

## 静岡県富士川支流大倉川におけるアマゴの生息地環境評価と 誘発した数日間での移動による生息地選択

檜島 弘隆\*<sup>1</sup>・齋藤 竜也\*<sup>1</sup>・沼澤 匠究\*<sup>2</sup>・漆原 正義\*<sup>2</sup>・相原 広太\*<sup>2</sup>・  
川嶋 尚正\*<sup>3</sup>・鈴木 邦弘\*<sup>4</sup>・赤川 泉\*<sup>2</sup>

Environmental evaluation of habitat for red-spotted masu salmon,  
*Oncorhynchus masou ishikawae* and habitat choice of their short term movement  
by release at the center of the study area in the Okuragawa stream, Fuji River system, Japan

Hiroataka NARASHIMA, Tatsuya SAITO, Taku NUMAZAWA, Masayoshi URUSHIHARA, Kouta AIHARA,  
Naomasa KAWASHIMA, Kunihiro SUZUKI and Izumi AKAGAWA

### Abstract

Successful competition between individuals of the Japanese Red-spotted masu salmon, *Oncorhynchus masou ishikawae*, a mountain stream species, is directly related to body size, small sized individuals being so disadvantaged that they frequently move between pools. However, few studies have been reported on consecutive short term movements of individual fish. Individual red-spotted masu salmon movements were investigated over several days in the Okuragawa stream, Fuji River system, Shizuoka Prefecture, Japan, using the mark recapture method. Ten stations (each 15m long) were established in the upper reaches of the stream, above the Okura-dam, there being no further dams or artificial structures for river bank protection. Environmental factors, including pool size, vegetation and cover, were evaluated on the basis of suitability for red-spotted masu salmon habitat, resulting in the most upstream stations being determined as providing better habitat conditions than those downstream. Captured fish were divided into three size classes, and released at the center of the study area and their movements monitored. Small individuals moved upstream in significant numbers rather than downstream whereas large ones dispersed equally both upstream and downstream, contrary to expectations based on the habitat evaluations. The large individuals appeared to avoid sharing the same pool with other, similarly sized fish.

### 緒言

日本国内の河川は土砂災害の防止や治水目的で、改修や植林、ダムや砂防堰堤、および林道の建設などにより、多くの人為的な影響が与えられてきた。このような環境の改変は河川の生態系に大きな攪乱をもたらす。例えば、日本の河川の上流域に生息するサケ科魚類は古来より山間部の貴重な食用魚として知られているのに加え、近年では溪流釣りなどの対象として人々から好まれているが、ダムや砂防

堰堤の建設により生息地が減少し（中野ら、1995）、通し回遊魚であるサケ科魚類の降海や遡上が妨げられ、その個体群の分断や細分化につながっている。

更に、河畔の広葉樹林は水温の上昇抑制機能（平野ら、2003）や陸生昆虫の落下による餌資源の供給（永田ら、1998）などの効果をもたらすことが知られているが、スギなどの針葉樹の植林や林道の建設により河畔の環境も著しく悪化している。これら改変を受けた生息環境の保全や復元は急務であり、わが国でもそれらを目的とした公共事業が展開されつつある。しかし、河川生態学の基礎研究を待

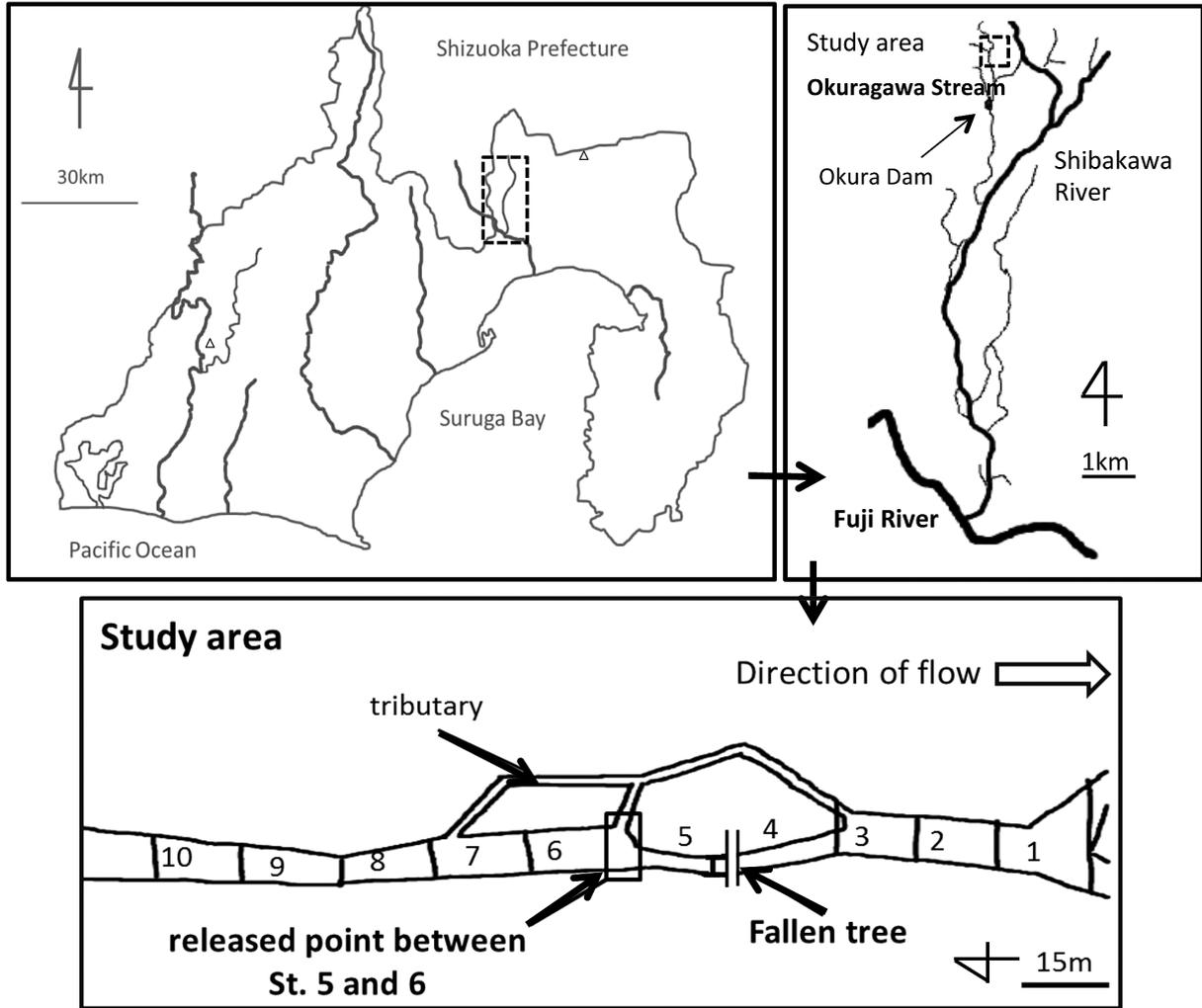
2013年12月25日受付 2014年2月25日受理

\* 1 東海大学海洋学研究科水産学専攻 〒424-861 静岡市清水区折戸3-20-1

\* 2 東海大学海洋学部海洋生物学科 〒424-861 静岡市清水区折戸3-20-1

\* 3 静岡県経済産業部水産局水産振興課 〒420-860 静岡県静岡市葵区追手町 9-6

\* 4 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 area in the Okuragawa stream ( $34^{\circ} 32' N$ ,  $138^{\circ} 57' E$ .) in Shizuoka Prefecture. Numericals 1~10 indicate each station.

たずに着手され、見かけの風景だけが再生される危険性もはらんでいる (福島, 2004)。

アマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae* をはじめとする河川封入型のサケ科魚類は河川内で広大な産卵回遊を行うことが知られている (Northcote, 1978)。一方で、河川の淵などに定着し、同種個体間で餌資源や空間資源の獲得をめぐる直接的な干渉行動 (攻撃行動) が見られる (Chapman, 1962)。また、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)。Nakano et al. (1990) は、非繁殖期における成魚の局所的な移動は同じ淵内に生息する個体との間の社会的関係に起因すると示唆した。また、齋藤ほか (2013) では、小規模な堰堤が存在する河川におけるアマゴの生息地選択と移動が研究されている。これらの研究は月単位の長期間の移動のみに着目しているが、天然の溪流における短期間の移動に着目した知見は乏しい。

本研究では、天然の溪流における淵の環境をアマゴの生息地として評価した。個体識別したアマゴを一ヶ所にまとめて放流することで移動を誘発し、各個体の移動を数日ごとに追跡した。淵に生息するアマゴの個体数と体サイズを調べ、環境評価と生息地選択の関連を明らかにした。また、自然環境下でのアマゴの移動の能力と、体サイズごとの移動の違いを調べた。さらに改修河川におけるアマゴの移動との比較を行うことで、溪流の生態系の保全に関する一端を担うことを目的とした。

## 材料と方法

### 調査地

調査を行った大倉川は静岡県富士宮市の佐折地区に源流を発し、精進川地区で芝川と合流する富士川水系の河川である (Fig.1)。天然の瀬と淵が連続しており河川型はAa型である (可児, 1944)。佐折地区の天子ヶ岳の登山道入

**Table 1.** Basis of physical environment assessment

Category		Scores			
		0	1	2	
Pools	Max area	<30.9 m <sup>2</sup>	30.9-37.4 m <sup>2</sup>	37.4 m <sup>2</sup> <	
	Total of area	<44.8 m <sup>2</sup>	44.8-56.7 m <sup>2</sup>	56.7 m <sup>2</sup> <	
	Max depth	<67.5 cm	67.5-84.5 cm	84.5 cm<	
Vegetation	Riparian trees	Bank	Open up	One bank	Both banks
		Broad leaf tree	-	+	
	Cover	Fallen tree	-	+	
		Root of tree	-	+	
	Percentage of vegetation	<43%	43-75%	75%<	
Others	Boulders	<4	5-7	8<	
	Tributary	-	+		

り口より上流を調査区とし、標高は約505-555mで平均勾配は約6%であった。周囲の植生は主にスギ *Cryptomeria japonica* などの二次林で、調査区内には堰堤などの人工物は存在しない。魚種組成はアマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae*, アブラハヤ *Phoxinus logowskii steindachneri* とカジカ *Cottus pollux* の3種のみで、調査区より1.5km下流に大倉ダムがあるため本流の芝川からの魚類の遡上はない。

調査区のうち下流から距離150mの区間 (Fig.1) を上流方向に15mごとに区切りステーション1~10を設け、各ステーションの淵の環境評価と移動誘発実験を行った。

### 環境評価

調査区の環境評価を2011年9月21日に行った。ステーションごとにアマゴの生息する淵を調べ、生息空間としての淵の数とサイズ、上空の外敵から身を守るために役立つ淵の溪畔林やアマゴの隠れ家となる遮蔽物としての植生 (Li et al., 1994), さらにアマゴの生息地の多様性を上げる要因として転石 (Nakano et al., 1998) や、避難場所としての支流 (Koizumi et al., 2013) についてその他という項目にまとめ、それぞれステーションごとに点数を付けて評価した (Table 1)。

淵のサイズは、淵の縦横の最大長の積を面積とし、ステーション内の最も大きい淵の面積である最大面積、ステーション内の全ての淵の面積を合計した合計面積、ステーションの最大水深の3項目を測定した。淵の最大面積と合計面積は各ステーション内の数値が全実験区の50~75%値なら1点、75%値より高い場合を2点とした。最大水深は、各ステーションの最大水深が全調査区の50~75%値なら1点、75%値より高い場合を2点とした。

植生は、淵の溪畔林、溪畔林が広葉樹であるか、遮蔽物、淵にかかる植生被度の4項目を調べた。植生のうち、

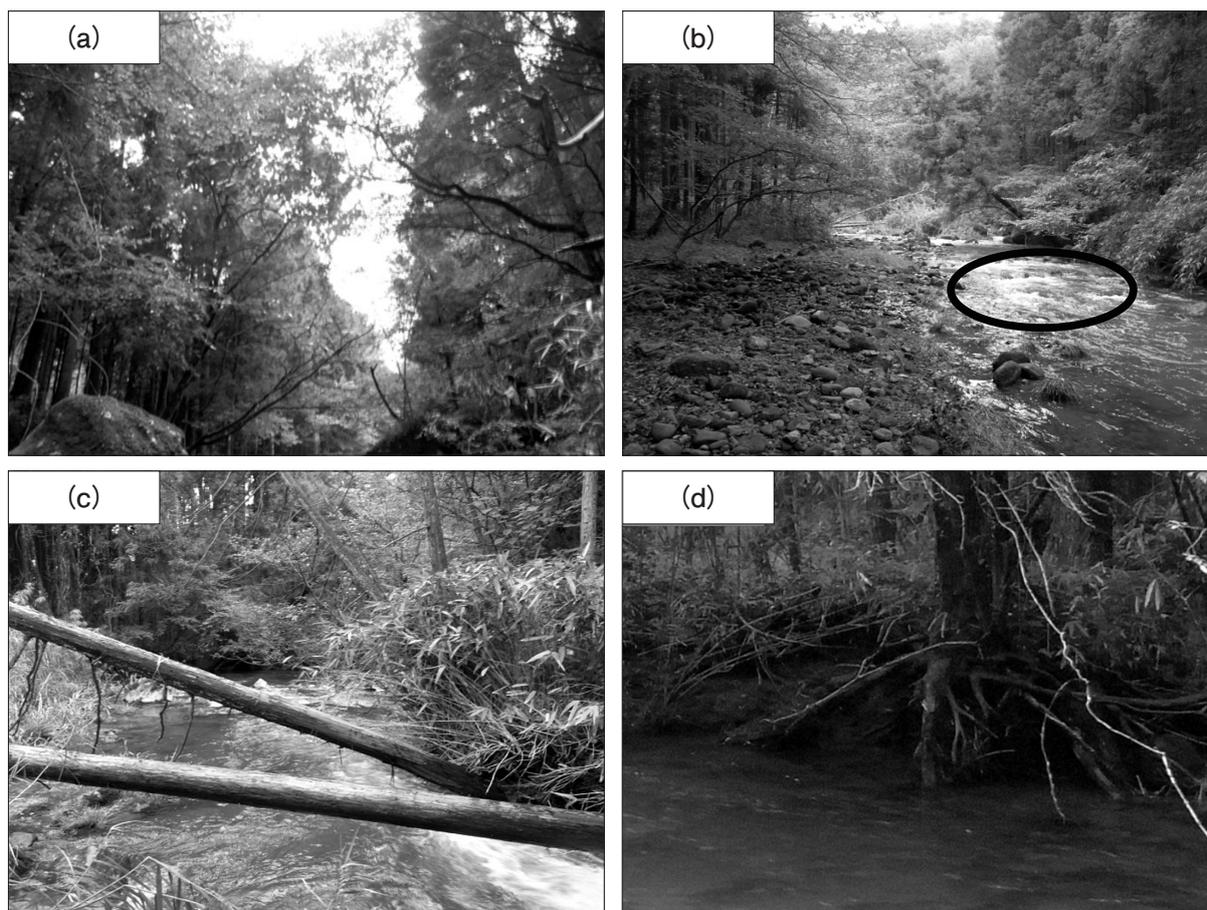
水面から50cm以上に存在するものを溪畔林、水面から50cm以下、もしくは水中に存在するものを遮蔽物とした。淵の溪畔林は、淵の兩岸の開け具合 (Fig.2a, b) に着目し、兩岸にあれば2点、片岸のみなら1点を与え、溪畔林の植生の種類が、広葉樹ならば1点、それ以外は0点とした。遮蔽物は、倒木や岸からせり出した木の根 (Fig.2c, d) があればそれぞれ1点を与えた。被度は淵に掛かる植生の割合を目視で求めた。調査区内の全ての淵について被度を求め、各ステーション内の淵の平均値が50~75%なら1点、75%を超えていれば2点とした。

その他の項目は、転石と支流について調べた。転石はステーション内の直径80cm以上の転石の数を数え、各ステーションの転石の個数の平均値が実験区内の50~75%値の場合1点、75%値を超えていれば2点とした。支流は、存在すれば1点を与えた。

### 移動誘発実験

アマゴの捕獲調査を Sts.1~10において同年8月2日、6日、10日、20日、29日、9月10日、13日に行った。捕獲はエレクトロフィッシャー (SMITH-ROOT INC., MODEL 12-B, 以下、ショッカーとする) を使用し3~4人で行い、1人がショッカーをかけながら川を遡り、動きの止まった魚をすぐ後から進む2人が手網で捕獲し、8月6日以降の調査ではさらに1人が後方でさで網によって捕り逃しを捕獲した。

捕獲した個体は尾叉長を測定し、サイズ別に色分けし (小型, <100mmを白; 中型, 100mm≤, <150mmを赤; 大型, 150mm<を黄), 個体ナンバーを記載したりボンタグ (三浦理化産業株式会社, 30mm×20mm) を脂鰭と背鰭の間に縫い付けた。ショッカーの影響がなくなったことを確認後、できるだけ早く、調査区の中央に位置する St.5と St.6の間に放流した。最初の8月2日に捕獲した個体に



**Fig.2.** Photographs showing the examples of the environmental evaluations in the Okuragawa stream. (a) Riparian trees along both riversides in St.9. (b) Cover degree less than 50% in St.2. Circle indicates the river surface with cover less than 50%. (c) Fallen trees over the pool in St.4. (d) Roots of tree in the stream in St.5.

については、捕獲場所を記録しなかった。8月6日以降に捕獲された個体は、捕獲場所を記録した。初回捕獲個体は St.5と St.6の間に放流し、再捕獲個体は再捕獲時と同じ地点に放流した。タグが脱落したと思われる個体は、St.5と St.6の間に再放流した。再捕獲時に St.7～10で捕獲された個体を上流移動、St.1～4で捕獲された個体を下流移動、St.5と St.6で捕獲された個体は定住と定義した。再捕獲個体について、再捕獲までの日数、放流地点からの移動方向（上流・下流）と距離、体サイズについて調べた。

#### 統計解析

ステーション別の環境評価における各項目の比較には Mann-Whitney  $U$ -test を用いた。植生の被度の比較は Kruskal-Wallis test を用いた。ステーションごとのアマゴの捕獲個体数を比較する為に  $\chi^2$  test を用いた。移動誘発実験での、アマゴのサイズ別の移動性の違いを明らかにするために 2-sample test for equality of proportions を用いた。また上流移動と下流移動の方向と距離は  $\chi^2$  test を用いて比較した。調査区は上流部 (St.1～4) と下流部 (St.7～10)

に分けて比較した。

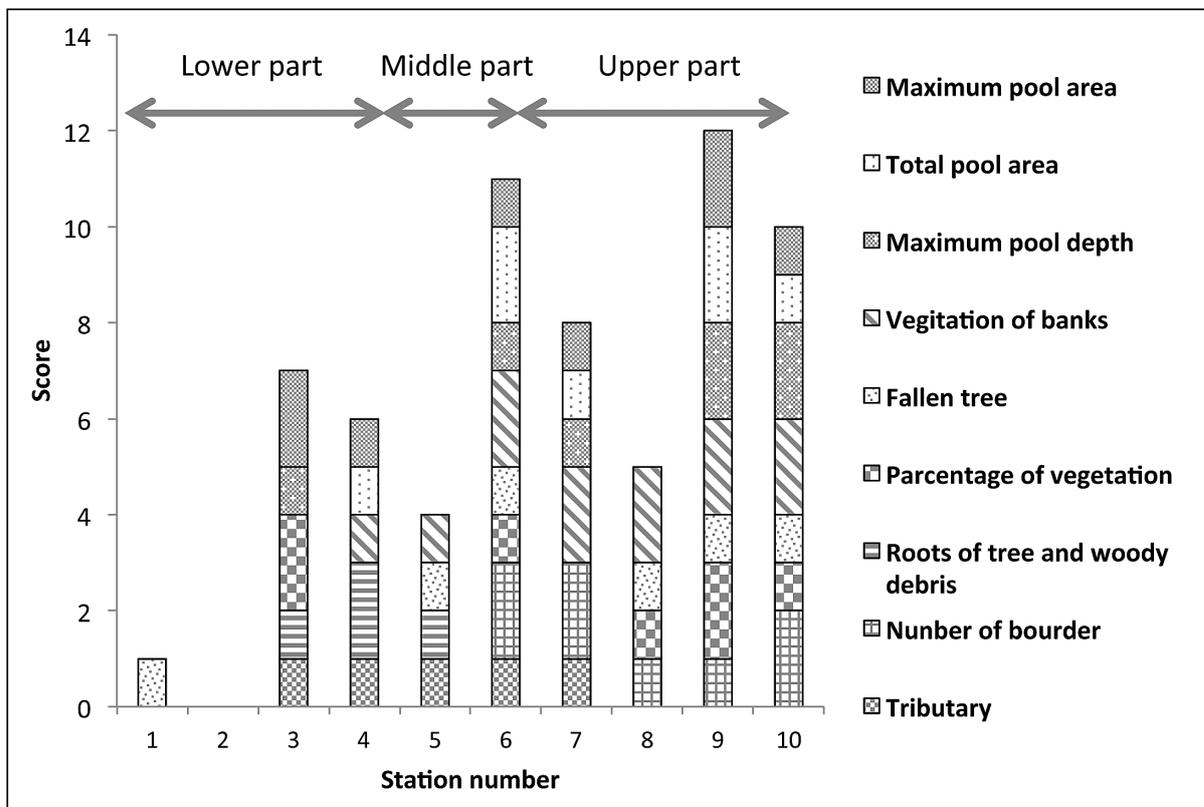
## 結果

### 環境評価

実験区の環境評価のデータ (Table 2) と各ステーションの得点 (Fig.3) を示した。実験区内には計34の淵が確認され、各ステーションの淵数は平均  $3.4 \pm 1.4$  (mean  $\pm$  SD)、最多は5個 (St.1, 5, 6) で、最少は1個 (St.3) であった。下流部と上流部の淵の数に有意な差は無かった (Mann-Whitney  $U$ -test,  $U=9.5$ ,  $P>0.05$ )。淵の面積は平均で  $13.5 \pm 13.1$  (1.2～57.4)  $\text{m}^2$  であった。最大面積の淵は St.9、最小面積の淵は St.2 にあった。しかし、下流部と上流部に分けても淵の面積に有意な差は無かった (Mann-Whitney  $U$ -test,  $U=45$ ,  $P>0.05$ )。各ステーションにおける淵の最大面積も下流部と上流部に有意な差は無かった (Mann-Whitney  $U$ -test,  $U=5$ ,  $P>0.05$ )。淵の合計面積では、最大は St.9 の  $77.1 \text{m}^2$  で、最小は St.2 の  $24.7 \text{m}^2$  であった。淵の最大水深は平均  $69.5 \pm 19.1$  (40～125) cm となった。

**Table 2.** Result of characteristics at each station in Okuragawa Stream

		Lower part				Middle part			Upper part		
		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10
Pool	Number	5	3	1	4	5	5	3	3	2	3
	Maximum area (m <sup>2</sup> )	11.8	13.9	40	36	10.3	33.8	36.5	16.5	57.4	28
	Total area (m <sup>2</sup> )	39.8	24.7	40	50	29.2	68.1	49.7	28.2	77.1	52.9
	Maximum depth (cm)	55	60	84	66	59	81	69	60	102	86
	SD	10	8		19	9	15	8	8	22	12
Vegetation	Riparian trees				One bank	One bank	Both	Both	Both	Both	Both
		Bank	-	-	-	One bank	One bank	Both	Both	Both	Both
		Broad leaf tree	+	-	-	-	+	+	-	+	+
	Cover	Fallen trees	-	-	-	+	-	-	-	-	-
		Roots of tree	-	-	+	+	+	-	-	-	-
	Mean percentage of vegetation	Mean	14	10	90	12.5	40	46	10	73.3	80
	SD	31.3	10		25	33.2	28.8	10	15.3	0	
Others	Number of boulders	4	3	2	4	4	8	8	6	5	12
	Tributary	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-



**Fig.3.** Result of environmental assessment at each station.

最も深い淵は St.9 に、最も浅い淵は St.1 と St.4 にあった。しかし、下流部と上流部の最大水深には有意な差はなかった (Mann-Whitney *U*-test,  $U=39.5$ ,  $P>0.05$ )。

実験区内の淵を覆う溪畔林の被度は、平均で  $37.1 \pm 33.3\%$  ( $n=34$ ) であったが、実験区内の上流部の St.7~10 が平均  $53.6 \pm 31.4\%$  ( $n=11$ ) と高いのに対し、下流部では St.1-4 では平均  $18.5 \pm 31.0\%$  ( $n=13$ ) となった。また、St.5~6 の淵の被度は  $43.0 \pm 29.5\%$  ( $n=10$ ) であった。淵の被度は St.1~4 と St.5~6 と St.7~10 において上流に向かうほど有意に高くなった (Kruskal-Wallis test,  $\chi^2=5.9915$ ,  $P<0.05$ )。河畔林の広葉樹は St.1, 5, 6, 8~10 に含まれていた。遮蔽物として、倒木は St.4 にのみ確認された。木の根が川の中にせり出す部分は、St.3~5 で確認された。

転石は全ステーションから確認され平均  $5.6 \pm 3.0$  (個)、St.10 に最も多く、その数は 12 個であった。また、上流部 (St.6~10) は下流部 (St.1~5) より有意に多くの転石が存在した (Mann-Whitney *U*-test,  $U=0$ ,  $P<0.01$ )。支流は St.3 と St.5 と St.7 をつなぐ 1 本が確認された。

物理的環境評価の結果、最も得点が高かったのは St.9 で 12 点となった。淵のサイズに優れ、淵の最大面積 (57.4 m<sup>2</sup>)、合計面積 (77.1 m<sup>2</sup>)、最大水深 (102.5 cm) で全て最高点を記録した。また淵の両岸に広葉樹の植生が存在し、高い被度 (80%) があった。次に得点が高かったのは St.6 で 11 点となった。St.6 は、淵の最大水深 (81.8 cm) と両岸の植生と被度 (46%) で得点があった。次に得点が高かった St.10 は、淵の合計面積 (53.0 m<sup>2</sup>) と最大水深 (86.7 cm) に優れていた。植生は淵の両岸に存在し、被度も高かった (60%)。また、転石数で得点を得た (2 点)。St.7 は淵の最大面積 (36.5 m<sup>2</sup>) と最大水深 (69.7 cm)、転石の数に優れ ( $n=8$ )、支流による得点があった。St.3 は淵の最大面積 (40 m<sup>2</sup>) と最大水深 (84 cm) および植生の被度 (90%) に優れており、St.4 は遮蔽物では木の根と倒流木の両方で得点があり、さらに支流による得点もあった。一方で、St.2 は最も得点が低く 0 点であった。実験区の平均得点は 6.3 点であり、各ステーションの得点について下流部と上流部で有意な差は見られなかった (Mann-Whitney *U*-test,  $U=4$ ,  $P>0.05$ )。この得点から調査区内でアマゴにとって最も好適な生息環境は St.9 であり、また、アマゴの生息に最も適さない環境は St.2 となった。

### 移動誘発実験

7 回の調査で計 347 個体を捕獲した。捕獲したアマゴの総平均尾叉長は  $105.4 \pm 25.8$  (63~180) mm であった。初回捕獲されたアマゴは 230 個体であった。再捕獲されたアマゴは 117 個体 (初回捕獲の 32.8%) で、平均尾叉長は  $107.6 \pm 25.2$  (72~174) mm であった。再捕獲された個体のうち 18 個体 (初回捕獲の 6.3%, 再捕獲の 19.1%) は 3 回捕獲され、さらにそのうち 4 個体 (初回捕獲の 1.4%, 2

回捕獲の 4.8%) は 4 回捕獲された。実験中の同一個体における最多捕獲回数は 5 回であった。

初回捕獲した個体数は St.10 が最も多く ( $n=43$ )、St.3 が最も少なかった ( $n=13$ , Fig.4a)。しかし、体サイズごとの捕獲個体数はステーション間において有意な差が見られなかった ( $\chi^2$  test,  $\chi^2_{cal}=21.13$ ,  $P>0.05$ ) (Fig.4a)。再捕獲個体数では St.6 が最も多く ( $n=23$ )、St.2 が最も少なかった ( $n=1$ )。再捕獲個体は体サイズごとの捕獲個体数がステーション間で異なる傾向が見られた ( $\chi^2$  test,  $\chi^2_{cal}=16.98$ ,  $P<0.1$ ) (Fig.4b)。

小型個体は St.6, 7, 8 で捕獲された個体が最も多く ( $n=11$ )、St.2 が最も少なかった ( $n=1$ )。下流移動では St.1 への移動が最多であった ( $n=6$ )。上流移動では St.7・8 への移動が多いのに対し、St.9, 10 へ移動した個体が少なかった (St.9,  $n=13$ ; St.10,  $n=3$ )。

中型個体は St.6 で多く再捕獲された ( $n=14$ )。移動した個体では St.4 への移動が最も多かった ( $n=6$ )。下流方向では St.2 に移動した個体がいなかったのに対し、上流へは各ステーションに移動していた。大型個体は St.6 に定住した個体が最も多かった ( $n=3$ )。上流移動では St.7 以外に移動し、下流移動では St.2 以外に移動していた。

放流から再捕獲までの最短日数は 3 日、最長日数は 42 日となった (Fig.5)。放流から 3~12 日後には上流 75~90 m で 4 個体が再捕獲された。また 9 日後には下流 75 m から再捕獲された (Fig.5)。最大で調査期間中の 9 日間に 150 m 移動した個体もいた。また、上流移動と下流移動の移動方向と距離に有意な差が見られた ( $\chi^2$  test,  $\chi^2_{cal}=10.94$ ,  $P<0.05$ )。

放流した個体は中型と大型のサイズクラスではほぼ同じ割合で移動と定住が見られた。小型個体は上流移動と下流移動に有意な差が見られた (2-sample test for equality of proportions,  $P<0.01$ , Fig.6)。下流移動と定住の比率では差のある傾向がみられた (2-sample test for equality of proportions,  $P<0.1$ )。小型個体は中・大型個体より上流へ移動する割合が高く (2-sample test for equality of proportions,  $P<0.05$ )、サイズが大きくなるにつれて移動方向に偏りは見られなくなった (Fig.6)。また、中・大型個体は定住の比率が小型個体より有意に高かった (2-sample test for equality of proportions,  $P<0.05$ )。

## 考察

### 環境評価

上流部には平均得点より高いステーションが多く、高得点のステーションは、特に淵サイズの項目で得点していた。過去の研究では、サケ科魚類の生息量と淵の数や面積の間には正の相関がみられたことから (Bowly and Roff, 1986; Murphy et al., 1986; Fausch and Northcote, 1992)、本研究においても淵のサイズをアマゴの生息場所として評価

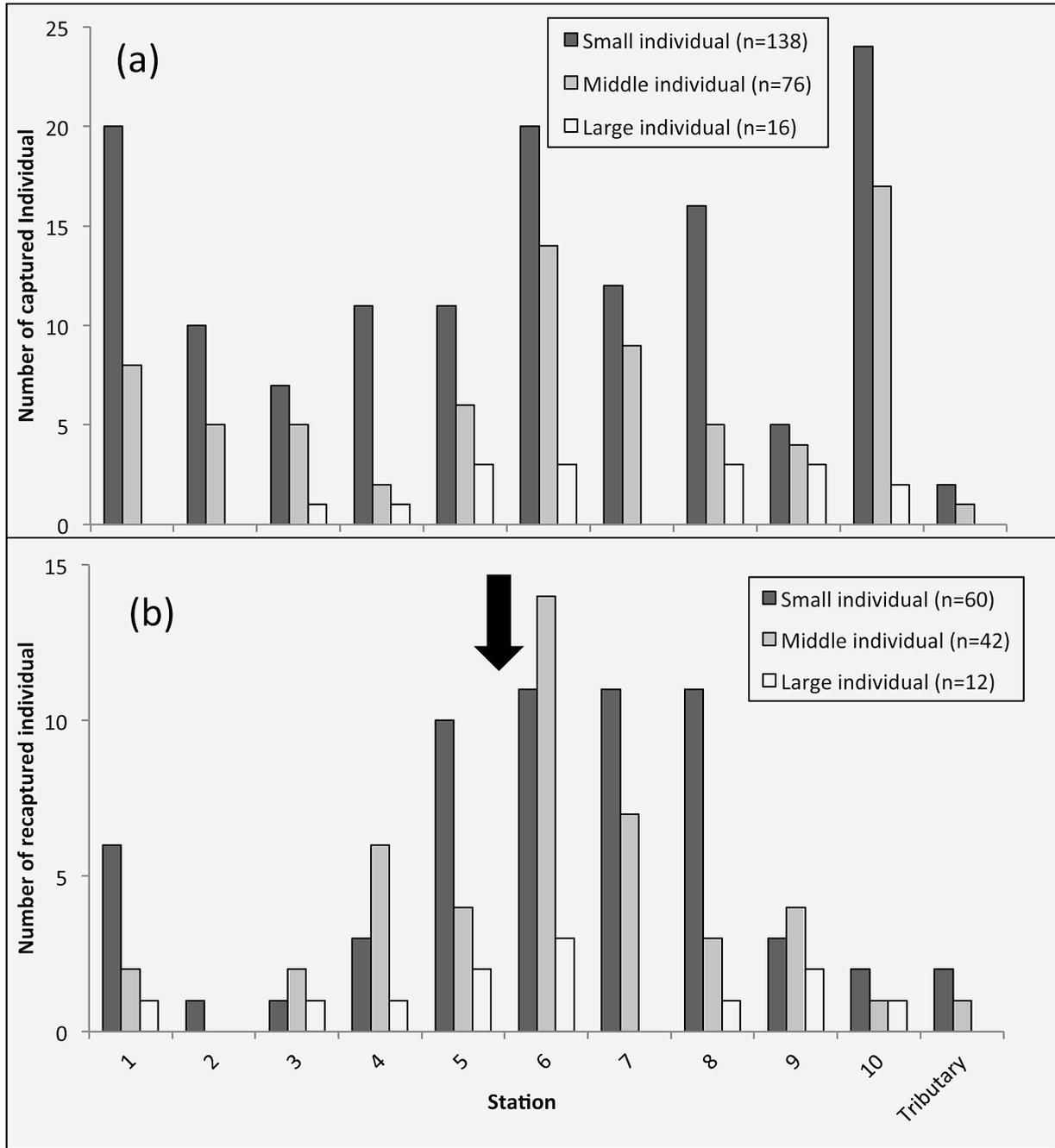


Fig.4. Small (<100mmFL), middle (100mmFL<, ≤150mmFL) and large (150mmFL<) individual number of captured (a) and re-captured (b) at each station. Arrow shows the released point.

した。また、水深が深い場所は捕食者から捕食されにくい  
ため (Schlosser, 1987; Harvey and Stewart, 1991), St.9の  
ように淵の面積と最大水深共に2点を得点した場所は、ア  
マゴの好適環境と考えられる。一方、St.10では転石の数  
が圧倒的に多い (Table 2)。転石のような速い流れを遮  
るカバーの周りに定位することは、効率的な摂餌を可能に  
し、サケ科の魚類にとって有利となる (Faucsh, 1993;  
Mclaughlin and Noakes, 1998)。また、上流部で見られた  
ような溪畔林の高い被度 ( $53.6 \pm 31.4\%$ ,  $n=11$ ) は、溪  
畔林樹冠のもつ日照遮断効果 (Brown and Krygier, 1970,

中村・百海, 1989) による水温の上昇抑制機能があり、倒  
流木を初めとするさまざまなカバーの構成材料を供給する  
(Beschta and Palts, 1986; Bisson et al., 1987)。

下流で一番評価の高かった St.4にのみ調査区の中で唯一  
倒木が見られた。倒木によって形成される淵は魚類の生息  
場所にとって重要であり (Bisson et al., 1987), 外敵から  
身を隠すのに適し (Everett and Ruiz, 1993), 速すぎる水  
流を避けるカバーを提供する (Shirvell, 1990)。また、St.3  
~5に存在する木の根は水中におけるカバーとなる。河川  
内の構造物は捕食者の視界を遮り (Halfman, 1981), 捕

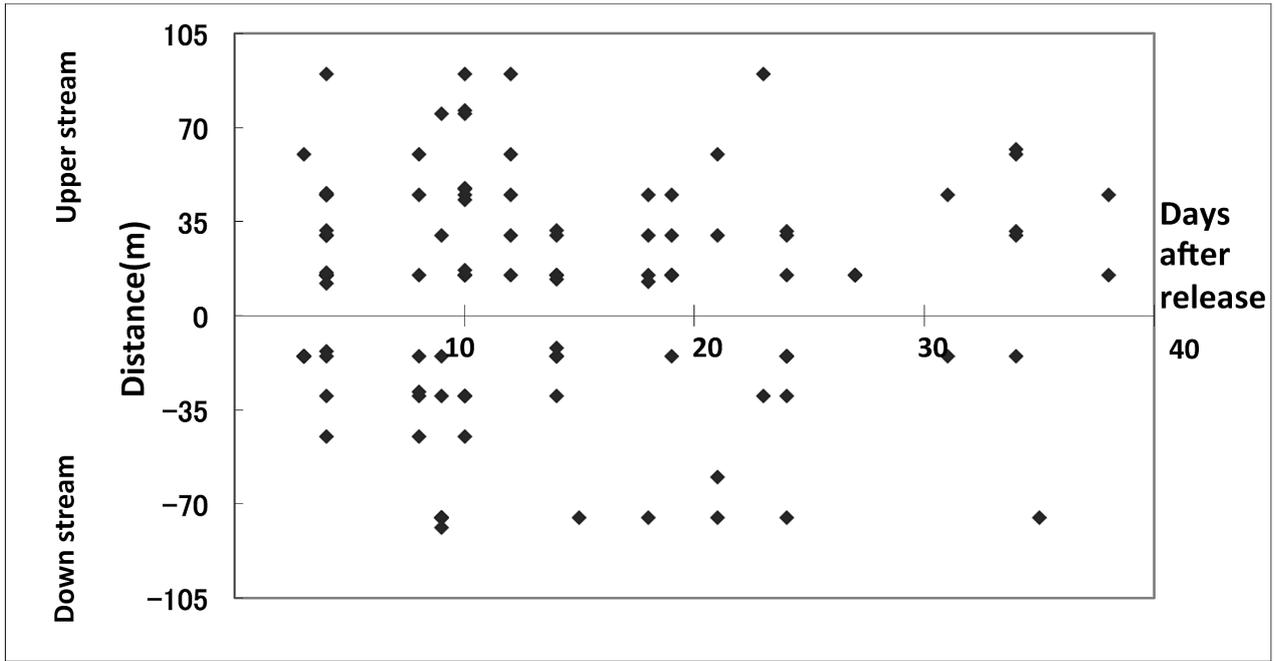


Fig.5. Days after release and distance from release point of recaptured fish.

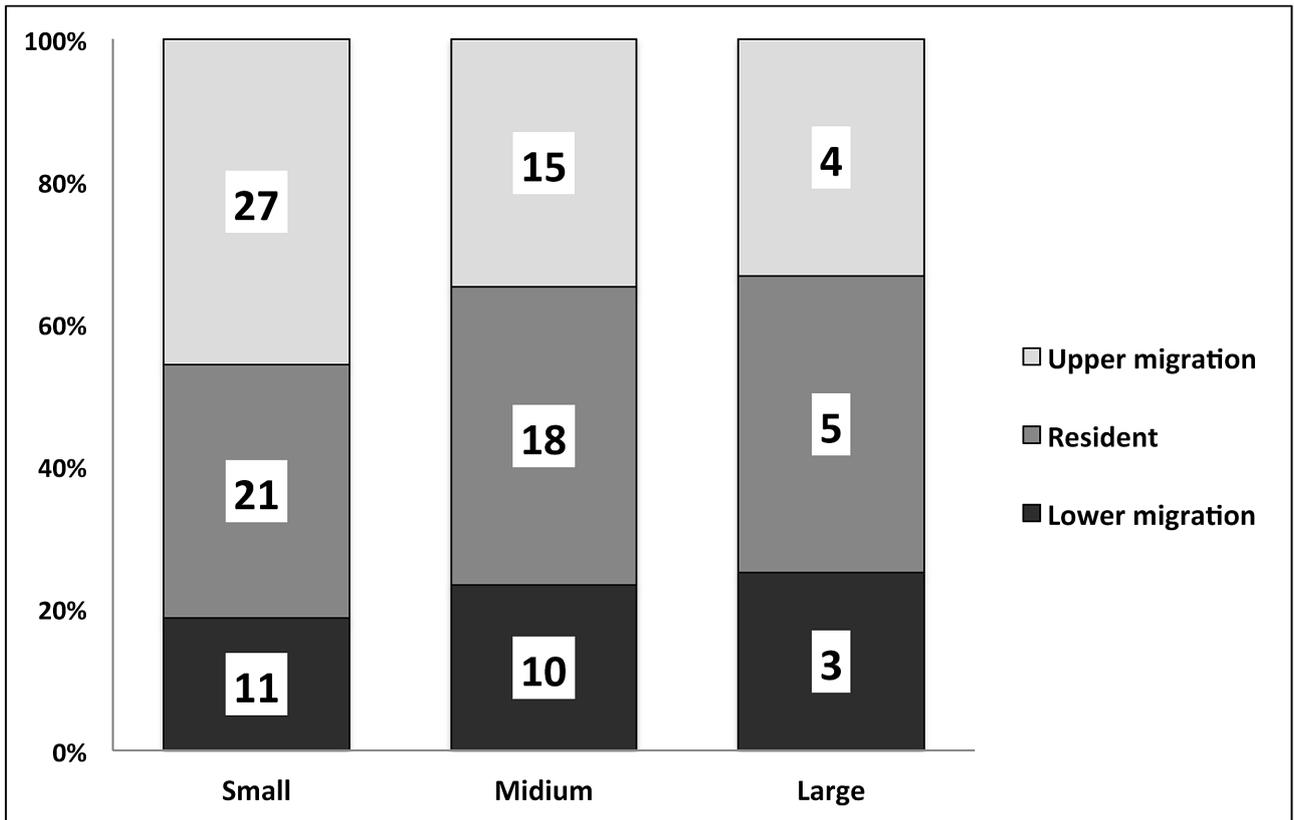


Fig.6. Percentage of migration and resident individuals in each size class. The small individuals significantly migrated upstream than middle and large individuals (2-sample test for equality of proportions,  $P < 0.01$ ).

食者からの物理的な避難場所を提供する (Reinhard and Healey, 1997) と共に、捕食圧の軽減以外に個体間干渉も緩和しうる (Fausch, 1993). カバーには環境収容力を高

める効果があるとみなされている (DeVore and White, 1978; McMahon and Hartman, 1989). 一方, St.2は最も評価が低く、どの項目でも得点することが出来なかった (0

点, Fig.3). したがって, 特に評価の高い St.9, 10に多くのアマゴが集まり, 下流では St.3に多くのアマゴが集中すると予想された.

### 移動誘発実験

一つの淵に集中してアマゴを放流することは, 警戒心と縄張り意識の強い(中野ら, 1989)アマゴの移動を誘発することが期待できる. 特に生息地をめぐる競争に有利とされる大型個体(Jenkins, 1969; Bachman, 1984; Nakano, 1994, 1995a)も移動をしていた(Fig.6). アマゴの成長は淵内の種内競争によって変化する(Nakano et al., 1991)ため, 体サイズが大きい個体同士も互いの生息する淵が重複することを避けて移動したと考えられる. 大型個体は, 放流地点に定住して他の大型個体と競争をするより, 移動して生息地の重複を避ければどの淵でも優位個体になりうる. よって, 大型個体の移動に方向性が見られなかったことは, St.2のような生息に不適切な環境でない限り, ある程度生息地を厳選せずとも優先的に空間を利用し自身の成長を十分支えられることを示唆する.

一方, 小型個体は社会的順位が低くどの淵においても好適な位置を占めることは難しい. よって, 好適環境が多い上流方向へと移動する個体が多かったと考えられる(Fig.6). しかし, 移動先の環境に必ず定住できる訳ではなく, 移動先の環境でも他個体との種内競争にさらされることは想像できる. また, 魚類の遊泳力は成長に伴って増加するため(久保, 1976; 塚本ら, 1991), 遊泳力の弱い小型個体は移動を行う場合にも制限がかかると考えられる. 特に St.9, 10の間では St.9の淵に大きな落差があるため移動できた小型個体( $n=2$ )が少なかったと思われる. 小型個体の移動は, 好適環境への定住を目指す一方で, 遊泳力と落差などの物理的障壁と種内競争から移動先がある程度制限されていると推察される. この様な遊泳力や, 個体間干渉と移動との関係は, 大型個体は移動先のステーションが分散していた点, 中型個体が方向性を示さず移動しているにも関わらず St.6に定住する個体( $n=14$ )が最も多かった反面, 環境評価の高かったステーションによく移動していた点(Fig.4), 小型個体は上流部で最も評価の高い St.9, 10ではなく( $n=5$ ), より近い St.7, 8に移動を行い( $n=11$ ), 下流部では中型個体が多く捕獲された St.4を飛び越え, St.1に多く移動していた点への裏付けになる(Fig.4). 環境評価で最低であった St.2でアマゴは極端に少なく(Fig.4), 我々の環境評価と一致していた.

大倉川におけるアマゴの短期間における移動と生息地選択について検証する. まず, 環境評価によって, 調査区内では上流側がアマゴにとって好適な環境であることが推測された. 実際の生息地選択に着目すると, 小型個体では上流方向への移動が有意に多く, 好適環境を求めて移動する可能性がうかがえた. 一方, 改修の行われた河川では, アマゴの移動は下流側に多く(齋藤ら, 2013), 本研究と

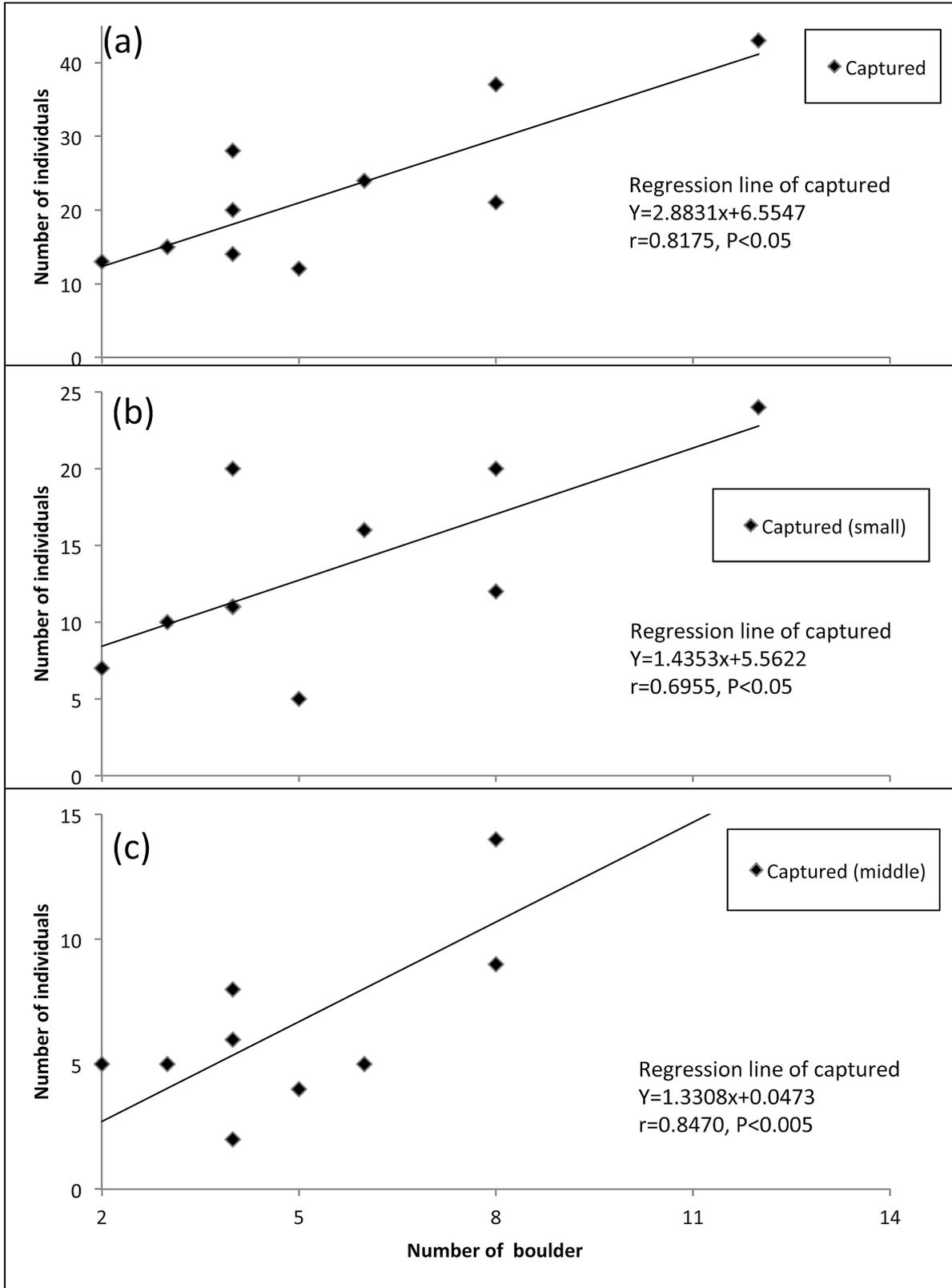
は移動の仕方が異なっていた. 本研究では大型個体は移動に方向性を示さず, 中型個体は定住するものが最も多かった. 放流した St.6の環境評価が高く, また体サイズの大きな個体が定住をしたことから, これまでの研究と同様にアマゴの移動と定住の傾向は体サイズに依存(Jenkins, 1969; Bachman, 1984; Fausch, 1984; Elliott, 1990; Nakano, 1995a)している可能性を示唆する.

初回捕獲のアマゴの移動・定住を環境評価の結果との関係を見ると, 調査区内の転石の数のみに有意な相関が見られた( $n=227, r=0.8175, P<0.05, \text{Fig.7a}$ ). 体サイズを分けると, 転石と相関があったのは小・中型個体のみであった(Fig.7b, c). しかし, 転石と再捕獲個体数は全ての体サイズで有意な相関が見られなかった. また, 環境評価の得点と初回捕獲個体, 再捕獲個体の間に有意な相関が見られなかったため, 本研究の環境評価では, アマゴの生息地選択について十分な説明が出来なかった(Fig.8).

本研究では, 遊泳力の低い小型個体のみ, 上流方向へ移動する傾向が強く見られた. これは, アマゴの個体成長は淵内の種内競争に影響されるため(Nakano et al., 1991), 生じた傾向であると考えられる. 大型個体は互いの生息淵が重複しない限り, その淵内で成長・生残に好適な空間を利用することができるため, 今回の移動実験のように同じ淵に放流をするなど特定の場を除いて移動を繰り返す必要はないと考えられる. しかし小型個体は, 自身が獲得できる空間はより大型の個体の影響により決定されるため, 少しでも好適な空間を求めて移動を行い, 移動先に縄張りを構えることができれば成長が期待でき, 定着できない個体は「不利な状況下で最善を尽くす戦術」(Dawkins, 1980)を採用し, 更に河川内を移動しながら索餌し, あわよくば縄張りの確保を狙うと考えられる. そして中型個体は, 大型個体ほどではないが小型個体よりも好適な空間を利用できる. そのため, 移動の方向としては, 上・下流両方に同程度の移動傾向をみせたが, 一方で定住を選択する個体が小型より多かった. 今後は, 各個体の移動能力と餌生物との関わりを評価し, 成長に応じた生息地選択との関係を調べることでより正確な環境評価とアマゴの生息地選択の要因を決定するために必要である.

### 謝辞

本研究を行うにあたり, 大倉川での調査を認めて頂いた芝川漁協の長谷川三男氏に深く感謝する. また静岡県水産技術研究所富士養鱒場の皆様には調査機材の便宜をはかって頂くと共に, 調査に関するアドバイスを多く頂いた. 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.



**Fig.7.** Relationships between number of boulders (diameter, 80cm<) and total number of captured (a), number of small (b), and middle (c) individuals captured.

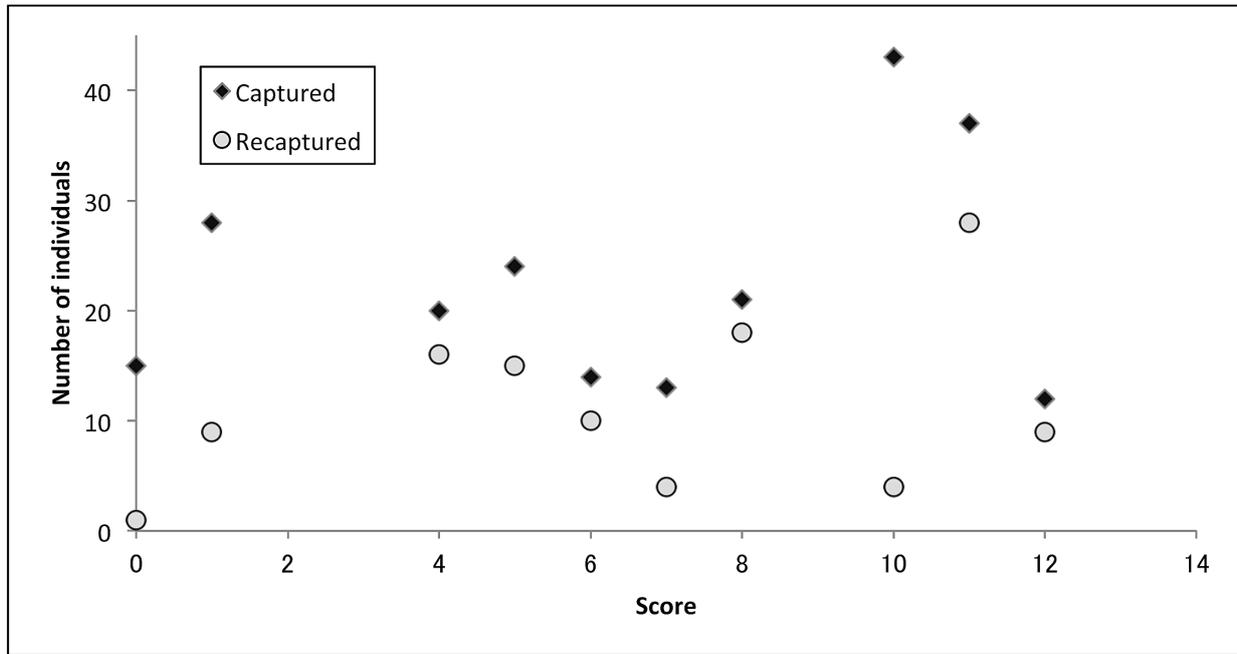


Fig.8 Environmental evaluation score and individual number of captured (close) and recaptured (open). Captured and recaptured number were not significantly related with environmental evaluation score ( $r = 0.2593, P > 0.05$ ;  $r = 0.3638, P > 0.05$ , respectively).

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.

Beschta, R. L. and W. S. Platts. (1986) : Morphological features of small streams : significance and function. *Water Resour. Bull.*, 22 : 369-379.

Bisson, P. A., R. E. Bilby, M. D. Bryant, C. A. Dolloff, G. B. Grette, R. A. House, M. L. Murphy, K. V. Koski, and J. R. Sedell. (1987) : Large woody debris in forested streams in the Pacific Northwest : past, present and future. In : E. O. Salo and T. W. Cundy, (ed) pp. 143-190 Univ. of Wash., Institute for Forest Resources, Contribution 57, Seattle, WA. *Streamside Management Forestry and Fishery Interactions*.

Bowlby, J. n. and J. C. Roff. (1986) : Trout biomass and habitat relationship in southern Ontario stream. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 115 : 503-514.

Brown, G. W. and J. T. Krygier. (1970) : Effects of clear-cutting on stream temperature. *Water Resour. Res.*, 6, 1133-1139.

Chapman, D. W. (1962) : Aggressive behavior in juvenile cohosalmon as a cause of emigration. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 19, 1047-1080.

Dawkins, R. (1980) : Good strategy of evolutionary stable strategy? In G. W. Barlow and J. Silverberg, eds. 331-367. *Sociobiology : Beyond Nature/ Nurture?* Westview Press, Boulder, USA.

DeVore, P. W. and R. J. White. (1978) : Daytime responses of brown trout (*Salmo trutta*) to cover stimuli in stream

channels. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 107, 763-771.

Elliott, J. M. (1990) : Mechanisms responsible for population regulation in young migratory trout, *Salmo trutta*. III. The role of territorial behavior. *J. Anim. Ecol.*, 59, 803-818.

Everett, R. A., Ruiz, G. M. (1993) : Coarse woody debris as a refuge from predation in aquatic communities-an experimental test. *Oecologia*, 93, 475-486.

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

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.

Fausch, K. D. and T. G. Northcote. (1992) : Large woody debris and salmonid habitat in a small coastal British Columbia stream. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49, 682-693.

福島路夫. (2004) : サケ科魚類の保全. 前川光司(編), pp.313-327. *サケ・マスの成体と進化*. 文一総合出版, 東京.

Harvey, B. C. and A. J. Stewart. (1991) : Fish size and depth relationships in headwater stream of the northwestern United States. *Oecologia*, 87, 336-342.

Helfman, G. S. (1981) : The advantage to fish of hovering in shade. *Copeia*, 1981, 392-400.

平野央・今野哲・石向修一. (2003) : 2つの山地溪流における夏期水温の推移. *山形県水産研究報告*, 2, 1-6.

Jenkins, T. M. (1969) : Social structure, position choice and micro distribution of of two trout species (*Salmo trutta* and *Salmo gairdneri*). *Anim. Behav. Mongor.*, 2, 56-123.

可児藤吉. (1944) : 溪流棲昆虫の生態. *日本生物誌 昆虫(上)*.

- 古川晴男(編), 研究社, 東京. pp.171-317.
- Koizumi, I., Y., Kanazawa, Y., Tanaka. (2013): The Fishermen Were Right: Experimental Evidence for Tributary Refuge Hypothesis During Floods. *Zoological Sci.*, 30(5), 375-379.
- 久保達郎. (1976): サクラマス幼魚の河川生活期における移動終生. *生理生態*. 17, 1, 2, 411-417.
- Li, H. W., G. A. Lamberti, T. N. Persons, C. K. Tait, J. Li and J. C. Buckhouse. (1994): Cumulative effects of riparian disturbances along high desert trout streams of the John Day River basin, Oregon. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 123: 150-156.
- McLaughlin, R. L., D. L. G. Noakes. (1998): Going against the flow: An examination of the propulsive movements made by young brook trout in stream. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55 (4), 853-860.
- McMahon, T. E., and G. F. Hartman. (1989): Influence of cover complexity and current velocity on winter habitat use by juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46, 1551-1557
- Murphy, M. L., J. Heifetz, S. W. Hohnson, K. V. Koski and J. F. Thedinga. (1986): Effects of clear-cut logging with and without buffer strips on juvenile salmonids in Alaskan streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43, 1521-1533.
- 永田光博・佐藤弘和・宮本真人・大久保進一・柳井清治・長坂有. (1998): サクラマス稚幼魚の成長における河畔林植生の役割. *道立水産孵化上研報*. 52, 45-53.
- 中村太士・百海琢司. (1989): 河畔林の河川水温への影響に関する熱収支的考察.
- Nakano, S. (1994): Variation in agonistic encounters in dominance hierarchy of freely interacting red-spotted masu salmon (*Oncorhynchus masou ishikawai*). *Ecol. Freshw. Fish*, 3, 153-158.
- Nakano, S. (1995a): 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.
- Nakano, S. (1995b): Competitive interaction for foraging microhabitats in a size structured interspecific dominance hierarchy of two sympatric stream salmonids in a natural habitat. *Can. J. Zool.*, 73, 1845-1854.
- Nakano, S. (1998): Competitive interactions for foraging microhabitat among introduced brook charr, *Salvelinus fontinalis*, native bull charr, *S. confluentus*, and westslope cutthroat trout, *Oncorhynchus hynchus clarki lewisi*, in a Montana stream. *Environmental Biology of Fishes*, 52, 345-355.
- Nakano, S., T., Kachi, M., Nagoshi. (1990): Restricted movement of the fluvial form of red-spotted masu salmon, *Oncorhynchus masou rhodurus*, in a mountain stream, central Japan. *J. Fish Biol.*, 37(2), 158-163.
- Nakano, S., T., Kachi, M., Nagoshi. (1991): Individual growth variation of red-spotted masu salmon, *Oncorhynchus masou rhodurus*, in a mountain stream. *J. Fish Biol.*, 38 (3), 263-270.
- 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と治山・砂防ダムの分布が及ぼす影響. 北海道大学農学部演習林研究報告. 52. 95-109.
- 中野繁・田口茂男・柴田勇治・古川哲夫. (1989): サツキ・アマゴ. カラー名鑑 日本の淡水魚(川那部浩哉・水野信彦・桜井淳史編), 山と溪谷社. 東京. pp.169-179.
- Northcote, T. G. (1978): Migratory strategies and production in freshwater fishes. In: *Ecology of Fresh-water Production* (ed. S. D. Gerking), Blackwell, Oxford. pp. 326-359.
- Reinhardt, U. G. and 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.
- 齋藤竜也・金澤拓也・森本溪一郎・中道一彦・川嶋尚正・鈴木邦弘・赤川泉. (2013): 小規模堰堤の連なる溪流におけるアマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae* の生息地選択と移動. *東海大学紀要海洋学部「海—自然と文化」*10, 1-10.
- Schlosser, I. J. (1987b): The role of predation in size and age-related habitat use by stream fishes. *Ecology*, 68, 651-659.
- Shirvell, C. S. (1990): Role instream rootwads as juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and steelhead trout (*O. mykiss*) cover habitat under varying stream flows. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 852-861.
- 塚本勝巳. (1991): 遊泳生理. 魚類生理学(板沢靖男・羽生功編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.539-584.

## 要 旨

日本の溪流魚であるアマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae* は体サイズに比例した競争能力があり, 不利な小型個体は淵の移動をよく行うと言われているが, 個体の移動について短期間の連続した調査は少ない. 本研究では静岡県富士川支流芝川に流入する大倉川で, アマゴの数日間程度の移動について標識再捕獲法を用いて調査を行った. 大倉ダムの上流1.5kmから上流へ向かって護岸や堰のない箇所調査区(各15m)を10個設け, アマゴの生息地としての環境(淵のサイズ, 植生, 転石など)を評価した. 調査区内で捕獲したアマゴを体サイズで3段階に分け, 調査区全体の中央にまとめて放流し, 移動を誘発した. 環境評価では調査区の上流部が高得点を獲得し, 下流部には生息に不適な場所もあった. 我々の環境評価と放流後の生息地選択は一致しなかった. 移動をみると体サイズによって方向が異なり, 小型個体は有意に上流に移動したが, 体サイズが大きくなると移動の方向に傾向がなくなり, 大型個体は二方向に等しく分散した. 大型個体は生息環境の厳選より, 他の大型個体との生息場所の重複を避けたと考えられる.