

北海道北部河川の上流および下流に放流したサクラマスの冬季間の生残率と スモルト降河尾数

宮腰靖之^{*1}, 隼野寛史², 大森 始², 藤原 真¹, 竹内勝巳³, 永田光博⁴

¹ 北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

² 北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場道東センター

³ 北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場道南支場

⁴ 北海道立総合研究機構網走水産試験場

Overwinter survival and smolt run of masu salmon stocked in upper old-growth and lower clear-cut reaches of a river in northern Hokkaido

YASUYUKI MIYAKOSHI^{*1}, HIROFUMI HAYANO², HAJIME OMORI², MAKOTO FUJIWARA¹,
KATSUMI TAKEUCHI³ and MITSUHIRO NAGATA¹

¹ Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Eniwa, Hokkaido 061-1433*,

² Doto Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Nakashibetsu, Hokkaido 086-1164*,

³ Donan Research Branch, Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Yakumo, Hokkaido 043-0402*,

⁴ Abashiri Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Abashiri, Hokkaido 099-3119, Japan*

In this study, we compared the overwinter survivals of the juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) stocked in the upper old-growth and lower clear-cut reaches of the Masuho River in northern Hokkaido, Japan. Two size groups of the hatchery-reared masu salmon (mean weights were 13.9 g for the large-sized group and 9.3 g for the small-sized group) were stocked in the Masuho River in October 1998. In the spring of 1999, the numbers of the downward-migrating smolts and resident-type parr were surveyed for each group, and their overwinter survivals were estimated. The overwinter survivals of the large-sized groups (19.2% in the upper and 14.1% in the lower reaches) were higher than those of the small-sized groups (9.4% in the upper and 10.2% in the lower reaches) in both reaches of the river. The average survival rate of the fish stocked in the upper reach (14.3%) was slightly higher than that of the fish stocked in the lower reach (12.2%). The mean smolt size of the fish stocked in the lower reach (13.0 cm) was larger than that in the upper reach (12.5 cm). These results indicate that the instream habitat conditions, such as the abundance of instream cover, affected the overwinter survival of the juvenile masu salmon, and the canopy conditions affected the growth of smolts in spring.

キーワード：サクラマス, 生残率, 冬季, 放流

サケ科魚類では、漁業資源の増大や個体群の維持を目的として多くの魚種で種苗放流が行われており、高い効果を得るために卵、稚魚、幼魚など多くの発育段階での種苗放流が試みられてきた (Kennedy, 1988; 真山, 1992)。河川生活期の長い魚種では一般的に、降海型幼魚 (スモ

ルト) は放流後の生残率が高く、放流河川の環境収容力に左右されないことから、効果の高い放流方法と考えられることが多いが、飼育期間が長く多くの経費がかかるため、実際の放流事業ではスモルトよりも飼育経費のかからない放流方法を選択する場合も多い。その場合、放

流された魚は降海までの数カ月間を河川内で過ごすことから、放流場所の選択が放流効果を左右する重要な要素となる。

サクラマス *Oncorhynchus masou* 幼魚の秋季放流は、放流後の河川内での遊漁による減耗が少なく (安藤ら, 2002; Miyakoshi *et al.*, 2009), 夏季の河川の生産力による制約を受けないなどの理由から、サクラマス資源増殖の有効な手段の一つと考えられてきた (真山, 1992; 宮腰, 2006)。1990年代以前に北海道内で実施された標識放流では、放流魚の沿岸および河川への回帰も報告され (真山ら, 1988; 奈良ら, 1997; 宮腰・神力, 1998), 稚魚放流よりも生残率が高く, スモルト放流よりも飼育コストが低く, いわば両者の中間的な放流方法として期待が持たれていた。しかし, その後に得られた秋季放流の効果もそれほど高いものとはなっておらず (宮腰ら, 2006; 2008), 放流方法の確立までには至っていない。真山 (1992) は試験放流の結果に基づき放流場所などについて詳しく考察しており, その後もこの放流方法の確立に向けて多くの調査が行われ (河村, 1994; 1998), 放流サイズと生残率の関係を示した研究なども発表された (宮腰ら, 1999; Miyakoshi *et al.*, 2003)。しかしながら, 放流技術に関する課題は多く (河村, 1998), 放流場所の環境と生残率の関係などについての検討は十分とは言えなかった。

本報告では, 1990年代に北海道北部の河川で実施された試験放流から, 河畔林が残る上流域と河川改修され河畔林が伐採された下流域に放流したサクラマス幼魚の放流後の移動, 冬季間の生残率, 翌春のスモルトのサイズについて得られた結果を報告する。

試料と方法

調査河川

調査河川である増幌川は源流を宗谷丘陵北部に発し, 日本海北部の宗谷湾に注ぐ流路延長23.6 km, 流域面積120 km²の小規模河川である (Fig. 1)。増幌川の上流域は河畔林など自然の状態が残されているが, 河口から概ね15 kmの地点までの下流域の流域には酪農地帯が形成されており, 治水対策のため河道は直線化されるなど河川改修が行われている。この河川改修区間の河畔林はほぼすべて伐採されており, 最近になりわずかにヤナギ類 (*Salix* spp.) が再生している程度である。増幌川の水温の周年変動の幅は大きく, 下流部では夏季には20℃を超える一方, 冬季の12~3月にかけては0℃近くまで低下する。河川の流量 (1996~1999年) は冬季には少なく, 1~2月には毎分0.5 m³程度まで減少し, 4月以降の融雪により毎分20~30 m³まで増加した。

増幌川本支流の多くは保護水面に指定されており, 遊漁などによる水産動物の採捕は周年禁止されている。

試験魚の飼育と放流

試験放流用の供試魚には, 暑寒別川に遡上したサクラマス親魚を起源とし, 1997年秋に北海道立水産孵化場熊石支場 (現 さけます・内水面水産試験場道南支場) で採卵された池産サクラマスを用いた。発眼卵を北海道立水産孵化場増毛支場 (2010年にさけます・内水面水産試験場道北支場に改称, 2011年廃場) へ輸送し, 稚魚の浮上から放流までの約6カ月間, 同支場で飼育した。増毛支場では浮上直後から試験魚を2群に分け, 給餌率を調整することによって両群の放流時のサイズに違いができるよう飼育した。1998年9月には試験魚への標識作業を行った。大型群は背鰭の後半部を切除し, 小型群は背鰭の前半部を切除した。さらに, 大型群, 小型群それぞれの半数は尾鰭上葉の先端部を数ミリメートル切除し, 残りの半数は尾鰭下葉の先端部を数ミリメートル切除した。これにより大小2群, さらにそれぞれを2群, 計4群に識別できるように標識した。標識作業時に早熟雄は除いた。1998年10月1日, これらの幼魚を北海道北部の増幌川へ輸送し, 上流と下流に分けて放流した (Fig. 1)。上流の放流場所は河畔林が残されている自然河川の区間であり, 下流の放流場所は河川改修された区間の上流端に近い場所である。上流および下流の地点への放流尾数は大小各8,500尾ずつ, 合わせて17,000尾, 上下流計34,000尾であった。放流時の各試験群の平均尾叉長と平均体重はTable 1のとおりであった。放流時の大型群と小型群の尾叉長および体重の平均値の差は有意であった (尾叉長: $t = 16.81$, 体重: $t = 16.53$, 尾叉長と体重いずれも $df = 398$, $P < 0.01$)。放流時の河川水温は10~11℃であった。

放流45日後の幼魚の移動状況

放流から45日が経過した1999年11月16~18日, 増幌川の上流から下流にかけて17地点でサクラマス幼魚を採捕し, 放流魚の移動状況を調べた。積雪のため上流側へのアクセスが制限されたため, 放流地点よりも下流を中心に調査地点を設けた (Fig. 1)。調査地点はそれぞれ延長50 mとし, 下流から上流に向かって電気漁具 (Model 12, Smith-Root社, Vancouver, WA) を用いて採捕を行った。各調査地点での生息尾数は1回採捕の除去法 (Seber and LeCren, 1967) により推定した。

$$\hat{N}_i = \frac{C_i}{\hat{p}_j} = C_i \cdot \frac{C_{j1}}{C_{j1} - C_{j2}} \quad (1)$$

ここで, N_i は調査地点*i*での生息尾数, p_j は調査地点*j*での採捕効率, C_i は調査地点*i*における採捕尾数, C_{j1} は

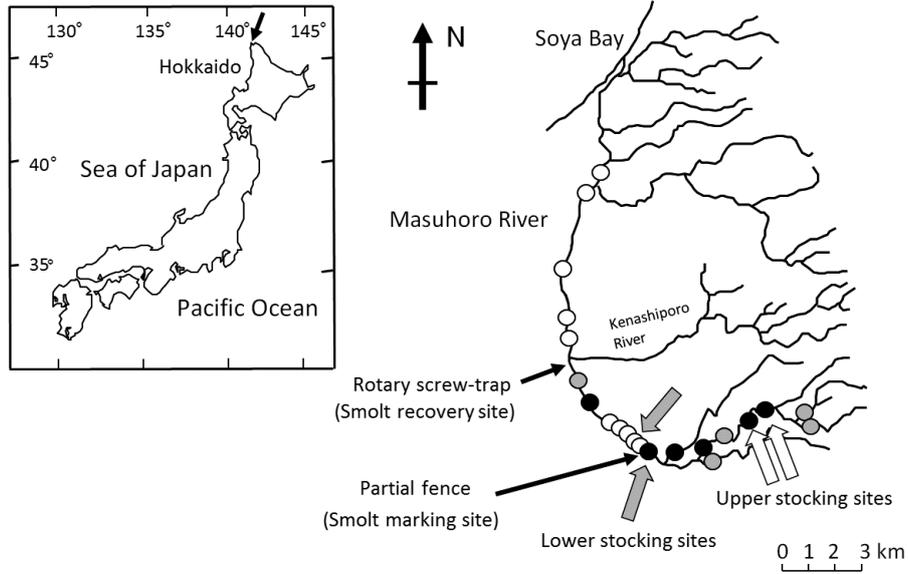


Fig.1 Locations of the stocking, tagging, and recovery sites of masu salmon in the Masuhoro River, northern Hokkaido. Circles indicate the sites surveyed for masu salmon in November 1998 (○), in July 1999 (●), and both in November 1998 and July 1999 (◐).

2回の繰り返し採捕を行った調査地点jにおける1回目の採捕尾数、 C_{j2} は調査地点jにおける2回目の採捕尾数である。採捕効率を推定するための2回の繰り返し採捕は、多くの幼魚が採捕された上流の放流地点で行った。採捕された幼魚は鱗切除部位 (Table 1) を確認して、放流群を識別したのち、採捕した場所に放流した。

幼魚の採捕作業が終わった後、各調査地点におけるサクラマスの越冬環境を評価するための環境測定を行った。

サクラマス幼魚は倒流木や植生のかげ、河岸のえぐれなど流速が遅くなっている場所で越冬することから (井上・石城, 1968; 真山ら, 1988; 鈴木ら, 2000), 各調査地点における水中カバー (倒流木, 抽水植物, 河岸のえぐれ) の占有面積を測定した。越冬環境の豊度は各調査地点の水面の面積に対する水中カバーの占有面積で表すこととした。この調査時の河川水温は1~3℃であった。

Table 1 Number, length (cm), and weight (g) of juvenile masu salmon stocked at sites in the upper and lower reaches of the Masuhoro River on 1 October 1998

Release site	Size group	Number of fish stocked	Fork length (cm)		Weight (g)		Mark given by fin clipping
			Mean	SD ¹	Mean	SD	
Upper site (undisturbed reach)	Large	8,500	10.85	0.73	13.92	3.03	Posterior part of dorsal fin and upper lobe of caudal fin
	Small	8,500	9.41	0.81	9.18	2.41	Anterior part of dorsal fin and upper lobe of caudal fin
	Total	17,000	10.13	1.05	11.55	3.62	
Lower site (clear-cut reach)	Large	8,500	10.83	0.66	13.88	2.54	Posterior part of dorsal fin and lower lobe of caudal fin
	Small	8,500	9.44	1.10	9.42	3.11	Anterior part of dorsal fin and lower lobe of caudal fin
	Total	17,000	10.14	1.14	11.65	3.61	

¹ Standard deviation

スマルト降河尾数の調査

放流魚のスマルト降河尾数は2つのトラップを用いた標識再捕によって調べた(宮腰ら, 2001a)。上流側のトラップとして, 1999年5月上旬, 増幌川の河口から15 km上流に位置する北海道立水産孵化場宗谷支場(現一般社団法人宗谷管内さけ・ます増殖事業協会 増幌ふ化場)の飼育用水取水口の地点にフェンスを設置し, 上流から降河移動してきたスマルトを宗谷支場の飼育池内へと誘導した。5月21日から飼育池内でサクラマス幼魚の採捕を行い, 久保(1974)の基準に従い前期スマルトよりスマルト化の進行した幼魚にのみリボンタグを付けて放流した。1999年5月中旬には, 河口から10.5 km上流の地点にロータリー式スクリーントラップ(E.G. Solutions社, Eugene, OR)(Thedinga *et al.*, 1994; Roper and Scarnecchia, 1996; 宮腰ら, 2001a; 2001b)を設置し, 5月21日以降, 下流側に降河してきたスマルトを採捕した。これら2つのトラップでのスマルトの採集および標識はスマルトの降河移動が終わる7月中旬まで継続した。採捕された幼魚は鱗切除部位(Table 1)を確認して放流群を識別し, 尾叉長を測定したのち, スクリーントラップの下流側に放流した。

2つのトラップ間を移動する間のリボンタグの脱落率と標識作業によるスマルトの斃死率を調べるため, リボンタグで標識したスマルトの一部は放流せず, 無給餌で2週間までの生残率を調べた。宗谷支場において6月17日から収容した50尾のスマルトのうち2週間までに1尾が死亡し, タグの脱落は1尾もなかった。そこで上流トラップからの標識尾数に0.98(49/50)を乗じて放流尾数を補正し, これを有効放流尾数として個体数推定に用いた

(Table 2)。

スマルト降河尾数の推定にはPetersen法のChapmanによる修正式(Ricker, 1975)を用いた。推定値および分散は次式で与えられる。

$$\hat{N} = \frac{(M+1)(C+1)}{R+1} \quad (2)$$

$$V(\hat{N}) = \frac{(M+1)^2(C+1)(C-R)}{(R+1)^2(R+2)} \quad (3)$$

ここで, N :スマルト降河尾数

M :上流トラップ地点からの標識放流尾数(有効放流尾数)

C :下流トラップでのスマルト(標識魚も含む)採捕尾数

R :下流トラップでの標識魚の再捕尾数

Petersen法による個体数推定においては, 標識放流から再捕までの間に対象となる個体群に加入, 逸散, 死亡のないこと(閉鎖系であること)が仮定条件として要求される。スマルトは2つのトラップ間を比較的短期間で移動することから(宮腰ら, 2001a), 標識放流から再捕までの間の幼魚の死亡は無視できるほど小さく, 閉鎖系を満たしているものと仮定した。

河川に残留した幼魚の個体数調査

1999年7月12~15日, スマルト化せずに河川に残留した放流魚の個体数を推定するため, 増幌川の本支流において幼魚の生息尾数を調べた。調査および推定の対象範囲の下流端は増幌川本流とケナシポロ川の合流点, 上流

Table 2 Summary statistics of the data from mark-recaptures of the hatchery-origin masu salmon smolts in the Masuhoro River in 1999

Release site	Size group	Upper sampling site			Lower sampling site		Fork length (cm) ¹	
		Number of fish tagged	Tag retained	Effective number of fish tagged	Number of fish recovered	Number of tagged fish recaptured	Mean	Standard deviation
Upper site (undisturbed reach)	Large	456	0.98	447	283	84	12.59	0.68
	Small	147	0.98	144	76	19	12.03	0.76
	Total	603	0.98	591	359	103	12.45	0.74
Lower site (clear-cut reach)	Large	496	0.98	486	238	99	13.17	0.79
	Small	228	0.98	223	131	41	12.73	0.76
	Total	724	0.98	710	369	140	13.03	0.81

¹ Fork length of smolts measured at the lower sampling site

端は上流の放流地点から1 km上流の地点とした。Hankin (1984) が示したサンプリング方法を利用し、増幌川の対象範囲を長さ100 mの単位に分割した上で、そのうち11単位を抽出した (Fig. 1)。幼魚の生息尾数推定値および分散 (漸近分散: 平均平方誤差) は下記の式で計算される (Hankin, 1984)。

$$\hat{N} = \frac{K}{k} \sum_{i=1}^k \hat{N}_i \quad (4)$$

$$\hat{V}(\hat{N}) = \frac{K(K-k) \sum_{i=1}^k (\hat{N}_i - \hat{N})^2}{k(k-1)} + \frac{K \sum_{i=1}^k \hat{V}(\hat{N}_i)}{k} \quad (5)$$

ここで、 K : 対象範囲内の単位の総数

k : 抽出された調査定点の数

N_i : 定点*i*での幼魚の生息尾数 (後述の (6) 式あるいは (8) 式により推定)

\bar{N} : 幼魚の生息尾数の平均値, 推定値は $\hat{\bar{N}} = \sum_{i=1}^k \hat{N}_i / k$ で与えられる

$V(\hat{N}_i)$: 定点*i*での幼魚の推定生息尾数の分散 (後述の (7) あるいは (9) 式により推定)

上式のように、幼魚の生息尾数は、各調査定点での生息尾数を定点の抽出率で引き伸ばすことにより推定される。分散は定点間の幼魚の生息尾数のばらつきによる分散 (定点間分散) と各定点での生息尾数推定の分散 (定点内分散) の合計で与えられる。

各定点でのサクラマス幼魚の個体数は2回除去法 (Seber and Le Cren, 1967) により推定した。各定点では下流から上流に向かって、はじめに投網を用いて魚の採捕を行い、それに続いて電気漁具を用いて採捕を行った。この採捕作業を2回繰り返し行った (以下、1回目の採捕作業を1stパス、2回目を2ndパスと記す)。1stパスで採捕した幼魚は尾鰭上葉をわずかに切除することによって標識したのち放流し、翌日または翌々日に2ndパスを行った。2ndパスでは標識魚と未標識魚が採捕されたが、未標識魚の採捕尾数を2ndパスでの採捕尾数として、除去法を適用した。ここで、1stパス、2ndパスでの採捕努力量は同じとした。2回除去法 (Seber and Le Cren, 1967) では、定点*i*での生息尾数 N_i および分散 $V(N_i)$ は次の式により推定される。

$$\hat{N}_i = \frac{C_{i1}^2}{C_{i1} - C_{i2}} \quad (6)$$

$$\hat{V}(\hat{N}_i) \cong \frac{C_{i1}^2 C_{i2}^2 (C_{i1} + C_{i2})}{(C_{i1} - C_{i2})^4} \quad (7)$$

ここで、 C_{i1} は定点*i*における1stパスでの放流魚の採捕尾数、 C_{i2} は定点*i*における2ndパスでの放流魚の採捕尾数を示す。いくつかの定点では、2ndパスでの採捕尾数が1stパスでの採捕尾数と同数あるいはそれを上回り、(6) 式

では推定値を得ることができなかった。そのような定点 ($C_{i1} \leq C_{i2}$) では、同じ定点での野生魚の採捕尾数を用い、1stパスでの放流魚の採捕尾数を野生魚の採捕効率で除すことにより個体数を推定した。この場合の生息尾数 N_i および分散 $V(N_i)$ は

$$\hat{N}_i = \frac{C_{i1}}{\hat{p}_i} = C_{i1} \cdot \frac{C_{iw1}}{C_{iw1} - C_{iw2}} \quad (8)$$

$$\hat{V}(\hat{N}_i) \cong \frac{\hat{N}_i^2 \hat{q}_i (1 + \hat{q}_i)}{\hat{N}_{iw} \hat{p}_i^3} + \frac{\hat{N}_i \hat{q}_i}{\hat{p}_i} + \frac{\hat{N}_i \hat{q}_i^2 (5 + \hat{q}_i)}{\hat{N}_{iw} \hat{p}_i^4} \quad (9)$$

により推定される (Seber and Le Cren, 1967)。ここで、 C_{iw1} は定点*i*における1stパスでの野生魚の採捕尾数、 C_{iw2} は定点*i*における2ndパスでの野生魚の採捕尾数、 \hat{N}_{iw} は定点*i*での野生魚の推定生息尾数、 p_i は定点*i*での野生魚に対する採捕効率 ($q_i = 1 - p_i$) である。

冬季間の生残率の推定

冬季間の生残率 ($O_{survival}$) は1+スモルトの降河尾数 (N_{smolt} : (2) 式で得られた個体数) と河川残留魚の生息尾数 (N_{parr} : (4) 式で得られた個体数) の合計値を放流尾数 ($N_{stocked}$) で除すことにより求めた。すなわち、

$$O_{survival} = (N_{smolt} + N_{parr}) / N_{stocked}$$

とした。

生残個体数の分散は (3) 式で得られたスモルト降河尾数の分散推定値と (5) 式で得られた河川残留魚の個体数の分散推定値を合計することによって得られ、その平方根をとることによって標準誤差を推定した。95%信頼区間は、推定値 $\pm 1.96 \times$ 標準誤差により推定した。

結果

放流45日後の生息密度調査

サクラマス幼魚の越冬場所となる水中カバーの密度は、河川改修された区間では顕著に低く、自然河川の区間では高い傾向がみられた (Fig. 2)。サクラマス幼魚の生息密度も上流ほど高く、下流にいくほど低い結果となった (Fig. 3)。河川改修区間でのサクラマス幼魚の生息密度は顕著に低く、1尾も採捕されない地点も多かった。放流地点付近だけでなく、上流の放流地点付近でのサクラマス幼魚の生息密度 (97~157尾/100m²) と比較して、下流側の放流地点付近での生息密度は顕著に低かった (3~22尾/100m²)。また、上流に放流した幼魚は放流地点付近でしか再捕されなかったのに対して、下流に放流した幼魚は放流地点の2.7 km上流から1 km下流の範囲で再捕された。

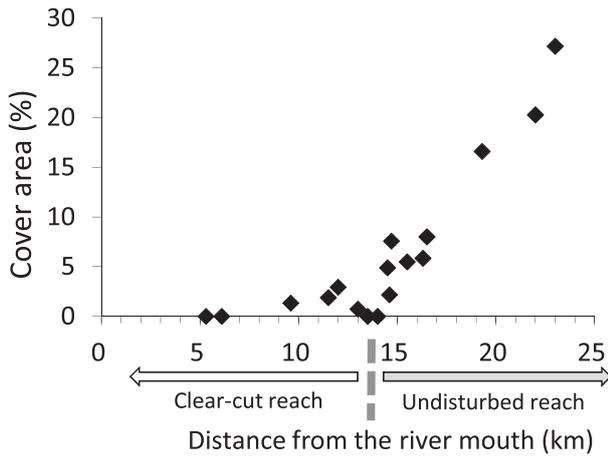


Fig.2 Relationship between the distance from the river mouth and instream cover area (%) in each survey reach in November 1998.

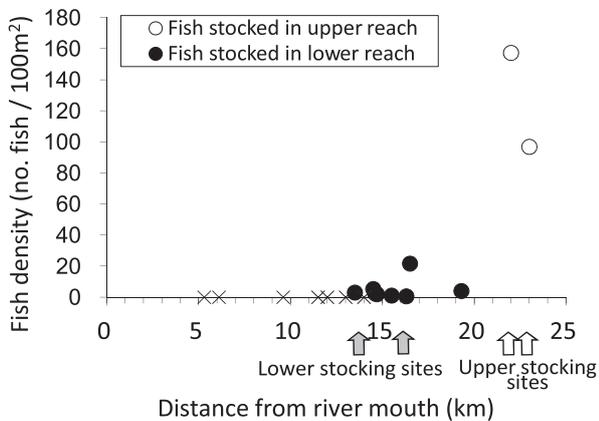


Fig.3 Densities of masu salmon in the Masuhoro River from 16–18 November 1998 (45 days after stocking). Cross marks (×) indicate no fish was captured in the sites.

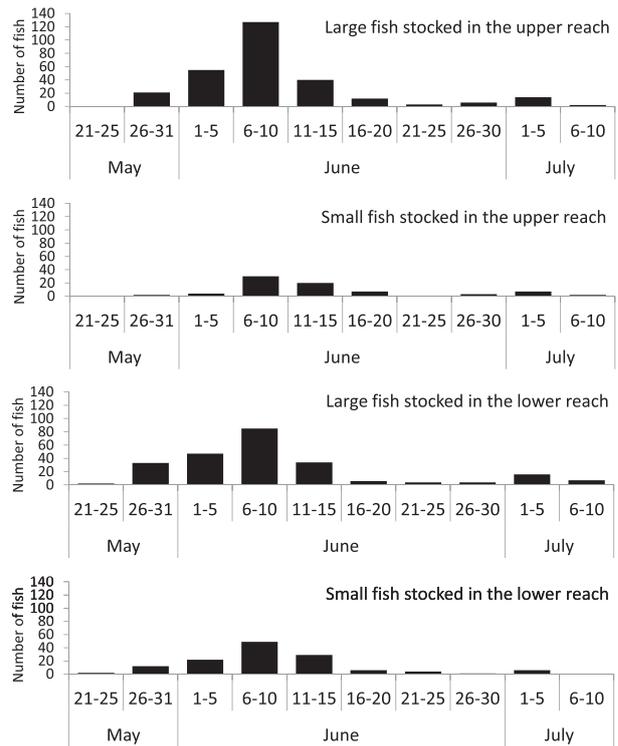


Fig.4 Number of the masu salmon smolts captured using a rotary-screw trap at the recovery site in the Masuhoro River in 1999

スモルト降河尾数およびサイズ

スモルトは5月21日から7月12日にかけて採捕された (Fig. 4)。放流魚4群いずれもスモルトの降河移動のピークは6月上旬にみられた。

放流魚4群それぞれのスモルト降河尾数の推定値を Table 3 に示した。同じ場所に放流した2群を比較すると、上下

Table 3 Estimates and variances of the numbers of the 1+ smolts and resident fish in the Masuhoro River in spring 1999

Release site	Size group	Number of smolts				Number of resident fish				Number of survivors				Percent smolt ³
		Estimate	Variance	SE ¹	CV ²	Estimate	Variance	SE	CV	Estimate	Variance	SE	CV	
Upper site (undisturbed reach)	Large	1,496	18,225	135	0.09	138	4,947	70	0.51	1,634	23,172	152	0.09	91.6
	Small	558	11,025	105	0.19	237	25,603	160	0.68	795	36,628	191	0.24	70.2
	Total	2,054	29,250	171	0.08	375	30,550	175	0.47	2,429	59,800	245	0.10	84.6
Lower site (clear-cut reach)	Large	1,164	7,744	88	0.08	38	736	27	0.71	1,202	8,480	92	0.08	96.8
	Small	705	7,921	89	0.13	165	4,609	68	0.41	870	12,530	112	0.13	81.0
	Total	1,869	15,665	125	0.07	203	5,345	73	0.36	2,072	21,010	145	0.07	90.2

¹ Standard error

² Coefficient of variation

³ Number of 1+smolt divided by number of survivor

流いづれも大型群のスマルト降河尾数が多かった。小型群同士で比べると下流に放流した群のほうが多くなっており、上流に放流した小型群は4群の中でスマルト降河尾数が最も少なかった。

スクリーントラップで採捕されたスマルトの尾叉長はTable 2のとおりであった。同じ場所に放流した2群を比較すると、上下流いづれも大型群のほうが大きかった。一方、放流地点間でスマルトサイズを比較すると、下流放流群（平均±標準偏差：13.0±0.8 cm）のほうが上流放流群（12.5±0.7 cm）よりも大きく（ $t = 13.47, df = 1324, P < 0.001$ ）、上流に放流した大型群（12.6±0.7 cm）よりも下流に放流した小型群（12.7±0.8 cm）のほうが大きくなっていった（ $t = 2.39, df = 681, P < 0.05$ ）。上流放流群ではスマルト降河時期を通して平均サイズに大きな変化がなかったのに対して、下流放流群では降河移動がピークを過ぎた6月下旬以降、平均サイズが大きくなる傾向がみられた（Fig. 5）。

河川残留魚の個体数および冬季間の生残率

スマルトにならずに河川に残留していた幼魚の尾数はいづれの群でもスマルトとして降河した尾数と比べて少なかった（Table 3）。小型群では大型群と比べてスマルト化せずに河川に残留した幼魚の尾数の割合が高くなっていった。

放流した4群の冬季間の生残率をFig. 6に示した。上流に放流した大型群の生残率が19.2%（95%信頼区間：15.7~22.7%）と最も高く、次いで下流放流の大型群が14.1%（95%信頼区間：12.0~16.3%）、下流放流の小型群が10.2%（95%信頼区間：7.7~12.8%）となり、上流放流の小型群が9.4%（95%信頼区間：4.9~13.8%）と最も低かった。放流地点間で比較をすると、上流放流群が14.3%（95%信頼区間：11.5~17.1%）であり下流放流群の12.2%（95%信頼区間：10.5~13.9%）よりも高かった。生き残っ

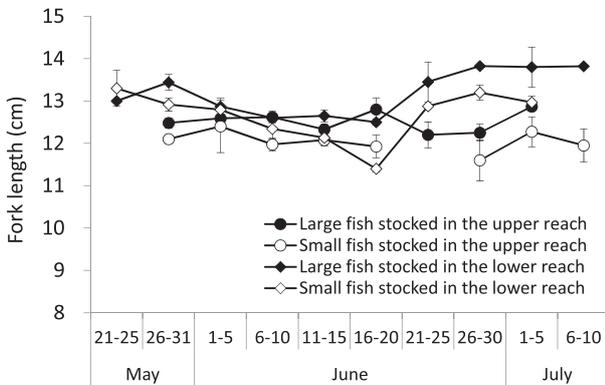


Fig.5 Mean fork lengths of the masu salmon smolts captured at the recovery sites in the Masuho River in 1999. Vertical bars indicate standard errors of the mean.

た個体に占めるスマルト化した幼魚の割合は下流放流群で高く、同じ放流地点で比べると大型群のほうが高い割合となっていた（Table 3およびFig. 6）。

考 察

本研究では北海道北部の増幌川の上流と下流に大小2群（平均体重13.9 gおよび9.3 g）のサクラマス幼魚を放流し、放流45日後の河川内での分布状況、冬季間の生残率、翌年のスマルト降河尾数とサイズを調べた。自然河川である上流域に放流した幼魚は、放流45日後も放流地点近くの水の中カバーの下に高い密度で生息していたのに対し、河川改修された下流域の放流地点近くではわずかに数尾が再捕されたにとどまり、3 km近く上流への移動も確認された（Fig. 3）。サケ科魚類が越冬前に夏季とは異なる場所に生息場所を変えることはよく調べられており（Murphy *et al.*, 1986；真山ら, 1988；Tschaplinski and Hartman, 1983；Nickelson *et al.*, 1992；Cunjak, 1996；Miyakoshi *et al.*, 2002）、水温が低下する時期に越冬に適した環境を求めて2~3 kmの移動をする個体のいることが知られている（Murphy *et al.*, 1986；真山, 1992；宮腰ら, 2007）。中には7.5 km（Brown and Mackay, 1995）から32.6 km（Peterson, 1982）にも及ぶ長距離移動をした事例も報告されている。本研究でも、越冬場所に適した環境の少ない下流域（Fig. 2）に放流した幼魚は、放流後短期間のうちに越冬場所を求めて河川内を広く分散したものと考えられる。

冬季間の生残率は、上流に放流した群（14.3%）が下流に放流した群（12.2%）よりも高い結果となった。河畔林の伐採された河川では倒流木の供給がなくなるため、サ

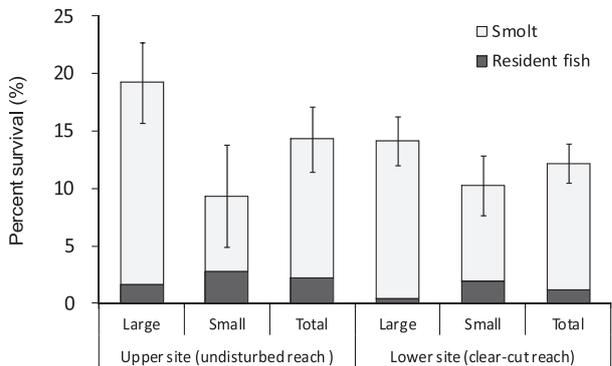


Fig.6 Estimated overwinter survival rates of the masu salmon smolts stocked in the Masuho River in October 1998. Gray bars indicate the numbers of fish migrated as smolts, and black bars indicate the numbers of fish residing in the river as parr in the spring of 1999. Vertical bars indicate 95% confidence intervals of the estimates.

ケ科魚類幼魚の越冬に適した環境が少なくなること (Tschaplinski and Hartman, 1983; Heifetz *et al.*, 1986; Johnson *et al.*, 1986), また, 倒流木などが作り出すカバーなど河川環境の複雑さがサケ科魚類の冬季間の生残率に影響することが知られている (Quinn and Peterson, 1996; Solazzi *et al.*, 2000)。増幌川の下流側にはサクラマス越冬に適した倒流木などによる水中カバーは非常に少ない (Fig. 2)。そのため, 上流域および下流域での水中カバーの豊度など, 河川環境の違いがサクラマスの生残率の違いに影響したものと考えられる。ただし, 上下流間の生残率の違いはそれほど大きくなく, むしろ上流区間に放流した小型群の生残率 (9.5%) は下流に放流した小型群 (10.2%) よりも低い結果となった。下流放流群が河川内で広く分散したのに対し, 上流に放流した群は放流地点付近にとどまっており, その結果, 生息密度が高くなり小型群の生残率が低くなったことも考えられる。

同じ地点に放流した大型群と小型群で比較すると, 上下流いずれも大型群の生残率が高い結果となった。河川型のサケ科魚類の冬季間の生残率はサイズ依存的であることがこれまでも報告されている (Hunt, 1969; Holtby, 1988; Miyakoshi *et al.*, 2003; Ebersole *et al.*, 2006)。魚体サイズに比例して脂質の蓄積が増加することが知られており (Mason, 1976; Metcalfe and Thorpe, 1992; 隼野ら, 1999; Finstad *et al.*, 2004), 大型幼魚は栄養状態が良好で, そのことが高い冬季間の生残率につながった一因と考えられる。1990年代以前に調べられたサケ科魚類の幼魚24個体群の一年目の冬季間の生残率が平均49.8% (標準偏差18.0%) と報告されており (Smith and Griffith, 1994), 真山 (1992) は秋季に尻別川に放流したサクラマスの翌春までの生残率を52%と推定している。これら既往の知見と比べると, 本研究の増幌川におけるサクラマスの冬季の生残率は低いものとなっている。

次に, スモルトサイズについてみると, 下流に放流した群のほうが上流に放流した群よりも大きかった。放流時点での河川水温は約10℃となっており, その後急速に低下したことから, 放流魚のスモルトサイズの差は放流翌年の春先の成長率の違いを反映しているものと考えられる。河畔林の伐採された河川では水面への日射量が増加して水温が上昇して一次生産量も増加し, これによって餌が豊富になり, サケ科魚類幼魚の成長率の促進につながることが多くの研究で指摘されている (Murphy *et al.*, 1986; Holtby, 1988; Thedinga *et al.*, 1989)。また, 河川の下流域で成育した幼魚は大型のスモルトとなる現象も観察されており, 下流域では上流域と比べて水温が高いことに加えて生息密度が低いこともその一因と考えられている (Bradford *et al.*, 1997; Ebersole *et al.*, 2006)。河川

生活期の成長量の促進はスモルトサイズの大型化につながり, 結果として, 海洋での生残率の向上につながる可能性もある (Holtby *et al.*, 1990; Henderson, 1990; Hartman *et al.*, 1996; Miyakoshi *et al.*, 2001)。増幌川においても, 放流場所付近の水中や河畔の環境の違いがサクラマス幼魚の冬季間の生残率や春季の成長率などに様々な形で影響したものと考えられる。

サクラマスの放流方法について真山 (1992) は試験放流の結果をもとに詳しく検討しており, 放流場所の選定にあたっては多くの場所に少量ずつ分けて放流するのがその後の分布密度を平均化させる上で望ましいが, 秋季放流の場合には, 河川の水温が10℃から5℃前後に低下する間の時期に, いくつかの支流が流れ込む合流点に近い本流の深みなどにある程度まとまった数の幼魚を放流することで広範囲に分散することが期待できると述べている。本研究の結果をみると, 越冬に適した生息環境の多い上流域への放流群のほうが生残率の高いものの, 放流場所付近では生息密度が過密となっていた可能性もある。一カ所あたりの放流数をさらに多くした場合や野生魚が多く生息している場合にはさらに過密となり, 生残率にも影響する可能性がある。この放流方法では, 10g程度に育てたサクラマス幼魚をトラックで輸送放流することとなるが, トラックの走行が難しい林道もあり, 上流域の多くの地点に幼魚を放流するのは現実的には難しい。一方, 下流域への放流群では生残率はやや低かったものの, 幼魚は放流後に広く分散したものと考えられる。本研究では真山 (1992) に従い, 河川水温が10℃から5℃に低下する時期を見計らって放流し, 結果として, 水温が3℃に低下するまでの45日間のうちに下流放流群は広く分散した。数万尾以上の規模でサクラマス幼魚を秋季に放流する場合には, サクラマスの越冬前の移動の時期を逃さず, 下流域を中心に放流することが現実的と思われる。

謝 辞

本研究の実施にあたりご協力いただいた北海道立水産孵化場の杉若圭一氏, 大久保進一氏, 鈴木研一氏, 鷹見達也氏ほか職員の皆様に感謝申し上げます。

文 献

- 安藤大成, 宮腰靖之, 竹内勝巳, 永田光博, 佐藤孝弘, 柳井清治, 北田修一. 都市近郊の河川におけるサクラマス幼魚の遊漁による釣獲尾数の推定. 日本水産学会誌 2002; 68: 52-60.
- Bradford MJ, Taylor GC, Allan J. Empirical review of coho

- salmon smolt abundance and the prediction of smolt production at the regional level. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1997; **126**: 49–64.
- Brown RS, Mackay WC. Fall and winter movements of and habitat use by cutthroat trout in the Ram River, Albata. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1995; **124**: 873–885.
- Cunjak RA. Winter habitat of selected stream fishes and potential impacts from land–use activity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1996; **53** (Supplement 1): 267–282.
- Ebersole JL, Wigington PJ, Baker JP, Cairns MA, Church MR, Hansen BP, Miller BA, LaVigne HR, Compton JE, Leibowitz SG. Juvenile coho salmon growth and survival across stream network seasonal habitats. *Trans. Am. Fish. Soc.* 2006; **135**: 1681–1697.
- Finstad AG, Ugedal O, Forseth T, Naesje T. Energy–related juvenile winter mortality in a northern population of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2004; **61**: 2358–2368.
- Hankin DG. Multistage sampling designs in fisheries research: applications in small streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1984; **41**: 1575–1591.
- Hartman GH, Scrivener JC, Milles MJ. Impacts of logging in Carnation Creek, a high–energy coastal stream in British Columbia, and their implication for restoring fish habitat. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1996; **53** (Supplement 1): 237–251.
- 隼野寛史, 永田光博, 宮腰靖之. 北海道北部増幌川におけるサクラマス幼魚の秋季放流試験. 1. サイズの異なる4群の栄養状態と冬季の生残率. 北海道立水産孵化場研究報告 1999; **53**: 39–47.
- Heifetz J, Murphy ML, Koski KV. Effects of logging on winter habitat of juvenile salmonids in Alaskan streams. *N. Am. J. Fish. Manage.* 1986; **6**: 52–58.
- Henderson MA, Cass AJ. Effect of smolt size on smolt–to–adult survival for Chilko Lake sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1990; **48**: 988–994.
- Holtby LB. Effects of logging on stream temperatures in Carnation Creek, British Columbia, and associated impacts on the coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1988; **45**: 502–515.
- Holtby LB, Andersen BC, Kadowaki RK. Importance of smolt size and early ocean growth to interannual variability in marine survival of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1990; **47**: 2181–2194.
- Hunt RL. 1969. Overwinter survival of wild fingerling brook trout in Lawrence Creek, Wisconsin. *J. Fish. Res. Board Can.* 1969; **26**: 1473–1483.
- 井上 聡・石城謙吉. 冬期の河川におけるヤマメの生態. 陸水学雑誌 1968; **29**: 27–36.
- 河村 博. サクラマスの秋放流. 魚と水 1994; **31**: 213–217.
- 河村 博. 最近5カ年(1994~1998年)の池産サクラマス幼魚放流技術の現状と展望. 魚と水 1998; **35**: 269–278.
- Johnson SW, Heifetz J, Koski KV. Effects of logging on the abundance and seasonal distribution of juvenile steelhead in some southeastern Alaska streams. *N. Am. J. Fish. Manage.* 1986; **6**: 532–537.
- Kennedy GJA. 1988. Stock enhancement of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). In: Mills D, Piggins D (eds). *Atlantic Salmon: Planning for the Future*. Timber Press, Portland, 1988; 345–371.
- 久保達郎. サクラマスの幼魚の相分化と変態の様相. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1974; , **28**: 9–26.
- Mason JC. Response of underyearling coho salmon to supplemental feeding in a natural stream. *J. Wildlife Manage.* 1976; **40**: 775–788.
- 真山 紘. 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. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1992; **46**: 1–156.
- 真山 紘, 野村哲一, 大熊一正. 越冬前の秋季に放流されたサクラマス *Oncorhynchus masou* 標識魚のスマルト降海と親魚としての回帰. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1988; **42**: 21–36.
- Metcalfe NB, Thorpe JE. Anorexia and defended energy levels in over–wintering juvenile salmon. *J. Animal Ecol.* 1992; **61**: 175–181.
- 宮腰靖之. 北海道におけるサクラマスの放流効果および資源評価に関する研究. 北海道立水産孵化場研究報告 2006; **60**: 1–64.
- 宮腰靖之. 種苗放流効果と資源増殖–北海道のサクラマスを事例として–. (北田修一, 帰山雅秀, 浜崎活幸, 谷口順彦編)「水産資源の増殖と保全」. 成山堂書店, 東京, 2008: 48–65.
- 宮腰靖之・神力義仁. 3つの放流方法による池産サクラマスの回帰. 魚と水 1998; **35**: 217–233.
- Miyakoshi Y, Nagata M, Kitada S. Effect of smolt size on postrelease survival of hatchery–reared masu salmon. *Fish. Sci.* 2001; **67**: 134–137.
- Miyakoshi Y, Hayano H, Omori H, Nagata M, Irvine JR.

- Importance of instream cover for young masu salmon *Oncorhynchus masou* Brevoort in autumn and winter. *Fish. Manage. Ecol.* 2002; **9**: 237–242.
- Miyakoshi Y, Hayano H, Fujiwara M, Nagata M, Irvine JR. Size-dependent smolt yield and overwinter survival of hatchery-reared masu salmon stocked in fall. *N. Am. J. Fish. Manage.* 2003; **23**: 264–269.
- Miyakoshi Y, Sasaki Y, Fujiwara M, Tanaka K, Matsueda N, Irvine JR, Kitada S. Implications of recreational fishing on juvenile masu salmon stocked in a Hokkaido river. *N. Am. J. Fish. Manage.* **29**: 33–39.
- 宮腰靖之, 隼野寛史, 永田光博. 北海道北部増幌川におけるサクラマス幼魚の秋季放流試験. 2. サイズの異なる4群の放流魚の冬季間の生残率とスモルト降河尾数. 北海道立水産孵化場研究報告 1999; **53**: 49–58.
- 宮腰靖之, 隼野寛史, 永田光博, Irvine J. 層別 Petersen 法を用いたサクラマススモルトの個体数推定. 日本水産学会誌 2001a; **67**: 231–237.
- 宮腰靖之, 隼野寛史, 藤原 真, 杉若圭一, 永田光博. ロータリー式スクリュートップによる野生および放流サクラマススモルトの再捕率の比較. 水産増殖 2001b; **49**: 445–450.
- 宮腰靖之, 竹内勝巳, 安藤大成, 北村隆也, 永田光博. 秋季に放流したサクラマスの放流効果. 水産増殖 2006; **54**: 407–408.
- 宮腰靖之, 矢部浩規, 卜部浩一, 真野修一, 川村洋司, 山下彰司. 晩秋の後志利別川におけるサクラマス幼魚の河川内移動—スクリュートラップを用いて秋に魚類を採捕した初めての試み—. 寒地土木研究所月報 2007; **646**: 9–16.
- Murphy ML, Heifetz J, Johnson SW, Koski KV, Thedinga JF. Effects of clear-cut logging with and without buffer strips on juvenile salmonids in Alaskan streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1986; **43**: 1521–1533.
- 奈良和俊・松本雅彦・大端 孝・福澤博明・伊藤二三男・渡邊 伸・羅津三則. 北海道北部の天塩川におけるサクラマス幼魚の効果的な放流方法の検討. 魚と卵 1997; **166**: 1–11.
- Nickelson TE, Rodgers JD, Johnson SL, Solazzi MF. Seasonal changes in habitat use by juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in Oregon coastal streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1992; **49**: 783–789.
- Peterson NP. Immigration of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) into riverine ponds. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1982; **39**: 1308–1310.
- Quinn TP, Peterson NP. The influence of habitat complexity and fish size on overwinter survival and growth of individually marked juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in Big Beef Creek, Washington. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1996; **53**: 1555–1564.
- Ricker WE. Computation and interpretation of biological statistics of fish population. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 1975; **191**: 382 pp.
- Roper B, Scarnecchia DL. A comparison of trap efficiencies for wild and hatchery age-0 chinook salmon. *N. Am. J. Fish. Manage.* 1996; **16**: 214–217.
- Seber GAF, Le Cren ED. Estimating population parameters from catches large relative to the population. *J. Animal Ecol.* 1967; **36**: 631–643.
- Smith RW, Griffith JS. Survival of rainbow trout during their winter in the Henrys Fork of the Snake River, Idaho. *Trans. Am. Fish. Soc.* 1994; **123**: 747–756.
- Solazzi MF, Nickelson TE, Johnson SL, Rodgers JD. Effects of increasing winter rearing habitat on abundance of salmonids in two coastal Oregon streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2000; **57**: 906–914.
- 鈴木研一・永田光博・中島美由紀・大森 始. 北海道北部河川におけるサクラマス幼魚の越冬時の微生息環境とその物理環境. 北海道立水産孵化場研究報告 2000; **54**: 7–14.
- Tschaplinski PJ, Hartman GF. Winter distribution of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) before and after logging in Carnation Creek, British Columbia, and some implications for overwinter survival. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1983; **40**: 452–461.
- Thedinga JF, Murphy ML, Heifetz J, Koski KV, Johnson SW. Effects of logging on size and age composition of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and density of presmolts in southeast Alaska streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1989; **46**: 1383–1391.
- Thedinga JF, Murphy ML, Johnson SW, Lorenz JM, Koski KV. Determination of salmonid smolt yield with rotary-screw traps in the Situk River, Alaska, to predict effects of glacial flooding. *N. Am. J. Fish. Manage.* 1994; **14**: 837–851.