個体中(91.70~114.55mm)7位と変化はほとんどなかった。よって、日間成長の上昇は前述したような物理的環境が好適な場所に移動することで、捕食者への警戒に要するコストが低くなることや、カバーによる視覚的遮蔽効果は個体干渉を緩和しうる(Fausch, 1993)ので、より摂餌に集中することができ成長したと考えられる。

また、St. 4で大型個体が全く観察されず、小・中型個体が殆どだったことは、体サイズで優位な大型個体が、隣接する好適環境のSt. 3に移動したか、他の淵と比べ容積が極端に狭かった(平均の容積は15.23m³だが、St. 4は5.55m³)ため忌避したのだろう。さらに、St. 4に他魚種が存在しないことは隣接する好適環境に定着する機会を伺っているアマゴによって占有されたのか、カバーの少ない場所でのカバーは生息場所の利用様式に対し強い影響を及ぼす(Inoue *et al.* 1997)ので、樹木のカバー(樹木のカバーはSt. 3, 4にしか存在しない)を選好した結果と考えられる。このように、好適な環境に定着できず移動を余儀なくされる劣位なアマゴの移動は、自らが効率よく成長できる場所を求めて行うもので、移動先に有利な定位点を維持することができれば成長が期待でき、有利な定位点を持っていない劣位な個体は定着できず、成長できる場所を得るために河川内を徘徊しながら索餌することが推察される。

さらに上流方向への移動に着目すると、水面からの落差35cmの堰堤と比べ、60~80cmの堰堤を越える個体が非常に少なかったこと、さらに上流よりも下流へ移動する個体が多く確認されたことから、アマゴが生息地を選択する上で、60cmより高い砂防堰堤は上流移動の阻害要因となる可能性が示唆された。しかしながら、この程度の落差であれば上流への移動が不可能なわけではなく、増水により水面が上昇することにより、減水時よりも移動が容易になると考えられる。今後、砂防堰堤の影響をさらに明確にするために、堰堤の存在しない河川におけるアマゴの移動状況および好適環境を調べ比較することが必要であろう。

本研究において劣位な小型個体が成長するために好適な環境を求め移動することが示唆された。しかしながら、堰堤により上流移動が制限され生息地選択の範囲が減少することが考えられる。小規模な砂防堰堤はアマゴ個体群の分断を引き起こさないが、小型個体の健全な成長を阻害する可能性が推察された。

謝辞

本研究を行うにあたり、気田川漁協および天竜川漁協の皆様には多くの助言と励ましを頂いた。また富士養鱒場の皆様には、調査に関するさまざまなアドバイスや調査機材の便宜をはかって頂いた。英文校閲についてはニュージーランドNagunguruのGraham S. Hardy博士にお願いした。最後に匿名の査読者に感謝いたします。ありがとうございました。

ございました。

引用文献

- Bachman, R. A. (1984) : Foraging behavior of free-ranging wild and hatchery brown trout in a stream. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 113, 1-31.
- Beamish, R. J. & T. G. Northcote (1989): Extinction of a population of anadromous parasitic lamprey, *Lampetra tridentata*, upstream of an impassable dam. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46, 420-425.
- Chapman, D. W. (1962): Aggressive behavior in juvenile coho salmon as a cause of emigration. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 19, 1047-1080.
- 遠藤 辰典・坪井 潤一・岩田 智也 (2006) : 河川工作物がイワナとアマゴの個体群存続におよぼす影響, 保全生態学研究, 11, 4-12.
- Fausch, K. D. (1993): Experimental analysis of microhabitat selection by juvenile steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) and coho salmon (*O. kisutch*) in a British Columbia stream. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50, 1198-1207.
- Feminella, J. W., M. E. Power & V. H. Resh (1989): Periphyton responses to invertebrate grazing and riparian canopy in three northern California coastal streams. *Freshw. Biol.*, 22, 445-457.
- Helfman, G. S. (1981): The advantage to fish of hovering in shade. *Copeia*, 1981, 392-400.
- Holmquist, J. G., J. M. Schmidt-Gengenbach & B. B. Yoshioka (1998): High dams and marine-freshwater linkages: effects on native and introduced fauna in the Caribbean. *Conservation Biology*, 12, 621-630.
- Inoue, M., S. Nakano & F. Nakamura (1997) : Juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) abundance and stream habitat relationships in northern Japan. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54, 1331-1341.
- 片野 修 (1999) : カワムツの夏, 京都大学学術出版会, 京都, 230pp.
- Kawanabe, H. (1989): Char (r(r)) s and masu salmon problems: a review. *Physiol. Ecol. Jpn. spec.*, 1, 13-24.
- 小泉 康二・村上 信夫 (2006) : 天竜川におけるアユ再生産状況調査, はまな, 515, 1-4.
- Mason, C. F. & S. M. MacDonald. (1982): The input of terrestrial invertebrate from tree canopies to a stream. *Freshw. Biol.*, 12, 305-311.
- Morita, K. (2002): Ecology and current status of white-spotted charr with special reference to the impact of habitat fragmentation by damming. Doctoral thesis, Hokkaido university, 154 pp.
- Moyle, P. B., B. Vondracek & G. D. Grossman. (1983): Responses of fish populations in the North Fork of the Feather River, California, to treatments with fish toxicants. *N. Amer. J. Fish. Manage.* 3, 48-60.
- Nakano, S. (1995): Individual differences in resource use, growth and emigration under the influence of a dominance

- hierarchy in fluvial red-spotted masu salmon in a natural habitat, *Journal of Animal Ecology*, 64, 75-84.
- 中野繁・井上幹生・桑原禎知・豊島照雄・北條元・藤戸永志・杉山弘・奥山悟・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研究報告, 52: 95-109.
- 中野繁・谷口義則 (1996): 淡水性サケ科魚類における種間競争と異種共存機構. 魚類学会誌, 43, 59-78.
- Reinhardt, U.G., & M.C. Healey, (1997): Size-dependent foraging behaviour and use of cover in juvenile coho salmon under predation risk. *Can. J. Zool.*, 75, 1642-1651.
- Pringle, C. M., M. C. Freeman & B.J. Freeman (2000): Regional effects of hydrologic alterations on riverine macrobiota in the new world: tropical-temperate comparisons. *Ecology*, 82, 740-757.
- 高橋 保・中川 一・里深 好文・王 浩民 (2001): 透過性砂防ダムによる土石流堆積シミュレーション, 京都大学防災研究所年報, 44 (B-2), 185-191.
- Schlosser, I. J. and L. A. Toth. (1984): Niche relationships and population ecology of rainbow (*Etheostoma caeruleum*) and fantail (*E. flabellare*) darters in a temporally variable environment. *Oikos*, 42, 229-238.
- 谷口義則 (2004): 河川性サケ科魚類における種間競争. 165-192. 前川光司編, サケ・マスの生態と進化. 文一総合出版, 東京.
- 山本裕典・山本陽介・高梨陽・中道一彦・赤川泉 (2010): 堰堤がアマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae* の定位点と捕食リスクに与える影響. 東海大学海洋研究所研究報告, 31, 9-18.

要 旨

アマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae* が小規模な砂防堰堤の連なる影響下において選好する環境条件と移動について静岡県の天竜川水系気田川支流の早川沢で調査を行った。各堰堤直下に形成される5箇所の淵を定点とし、物理的条件（水深、容積、転石、樹木などのカバー等）、落下動物量を調査し、それらの結果と定点の魚類分布からアマゴにとっての好適環境を検証した。また、標識再捕獲法を用いてアマゴの移動状況を調査した。アマゴは、水深1mの比較的深い淵で、転石が複雑に重なり合い水底に身を潜める隙間が多く、岸からの樹木のせり出しがカバーとなる場所を選好したが、餌量が最大となる場所を最も選好したわけではなかった。移動頻度は体サイズで優位な大型個体（100mmFL以上；定住28個体、移動13個体）よりも小型個体（100mmFL未満；定住26個体、移動28個体）で多かった。また、日間成長は定住個体と移動個体とで違いはなかった。移動は上流側（16個体）よりも下流側（25個体）への方向に多く、上流への移動では水面からの落差が60-80cmの堰堤を越えて移動することが少なかった。砂防堰堤がアマゴの上流への移動阻害要因となることが示唆され、特に移動が多い小型個体ではこの要因が生息地選択に影響を与えることが明らかになった。