

第4章 遊漁船によるサクラマス釣獲尾数の推定

4.1 はじめに

栽培漁業の放流効果が明らかとなる一方で、種苗放流の対象魚種が遊漁者により数多く利用されている実態が徐々に明らかにされるようになった。マダイ *Pagrus major* では遊漁による釣獲量が漁業による漁獲量と匹敵する、あるいはそれを上回ることが多くの地域で報告されてきた (傍島・桑原 1991; 今井ら 1994; 柳瀬・阿井 1998)。さらに最近では、マダイ以外の魚種でも遊漁による釣獲量が放流効果を評価する上で無視できない数量にのぼることが指摘されている (小野寺ら 2001; Matsuishi *et al.* 2002)。遊漁では一般に、漁獲統計のような統計資料は利用できない。そのため、サンプリングやアンケートなどによる推定方法の研究が行われている (Guthrie *et al.* 1991; 北田 1993; Pollock *et al.* 1994)。釣獲量推定においても誤差の評価は重要と考えられるが、統計学的に検討された調査方法を活用し、遊漁による釣獲量を推定誤差を含めて評価した事例は国内ではまだ数例がみられるにすぎない (安藤ら 2002; Kitada and Tezuka 2002; Matsuishi *et al.* 2002; 安藤・宮腰 2003)。

最近では海面でのサクラマス釣りの人気が高くなり、新聞、雑誌等で報じられることも多いが、釣獲尾数の調査は行われていない。サクラマス資源や放流効果を評価する上で、遊漁による釣獲実態を明らかにすることが必要と考えられる。

そこで、サクラマスの船釣りが盛んに行われている北海道太平洋側の胆振沿岸において、1998年12月および1999年12月からそれぞれ翌年3月までの2シーズンにわたり、遊漁船を対象とした標本調査を実施し、同海域でのサクラマス遊漁の実態および釣獲尾数を調べた (Miyakoshi *et al.* 2004a)。

4.2 調査方法

調査海域

調査は北海道南西部、太平洋側に位置する胆振管内において実施した (Fig. 4.1)。胆振管内の沿海市町村のうち、噴火湾に面した1市2町ではサクラマス釣りを案

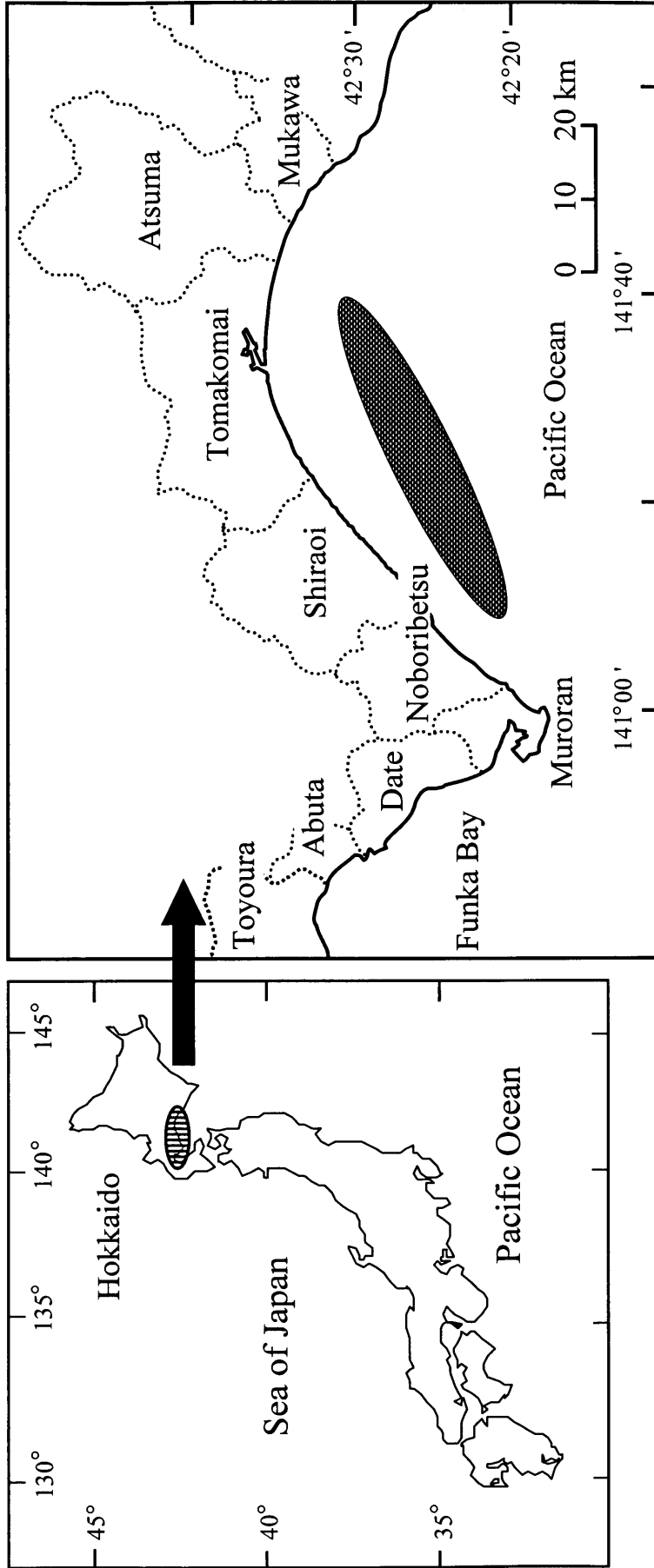


Fig. 4.1 Location of the main recreational fishing area (shaded area) in the coastal area off Iburi, south-western Hokkaido.

内する遊漁船業者が少ないので、それらを除く3市3町（室蘭市，登別市，白老町，苫小牧市，厚真町，鶴川町）に拠点を置く遊漁船を調査の対象とした。胆振地域は北海道の中核都市である札幌市からの交通の利便性が高く，また，冬季には日本海側と比べて時化の日が少なく釣行計画が立てやすいこともあり，サクラマス釣りの人気が高い。胆振沿岸でサクラマスを対象とした遊漁が行われるのは12月から3月にかけてで，盛期は概ね1月および2月である。遊漁船の主な操業海域は登別市から苫小牧市の沖合10～20 km，水深100～130 m前後の海域である。サクラマスがよく釣れる水深帯は十数 m から100 m 前後までと幅が広い。遊漁船での釣りは日の出から開始され，概ね午後1時頃には終了した。サクラマス釣りでは，バケと呼ばれる楔型のオモリを使用し，5～7本の毛鉤を付けた仕掛けを使用するのが一般的である。この海域でのサクラマス釣りでは，サクラマスに混じってスケトウダラ *Theragra chalcogramma* が混獲されることが多く，そのほか，ホッケ *Pleurogrammus azonus*，マダラ *Gadus macrocephalus*，ソウハチ *Hippoglossoides pinetorum*，ツマグロカジカ *Gymnocanthus herzensteini*，マスノスケ *Oncorhynchus tshawytscha* なども混獲される。

冬季の胆振沿岸ではサクラマスを主な対象とする漁業はなく，サクラマスの漁獲はスケトウダラを狙った刺網による混獲がほとんどである。12～3月の胆振沿岸での漁業によるサクラマスの漁獲尾数は，本調査の前3ヶ年では7,522～14,844尾で，平均は10,557尾であった。

遊漁船を対象とした標本調査

調査の対象とした3市3町に拠点を置く遊漁船の登録隻数は1998年時点で256隻であった。その中から，胆振遊漁船業組合，苫小牧漁業協同組合および鶴川漁業協同組合遊漁船部会の協力を得て，1998年12月～1999年3月（以下，1999年の漁期と記す）には27隻，1999年12月～2000年3月（以下，2000年の漁期と記す）には42隻の標本船を抽出し，アンケート調査を実施した。標本として抽出した遊漁船の船長には，すべての出漁日について，乗船した遊漁者数とそれぞれの遊漁者が釣ったサクラマスの尾数の記録を依頼した。すなわち，ここでは抽出単位を遊漁船とした1段のクラスターサンプリングとなっている。データはシーズン終了後，遊漁船の船長から提出してもらい，解析に供した。

釣獲尾数の推定

標本調査のデータを用い、1日1隻あたりの平均釣獲尾数に総出漁日数の推定値をかけることにより釣獲尾数を推定した。推定値および分散の計算は北田(2001)に従い、釣獲尾数は旬ごとに推定した。推定にあたり、記号を次のように定めた。

N : 遊漁船の総数

n : 抽出した遊漁船の数

M_k : k 旬における遊漁船の総出漁日数 (推定する)

m_{ik} : k 旬における i 番目の遊漁船の総出漁日数

\bar{m}_k : k 旬における遊漁船1隻あたりの平均出漁日数 (推定する)

y_{ik} : k 旬における抽出された i 番目の遊漁船による総釣獲尾数

R_k : k 旬における遊漁船1隻1日あたりの釣獲尾数 (推定する)

Y_k : k 旬における遊漁船による総釣獲尾数 (推定する)

ここで、釣獲率 R_k の推定量と分散は

$$\hat{R}_k = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ik}}{\sum_{i=1}^n m_{ik}} \quad (4.1)$$

$$\hat{V}(\hat{R}_k) \cong \left(\frac{N}{M_k} \right)^2 \frac{N-n}{N-1} \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ik} - m_{ik} \hat{R}_k)^2}{n(n-1)} \quad (4.2)$$

で与えられる (北田 2001)。ここで、 M_k は未知なので、

$$\hat{M}_k = N \bar{m}_k = N \frac{\sum_{i=1}^n m_{ik}}{n} \quad (4.3)$$

により推定する。 k 旬における釣獲尾数の推定量は

$$\hat{Y}_k = \hat{M}_k \hat{R}_k = N \bar{m}_k \hat{R}_k = N \frac{\sum_{i=1}^n m_{ik}}{n} \frac{\sum_{i=1}^n y_{ik}}{\sum_{i=1}^n m_{ik}} = \frac{N}{n} \sum_{i=1}^n y_{ik} \quad (4.4)$$

となる。 k 旬における釣獲尾数の分散の推定量は

$$\hat{v}(\hat{y}_k) = N^2 \frac{N-n}{N-1} \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ik} - \bar{y}_k)^2}{n(n-1)} \quad (4.5)$$

であり，ここで， $\bar{y}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ik}$ である。

漁期を通した総釣獲尾数は，漁期全体を1つの旬のように扱い，上述の式により推定した。旬ごとの釣獲尾数を合計することによりシーズン中の総釣獲尾数を推定する場合，本章では毎旬同じ標本が漁期を通して使われているので， k 旬と k' 旬の釣獲尾数は相関を持つ（北田 2001）。そのため分散の計算にあたってはこの相関を考慮する必要があるが，漁期全体のデータをまとめて推定する場合には，旬間の相関を考える必要がなく計算が簡単である（北田 2001; Kitada and Tezuka 2002）。

4.3 結果

遊漁船の操業実態

1 隻あたりの遊漁者の乗船者数は 1999 年，2000 年の 2 カ年とも平均で 4.8 人であった。バケを使用するサクラマス釣りでは，遊漁者同士の仕掛けが絡みやすいため，1 隻あたりの乗船者数を最大 5～6 名に制限することが多い。乗船者数の範囲は 1～9 人であったが，6 名以下の場合が 1999 年には全体の 88%，2000 年には 95% を占めた (Fig. 4.2)。

遊漁者 1 人あたりの釣獲尾数は，1999 年は平均で 4.1 尾，2000 年は平均で 3.9 尾であった。釣獲尾数が 5 尾以下の遊漁者は，1999 年が全体の 75.5%，2000 年は 78.0% と大部分を占めた (Fig. 4.3)。1 尾も釣れなかった遊漁者も少なくなく，その割合は 1999 年が全遊漁者の 5.5%，2000 年は 12.7% であった。11 尾以上を釣り上げた遊漁者は少なく，1999 年では全体のわずか 3.5%，2000 年は 4.6% にとどまった。1 人 1 日あたりの最も多い釣果としては，1999 年は 28 尾，2000 年は 35 尾の釣果が報告された。

シーズン中の出漁日数は遊漁船によって大きく異なり，最も多い船では 39 日であったのに対して，一度もサクラマス釣りに出漁しない船も見られた。平均出

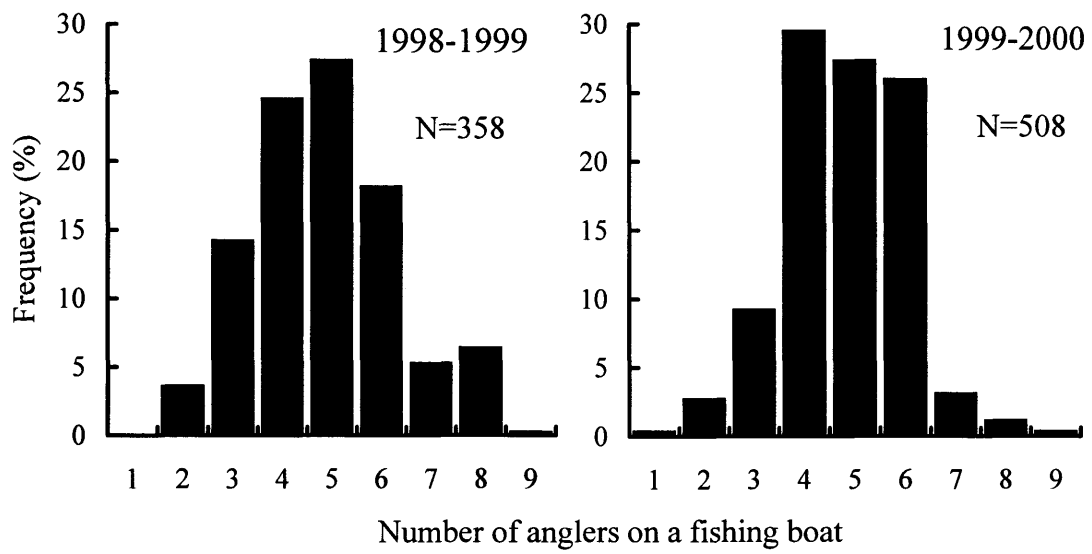


Fig. 4.2 Frequency distributions of numbers of recreational anglers per fishing boat.

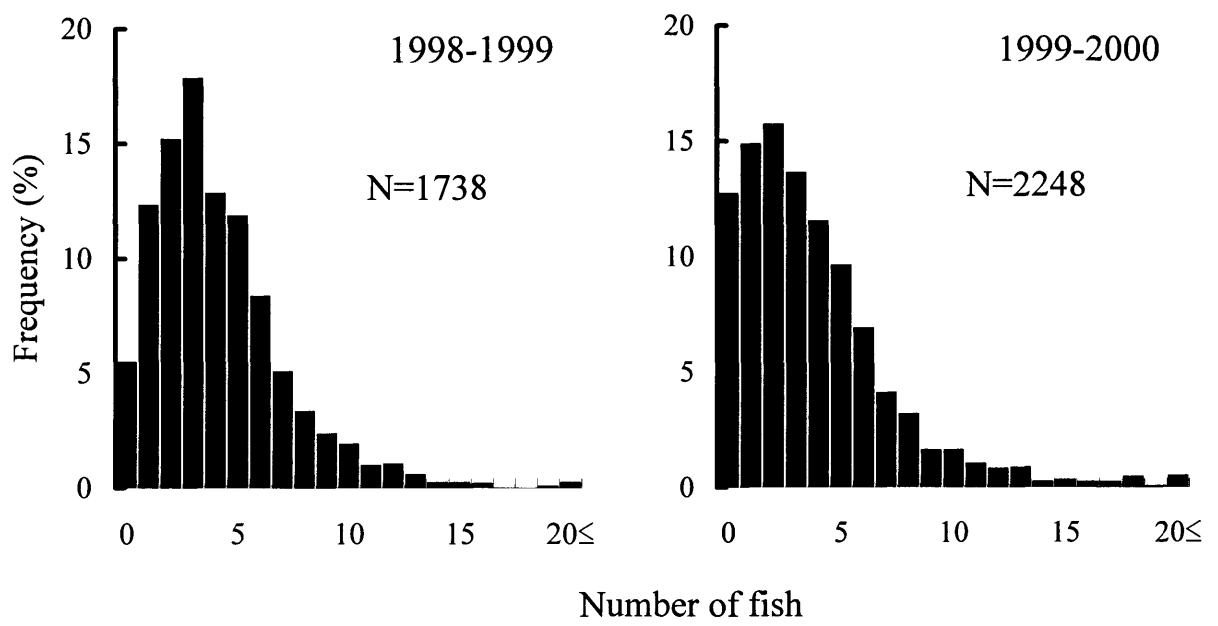


Fig. 4.3 Frequency distributions of recreational catches of masu salmon per angler in the coastal areas off Iburi, Hokkaido.

漁日数は、1999年は13.2日、2000年は12.1日であった。出漁日数とシーズン中の各遊漁船の総釣獲尾数には正の相関が認められ、出漁日数が多い遊漁船ほどシーズン中のサクラマスの総釣獲尾数が多くなる傾向を示した (Fig. 4.4)。

1日1隻あたりのサクラマスの平均釣獲尾数は、1999年は19.8尾、2000年は18.6尾であった。旬ごとにみると、1999年、2000年ともに2月上旬にピークがみられた (Fig. 4.5)。

遊漁船によるサクラマスの推定釣獲尾数は、1999年は1月下旬、2000年は2月上旬にピークを迎え (Fig. 4.6)、2月中旬以降は減少した。1999年は1月中旬から2月中旬まで4旬にわたり釣獲尾数が1万尾を超える時期が続いたが、2000年は1月下旬から2月上旬にかけて釣獲尾数が急激に増加したものの、好調な時期は長くは続かなかった。シーズンを通したサクラマスの釣獲尾数 (括弧内は標準誤差) は、1999年は66,844 (11,685) 尾、2000年は57,454 (6,559) 尾と推定された (Table 4.1)。

4.4 考察

北海道太平洋側の胆振沿岸において、1日1隻あたりの釣獲尾数を要素として、遊漁船を抽出単位とする1段のクラスターサンプリングを実施し、サクラマスの釣獲尾数を調べた。対象地域における各遊漁船のサクラマス釣りの操業実態が不明であったため、標本抽出はランダムに行うこととし、遊漁船団体に依頼して標本船を抽出した。各標本船の漁期中の出漁日数は数日程度から30日以上まで幅が広く、標本船はサクラマス釣りの実績に関わらずランダムに選ばれていたものと考えられた。標本船の中には、漁期を通してコンスタントには出漁しないものの、サクラマスの釣りが本格化すると出漁回数が多くなる船もみられた。遊漁者1人あたり、あるいは遊漁船1隻あたりの釣獲尾数には1月後半から2月前半にかけてピークがみられ、この時期には出漁船数も増えた。標本船のレーダーを利用して漁場海域の遊漁船を数えたところ、1月下旬から2月上旬の週末には150~200隻もの船が密集していることもあった。この中には、サクラマス狙いの遊漁船以外の船舶も一部含まれる可能性はあるものの、この時期の胆振沿岸では相当数の遊漁船がサクラマス釣りを行っていることが確認された。

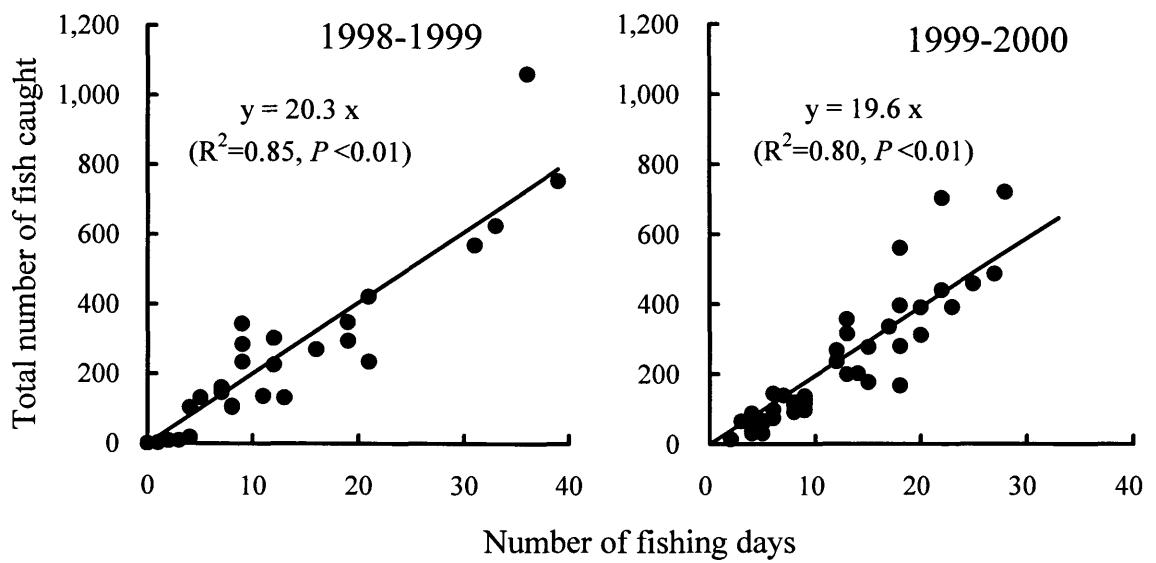


Fig. 4.4 Relationship between effort (number of fishing days) and catch (total number of masu salmon caught by each fishing boat) in the coastal areas off Iburi, Hokkaido.

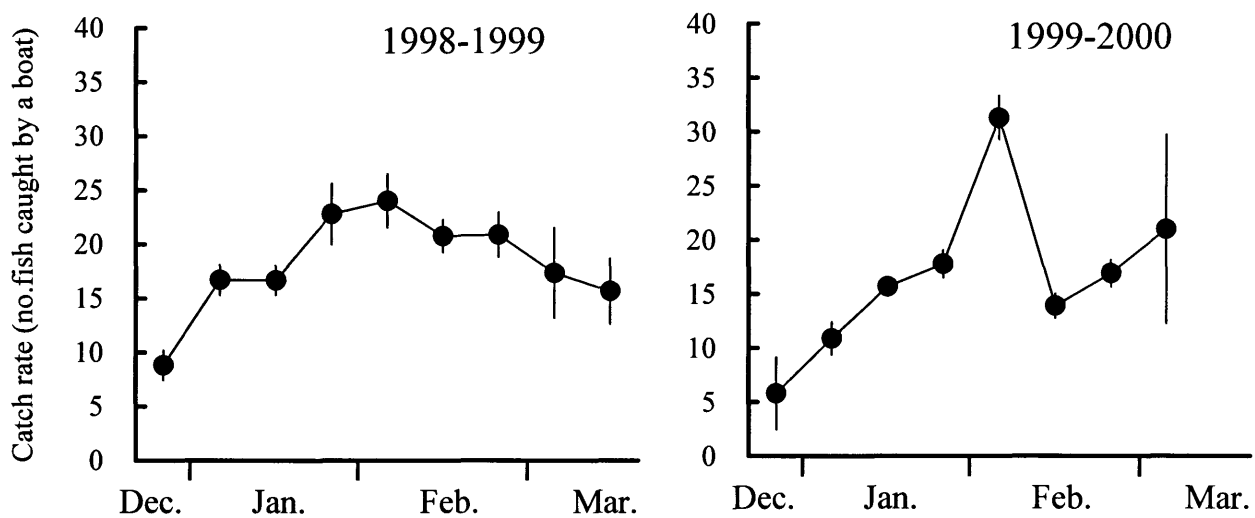


Fig. 4.5 Estimated catch rates (number of fish caught per fishing boat) for masu salmon in the coastal areas off Ihuri. Vertical bars show the standard errors.

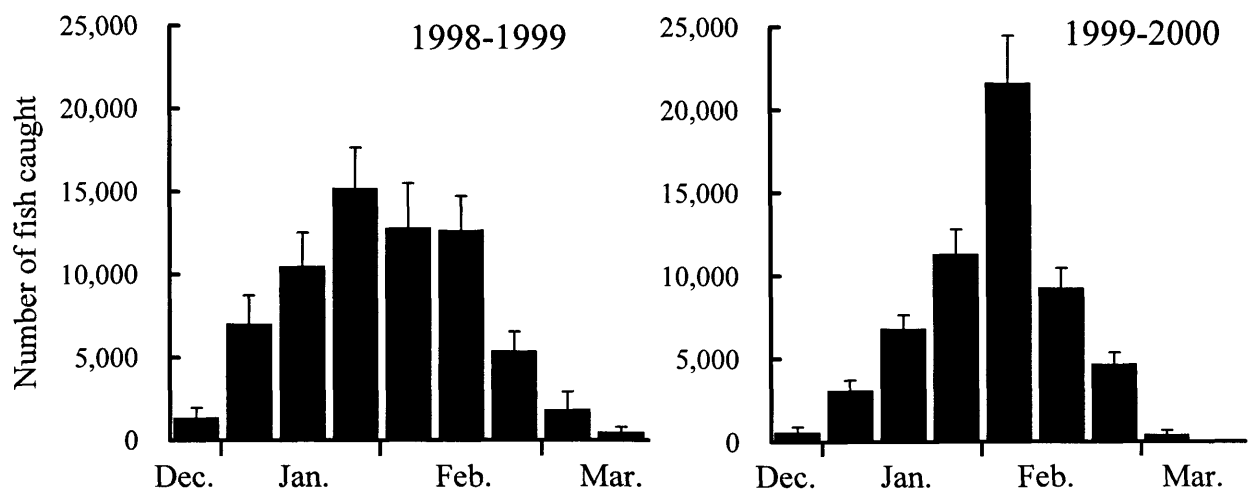


Fig. 4.6 Estimates of numbers of masu salmon caught by recreational anglers in the coastal areas off Iburi. Vertical bars show the standard errors.

Table 4.1 Estimates of recreational catches from the sampling survey for recreational party boats and commercial catches of masu salmon in the Iburi district, Hokkaido

Year (December-March)	Catch rate (mean number of masu salmon caught per boat per day)		Total number of masu salmon caught by recreational party boats		Commercial catch
	Estimate	SE	Estimate	SE	
1998-1999	19.8	1.81	66,844	11,685	7,231
1999-2000	18.6	0.97	57,454	6,559	17,301

1999年および2000年の釣獲尾数（括弧内は標準誤差）はそれぞれ66,844（11,685）尾、57,454（6,559）尾と推定された。調査期間とした12月中旬から3月中旬にかけての胆振沿岸の漁業によるサクラマス漁獲尾数は1999年は7,231尾、2000年は17,301尾であった（Table 4.1）。冬季の胆振沿岸ではサクラマスを主な対象とした漁法は存在しないとはいえ、遊漁によるサクラマスの釣獲尾数は漁業による漁獲尾数を大きく上回った。北海道全体での沿岸漁業によるサクラマスの年間漁獲尾数は1999年が557,084尾、2000年は437,815尾であったので、調査を実施した2ヵ年とも、北海道での年間のサクラマス漁獲尾数の12~13%に相当する数量が胆振沿岸の遊漁により釣られていたこととなる。北海道沿岸でのサクラマス釣りは、胆振海域のほか、噴火湾から津軽海峡にかけての太平洋側や日本海側中南部においても人気が高い。また、本章では対象としなかったが、最近ではプレジャーボートによる釣りも盛んである。これらのことから、サクラマスにおいても、遊漁による釣獲尾数は資源管理や放流効果を評価する上で無視できない数量にのぼるものと推測され、遊漁による釣獲尾数の評価の重要性があらためて確認された。

冬季の胆振沿岸での漁業では、日本海側を含む北海道各地から放流されたサクラマスが水揚げされ（Miyakoshi *et al.* 2001a; Ando *et al.* 2005）、遊漁船を対象とした調査でも、北海道日本海側から放流された標識魚の再捕が確認されている（北海道立水産孵化場 2002）。このことから、サクラマスの放流効果を評価する上でも胆振沿岸における遊漁による釣獲尾数を把握することは特に重要と考えられる。ただし、放流効果の評価のためには標識魚の釣獲尾数の推定が必要となる。サクラマスでは鰭切除により標識することが多いが（田子 1997）、鰭の再生もみられるため、この標識方法では遊漁者から正しい再捕報告を得ることは難しい。本章では総釣獲尾数を推定したが、標識魚の釣獲尾数を推定するためには、標識方法の改良や調査体制の構築などの工夫が必要であろう。

種苗放流が行われている魚種においては、漁業者が当該魚種の水揚げ金額のうち、一定の率を増殖経費として負担する場合が多い。北海道のサクラマスでも、漁業者から増殖経費の負担金を徴収している地域もみられる。海面での遊漁が盛んになり、増殖対象魚種を遊漁者が数多く利用するようになると、漁業者と遊漁者間のトラブルなどが起こりがちとなる。漁業と遊漁が水産資源を持続的に利用

してゆくためには、両者による資源の利用尾数をモニタリングするとともに、遊漁者も増殖経費の一部を担うシステムを作り、資源保全に対する認識を深めることが必要となるであろう。北海道胆振沿岸においては、2000年12月から胆振海区漁業調整委員会指示によりサクラマス船釣りライセンス制が施行されている。釣りができる時間帯(日の出から正午まで)や釣獲尾数(1日1人10尾までとし、釣った魚の放流は禁止)が制限され、ライセンス取得船には釣果を報告することが義務付けられている。ライセンス取得者(船長)は協力金を負担し、その一部はサクラマスのふ化放流経費として利用されている。

本章は海面におけるサクラマスの釣獲尾数を定量的に推定した初めての事例である(Miyakoshi *et al.* 2004a)。サクラマスはふ化後、1~3年を河川で過ごす(Hayano *et al.* 2003)。河川生活期の幼魚(ヤマメあるいはヤマベと呼ばれる)は溪流釣りの対象魚として人気が高く(安藤ら 2002)、さらに、本章で紹介したように、降海した後も海面での釣りの対象となるなど、生活史を通じて釣りの対象となる機会が多い。サクラマスの資源管理、増殖を図る上では河川、海面における釣り実態の把握と管理が不可欠と言える。

第5章 標識再捕によるスマルト降河尾数の推定

5.1 はじめに

サクラマス資源の増殖は、河川における遊漁規制などによる野生資源の保護と人為的なふ化放流によって行われてきた。サクラマスは浮上後1～3年間を河川で過ごした後、銀毛変態（スマルト化）し海洋生活へと移行する。そのため、河川における幼魚の生残の良し悪しが増殖効果に強く影響する。河川生活期の最終発育段階であるスマルトの降河尾数を定量的に調べることは、放流された稚幼魚の降海までの生き残りを評価したり、野生サクラマスの資源量を把握する上で重要と考えられる。Power (1985) はスマルト降河尾数の定量調査の意義を次のように述べている。(1) 資源管理の効果を評価する指標、(2) 数年後の成魚の来遊量の予測と漁業管理を行うための資料、(3) 淡水域の生息環境の変化（環境汚染など）を評価する指標。

サケ科魚類のスマルトの降河尾数を算定する技術は北米を中心として古くから開発されてきた。一般的に、スマルトの降河尾数を定量的に調べるには河川横断面を遮断するフェンスを設置し (Conlin and Tutty 1979)、スマルト全数を採捕、算定することが最も有効かつ正確とされている (Power 1985)。しかしながら、算定用フェンスの設置には資材費、人件費など相当なコストが必要な上、流量の変動の大きな河川ではスマルトの降河時期を通じてフェンスを維持することが困難である。ゴミや枯れ葉などがフェンスのスリットをふさいで越流したり、増水時にはフェンスが倒壊するなどして算定が不完全になる場合が多い。このようなことから、算定用フェンスは流量が比較的安定した小規模河川でのみ実用可能と考えられる。北海道においてサクラマスのスマルトが降河移動する時期は、融雪により河川が増水しやすく、たとえ規模の小さな河川であっても多くの場合、スマルトの全数採捕は容易ではない。

算定用フェンスを用いた全数採捕に代わるスマルト個体数の推定手法として標識再捕が用いられることが多い (Dempson and Stansbury 1991)。標識再捕により個体数を推定する場合には十分な数のサンプルが得られることが必須であり (Robson and Regier 1964)、対象種を効率的に採捕する手段が不可欠である。最

近ではロータリー式スクリュートラップに代表される、河川流量の変動に強いトラップが開発されている (Kennen *et al.* 1994; Thedinga *et al.* 1994)。また、河川横断面の一部を遮断する部分フェンス (partial fence) は全面を遮断するフェンスに比べて架かる負荷が小さいために倒壊することが少なく、スモルトの採捕に有効であることも報告されている (Dempson and Stansbury 1991)。そこで、本章では北海道北部を流れる増幌川において部分フェンスとロータリー式スクリュートラップを用いて、サクラマススモルトの降河尾数を推定することを試みた。

サクラマスなどサケ科魚類のスモルトの降河移動は 1~2 ヶ月の期間にわたるため (Irvine and Ward 1989; 小林ら 1988; 杉若 1991), それらを対象として標識再捕を行う場合は移動時期全般を通じて標識と再捕を繰り返す必要がある。閉鎖系個体群を対象として標識再捕により個体数を推定する方法としては、1 回放流・1 回再捕を基本とする Petersen 法が広く知られているが (田中 1998), 標識と再捕を複数回にわたって繰り返す場合でも、標識尾数, 再捕尾数それぞれを合計した数値を用いて Petersen 法により推定値を得ることができる (pooled Petersen 法) (Arnason *et al.* 1996)。しかし, pooled Petersen 法により偏りのない推定値を得るには前提となるいくつかの仮定が満たされなくてはならない (Arnason *et al.* 1996; Schwarz and Taylor 1998)。Schwarz and Taylor (1998) は pooled Petersen 法が有効な場合の条件を詳しく解説している。それによると, Petersen 法が偏りのない推定値を与えるために必要な仮定のうち代表的なものとしては, (1) 個体群は閉鎖系である, (2) 標識は脱落せず, かつ正確に報告される, (3) すべての個体の獲られやすさは等しい, ことなどがあるが, このうち(3)の仮定が満たされないことが多い。具体的な原因として, Schwarz and Taylor (1998) は遡上するサケの親魚における標識再捕調査を例に挙げ, 早い時期に移動する個体と遅い時期に移動する個体が均一に混合しなかったり, 時期によって採捕効率に変動することなどを指摘している。これに対して, 層別 Petersen 法では個体の獲られやすさの層間の違いは許されるため, pooled Petersen 法による推定値が偏りを持つ場合でも, 時期別に層別することにより偏りのない推定値が得られる場合のあることが知られている (Arnason *et al.* 1996)。本章では, 2 つのトラップを用いて標識再捕調査を実施し, 野生サクラマススモルトの降河尾数の推定における pooled Petersen 法の妥当性を検討するとともに, 標識および再捕データを時期ごとに層

別した層別 Petersen 法の有効性について検討した（宮腰ら 2001d）。

5.2 調査方法

調査河川

放流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. 5.1）。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、河口から約 15 km の地点より下流側の流域には酪農地帯が形成されており、洪水対策のため河道は改修され、直線化されている。河川改修区間の河畔林は伐採されているが、最近ではヤナギ林がわずかに再生している箇所もみられる。増幌川の水温は下流の河川改修区間では夏季には 20℃を超えるが、冬季は 0℃近くまで低下する。北海道の他の河川と同様、増幌川では冬季は年間を通じて流量の少ない時期であり、春季には融雪増水により流量は著しく増加する。1996～1999 年の平均流量は、1～2 月には毎秒 0.5 m³ 以下であり、4 月には毎秒 20～30 m³ であった。増幌川は 1967 年以降保護水面に指定されており、サクラマスを含む水産動植物の採捕は周年禁止されている。

標識再捕調査

1998 年および 1999 年の 5 月、北海道北部を流れる増幌川に部分フェンスとロータリー式スクリーントラップを設置した（Fig. 5.1）。部分フェンスは上流から降河してくるスマルトを採捕して標識することを目的としており、河口から約 15 km 上流に位置する北海道立水産孵化場宗谷支場の取水口の横に設置した。フェンスは幅 36 cm、高さ 100 cm、スリット幅 8 mm のプラスチック製のパネルをつなぎ合わせたもので、完成時の延長は約 4 m であった（Fig. 5.2a）。設置箇所の川幅は増水時が約 5 m、渇水時は 3 m 程度であったので、渇水時には河川の横断面すべてを遮断し、増水時にはその一部を遮断するにとどまった。

上流から降河してきたサクラマス（野生魚および放流魚を含む）スマルトは部分フェンスにより下流への移動を妨げられ、取水口に入り、導水路を經由して宗谷支場の飼育池へと誘導された。宗谷支場の飼育池では土曜日、日曜日を除く毎

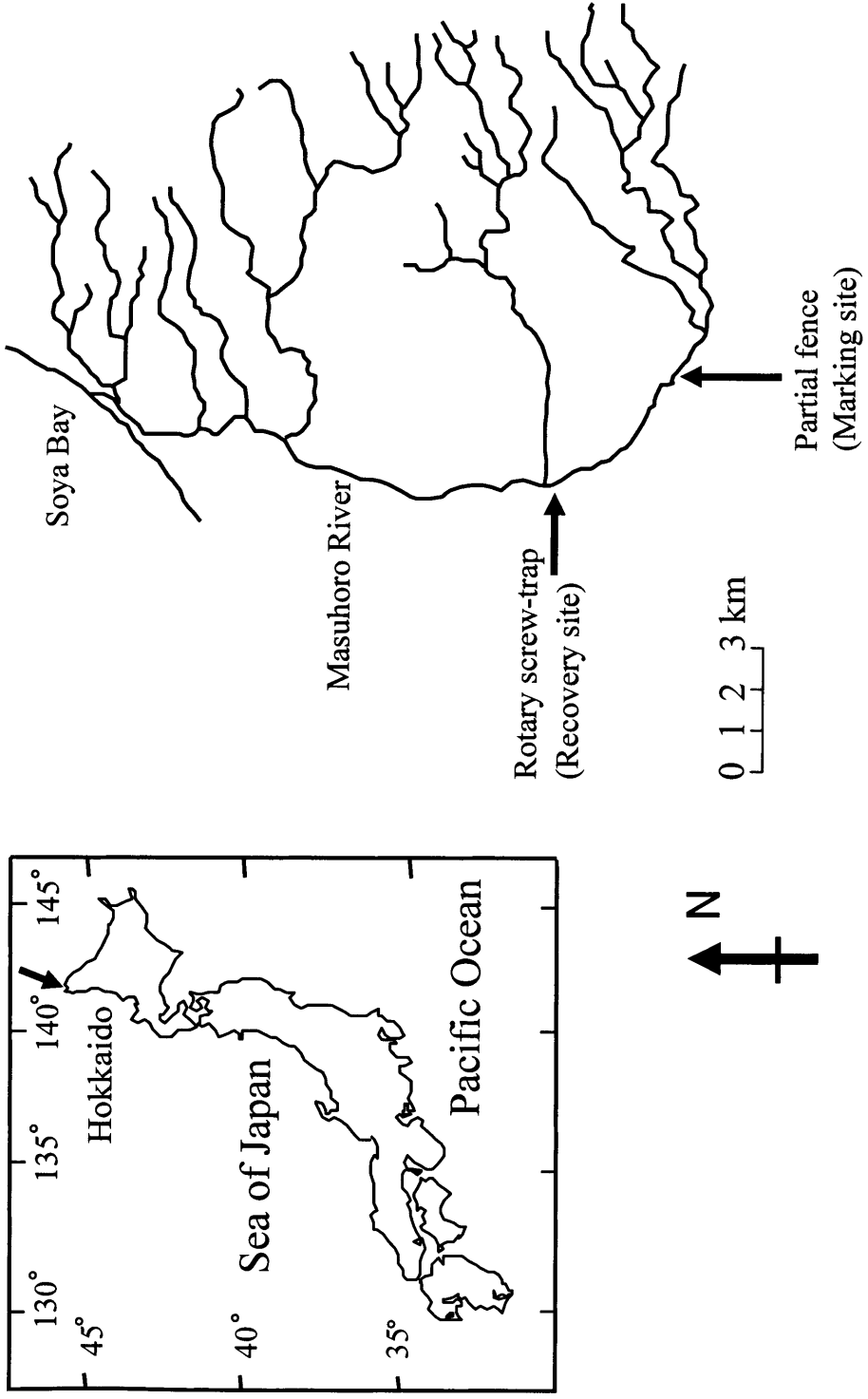


Fig. 5.1 Map of the Masuhiro River, northern Hokkaido, illustrating the locations of marking and recovery sites.



Fig. 5.2a A partial fence installed above the Soya Research Branch of the Hokkaido Fish Hatchery. The allow indicates flow direction.



Fig. 5.2b A rotary-screw trap operated in the Masuhiro River, Hokkaido. The allow indicates flow direction.

日、タモ網を用いてサクラマス幼魚を採捕した。採捕したサクラマス幼魚は m-アミノ安息香酸エチルメタンシルホネート (MS-222) を用いて麻酔した後、鰭切除による標識の有無から野生魚と放流魚を識別し、久保 (1974) の基準に従い外観からスモルト化の進行度合いを判別して、前期スモルト以降の様相を示すサクラマス幼魚の背鰭基部に番号入りリボンタグ (幅 4mm, 長さ 38mm) を付けた。標識したスモルトは尾叉長を測定し、麻酔から覚醒させたのち、飼育池の池尻から放流した。

標識地点より約 5 km 下流 (川幅約 3 m) の地点にはロータリー式スクリュートラップ (E.G. Solution 社製, Oregon) を設置し、降河してきたスモルトを採捕した (Fig. 5.2b)。ロータリー式スクリュートラップの構造は、装置全体を水面に浮かべる役目をする 2 基のフロート (pontoon), 魚類を採集するコーン (cone), 採集した魚類を収容するライブボックス (livebox) から成る (宮腰ら 2001e)。コーンは開口部の直径が 1.5 m の円錐形で、その内側には螺旋状のプレートが取り付けられており、水流を受けて回転する構造になっている。回転速度は流速によって変動する。コーンの後方にはライブボックスが設置されており、一度ライブボックス内に入った魚はコーンの螺旋状プレートが回転しているために逃げることができない構造となっている。ロータリー式スクリュートラップは装置全体が水面に浮いているため河川流量の変動に強い。その反面、水深 75 cm より浅い層を移動する魚しか採捕できないという特徴も持つ。採捕効率を高めるため、スクリュートラップの両側に土嚢を積み、降河してきた魚をトラップのコーンの開口部に誘導した (Fig. 5.2b)。

ライブボックスに収容されたスモルトは土曜日、日曜日を除く毎日回収し、MS-222 で麻酔した後、尾叉長を測定し、標識魚についてはリボンタグの番号を記録して放流した。スクリュートラップ設置地点の水深も記録した。トラップ設置地点の流量を週に 1 度測定して、水深から流量を換算する計算式を求めておき、水深データから毎日の流量を推定した。標識と再捕の作業はスモルトが採捕されなくなる 7 月中旬まで継続した。

リボンタグの脱落およびタグの取り付け作業による幼魚の死亡率を調べるため、50 尾の標識スモルトを無給餌で 2 週間、宗谷支場に設置した 200 L 水槽に収容した。2 週間後までにタグを保有し、生き残った個体の割合を放流尾数に乘じ

て、有効放流尾数を算出した (Dempson and Stansbury 1991)。

なお、増幌川には人工飼育された幼魚が秋に放流されており (Miyakoshi *et al.* 2003a)，標識および再捕地点では野生魚と放流魚が採捕されたが、本章では野生魚のみを対象とし、放流魚については第 6 章で調査結果を述べる。

層別 Petersen 法

標識と再捕を複数回にわたって繰り返す場合でも、標識尾数、再捕尾数それぞれを合計した数値を用いて Petersen 法により推定値を得ることができる (pooled Petersen 法) (Arnason *et al.* 1996)。しかし、前提とされる仮定が満たされない場合は pooled Petersen 法による推定値は偏りを持つことが知られている (Arnason *et al.* 1996; Schwarz and Taylor 1998)。pooled Petersen 法により得られた推定値が偏りを持つ場合、偏りのない推定値を得る方法の一つとしてデータを時期的あるいは地理的に層別することが考えられる。層別 Petersen 法をはじめて示したのは Schaefer (1951) であり、彼は層別 Petersen 法をベニザケ親魚の遡上尾数の推定に適用した例も示している。しかし、Schaefer (1951) の推定方法では推定誤差が得られなかった。その後、Chapman and Junge (1951)、さらには Darroch (1961) が層別推定量を発展させるとともに、pooled Petersen 法が有効かどうかを診断するための検定 (χ^2 検定) を提案した。Darroch (1961) によると、(1) 標識魚の再捕率が各放流層にわたり等しい、あるいは、(2) 再捕時の標識魚の割合が各再捕層にわたり等しい、という条件のいずれかが満たされると pooled Petersen 法は偏りのない推定値を与えると判断できる。Darroch (1961) の推定方法では放流層の数 (s) と再捕層の数 (t) が等しい場合 ($s = t$) には標識時点および再捕時点の双方の推定値が得られるが、 $s > t$ の場合は再捕時点のみ、 $s < t$ の場合は標識時点の個体数のみが推定可能であり、そのうち推定誤差が得られるのは $s = t$ の場合だけであった。最近になって、Plante *et al.* (1998) は Darroch (1961) の推定方法を発展させ (Maximum Likelihood Darroch 法, ML Darroch 法)、 $s \neq t$ の時にも推定誤差を評価することが可能となり、Arnason *et al.* (1996) は Plante *et al.* (1998) のパラメータ推定方法を取り入れた解析プログラム (Stratified Population Analysis System: 以下、SPAS と記す) を開発した。SPAS では Darroch (1961) により提案された pooled Petersen 法の偏りを診断する 2 通りの χ^2 検定 (Arnason *et al.* (1996)

および Schwarz and Taylor (1998) は(1)の条件の検定を Equal proportions test, (2)の条件の検定を Complete mixing test と呼ぶ; Table 5.1) が実行され, pooled Petersen 法と ML Darroch 法により個体数が推定される。ML Darroch 法を用いる場合, 層の数が多くなると数多くの組み合わせの層の結合が可能である。SPAS では, 最尤法により推定されたパラメータを用いて得られた理論値と実測値の適合度を尤度比検定で評価する。検定の結果を見て, 理論値と実測値の適合度の高いモデル(結合)を選択することができる。

スマルト降河尾数の推定

スマルトの降河尾数の推定には解析プログラム SPAS (Stratified Population Analysis System) (Arnason *et al.* 1996) を用いた。増幌川における調査データでは, 日毎の標識尾数および下流での採捕尾数は必ずしも多くはなく, 特に標識魚の再捕尾数は 5 尾未満の日がほとんどであったので, まず, 最初に日毎の標識尾数, 再捕尾数のデータを 1 週間ごとに合計し, 7 つの放流層と 8 つの再捕層に層別した (Table 5.2)。SPAS を用いてこれらの各放流層および各再捕層の結合を繰り返し, その都度, ML Darroch 法によりスマルトの個体数を推定した。その中から実際のデータと推定された理論値の適合度の最も高いモデル, すなわち適合度検定の P 値が最大となるモデルにより得られた推定値を最終的な推定値とした。その際, pooled Petersen 法が偏りのない推定値を与えるかどうかを 2 通りの χ^2 検定 (Table 5.1) により診断した。

Petersen 法など閉鎖系個体群の推定方法では, 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 つのトラップ間を数日で移動したことから, 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いものと仮定した。増幌川での標識地点と下流の再捕地点の間には大きな支流はないが (Fig. 5.1), その間の区間にもサクラマス幼魚は生息している。それらのスマルトが再捕地点を通過することは標識と再捕の間に未標識個体が加入してくることに相当する。このような場合には標識時点の個体数を推定することはできないが, 再捕時点の個体数を推定することは可能である (Arnason *et al.* 1996)。よって, 本章で得られる推定値は下流の再捕地点, すなわち, スクリュートラップを設置した地点を通過するスマルトの個

Table 5.1a Statistics collected from the multiple mark-recapture experiments (Schwarz and Taylor 1998)

Tagging stratum	Number of fish tagged	Recovery stratum						Not recovered
		1	2	.	.	.	t	
1	n_1	m_{11}	m_{12}	.	.	.	m_{1t}	$n_1 - m_{1.}$
2	n_2	m_{21}	m_{22}	.	.	.	m_{2t}	$n_2 - m_{2.}$
.	
.	
s	n_s	m_{s1}	m_{s2}	.	.	.	m_{st}	$n_s - m_{s.}$
Number of untagged fish		u_1	u_2	.	.	.	u_t	

m_{ij} : number of fish tagged in tagging stratum i and recovered in recovery stratum j

n_i : number of fish tagged and released in tagging stratum i

u_j : number of untagged fish recovered in recovery stratum j

Table 5.1b Contingency table (2×t) to examine consistency of the pooled-Petersen estimate

Equal proportions test (Schwarz and Taylor 1998)

	Recovery stratum						
	1	2	.	.	.	t	
Marked	$m_{.1}$	$m_{.2}$.	.	.	$m_{.t}$	$m_{..}$
Unmarked	$u_{.1}$	$u_{.2}$.	.	.	$u_{.t}$	$u_{..}$
Total	$m_{.1} + u_{.1}$	$m_{.2} + u_{.2}$.	.	.	$m_{.t} + u_{.t}$	

Table 5.1c Contingency table (s×2) to examine consistency of the pooled-Petersen estimate

Complete mixing test (Schwarz and Taylor 1998)

Tagging stratum	Recaptured	Not recaptured	
1	$m_{1.}$	$n_1 - m_{1.}$	n_1
2	$m_{2.}$	$n_2 - m_{2.}$	n_2
.	.	.	
.	.	.	
s	$m_{s.}$	$n_s - m_{s.}$	n_s
	$m_{..}$	$n_{..} - m_{..}$	

Table 5.2 Summary statistics for the mark-recapture of masu salmon smolts in the Masuho River, Hokkaido, in 1999

Release stratum	Beginning date ¹	Number of fish marked ²	Number of fish recaptured								Recapture rate	
			Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6	Week 7	Week 8		
Week 1	21 May	75	1	18	11	0	0	0	0	0	0	0.40
Week 2	29 May	111	0	10	13	3	0	0	0	0	0	0.23
Week 3	5 June	172	0	0	27	4	4	1	0	0	0	0.19
Week 4	12 June	244	0	0	0	20	12	0	0	0	0	0.13
Week 5	19 June	191	0	0	0	0	6	5	0	0	0	0.06
Week 6	26 June	258	0	0	0	0	0	32	53	4	4	0.34
Week 7	3 July	36	0	0	0	0	0	0	1	3	3	0.11
Number of unmarked fish recovered			39	197	523	302	60	47	22	3	3	
Mark ratio			0.03	0.12	0.09	0.08	0.24	0.44	0.71	0.70	0.70	

¹ Each week consisted of 7 days with the exception of Week 1 which consisted of 9 days.

² Numbers were adjusted for tag loss and tagging induced mortality.

体数の推定値ということになる。再捕時点の個体数のみの推定が可能な条件下において ML Darroch 推定値を用いる場合には、放流層の数 (s) が再捕層の数 (t) 以上となる必要があるので (Arnason *et al.* 1996; Schwarz and Taylor 1998) , データの各層を結合する時には $s \geq t$ となるようにした。ML Darroch 法では各再捕層における採捕効率 (ここでは、下流側のトラップの採捕効率) およびスモルト個体数、各標識層から各再捕層への移動率のパラメータが推定された (Arnason *et al.* 1996; Schwarz and Taylor 1998) 。

本章では 1998 および 1999 年の 2 ヶ年分の調査データを取り扱ったが、詳細の説明には 1999 年のデータのみを用いる。

5.3 結果

1998 年は 5 月 19 日から 7 月 8 日までスモルトの採捕を行い、この間に計 1,990 尾の野生スモルトを標識、放流して、下流のスクリュートラップでは 2,043 尾を採捕し、このうち標識魚は 350 尾であった。1999 年は 5 月 21 日から 7 月 12 日までスモルトの採捕を行い、この間に計 1,110 尾を標識、放流して、下流のスクリュートラップでは 1,417 尾を採捕し、このうち標識魚は 224 尾であった。

リボンタグの脱落と標識付け作業による死亡率を調べる試験に供したスモルトのうち、タグが脱落したり、あるいは死亡した個体数は 1998 年が 50 尾中 4 尾、1999 年は 50 尾中 1 尾であった。そこで、両年の実際の標識尾数にそれぞれ 0.92 (46/50) , 0.98 (49/50) を乗じて標識尾数を補正した。

最終的な推定結果を導いた標識再捕データは、1998 年は 6×5 行列、1999 年は 5×4 行列となった (Table 5.3) 。1999 年の各放流層における標識尾数に対する再捕率は 10~40% の範囲で変動しており、各再捕層における採捕尾数に対する標識魚の割合も 9~58% の範囲で大きく変動した (Table 5.3) 。サクラマススモルト降河尾数の推定値は、1998 年は pooled Petersen 法では 10,666 尾 (SE : 465) , ML Darroch 法では 13,821 尾 (SE : 1,203) , 1999 年は pooled Petersen 法では 6,861 尾 (SE : 373) , ML Darroch 法では 7,988 尾 (SE : 682) であった (Table 5.4) 。ML Darroch 法による推定値は pooled Petersen 法と比べ、1998 年は 30% , 1999 年は 16% 大きな値となった。一方、変動係数は両年とも ML Darroch 法よりも pooled

Table 5.3 Summary statistics for the mark-recapture of masu salmon smolts in the Masuho River, Hokkaido, in 1999 (after pooling)

Release stratum	Beginning date ¹	Number of fish marked ²	Number of fish recaptured			Recapture rate
			Weeks 1+2	Week 3	Weeks 4+5	
Week 1	21 May	75	19	11	0	0.40
Week 2	29 May	111	10	13	3	0.23
Week 3	5 June	172	0	27	5	0.19
Weeks 4+5	12 June	435	0	0	38	0.10
Weeks 6+7	26 June	294	0	0	0	0.32
Number of unmarked fish recovered			236	523	362	72
Mark ratio			0.11	0.09	0.11	0.58

¹ Each week consisted of 7 days with the exception of Week 1 which consisted of 9 days.

² Numbers were adjusted for tag loss and tagging induced mortality.

Table 5.4 Results from analyzing mark-recapture data for masu salmon smolts in the Masuhiro River

(A) Estimates by pooled Petersen and ML Darroch (stratified Petersen)				
	pooled Petersen	ML Darroch	pooled Petersen	ML Darroch
	1998		1999	
Estimate	10,666	13,821	6,861	7,988
SE	465	1,203	373	682
CV	0.044	0.087	0.054	0.085

(B) Results of diagnostic tests for complete pooling				
	<i>P</i> -value	df	<i>P</i> -value	df
	1998		1999	
Test 1 ¹	<i>P</i> < 0.01	4	<i>P</i> < 0.01	3
Test 2 ²	<i>P</i> < 0.01	5	<i>P</i> < 0.01	4

¹ Test labelled "Equal proportions" by Arnason *et al.* (1996)

² Test labelled "Complete mixing" by Arnason *et al.* (1996)

Petersen 法のほうが小さく、推定精度は pooled Petersen 法のほうが優っていた。しかしながら、両年とも 2 通りの χ^2 検定 (Equal proportions test, Complete mixing test) ではいずれも有意な差が見られ (Table 5.4), pooled Petersen 法による推定値は偏りを持つ可能性があるものと判断された。

ML Darroch 法で推定された層毎の降河尾数を各層の日数で除し、1 日あたりの降河尾数を推定した (Fig. 5.3)。1998 年と 1999 年では層の結合の仕方に違いがあるので単純に比べることはできないが、両年とも 6 月に入ってスモルトの降河尾数が増え、1998 年は 6 月中旬、1999 年は 6 月下旬にはスモルトの降河移動はほぼ終了する傾向が見られた。

調査期間を通したスクリュートラップの採捕効率は、1998 年が 19.1%, 1999 年は 20.6% と推定された。ML Darroch 法ではスクリュートラップの採捕効率が再捕層ごとに推定された (Fig. 5.4)。1999 年には調査時期序盤の 2 週間 (Week 1+2) は 68.8% と高い採捕効率であったが、第 3 週 (Week 3) 以降は低下し、第 4~5 週目 (Week 4+5) には 9.1% と低い採捕効率となった。また、ML Darroch 法では各標識層から各再捕層への個体の移動率が推定され (Table 5.5), それをみると、調査序盤の 5 月下旬から 6 月上旬頃までは (Week 1 および Week 2) 放流した週のうちに再捕地点まで到達する個体は多くはなかったが (13~36%), 6 月中旬以降 (Weeks 4~7) はほとんどの個体 ($\geq 96\%$) が放流した週のうちに再捕地点まで到達したものと推定された。

採捕したスモルトの尾叉長を旬ごとに平均すると、標識地点では 12.4~12.7 cm, 採捕地点では 11.9~12.4 cm であった (Fig. 5.5)。標識地点、再捕地点いずれにおいても、採捕されたスモルトの尾叉長には差は小さいものの旬間で有意な差がみられた (Kruskal-Wallis test, $P < 0.01$)。また、降河移動時期序盤の 5 月下旬から 6 月上旬には、スモルトの尾叉長はばらつきが大きく、調査時期後半になると尾叉長のばらつきが小さくなる傾向がみられた。標識地点と再捕地点で採捕されたスモルトの尾叉長を比較すると、標識地点で採捕されたスモルトのほうが再捕地点で採捕されたスモルトよりもいずれの旬でも大きく、6 月上旬から下旬にはそれぞれ有意な差がみられた (t-test, $P < 0.05$)。

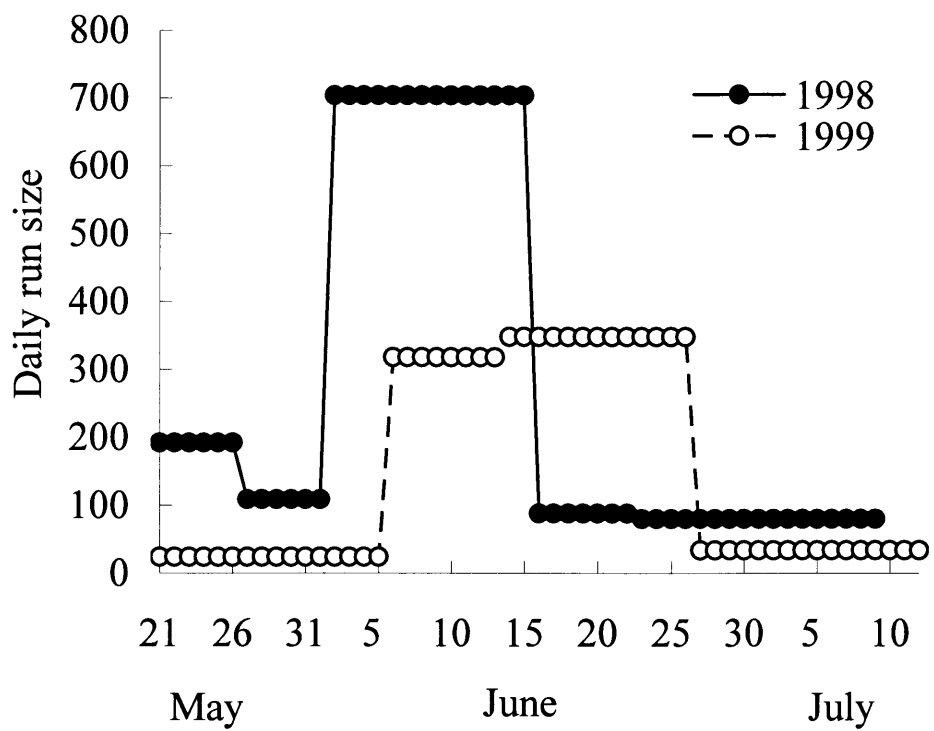


Fig. 5.3 Numbers of masu salmon smolts for each stratum estimated by maximum likelihood Darroch (stratified Petersen) estimator.

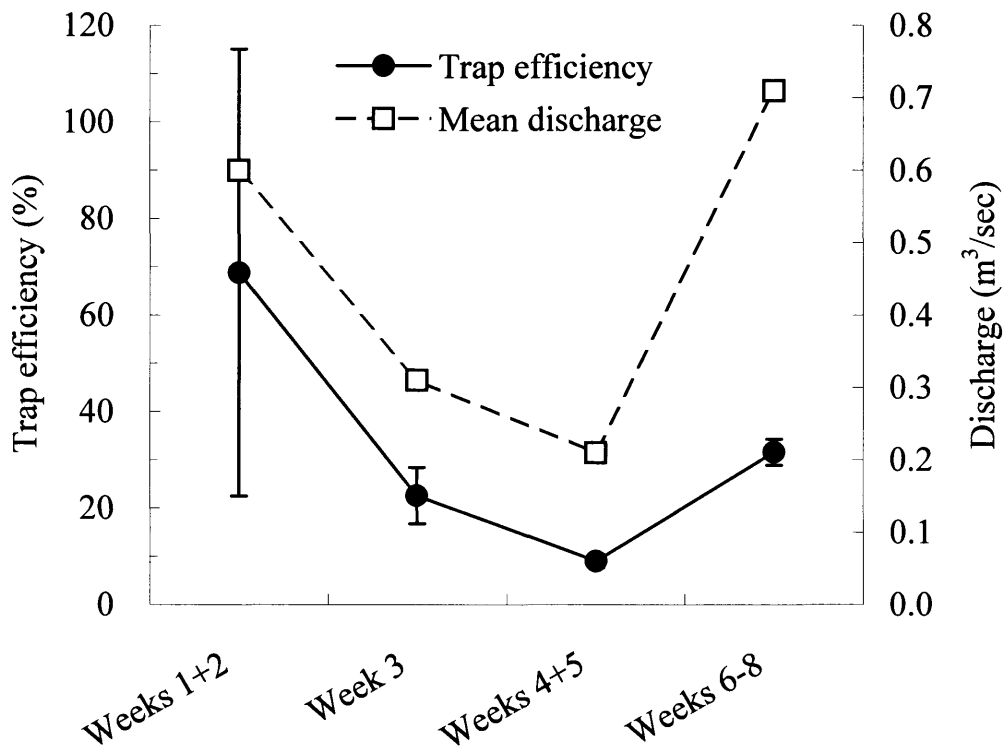


Fig. 5.4 Mean discharge and trap efficiency (estimated by maximum likelihood Darroch estimator) in 1999. Vertical bars indicate standard error of the estimated trap efficiency.

Table 5.5 Estimated probability that a smolt in a particular release stratum moved to a particular recovery stratum, Masuho River, 1999

Release stratum	Recovery stratum			
	Weeks 1+2	Week 3	Weeks 4+5	Weeks 6–8
Week 1	0.36	0.64	0.00	0.00
Week 2	0.13	0.54	0.33	0.00
Week 3	0.00	0.69	0.31	0.00
Weeks 4+5	0.00	0.00	0.96	0.04
Weeks 6+7	0.00	0.00	0.00	1.00

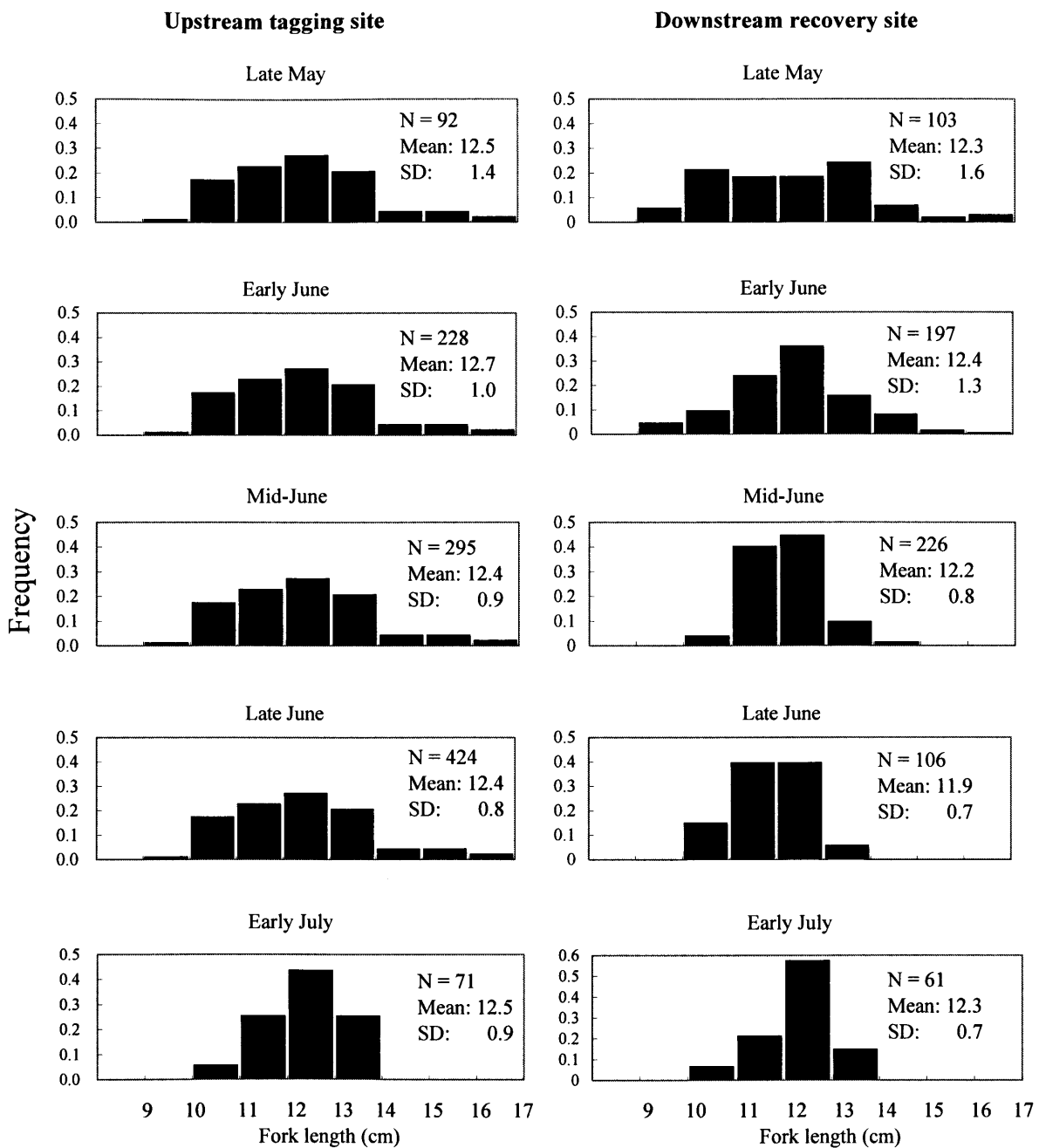


Fig. 5.5 Frequency distributions of fork lengths of wild masu salmon smolts captured at the upstream tagging site and the downstream recovery site in the Masuhoro River, 1999.

5.4 考察

標識再捕によりサクラマススモルトの降河尾数を推定する際に、標識尾数と再捕尾数それぞれを合計した数値を用いて計算する pooled Petersen 法が妥当かどうかを検討した。その結果、北海道北部の増幌川において調査を実施した 2 ヶ年ともに pooled Petersen 法により得られた推定値は偏りを持つ可能性があるものと判断された。一方、pooled Petersen 法のほうが層別 Petersen 法 (ML Darroch) よりも高い推定精度を示した。Arnason *et al.* (1996) および Plante *et al.* (1998) は層別 Petersen 法の理論的な研究の中で、前提となる仮定が満たされない場合には pooled Petersen 法による推定値は大きな偏りを持つことを明確に記している。その一方で、偏りの少ないモデル (層別 Petersen 法) を選択するか、推定精度の高いモデル (pooled Petersen 法) を選択するかの判断基準は確立されていないことも述べている。実際の野外調査においては推定値の偏りの大きさを判断できる情報 (例えば、全数採捕が可能な漁具による採捕尾数、など) が得られなければ、偏りと推定精度のどちらを重要視すればよいのか一概には決められない。その場合、Darroch (1961) が示した 2 つの検定 (Equal proportions test および Complete mixing test; Table 5.1) の結果は推定方法を選択する上での判断基準となるであろう。本章では pooled Petersen 法と ML Darroch 法による推定値の差は大きく、Darroch (1961) が示した検定で有意差が見られたことから、標識および再捕データを時期的に層別した ML Darroch 法により得られた推定値がより適切であると結論した。

本章において、pooled Petersen 法による推定値の偏りを招いた原因としては、第一にロータリー式スクリュートラップの構造的特徴が考えられる。スクリュートラップは河川の流量変動に強く、スモルトの降河期間中を通して維持することができた。その一方で、トラップの採捕効率が調査期間を通して一定ではなく、時期によって大きく変動した (Fig. 5.4)。スクリュートラップでは魚類を採集する部位が水流を受けて回転する構造となっており、流量が多いほど回転数が高くなり (範囲: 1.0~3.8 回転/分)、その結果、トラップの採捕効率も向上したものと推測される。第二にはスモルトの移動速度の時期別の変化が挙げられる (Table 5.5)。5 月から 6 月初め頃までは (Week 1 および Week 2) 放流した週の

うちに再捕地点まで到達する個体は多くはなかったが、6月中旬以降（Weeks 4～7）はほとんどの個体が放流した週のうちに再捕地点まで到達しており、時期が遅くなるほどスモルトのトラップ間の移動速度が速まったことを示している。ここで、標識時期ごとにスモルト化の進行度合いを見ると（Fig. 5.6），早い時期には前期スモルトの割合が高いが，次第に中期スモルト以降の割合が高くなり，終盤になるに従いスモルト化変態の進んだ個体の比率が高まった。降河行動，移動速度はスモルト化の進行度合いと深く関わっているものと推測される（久保 1974）。このようなスモルトの移動速度の変化とトラップの時期的な採捕効率の変動が重なり，各放流層における標識魚の再捕率や各再捕層における標識魚の割合に違いが生じ，結果として pooled Petersen 法の要求する条件が満たされなかったものと考えられる。

層別 Petersen 法の歴史は古く，主に統計学者によって理論的に研究され発展を続けてきたが（Arnason *et al.* 1996; Plante *et al.* 1998; Schwarz and Taylor 1998），その一方，水産研究の現場で実際に利用された研究例は多くはなかった。最近，Miyakoshi and Kudo（1999）が遡上するサクラマス親魚の全数捕獲が可能な河川において pooled Petersen 法と ML Darroch 法による推定値と実際の遡上尾数を比較して，ML Darroch 法のほうがより正確な推定値を与え，かつ時期別の遡上尾数も正確に推定できた事例を示し，層別 Petersen 法は実用的にも有効な推定方法であることを実証している。層別の基準も本章で用いた時期別の層別のほかに，採捕場所による層別（Miyakoshi and Kudo 1999）や雌雄による層別等も可能であり，また，降河移動中のスモルトや遡上中のサケ科魚類親魚のみならず様々な個体群に適用可能である。使いやすい解析プログラム（Arnason *et al.* 1996）も公開されている（<http://www.cs.umanitoba.ca/~popan/>）ことから，層別 Petersen 法の使用が今後広まることが期待される。

次に，スモルトの採捕に用いたスクリュートラップの採捕効率について述べる。Thedinga *et al.*（1994）はスクリュートラップを使用して複数のサケ科魚類を採捕し，スモルトサイズが比較的小さいマスノスケ（体長 6.9～8.9 cm）やギンザケ（8.6～11.1 cm）では採捕効率はそれぞれ 24%，12%と高いのに対して，スチールヘッド（体長 12.0～18.0 cm）ではトラップの採捕効率は 3%と低く，スモルトサイズが大きな魚種はトラップからの回避能力が高いことを述べている。本章の調査

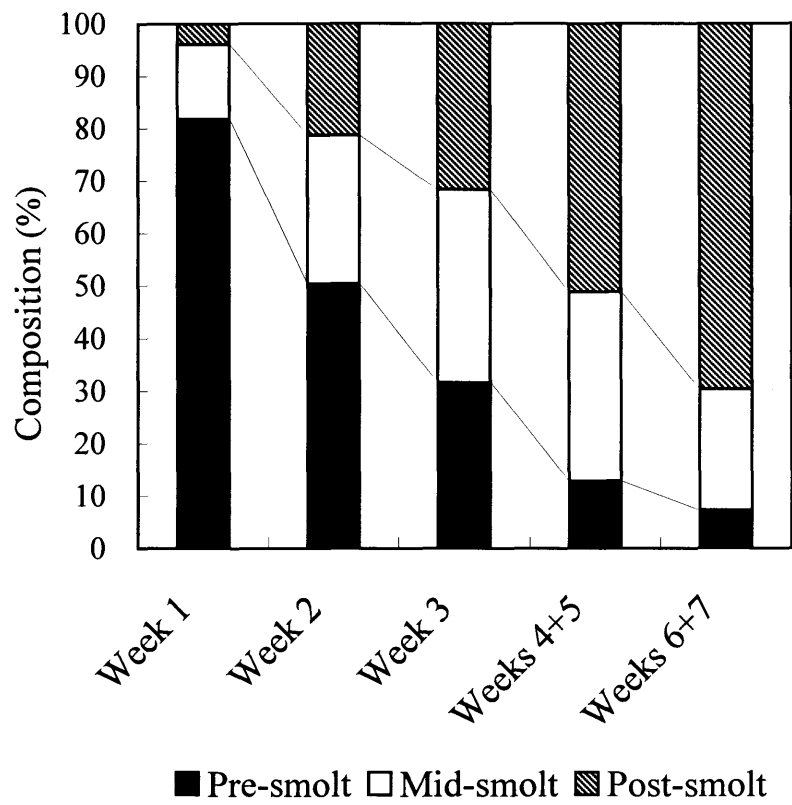


Fig. 5.6 Smoltification phase of marked masu salmon in the Masuoro River in 1999 (phases defined in Kubo (1974)).

に先立って 1996 年に増幌川で実施された標識再捕調査では (宮腰ら 2001e) , 野生サクラマススモルト (平均体長 12.2 cm) に対するトラップの採捕効率は 6.6% と低く, サクラマスもトラップからの回避能力が高いものと推測された。本章では, トラップの設置地点を宮腰ら (2001e) から変更し, 川幅がトラップとほぼ同じ程度 (3 m) に狭まった地点にスクリュートラップを設置した (Fig. 5.2b) 。さらにトラップの両側には土嚢を敷き詰めたために, 降河移動してきたスモルトがトラップによる採捕を回避することが可能な空間は, スクリュートラップのコーンの下端と河床の間のわずかな (数 cm~数十 cm) 隙間しかなかった (Fig. 5.2b) 。この結果, 調査期間を通じたスクリュートラップの採捕効率は 19~21% に向上したが, それでもなお, スモルトの大部分はトラップを回避したことになる。さらに, スクリュートラップのコーンの回転数が低い場合 (<2 回転/分) には採捕効率も 10%以下に低下した。Thedinga *et al.* (1994) はスクリュートラップの設置に適した場所として, 川幅が狭く, 十分な流速と水深が得られる場所としている。これらのことから, 効率良い採捕を実現するためには, 採捕器具の特徴に合った設置場所の選択が重要であることがわかる。

以上, 本章では降河するサクラマスのスモルト個体数の推定方法の一つについて論じたが, 採捕に用いる器具 (Conlin and Tutty 1979) や推定方法 (Schwarz and Dempson 1994; Carlson *et al.* 1998; Schwarz and Seber 1999) は他にも数多く考案されており, 場所や時期, 予算などの都合によってどれか一つを選択することになる。サケ科魚類の資源増殖において野生資源の保護およびその効果的な管理を重視してきた北米では資源量の推定技術も盛んに研究され (Cousens *et al.* 1982; Irvine and Nelson 1995) , 様々な発育段階における生残率に関する研究結果が蓄積されてきた (Bradford 1995) 。一方, 日本のサクラマスでは人工孵化放流に重点が置かれ, 種苗放流の増殖効果は調べられているものの (真山 1992; Miyakoshi *et al.* 2001a; 2001c; 2004b) , 野生資源の個体群動態やその資源管理に関する研究はまだまだ不十分と言える。各発育段階においてサクラマスの資源量を推定する技術をさらに研究し, 生活史全般を通じた資源量の変動を把握し, 有効な資源管理手法を確立することが今後のサクラマス資源増殖のためには必要と考えられる。

第6章 秋季に河川放流したサクラマス幼魚の冬季間の生残率の推定

6.1 はじめに

秋季幼魚放流は遊漁による減耗が少なく、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されている（真山 1992）。秋季に放流された標識魚の沿岸や河川への回帰も報告されており（真山ら 1988）、この放流方法の有効性は徐々に検証されつつあるものの、調査事例は数少なく、どのような種苗が高い放流効果を示すかという放流技術の確立までには至っていない。放流時期に関して、真山（1992）は放流後のサクラマスが適当な越冬場所に移動できるよう、サクラマスの生息場所の移動が起こる水温 10°C から 7~8°C に低下する時期に放流するのが良いとしている。放流する幼魚のサイズについては真山ら（1988）が、翌年のスモルト化に必要な体長 9 cm 以上の幼魚を放流するのが良いと述べているのみであり、異なるサイズの種苗の生残率などを検証した研究例はみられない。冬季はサケ科魚類の幼魚の生残にとって厳しい季節であり（Murphy *et al.* 1984; Cunjak 1996）、冬季間の生残率の良し悪しが秋季幼魚放流の成否を左右すると言える。サクラマスと同様に長い河川生活期を持つギンザケなどのサケ科魚類では越冬前の幼魚のサイズと越冬期の生残率に強い相関のあることが報告されており（Hunt 1969; Holtby 1988）、サクラマスの秋季幼魚放流においても放流時のサイズと越冬期の生残率の関係を調べることは放流技術を向上させる上で重要であると考えられる。本章では、北海道北部の増幌川において秋季に幼魚放流を実施し、第5章で述べた標識再捕による調査方法によりスモルト降河尾数を推定した。さらに放流された幼魚のうちスモルト化せずに河川に残留した個体数を調べ、冬季間の生残率を推定した（Miyakoshi *et al.* 2003a）。

6.2 調査方法

試験魚の養成と放流

北海道立水産孵化場熊石支場では淡水池中でサクラマスを継代飼育し、毎年秋

に親魚から採卵している。増幌川での秋季幼魚放流にはこの池産サクラマスを用いた。1994～1996年は池産サクラマスの発眼卵を北海道立水産孵化場宗谷支場へ輸送し、翌春に稚魚が浮上した後、10月に放流するまでの約半年間、宗谷支場飼育池にて幼魚を飼育した。1997～1998年は北海道立水産孵化場増毛支場で幼魚を飼育した。増毛支場では稚魚が浮上した直後から試験魚を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養成した。放流前には鱗切除により標識を施した (Table 6.1)。標識作業時に成熟雄 (飼育尾数の0.7～4.0%) は放流用幼魚群から除いた。1994～1998年10月、標識したサクラマス幼魚を増幌川へ輸送し、放流した (Fig. 6.1)。1994年および1995年は宗谷支場付近の2ヶ所に分けて放流したが、放流数をおよそ2倍とした1996～1998年は放流地点を4ヶ所に増やし、1箇所への放流尾数はほぼ同じとした。放流時の水温は7.1～10.5℃であった。

スマルト降河尾数の推定

秋季に放流された幼魚に由来するスマルト降河尾数は、第5章と同様、2つのトラップを用いた標識再捕によって調べた。上流側のトラップとして、1995～1999年の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の飼育用水取水口の横の地点にフェンスを設置し、上流から降河移動してきたサクラマス (野生魚および放流魚を含む) スマルトを水路を經由して宗谷支場飼育池内へと誘導した。飼育池内で採捕したサクラマスを久保 (1974) の基準に従いスマルト化の進行度合いを判定し、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、個体ごとに標識し、尾叉長を測定した後、放流した。下流での採捕にはロータリー式スクリーントラップ (Thedinga *et al.* 1994; Roper and Scarnecchia 1996; 宮腰ら 2001e) を用い、1995～1997年は標識地点から10 km下流 (河口から5 km上流) の地点 (川幅約4 m, 増水時8 m) に設置して、降河してきたスマルトを採捕した。1998年および1999年はスクリーントラップの採捕効率を向上させるため、それまでの設置場所より5 km上流の川幅の狭い地点 (川幅約3 m) に設置した。これら2つのトラップでのスマルトの採捕はスマルトの降河移動が終了する7月上旬あるいは中旬まで続いた。

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

Table 6.1 Date, number, length (cm), and weight (g) of juvenile masu salmon stocked in the Masuhoro River 1994–1998. ND indicates no data.

Date of release	Number of fish released	Fork length		Weight		Fins clipped or partially clipped
		Mean	SE	Mean	SE	
14 October 1994	20,000	10.2	ND	11.6	ND	adipose, left pelvic, anal
6 October 1995	20,000	9.0	0.07	9.0	0.19	posterior dorsal
24 October 1996	36,000	7.3	0.10	4.1	0.17	anterior dorsal
14 October 1997	20,000	10.7	0.05	12.5	0.18	dorsal, left pelvic
14 October 1997	20,000	10.0	0.06	10.4	0.17	dorsal, right pelvic
1997 Total	40,000	10.4	0.04	11.5	0.14	
1 October 1998	17,000	10.8	0.05	13.9	0.20	dorsal, upper caudal
1 October 1998	17,000	9.4	0.07	9.3	0.20	dorsal, lower caudal
1998 Total	34,000	10.1	0.05	11.6	0.18	

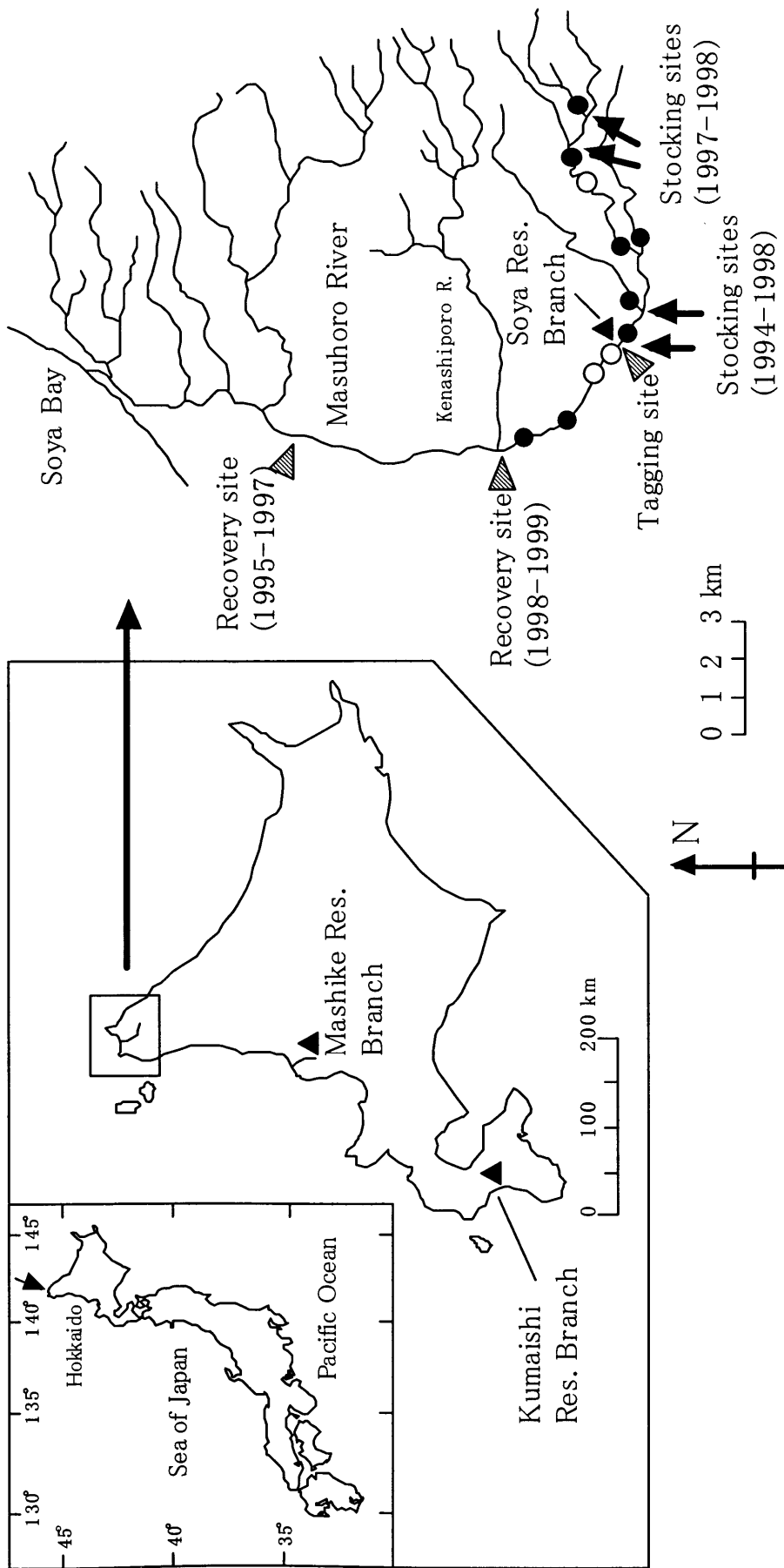


Fig. 6.1 Locations of fall stocking sites, tagging sites, and recovery sites for masu salmon in the Masuho River, northern Hokkaido. Solid circles indicate the stream reaches surveyed for resident masu salmon in 1998 and 1999, open circles the stream

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に水槽の中で2週間、無給餌で収容しておいた。2週間後まで標識が脱落することなく生存した幼魚の割合を宗谷支場からの標識放流尾数に乗じてその数を補正し、補正後の数値をスマルト降河尾数の推定に用いた。

スマルト降河尾数の推定にはプログラム SPAS (Arnason *et al.* 1996) を用いた。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(閉鎖系)ことが仮定条件として要求される。スマルトは2つのトラップ間を数日で移動したことから(宮腰ら 2001d)、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いものと仮定した。しかし、放流魚のうち上流のトラップ設置地点より下流側で越冬した個体もあった。このことは標識と再捕の間に未標識の魚が加入してくることと同等であり、個体群が閉鎖系であるという仮定には反する。Arnason *et al.* (1996) はこのように標識放流から再捕までの間に個体群からの逸散、死亡がなく、加入のみが生じる場合でも、Petersen 法を用いて再捕時点の個体数を推定することが可能なことを示している。よって、本章で推定できるのは再捕の時点、すなわち、スクリュートラップの設置地点を通過する放流魚のスマルト降河尾数ということになる。

日毎の標識再捕の調査データをはじめに7日単位で層別した後、SPAS を用いて pooled Petersen 法および ML Darroch 法により個体数を推定した。Darroch (1961) が示した2通りの χ^2 検定 (Table 5.1) の結果、いずれも有意となり、pooled Petersen 法が偏りを持つ可能性があるとは判断された場合には ML Darroch 推定値を採用し、それ以外の場合は pooled Petersen 推定値を採用した。放流群のうち1+スマルトとして降河した幼魚の割合 (S_{age1}) は、放流翌年のスマルト降河尾数 (N_{smolt}) を放流尾数 ($N_{stocked}$) で除すことにより推定した。すなわち、 $S_{age1} = N_{smolt} / N_{stocked}$ とした。

河川残留型個体の生息尾数の推定

放流魚の中には冬季間を生残したもののスマルトにならずに河川に残留した放流魚もみられた。それらの個体数を推定するため、1998年および1999年の7月、増幌川本支流から調査定点を抽出し、各定点では除去法により幼魚の生息尾数を推定した。生息尾数推定の対象範囲は、同河川で以前に実施した放流魚の分

散範囲の調査結果（藤原ら 1998）を参考とし、下流端は増幌川本流とケナシポロ川の合流点、上流端は最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活用し、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、1998 年は 8 単位、1999 年は 11 単位を抽出した (Fig. 6.1)。生息尾数の推定値および分散は下記の式で計算される (Hankin 1984)。

$$\hat{N} = \frac{K}{k} \sum_{i=1}^k \hat{N}_i \quad (6.1)$$

$$\hat{V}(\hat{N}) = \frac{K(K-k) \sum_{i=1}^k (\hat{N}_i - \hat{N})^2}{k(k-1)} + \frac{K \sum_{i=1}^k \hat{V}(\hat{N}_i)}{k} \quad (6.2)$$

ここで、 K ：対象範囲内の抽出単位の総数

k ：調査定点の数

N_i ：定点 i での幼魚の生息尾数（後述の 6.3 あるいは 6.5 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

$\hat{V}(\hat{N}_i)$ ：定点 i での幼魚の推定生息尾数の分散（後述の 6.4 あるいは 6.6 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 (Smith-Root 社製, Vancouver, WA) 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

の漁獲努力量は同じとした。2回除去法 (Seber and Le Cren 1967) では、各定点での生息尾数 N_i および分散 $V(N_i)$ は次の式により推定される。

$$\hat{N}_i = \frac{C_{i1}^2}{C_{i1} - C_{i2}} \quad (6.3)$$

$$\hat{V}(\hat{N}_i) \cong \frac{C_{i1}^2 C_{i2}^2 (C_{i1} + C_{i2})}{(C_{i1} - C_{i2})^4} \quad (6.4)$$

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、(6.4) 式では推定値を得ることができなかつた。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。生息尾数 N_i および分散 $V(N_i)$ は

$$\hat{N}_i = \frac{C_{i1}}{\hat{p}_i} = C_{i1} \cdot \frac{C_{iw1}}{C_{iw1} - C_{iw2}} \quad (6.5)$$

$$\hat{V}(\hat{N}_i) \cong \frac{\hat{N}_i^2 \hat{q}_i (1 + \hat{q}_i)}{\hat{N}_{iw} \hat{p}_i^3} + \frac{\hat{N}_i \hat{q}_i}{\hat{p}_i} + \frac{\hat{N}_i \hat{q}_i^2 (5 + \hat{q}_i)}{\hat{N}_{iw} \hat{p}_i^4} \quad (6.6)$$

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 ($O_{survival}$) は 1+ スモルトの降河尾数 (N_{smolt}) と河川残留魚の生息尾数 (N_{parr} : 6.1 式で得られた \hat{N}) 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。

同様の方法により、1+ 以上年齢の野生魚の個体数も推定した。ここで、採捕された野生魚には春に浮上したばかりの 0+ 幼魚も含まれていたが、体長組成から 0+ と 1+ 以上の年齢群に分離した。

6.3 結果

秋季幼魚放流に由来するスモルトは 5 月から 7 月上旬にかけて採捕され、降河

移動のピークは6月にみられた。1995～1997年は下流のトラップの採捕効率が低く、標識魚の再捕尾数は4～14尾と少なかった。トラップの設置場所を変更した1998年および1999年には多くの標識魚の再捕が得られた (Table 6.2a)。1995～1997年のスモルト降河尾数は pooled Petersen 推定値を採用し、一方、1998年および1999年には pooled Petersen 法は偏りを持つ可能性があるものと判断されたので、層別 Petersen (ML Darroch) 推定値を採用した (Table 6.2b)。放流数に対する翌春の1+スモルト化率は (括弧内は標準誤差) は 2.2 (1.7)～15.7 (2.2)%と推定され、放流時のサイズとの間に正の相関がみられた ($r^2 = 0.85, P < 0.01$) (Fig. 6.2)。スモルトの平均尾叉長には放流群間で有意な差がみられ (一元配置分散分析, $P < 0.01$)、秋の放流時点での平均尾叉長と翌春のスモルトの平均尾叉長との間には正の相関がみられた ($r^2 = 0.55, P < 0.01$) (Fig. 6.3)。

スモルト採捕時には、1+スモルトに混じって2+スモルトも採捕された (Table 6.2a)。1994年および1995年の放流群では2+スモルトの採捕尾数は3尾以下と少なく、2+スモルトの降河尾数を推定するには至らなかった。1996年および1997年の放流群では pooled Petersen 法により、2+スモルト降河尾数の推定値が得られた (Table 6.2b)。最も小型で放流した1996年放流群では2+スモルトの降河尾数は放流尾数の1.2 (0.2) %と推定され、前年の1+スモルトの約半数にあたる幼魚が2+でスモルト化したものと推定された。1997年放流群では、2+でのスモルト化率は大型群が0.4 (0.06)%, 小型群が0.2 (0.04)%と推定された。このように、いずれの放流群でも、2+スモルトの出現率は低い数値であった。2+スモルトのサイズは、同じ放流群のうち前年に1+スモルトとして降海した個体と比べ大型であった (Fig. 6.3)。

スモルトの降河移動が終わった7月に河川に残留していた放流魚の生息密度は0～48尾/100mと推定され、前年秋の放流場所近くでの生息密度が高い傾向がみられた。河川全体での生息尾数の推定値を Table 6.3 に示した。1997年および1998年放流群ともに小型群のほうが残留個体の個体数は多かった。また、1997年放流群では大小2群とも分散が非常に大きく、推定精度は低かった。いずれの群でも、全分散のうち定点間分散が大部分を占めており (>94%; Table 6.3)、定点内分散、すなわち定点内での除去法による推定誤差に因る部分は大きくなかった。河川に残留した個体の中には未分化幼魚のほかに河川残留型雄も含まれた。河川残留個

Table 6.2a Number of hatchery-origin masu salmon smolts tagged, recovered and recaptured in the Masuhoro River

Year of stocking	Group	1+ smolt			2+ smolt		
		Upper sampling site	Lower sampling site		Upper sampling site	Lower sampling site	
		Number of fish tagged ¹	Number of fish recovered	Number of tagged fish recaptured	Number of fish tagged ¹	Number of fish recovered	Number of tagged fish recaptured
1994		299	141	14	0	0	0
1995		195	158	14	2	3	0
1996		59	66	4	113	73	18
1997	Large	655	272	76	65	15	11
1997	Small	451	247	56	26	10	6
1998	Large	933	521	183	–	–	–
1998	Small	368	207	60	–	–	–

¹ Numbers were adjusted for tag loss and tagging induced mortality.

Table 6.2b Estimates and standard errors of numbers of hatchery-origin masu salmon smolts in the Masuhoro River

Year of stocking	Size group	Type of estimator	1+ smolts		2+ smolts		
			Estimate (SE)	Proportion of fish smolted ² (SE)	Type of estimator	Estimate	Proportion of fish smolted ³ (SE)
1994		Pooled Petersen	2,843 (672)	14.2 (3.4)		0 (0)	0.0 (0.00)
1995		Pooled Petersen	2,076 (494)	10.4 (2.5)	Failed to form estimates ⁴		
1996		Pooled Petersen	804 (316)	2.2 (0.9)	Pooled Petersen	445 (86)	1.2 (0.24)
1997	Large	ML Darroch	2,448 (286)	12.2 (1.4)	Pooled Petersen	88 (12)	0.4 (0.06)
1997	Small	ML Darroch	1,669 (193)	8.3 (1.1)	Pooled Petersen	43 (9)	0.2 (0.05)
1998	Large	ML Darroch	2,677 (192)	15.7 (1.1)	–	–	–
1998	Small	ML Darroch	1,128 (168)	6.6 (1.0)	–	–	–

² Number of 1+ smolts divided by number of masu salmon released.

³ Number of 2+ smolts divided by number of masu salmon released.

⁴ Failed to form estimates because of no recapture of tagged fish.

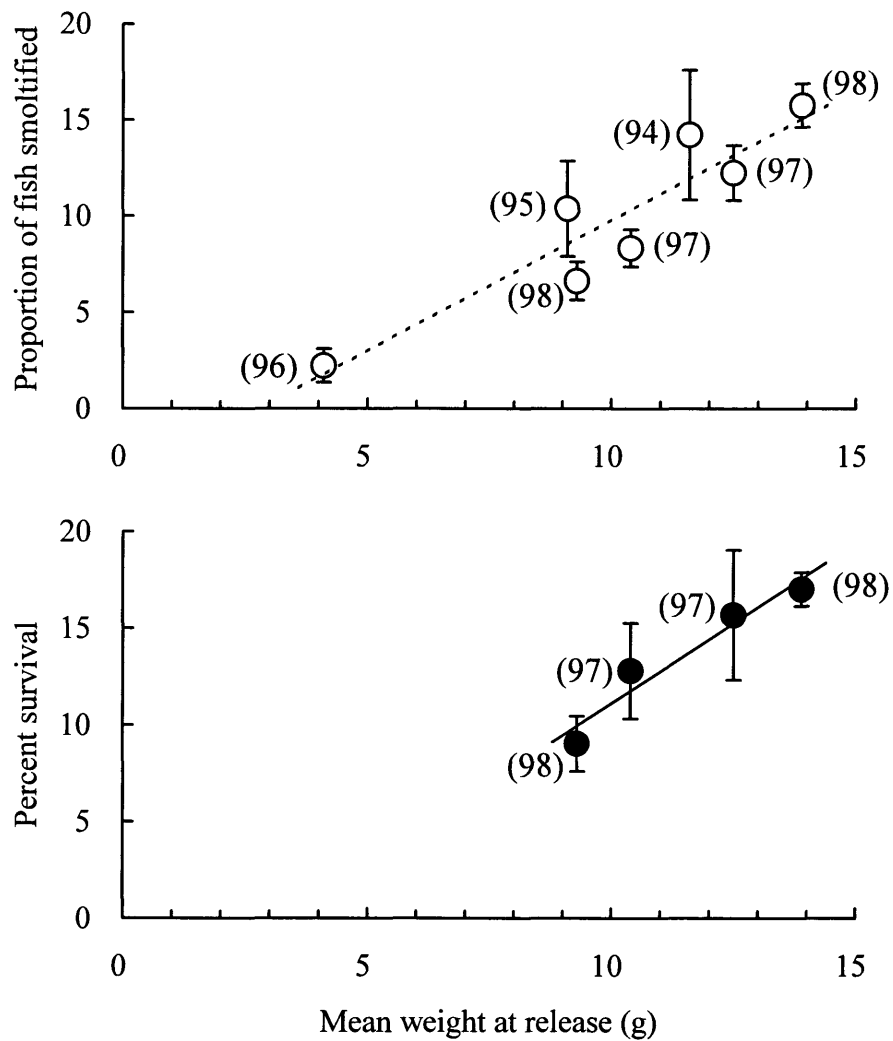


Fig. 6.2 Relationships between the mean weight of hatchery-reared masu salmon stocked in fall and the proportion of fish smolting at age 1 (upper panel: $Y = -3.75 + 1.36X$, $r^2 = 0.85$, $P < 0.01$) and percentage overwinter survival (lower panel: $Y = -5.47 + 1.66 X$, $r^2 = 0.94$, $P < 0.05$) in the Masuhoro River. Error bars indicate the standard errors, and the years of stocking are shown in parentheses.

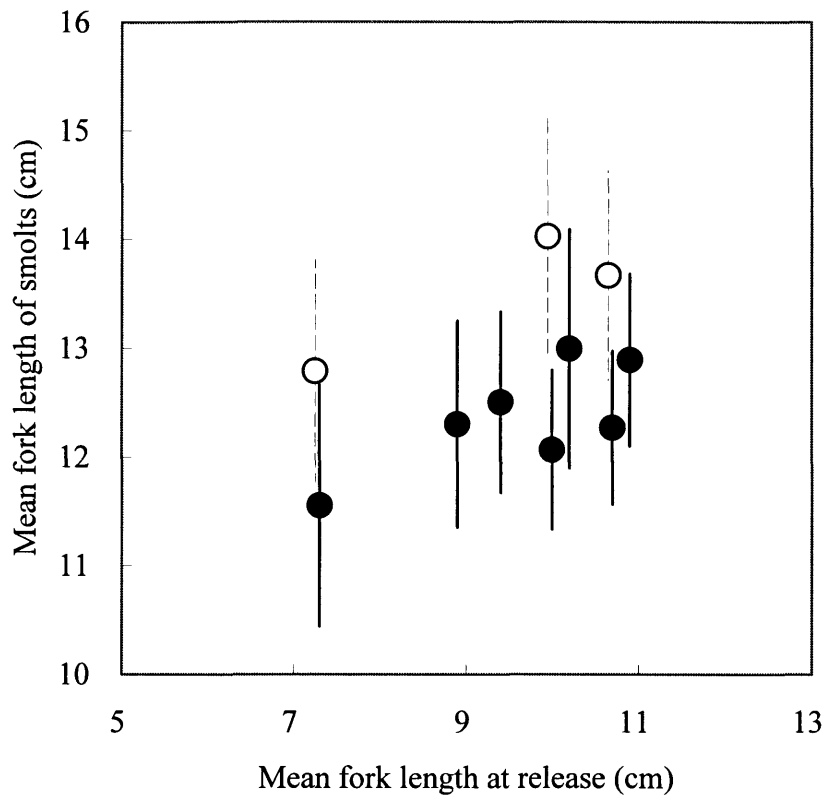


Fig. 6.3 Mean fork length of hatchery-origin 1+ (●) and 2+ (○) masu salmon smolts captured at the upper partial fence in the Masuhoro River, 1995-1999, in relation to the mean fork length at release in the preceding fall. Error bar indicates standard deviation.

Table 6.3 Estimates and variances of numbers of hatchery-origin 1+ smolts and resident fish in the Masuho River in spring 1998–1999

Year of stocking	Size group	Number of 1+ smolts				Number of 1+ parr				Number of survivors				Percent smolt ³		
		Estimate	Variance	SE	CV	Estimate	Between variance ¹	Within variance ²	Total variance	SE	CV	Estimate	Variance		SE	CV
1997	Large	2,448	81,722	286	0.12	689	861,028 (98.9%)	9,415 (1.1%)	870,443 (100.0%)	933	1.35	3,137	952,165	976	0.31	78.0
1997	Small	1,669	37,122	193	0.12	891	1,464,547 (97.4%)	39,255 (2.6%)	1,503,802 (100.0%)	1,226	1.38	2,560	1,540,924	1,241	0.48	65.2
1998	Large	2,677	36,711	192	0.07	217	4,915 (94.2%)	302 (5.8%)	5,217 (100.0%)	72	0.33	2,894	41,928	205	0.07	92.5
1998	Small	1,128	28,221	168	0.15	407	22,436 (98.6%)	328 (1.4%)	22,764 (100.0%)	151	0.37	1,535	50,984	226	0.15	73.5

¹ Variance accounts for the variation of number of fish among sampling sites.

² Variance accounts for the total variance of the removal method applied at each sampling site.

³ Number of 1+smolt divided by number of survivor.

体は同じ放流群からスマルト化した個体よりも小型であり、河川残留個体の中でも未分化幼魚は河川残留型雄と比べ小型であった (Fig. 6.4)。

1997年および1998年秋に放流した幼魚の冬季間の生残率は9.0 (1.3)%から17.0 (1.2) %と推定され、放流時のサイズとの間に正の相関がみられた ($r^2 = 0.94, P < 0.05$) (Fig 6.2)。同じ年に放流された2群の生残率を比較しても、1997年および1998年ともに大型群のほうが高い生残率を示した (Fig 6.2)。また、放流翌春まで生き残った放流魚のうち、スマルト化した個体の割合は65.2~92.5%で、大型群のほうが小型群よりもスマルト化率が高い傾向がみられた (Table 6.3)。1997年、1998年に放流された2群をそれぞれ合計すると、放流時の平均体重は1997年が11.5 g、1998年は11.6 gとほぼ同じであったが (Table 6.1)、1997年放流群のほうが1998年放流群と比べ高い生残率を示した (Table 6.4)。野生魚のスマルトおよび河川残留型個体の生息尾数 (いずれも1+以上) は1998年春には24,948 (1,782) 尾、1999年春は15,768 (1,711) 尾と推定された (Table 6.4)。野生魚と放流魚を合計した尾数は1998年春のほうが多かったが、この年 (すなわち1997年放流群) の冬季間の生残率は高く、密度依存的な効果はみられなかった (Table 6.4)。

6.4 考 察

北海道北部を流れる増幌川での秋季幼魚放流の結果、放流時点でのサイズと翌春の1+でのスマルト化率 (スマルト降河尾数/放流尾数) には正の相関がみられた。サケ科魚類のスマルト化には前年秋までの幼魚の成長が強く関わる事が報告されている (久保 1974; Thorpe *et al.* 1980; Hirata *et al.* 1988)。大型の放流群では、冬季間の生き残りが高かったことに加え、スマルト化するために必要な体サイズに達していた個体の割合が高かったことが高いスマルト化率につながったものと考えられる。サクラマス資源増殖手法として秋季幼魚放流を考える場合、放流翌年により多くのスマルトを降海させることが重要である。2+スマルトの出現率は低く、これによる増殖効果は期待できないことから、大型の種苗を養成し、1+でのスマルト化率を高めることが効果的と言える。しかしながら、初期の成長が早い場合には河川内成熟雄が多く出現するので、第3章でのスマルトの養成と

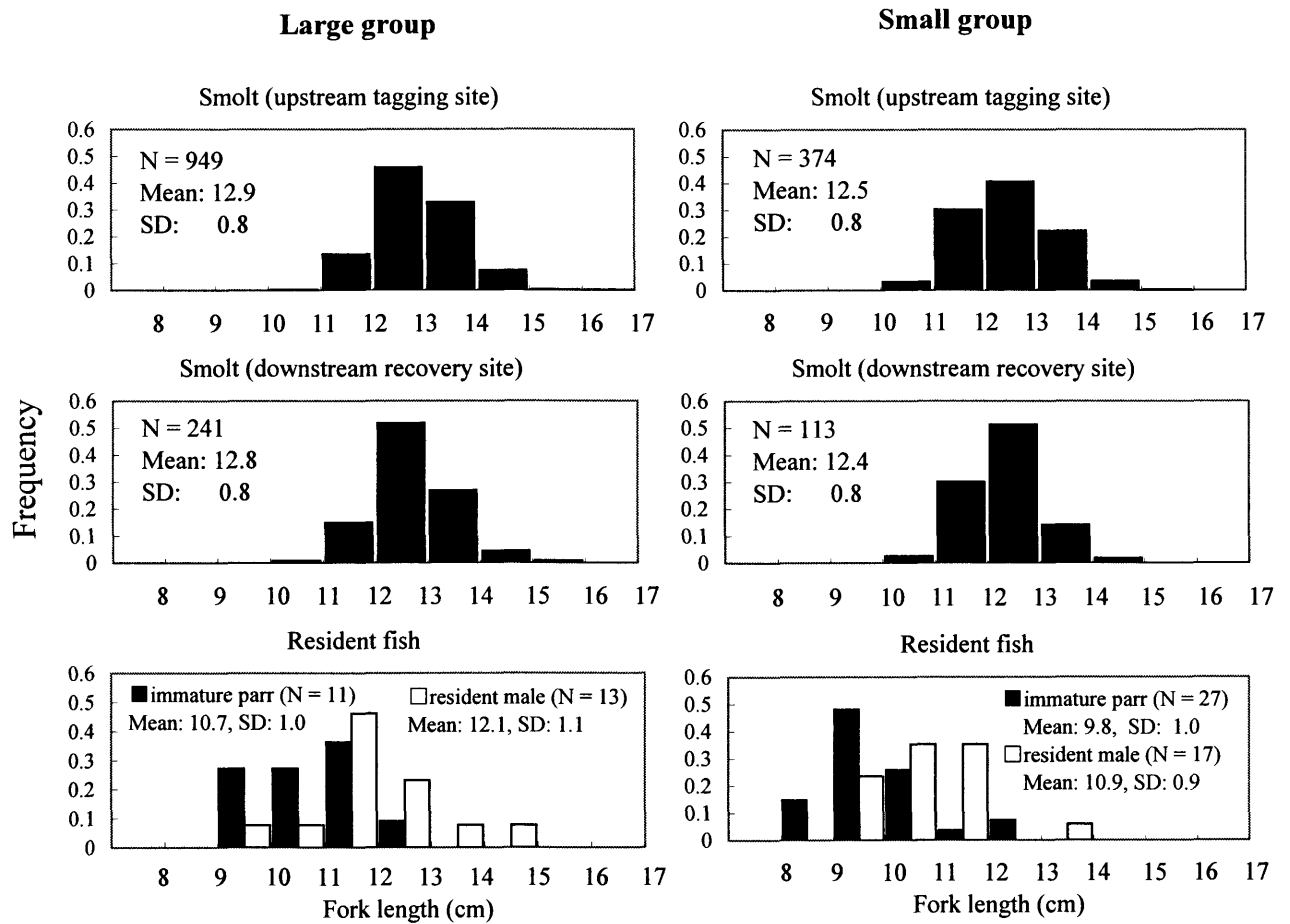


Fig. 6.4 Frequency distributions of fork lengths of hatchery-origin masu salmon (smolt and resident fish) in the Masuhoro River, 1999.

Table 6.4 Estimated numbers of smolt and resident masu salmon in the Masuhoro River in spring 1998–1999. Standard errors are in parentheses.

Year	Category	Number of masu salmon			Overwinter survival (%)
		Smolt	Resident	Total	
1998	Hatchery (age-1) ¹	4,117 (345)	1,580 (722)	5,697 (800)	14.2 (2.0)
	Wild (age-1≤)	13,821 (1,203)	11,127 (1,315)	24,948 (1,782)	
	Total	17,938 (1,251)	12,707 (1,500)	30,645 (1,954)	
1999	Hatchery (age-1) ²	3,805 (255)	624 (167)	4,429 (305)	13.0 (0.9)
	Wild (age-1≤)	7,988 (682)	7,780 (1,569)	15,768 (1,711)	
	Total	11,793 (728)	8,404 (1,578)	20,197 (1,738)	

¹ Hatchery-origin fish stocked in fall 1997

² Hatchery-origin fish stocked in fall 1998

同様、飼育過程での適切な成長管理が重要であると考えられる。

サケ科魚類の幼魚は冬季間も摂餌は続けるにもかかわらず、体重が低下したり、栄養状態が劣化することが知られている (Reimers 1963; Hunt 1969; Cunjak *et al.* 1987)。一方、幼魚が大型になるにつれて、単位体重当たりの脂質の蓄積量が増加することが報告されている (Mason 1976)。隼野ら (1999) は 1997 年に増幌川に放流した群の一部を屋内の水槽に無給餌で収容し、1 ヶ月ごとに体成分を分析した。その結果、脂質含量、カロリー量は冬季間に顕著に減少したが、大型の幼魚ほど単位重量あたりのカロリー量は高く推移し、冬季間の生残率が高いことを報告している。また、増幌川に放流した幼魚を採集して体成分を分析したところ、室内実験と同様、大型の幼魚ほど単位重量あたりのカロリー量が高いという結果を得た (隼野ら 1999)。これらのことから、大型群ではエネルギーの蓄積量が高く、冬季の生残に有利であるものと考えられた。

本章では、秋に放流したサクラマス幼魚の冬季間の生残率は 9~17% と推定された。Murphy *et al.* (1984) は過去の研究例をレビューし、サケ科魚類の冬季間の生残率には変動が大きいことを報告している。河川環境が冬季間の生残率を左右する重要な要素であり、具体的には、生息場所の複雑さ (Quinn and Peterson 1996)、寒さの度合い (Hunt 1969; Seelbach 1987)、流速の緩やかな箇所への豊度 (Murphy *et al.* 1984) などを挙げている。河川に生息するサケ科魚類では、秋以降の水温の低下とともに幼魚が河川内での生息場所を変えることが知られている (Chapman 1966; Bjornn 1971; Cunjak 1996)。河畔林が伐採された流程では夏季には多くの幼魚が生息していても冬季にはその数が極端に少なくなり (Johnson *et al.* 1986; Murphy *et al.* 1986)、夏の生息場所近くに越冬に適した場所がない場合には長距離にわたる移動を余儀なくされる幼魚が存在することが報告されている (Peterson 1982b; Cunjak 1996)。本章での調査河川である増幌川において、冬季のサクラマスの河川内での分布を調べた別の研究では、サクラマス幼魚は水中の構造物 (カバー) や植生の多い区間に高い密度で生息しており (Miyakoshi *et al.* 2002a)、微生息場所に着目した場合には、水深が深く、流速の遅い箇所を選択的に利用していることが明らかとなった (鈴木ら 2000b)。サクラマスの秋季幼魚放流では、適切なサイズの種苗を放流することと合わせて、越冬に適した環境の多い場所を放流地点として選択することが重要である。

本章におけるスモルト降河尾数は、第5章と同様に2つのトラップを用いた標識再捕により推定した。第5章のロータリー式スクリュートラップを用いた野生サクラマス個体数調査では、スモルトの移動速度やトラップの採捕効率が時期的に変動し、そのことが pooled Petersen 推定値の偏りの原因となっているものと推測された。放流魚を調査の対象とした本章でも、1997年および1998年の放流群では pooled Petersen 推定値はいずれも偏りを持つ可能性があるものと判断され、層別 Petersen 法により推定値を得た。降河移動の時期や再捕率は放流群ごとに異なっており、同一年内でも、層別 Petersen 法で最終的な推定値を得た各層の結合の仕方は放流群ごとに異なり、また野生魚のそれとも異なっていた。1994～1996年放流群では pooled Petersen 法により推定値が得られたが、これは標識魚の再捕尾数が4～14尾と少なかったために、 χ^2 検定では有意な結果が得られなかっただけにすぎないものと推測される。以上のことから、標識再捕調査によるサクラマススモルトの個体数推定では、スモルトの生態および行動の特徴からみて、pooled Petersen 法により偏りのない推定値を得ることは難しく、層別 Petersen 法の適用を検討する価値は高いものと考えられる。その場合、適切な採捕手段を選択し、十分なサンプル数を得ることが不可欠と言える。

河川に生息するサクラマス幼魚の個体数推定では2段階抽出の調査を実施した。1次抽出として、河川の調査対象区間から調査定点を抽出し、2次抽出として、各調査定点においてサクラマス幼魚をサンプリングして除去法により生息尾数を推定した。ここでは、河川の調査対象区間を等距離（100 m）の抽出単位に分割し、そこから単純ランダムサンプリングしたものとして扱っており、分散は定点間の生息尾数のばらつきと定点内での除去法による分散の和となっている。2年間の調査結果をみると、放流魚、野生魚ともに定点間分散が全分散の大部分を占めており、定点内での除去法による分散よりもサクラマスの生息尾数の定点間のばらつきが相当に大きいことが示された。このことから、精度のよい推定のためには、調査地点数を増やすことが得策と思われる。

本章では、各調査定点において Seber and Le Cren (1967) が示した2回除去法により生息尾数を推定した。除去法では通常、Zippin (1956) や Carle and Strub (1978) の示した最尤推定量が使用され、これらの推定方法では3回以上の除去回数が必要である。2回除去法は簡便化された方法であり、この方法を用いる場

合には、各回の除去により対象個体群に対して大きな割合（60%以上）の個体が採捕されることが望ましいとされる（Cowx 1983）。しかし、実際には採捕効率が低い場合もあり、2回除去法では推定値が得られない場合もみられた。このような場合、本章では1回除去法（Seber and Le Cren 1967）を用いた。1回除去法では、別の個体群に対する除去率のデータを用いるが、適切な除去率が用いられなければ推定値は偏りを持つことになる。除去率は生息場所の物理環境や魚種、生息密度などに影響されることが報告されており（Riley *et al.* 1993; Kruse *et al.* 1998; Peterson *et al.* 2004; Speas *et al.* 2004），実際の使用の際には十分な検討が必要であろう。また、1回除去法では2回除去法と比べ推定精度も著しく低下する（Seber and Le Cren 1967）。このような短所はあるにせよ、1回除去による採捕尾数が個体群の大きさを計る指標となり得ることが示されており（Lobón-Cervía and Utrilla 1993; Jones and Stockwell 1995; Kruse *et al.* 1998），最近では、各調査定点では除去回数の少ない簡便なサンプリング方法を行い、広い調査範囲に生息する魚の個体数を効率良く推定する方法が研究されている（Mitro and Zale 2000; Wyatt 2002）。精度のよい個体数推定のためには、実際の河川における調査定点数と各定点での生息密度の推定方法についての十分な検討が必要と言える。

第7章 総合討論

本研究ではサクラマス（サケ・マス）の放流効果の評価および資源評価を目的とし、市場調査における放流魚の水揚げ尾数、遊漁船による釣獲尾数、河川でのスモルト降河尾数、幼魚の冬季間の生残率を推定した。本章では、これらの評価方法に関する問題点および今後の課題について整理する。さらに、本研究で明らかにしたサクラマスの増殖技術の現状を踏まえた上で、種苗放流を含むサクラマスの資源増殖上の問題点と今後の展望について述べる。

7.1 サクラマスの放流効果および資源の評価に関する今後の課題

放流魚の水揚げ尾数および遊漁船による釣獲尾数の推定

本研究ではまず、北海道でのサクラマスの主な生産地を対象地域として2段抽出の市場調査を実施し、沿岸漁業による標識魚の回収尾数を推定し、サクラマスの放流効果の評価した。サクラマス漁業資源の増大を目的として試験放流および増殖事業が行われてきたが、海岸線延長約 2,000 km の広範囲に及ぶ標識魚の水揚げ調査が継続的に実施されたのは初めての事例と言える。

広い海域を回遊するサケ・マスの放流効果調査では一般に大きな調査労力が要求され (Worlund *et al.* 1969) , 地域間の組織化された調査体制も必要である (Johnson 1990) 。最近では統計学的に研究された調査方法が提案され (Kitada *et al.* 1992; Bernard *et al.* 1998) , 効率の良い調査が可能となりつつある。本研究では、単純ランダムサンプリングを基本とする 2 段抽出の調査方法 (Kitada *et al.* 1992) を用いることにより、広い調査範囲における市場調査を効率的に実施することが可能となるとともに、推定誤差の評価も可能となった。過去のサクラマスの放流効果調査では推定誤差を示した事例はみられないが、調査での抽出単位などは本研究と同じものも少なくない。しかし、放流魚の生物学的データ (体長、体重など) を数多く得るために、水揚げ尾数の多い時期や日に調査日が偏ることがしばしば見受けられ、また、抽出単位がはっきりしない場合が多い。水揚げ尾数の調査では抽出単位を意識したサンプリングを行うことが重要である (北田 2001) 。サザエの放流効果調査において、1 次抽出単位を水揚げ日、2 次抽出単

位を籠とした事例（岡部 1995）や、クルマエビの放流効果調査において、1次抽出単位を漁船、2次抽出単位を水揚げ日とした事例（山口ら 2003）もみられるように、現場の状況に応じて抽出単位を定めることが重要である。さらに、得られた調査データから調査計画を検討することにより、効率的な市場調査を実施することが可能となる（Miyakoshi *et al.* 2001a; 山口ら 2003）。サクラマスの水揚げ尾数の推定にあたっては市場の層別が推定精度の向上に有効であった。層別方法についても対象種の生態や水揚げの実態に合わせて個別に検討することが不可欠である。

サクラマスの市場調査では、一つの市場での日毎の水揚げ尾数が多くても数百尾程度で、日毎の全数調査が可能であったため、2段抽出のサンプリングで対応することができた。日毎の全数調査が困難な場合は3段抽出の調査方法も利用できる（北田 1999; 北田 2001）。3段抽出の場合には、調査日の標本抽出率がわかることが条件となり、水揚げの一部をランダムに抽出する方法を検討することが必要である。

サクラマスの放流技術を向上させるためには、今後も放流効果の調査事例をさらに蓄積する必要がある。調査事例を長期間にわたり蓄積する上では、労力の大きな調査を継続することは困難なことが予想されるため、詳細な調査データに基づき簡便なモニタリング方法を検討することも必要であろう。また、本研究では第3章において、スモルトの放流サイズと回収率の関係を検討したが、サイズ以外の要因（放流場所、放流時期、成長率、飼育密度、海洋環境など）の影響についても今後の検討課題と言える。

遊漁によるサクラマスの釣獲尾数の調査においても、サンプリング理論に基づく調査方法が有効である。第4章で示した遊漁船による釣獲尾数の調査では、遊漁船を抽出単位、1隻1日あたりの釣獲尾数を要素とする1段クラスターサンプリングを行った。北田（1993）は遊漁船による釣獲尾数の推定のためのサンプリング方法を幾通りか示しており、実際に利用できるデータの種類によりいずれかのサンプリング方法を選択することができる。安藤ら（2002）は2段抽出の調査方法を応用して、サクラマス幼魚を釣りに訪れた遊漁者数を推定している。国内では遊漁に関する統計が整備されていない場合が多いので、現場の状況に応じて抽出単位を工夫することが重要である。海外では遊漁釣獲量の推定方法が盛んに

研究されており (Guthrie *et al.* 1991; Pollock *et al.* 1994) , 現場の状況に応じた調査方法の創意工夫が必要であることが述べられている (Pollock *et al.* 1994) 。サクラマスは様々な発育段階で遊漁の対象となっており, 遊漁による釣獲尾数の把握のため, 調査方法および調査事例の今後の蓄積が必要である。

サクラマス放流魚の漁業による水揚げ尾数や遊漁による釣獲尾数の調査における問題点として, 放流魚の標識方法が挙げられる。現在は鰭切除による標識が最も広く使用されているが, 複数の孵化場で生産された放流魚の標識部位の重複, 鰭の再生とそれに伴う標識の見落とし (Guy *et al.* 1996; 田子 1997) , 鰭切除による標識個体の生残率の低下 (Vincent-Lang 1993) など問題点も多い。放流効果の正確な評価のため標識方法の研究が盛んに行われており (Guy *et al.* 1996) , サクラマスについても標識技術の向上が強く望まれる。

河川におけるサクラマス個体数の推定方法

本研究では第 5 章および第 6 章において, スモルトの降河尾数および河川内での幼魚の生息尾数の推定方法を検討し, 秋季に放流したサクラマス幼魚の降海までの生残率を推定した。

スモルトの個体数推定にあたっては, 2 つのトラップを用いた標識再捕調査を実施した。数週間にわたり標識および再捕を繰り返し, それらのデータをすべて合計した pooled Petersen 法とデータを週ごとに層別した層別 Petersen 法 (Maximum Likelihood Darroch 法) を比較し, 通常最もよく使用される pooled Petersen 法の妥当性を評価した。降河時期の間にスモルトの移動速度は徐々に変化し, スモルト採捕に用いたロータリー式スクリュートラップの採捕効率も河川流量の変動に伴って時期ごとに変動した。これらのことが原因となり, スモルトの獲られ易さは時期ごとに異なり, pooled Petersen 法の前提となる仮定が満たされない結果となった。一方, 層別 Petersen 法では層間での獲られ易さの違いは許されるため, 本研究でのサクラマススモルトの個体数推定においては層別 Petersen 法を採用した。他のサケ科魚類を対象とした研究においても, スモルト採捕におけるトラップの採捕効率が時期的に変動することが報告されている (Dempson and Stansbury 1991; Schwarz and Dempson 1994; Thedinga *et al.* 1994; Plante *et al.* 1998) 。また, スモルトは群れ行動を示すことが報告されており (小

池・塚本 1994; Hvidsten *et al.* 1995), 野外でのスモルト採集ではランダムなデータが得られにくいことが予想される (Mäntyniemi and Romakkaniemi 2002)。これらのことから、降河移動するサクラマスのスモルトでは、移動時期を通じて獲られ易さが同じであるとの仮定を満たすことは難しいものと推測される。

ランダムなデータを得られないことは、推定値の偏りばかりでなく、分散の評価にも影響する。対象生物が群れ行動をしたり、パッチ状に分布する場合にはランダムなサンプルが得にくく、データが大きくばらついて、適用するモデルでの通常の分散の範囲を超える過分散 (over-dispersion) となりやすい。(Burnham and Anderson 1998)。過分散となると分散が過小に評価される。北田ら (2001) は、水槽内での標識再捕実験においても過分散となったことを述べた上で、移動が大きく群行動をする魚類を対象とした野外調査ではデータのばらつきが大きいことを予想し、Petersen 法の実用性に疑問を投げかけている。前述のようにスモルトを対象とした標識再捕調査ではランダムなデータが得にくく、過分散となって、pooled Petersen 法では分散を過小に評価してしまう可能性が高いものと考えられる。層別 Petersen 法について述べた論文の中では過分散についての明確な記述はみられないが、Plante *et al.* (1998) は時期ごとの採捕効率が変動した調査データを解析した結果、pooled Petersen 法では分散が過小に推定されたことを述べている。

最近では、スモルトの生態を考慮し、より適切な個体数推定を可能とする調査方法が理論面および実用面の双方から研究されている (Schwarz and Dempson 1994; Carlson *et al.* 1998; Plante *et al.* 1998; Newcomb and Coon 2001; Mäntyniemi and Romakkaniemi 2002; Rivot and Prévost 2002)。本研究では標識再捕データを週単位でまとめた上で層別 Petersen 法を適用するにとどまったが、十分なサンプル数が得られ、密度の濃いデータが得られた場合には日毎のスモルト降河尾数など、さらに詳細な解析が可能である。

Petersen 法によるスモルトの個体数推定ではサンプル数が不十分で推定精度が低い場合が多い、という問題点が以前から指摘されてきた (Power 1985)。標識再捕による調査では、標本数が推定精度に強く影響することが知られており (Robson and Reiger 1964), 野外調査において十分なサンプル数が得られることが必要である。また、第6章に示したように、標本数が少ない場合には層別 Petersen 法を用いることも不可能である。欧米では、サケ科魚類のスモルト定量調査のた

め様々な採捕方法が試みられ (Conlin and Tutty 1979; McMenemy and Kynard 1988; Kennen *et al.* 1994; Thedinga *et al.* 1994; Todd 1994 など) , 実際の調査事例も数多い。一方, 北海道におけるスマルト調査では, 流れの緩やかな淵を定点として投網を用いて採捕を行い, スマルトの出現時期やサイズなどを調べた事例がほとんどであり (小林ら 1988; 杉若 1991; 小山・永田 1995) , その定量性についてはほとんど検証されなかった。北海道では急峻な河川が多いことに加えて, サクラマスの降海時期は融雪による増水の時期と重なる場合が多いため, 流量変動の大きな河川では降河時期を通じてスマルトを採捕することが困難な場合も多く, このことが調査上の大きな障害となっているものと思われる。本研究では, ロータリー式スクリュートラップを使用することにより, 降河移動時期を通じてスマルトを連続的に採集した。スクリュートラップはスマルトの採捕に有効であるが, 採捕効率は河川の規模, 設置場所, 回転数に左右され, 魚種や魚のサイズなどにより異なることも報告されている (Thedinga *et al.* 1994) 。サクラマススマルトの調査に用いる場合にも調査河川やサクラマスの生態に合わせた運用の工夫が必要である。事実, 本研究での増幌川における5年間の調査においても, スクリュートラップの設置箇所など検討を重ねた結果, 1996年には6%台であった採捕効率 (宮腰ら 2001e) が1999年には20%台に向上した。このように, サクラマススマルトの個体数を精度よく推定するためには, 調査場所における効果的な採捕方法の検討を十分に行うことが不可欠と言える。

河川に生息するサクラマスの生息尾数の推定では, 2段抽出の調査を実施した。1次抽出として, 河川の調査対象区間を等距離 (100 m) の抽出単位に分割した上で調査区間を単純ランダムサンプリングしたものとし, 2次抽出として, 各調査地点においてサクラマス幼魚をサンプリングして除去法により生息尾数を推定した。2年間の調査結果をみると, 放流魚, 野生魚ともに定点間分散が全分散の大部分を占めており, 定点内での除去法による分散よりもサクラマスの生息尾数の定点間のばらつきが相当に大きいことが示された。このことから, 精度のよい推定のためには調査地点数を増やすことが有効と考えられる。ただし, 分散の推定に用いた (6.2) 式では, 定点間分散を推定する際に各定点での生息尾数の推定値を用いており, 定点間分散の中に, 各定点での生息尾数を推定する際の定点内分散が含まれている。そのため, (6.2) 式では定点間分散を過大に評価している

ものと考えられる。市場調査による水揚げ尾数の推定で用いた (2.6) 式では、2 段サンプリングにおける不偏推定量が導かれている (Kitada *et al.* 1992; 北田 2001)。サンプリング調査による河川での魚類の生息尾数推定においても、偏りのない推定量を導くことが今後の課題であろう。

本研究ではSeber and Le Cren (1967) が示した2回除去法あるいは1回除去法により各定点での生息尾数を推定した。河川で除去法を適用する場合は、3回以上の採捕を行い、Zippin (1956) やCarle and Strub (1978) の示した最尤推定量を使用するのが一般的であり、除去回数が少なくなるほど推定値の正確さや推定精度が低下する。このような短所はあるにせよ、河川のように限られた水面での調査においては、1回の除去による採集尾数が個体群の大きさを計る指標となり得ることが示されているため (Lobón-Cerviá and Utrilla 1993; Jones and Stockwell 1995; Kruse *et al.* 1998) , 最近では、各地点では除去回数の少ない簡便なサンプリング方法を行い、広い調査範囲の生息尾数を効率的に推定する方法が検討されている (Mitro and Zale 2000; Wyatt 2002) 。

本研究では抽出単位を延長100 mの区間としたが、抽出単位をどのように設定するかについても検討の必要がある。サクラマスが多く生息する上流域では河川沿いに林道が整備されていない場合も多く、そのような場所では多くの調査定点を設けることは困難である。調査場所の立地条件、河川規模、地点間の生息密度の違い、調査にかけることのできる労力など、実際の条件に応じて定点数や定点内での生息尾数の推定方法を検討する必要がある。河川内でのサクラマスの生息尾数の推定方法に関する研究は非常に少なく、今後の課題と言える。

7.2 サクラマス資源増殖における問題点と今後の展望について

本研究ではサクラマスの放流効果および資源の評価方法を検討し、現在の北海道におけるサクラマスの放流効果を明らかにした。ここでは、今後サクラマス資源の維持、増大を図る上で、種苗放流を含めた資源管理が抱えている課題と将来方向について議論する。最近では、栽培漁業の成果を考える上で、放流効果を評価することの重要性が強く認識されるとともに、種苗放流の経済的損益が問われるようになった (Moksness and Støle 1997; Hilborn 1998; Kitada 1999; Knapp 1999) 。

北田（2001）は栽培漁業の経済損益を解析した結果、放流事業の経済性は種苗の単価、回収率、水揚げ金額で決まるので、種苗が安価に生産でき、生残率が高く、大きく成長し、単価が高い魚種であることが栽培漁業に適した魚種の条件であるとしている。これらのことをサクラマスのスモルト放流について考えると、放流後半年から1年後には大きく成長して漁獲の対象となることから、これは栽培漁業によって有利な特徴と言える。その一方、飼育期間が1年以上に及び、生産経費が高くなるという短所も併せ持つ。スモルト放流の現時点での経済回収率を見る限り、水揚げ金額が種苗の生産コストをわずかに上回る程度であり（Table 2.7）、スモルト放流が事業として成立するには十分な水準に達しているとは言い難い。今後も放流技術の開発を継続し回収率を高める努力がさらに必要と考えられ、同時に、飼育経費を下げる努力も必要となるであろう。スモルト放流では平均30 gを超える大型種苗の回収率が高いことが明らかとなったことから、大型スモルトの養成が関係機関に周知されるようになり、最近では回収率も概ね3%以上で安定しつつある。サクラマスの放流効果の調査事例が蓄積されるのと同時に、種苗性の評価および改善に向けた調査研究の取り組みの重要性が強く認識されており、研究成果も蓄積されつつある（三坂ら 2002; 水野ら 2002）。

サクラマスの増殖方策について、真山（1992）は天然資源の繁殖保護、河川の生産力を有効利用する稚魚および幼魚放流、河川の生産力に依存しないスモルト放流を河川環境に応じて組み合わせることが必要であると述べている。この結論は妥当なものであると思われるが、実際に、ある河川にどの放流方法でどれくらいの数量の放流を実施するかについて客観的な判断を下すのは容易ではない。実際の増殖の現場において、限られた飼育施設からの放流数を最大にする方策として、飼育可能な数量の稚魚を生産し、同年秋あるいは翌年春まで飼育可能な数量を残して、その他の稚魚を放流するという形態の増殖事業が行われる。速やかな資源の回復を図る上では、回収率が高いスモルト放流は効果的であると言えるが、経済効率は高くない。従って、回収率は低いものの、大量の種苗生産が可能であり、種苗単価が安く、経済的な効率の高い稚魚放流を最大限に活用することが種苗放流によるサクラマス増殖を進める上で重要な要素であると思われる。稚魚放流では、河川の収容力、放流数、種苗の質、遊漁など放流効果を左右する要因が複雑であり、異なる河川環境に放流した稚魚の放流効果がどの程度ばらつくのか

十分に検証されていない。稚魚放流の効果が現れにくい原因として、治水事業や流域開発などのため、サクラマス稚幼魚の生息場所である河川環境が悪化していることが以前から指摘されている。最近ではサクラマス稚幼魚の各発育段階での生息環境が詳しく調べられ (Inoue *et al.* 1997; 鈴木ら 2000b; Miyakoshi *et al.* 2002a; Nagata 2002 など), さらに, サクラマスの生息環境の再生に向けた実験も試みられるようになった (Nagata *et al.* 2002; 柳井ら 2004)。しかし, 水産増殖の立場からの主張だけでは不十分であり, 土木, 農業, 林業など流域利用と環境保全に関係する分野との一層の連携を図ることがサクラマス増殖の観点からも不可欠と言える (永田・山本 2004)。

本研究における北海道の広い範囲での市場調査から, サクラマスは沿岸沿いに回遊し, 放流されたサクラマスは放流河川の近隣の市場に限らず, 広い海域で沿岸漁業の対象となることが明らかとなった。このような漁獲の実態を理解した上で, 自治体や増殖関連団体が地域間で連携してサクラマスの増殖および資源管理を進める体制作りを構築することが必要と考えられる。また, 様々な発育段階で遊漁の対象となっていることもサクラマスの資源管理を複雑にしている。沿岸や海浜での遊漁によるサクラマスの釣獲尾数は十分に把握されていない。最近では遊漁の人気も高くなり, 釣獲技術の向上も目覚ましい。これまでサクラマスの増殖を図る際には漁獲量の増産が目標とされ, 遊漁は減耗要因の一つとして扱われるにすぎなかったが, 遊漁もサクラマス資源に対する一つの利用形態であり, その位置付けを見直す必要があるように思われる。国内でも栽培漁業対象種では遊漁者からの増殖経費負担が検討されるようになった (北田 2001)。北海道のサクラマスでもライセンス制度が施行され, 徐々にその地域が拡大されつつある。漁業と遊漁による資源利用の実態を把握した上で, 漁業者と遊漁者が持続的な資源利用に関する共通の認識を持てるよう, 効果的な増殖体制および遊漁に関する制度化について検討してゆく必要があるものと思われる。

また, 本研究での市場調査により, 沿岸漁獲の多くは野生資源により支えられていることが明らかになった。しかしながら, 親魚の遡上尾数など野生サクラマスの資源量に関する情報は非常に少ない。親魚の遡上尾数を調査した例としては, 北海道さけ・ますふ化場 (1969) が 428 河川への遡上尾数を聞き取りなどにより調べた報告がある程度である。それ以後は, 採卵用親魚の捕獲尾数のデータがあ

るが、増水時には河川水が捕獲装置を越流して捕獲ができなくなったり、努力量が必ずしも一定していない場合もみられ、この捕獲尾数を資源量の指標として扱えない場合も多い。遡上尾数の推定方法についても最近わずかに検討されている程度であり (Miyakoshi and Kudo 1999; Miyakoshi *et al.* 2003b) , 親魚の遡上尾数やその推定方法に関する知見は極めて乏しいと言わざるを得ない。サクラマスの漁獲量の減少原因としては、ダムなど河川工作物の建設による生息場所の縮小 (田子 1999) , 流域開発に伴う河川環境の悪化、遊漁による釣獲量の増加などが挙げられることが多いが、野生魚の産卵親魚数は把握されておらず、野生魚に対する漁獲強度なども明らかにされていない。親魚の遡上尾数など野生サクラマスの資源量を把握した上で、資源の減少要因を偏りなく検討することが必要と思われる。

近年、生物多様性の保全の観点から、種苗放流の生態系に対する影響が懸念されるようになり (Lichatowich and McIntyre 1987; Waples 1991; Levin *et al.* 2001) , 種苗放流に対する否定的な議論もしばしばみられるようになった (Hilborn 1992; National Research Council 1996) 。北田 (2001) は天然資源の保全の観点から、栽培漁業に対する危惧として、1) 天然資源に対する病気の伝播、2) 天然資源の置き換え、3) 天然資源に対する乱獲、4) 天然資源への遺伝的影響、を挙げている。サクラマスでもこれらのことに配慮した種苗放流の取り組みが求められる。サクラマスは強い母川回帰性を持ち、河川集団間の遺伝的独立性が強いことが報告されており (鈴木ら 2000a) , サクラマスの種苗放流では多くの河川集団を保持することが望ましい。このことは、効率良く大量の種苗を生産することを目標とする増殖事業においては難しい課題であり、実際には、物理的、経済的な理由から多くの系群の種苗を生産することは難しく、いくつかの河川系群の池産系サクラマスを継代飼育することにより種卵を安定的に確保し、入手可能な種卵の中で地理的に近隣の河川系群の種苗を用いているのが現状である。最近では、放流魚の種苗性に注意が払われるようになり、継代飼育されたサクラマスの行動や遺伝的多様性のモニタリング調査が行われている (永田・山本 2004) 。さらに、生物多様性保全のため種苗放流を実施せず自然産卵により資源を維持する河川、漁業資源維持のため種苗放流を積極的に実施する河川、遊漁や観光など多目的に使用する河川など、河川を区分して管理することが提案され (帰山 1999) , 実際の

取り組みも徐々に行われるようになった（永田・山本 2004）。これまで、サクラマス種の種苗放流の主な目的は広い地域における漁獲量の増大に置かれてきたが、資源増殖に関連する試験研究で得られたサクラマスの生態や増殖方法に関する数々の知見は、これからの本種の個体群の維持、回復に向けた取り組みにも大いに貢献できるものと考えられる。漁業あるいは遊漁資源の増大、固有系群の維持、生息環境の悪化により減衰した資源の回復など、目的に応じた種苗放流の在り方について今後議論を深める必要があるものと思われる。

来遊資源のほとんどが人工孵化放流に支えられているサケ（Kaeriyama 1999）とは異なり、北海道西岸での市場調査では、水揚げされたサクラマスに占める標識魚の混獲率は1割に満たず、北海道におけるサクラマスの種苗放流の規模および放流技術は、漸減傾向にある漁獲量を回復させる水準には達していない。ただし、現時点でも種苗放流が漁業に大きく貢献している地域もあり、漁業者や遊漁者からのサクラマスの種苗放流に対する期待は依然として大きい。一方、サクラマスでは野生資源も多く残っていることから、今後の資源増殖を進める上では種苗放流に限らず、様々な増殖手法を検討する余地がある。種苗放流の生態系への影響を懸念する議論が高まっており、種苗放流の是非を問われる機会がさらに増えるものと思われる。今後は無秩序な種苗のばらまきは避けるべきであり、種苗放流にあたって実施機関はより責任ある対応が要求されるであろう（Blankenship and Leber 1995; Waples and Drake 2004）。否定的な議論が目立つ一方、資源増殖や回復を進める上で種苗放流は重要な役割を果たすことも事実であり（Brannon *et al.* 2004）、生態系への影響や種苗放流の在り方や是非についての議論に際しても、放流魚の生残率が把握され、経費と利益も含めて放流効果が客観的に評価された上で（Smoker and Linley 1997; Hilborn 1998）、偏りない議論がなされることが重要である。その観点から、サクラマスに関する放流効果の評価はまだ十分とは言えず、評価方法に関する研究のさらなる進展と調査事例の蓄積が望まれる。

要 約

北海道におけるサクラマス *Oncorhynchus masou* の放流効果を評価し、望ましい増殖方法について指針を示すことを目的に、市場での水揚げ尾数、沿岸での遊漁船による釣獲尾数、河川内でのサクラマスの生残率を調べた。これらの調査では、サンプリング理論に基づく調査方法や標識再捕による個体数の推定方法を応用し、サクラマスの生態を考慮した放流効果および資源の評価方法を検討した。得られた調査結果から、種苗放流を含むサクラマスの資源増殖の問題点と今後の展望を述べる。

1. 北海道におけるサクラマスの生活史と資源増殖の取り組み

北太平洋のアジア側にのみ分布しているサクラマスは、北日本における冬から春にかけての重要な漁業資源の一つとなっている。北海道ではサクラマスの資源増殖を目的とした種苗放流が実施されているが、近年も北海道沿岸におけるサクラマスの漁獲量は減少傾向が続いている。サクラマスの種苗放流の歴史はサケ *Oncorhynchus keta* と同様に 100 年以上の歴史を持つが、長い間、無給餌の稚魚放流が続けられ、目立った放流効果はみられなかった。1960 年代以降、サクラマスの生態が詳しく調べられ、それらの調査結果に基づいて放流技術の開発が進められた。1980 年代以降はスマルト（降海型幼魚）など大型幼魚の放流技術が検討され、試験放流では有効な増殖手法となる可能性が示されている。本章では、北海道におけるサクラマスの生活史や生物学的特徴を概説し、増殖事業のこれまでの経過と最近の取り組みを整理した。

2. 市場調査によるサクラマス放流効果の推定

サクラマスの種苗放流効果を検証するために試験放流が実施されてきたが、放流効果調査は放流河川とその近隣の市場に限られており、沿岸に沿って広い範囲を回遊するサクラマスの放流効果が十分に評価されるまでには至らなかった。1994 年以降、北海道でのサクラマスの主な水揚げ地域において、市場を 1 次抽出単位、水揚げ日を 2 次抽出単位とする 2 段抽出の市場調査を実施し、沿岸漁業による標識魚の回収率および経済回収率（種苗生産コストに対する水揚げ金額の

比)の推定を試みた。日本海側から放流されたサクラマスは放流翌冬から春にかけて、季節ごとに水揚げ場所を変えながら各地で漁業の対象となっていることが明らかとなった。冬には津軽海峡や太平洋側での水揚げが多く、春以降には放流場所近くでの水揚げ尾数が多くなった。標識魚の沿岸漁業による回収率(括弧内は標準誤差)は稚魚放流では0.22(0.08)~0.54(0.09)%, スモルト放流では0.18(0.06)~4.05(0.88)%と推定された。スモルト放流では高い回収率が得られた事例もみられたが、ばらつきが大きく、回収率の向上と安定化が必要であると考えられた。稚魚放流では回収率は低いものの、ばらつきは小さく、種苗生産コストが安いこともあり経済回収率はスモルト放流より高い結果となった。水揚げ尾数の推定の際には、市場の層別が推定精度の向上に有効であった。また、市場間分散が市場内(日間)分散よりも大きく、調査市場数を増やすことが推定精度の向上に有効であると考えられた。

3. スモルトの放流サイズと放流効果の関係

北海道西岸における市場調査で得られた結果を用い、放流時のサクラマススモルトのサイズと沿岸漁業による回収率の関係を調べた。スモルトの平均体重のデータと回収率の推定値および分散を7つの回帰モデルに適用し、最尤法を用いてパラメータを推定した。モデルの妥当性はAICの大小で判定した。スモルトサイズが20g台から30gに大型化するにつれて、沿岸漁業による回収率が高くなる傾向がみられたが、35gを超えるサイズでは顕著な回収率の向上はみられなかった。スモルトサイズと回収率の関係を表す式としてはロジスティック曲線が最も小さなAICを示し、最も妥当性の高いモデルと考えられた。

4. 遊漁船によるサクラマス釣獲尾数の推定

近年、栽培漁業の放流効果が明らかとなる一方で、種苗放流の対象魚種が遊漁者により数多く釣獲されている実態が徐々に明らかにされるようになった。サクラマスでも沿岸での遊漁が新聞、雑誌などで取り上げられることが多くなったが、遊漁に関する統計は整備されておらず、遊漁による釣獲尾数は把握されていない。1998年および1999年の12月から翌年3月、北海道太平洋側の胆振沿岸において、遊漁船によるサクラマスの釣獲尾数を調べた。標本抽出は1段のクラスターサン

プリングとし、標本船のすべての出漁日における遊漁者数と釣獲尾数を記録した。遊漁者1人1日あたりの釣獲尾数は約4尾で、1日あたりの釣獲尾数が5尾以下の遊漁者が全体の7割以上を占めた。釣獲尾数のピークは1月下旬から2月上旬にかけてみられた。同海域におけるサクラマス（括弧内は標準誤差）の釣獲尾数は1999年には66,844 (11,685)尾、2000年には57,454 (6,559)尾と推定された。これは北海道沿岸での漁業による年間漁獲尾数の12~13%に相当し、サクラマスの資源管理や放流効果の評価において、遊漁による釣獲尾数の把握が重要であることが示唆された。

5. 標識再捕によるスモルト降河尾数の推定

サクラマスのように長い河川生活期を持つサケ科魚類では、河川での最終発育段階であるスモルトの降河尾数を定量的に調べることにより、放流された稚幼魚の生残率を評価したり、野生魚の資源量を把握することができる。1998年および1999年の5~7月、北海道北部を流れる増幌川において、2つのトラップを用いて標識再捕によりサクラマススモルトの個体数の推定を試みた。調査期間中を通じて2つのトラップを連続的に稼働させ、標識と再捕を繰り返した。標識と再捕データをすべて合計して計算する pooled Petersen 法とデータを週ごとに層別した層別 Petersen 法 (ML Darroch 法) によりスモルトの降河尾数を推定した。層別 Petersen 法では pooled Petersen 法と比べ、1998年は30%、1999年は16%大きな推定値となった。一方、変動係数は両年とも層別 Petersen 法よりも pooled Petersen 法のほうが小さく、推定精度は高かった。しかし、標識魚の時期ごとの再捕率や、標識魚と未標識魚の採捕尾数の比率の一様性を検定した結果、pooled Petersen 推定値は偏りを持つ可能性があるものと判断され、層別 Petersen 法がより適切な推定値を与えるものと考えられた。スモルトの移動速度が時期的に変化し、トラップの採捕効率も河川流量の変動に伴って時期的に変動した。これらのことが個体の獲られ易さの不均一さの原因となり、pooled Petersen 推定値の偏りを招いたものと考えられた。

6. 秋季に河川放流したサクラマス幼魚の生残率の推定

河川での遊漁による減耗を最小限にするため、遊漁のシーズンが終わりに近づ

いた秋季にサクラマス幼魚を放流する秋季幼魚放流が実施されている。1994～1998年の10月、ふ化場で飼育したサクラマス幼魚(平均体重の範囲:4.1～13.9g)を北海道北部の増幌川に放流し、冬季間の生残率と放流翌春のスマルト降河尾数を調査した。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り推定した。スマルトの降河移動が終わった7月には、調査河川から数箇所の定点を抽出した後、各定点において2回採捕の除去法を行い、スマルト化せず河川に残留している放流魚の個体数を推定した。スマルトと河川残留魚の個体数の合計を冬季間の生残個体数とした。放流翌年にスマルト化した幼魚の割合(括弧内は標準誤差)は2.2(1.7)～15.7(2.2)%と推定され、放流時の平均体重と翌春のスマルト化率の間には正の相関がみられた。また、放流サイズと冬季間の生残率の間にも正の相関がみられた。漁業資源の増殖の観点からみると、放流翌年に多くのスマルトを降河させることが効果的であり、秋季幼魚放流では大型幼魚の放流の効果が高いものと考えられた。

7. 総合討論

サクラマスの放流効果と資源評価について議論した。市場調査による水揚げ尾数の推定では単純ランダムサンプリングを基本とした2段階抽出の調査方法を用いることにより、広い範囲の調査を効率よく実施することが可能であった。単純ランダムサンプリングに基づく調査方法は、統計の整備されていない遊漁による釣獲尾数の推定にも有効であった。精度のよい推定のためには、対象魚種の生態や水揚げ実態に合わせた調査計画と市場の層別の検討が必要であり、現場の状況に応じた調査方法の創意工夫が重要であることを述べた。河川でのスマルト降河尾数の推定については、層別 Petersen 法の有効性を指摘するとともに、効率的な採捕方法の工夫が重要であることを述べた。また、河川に生息するサクラマスの個体数の推定方法についても、定点数の設定や定点内での除去法による推定方法について論じた。最後に、種苗放流による生態系への影響が懸念されていることに触れ、本論文で明らかにしたサクラマスの増殖技術の現状を踏まえた上で、今後のサクラマスの資源評価および増殖の取り組みについての展望を述べた。

謝 辞

本論文をとりまとめるにあたり、懇切な御指導と御校閲を賜った東京大学海洋研究所資源解析分野の白木原國雄 教授に深く感謝申し上げます。同じく御校閲と有益な御助言を賜った東京大学海洋研究所資源生態分野の渡邊良朗 教授，東京大学大学院農学生命科学研究科の青木一郎 教授ならびに山川 卓 助教授，東京海洋大学海洋科学部の北田修一 教授に深く感謝申し上げます。

本論文の各章の研究は、いずれも北海道立水産孵化場の研究者の方々との共同研究として行われました。北海道立水産孵化場計画管理室長の永田光博 博士にはサクラマス研究を通じて終始懇切な御指導を賜りました。北海道立水産孵化場長の岡田鳳二 博士，北海道庁水産林務部水産振興課参事の小島 博 氏，北海道立水産孵化場内水面資源部長の今田和史 氏，同さけます資源部長の河村 博 氏，同道東支場長の杉若圭一 氏，同道東支場次長の竹内勝巳 氏には数多くの研究の機会を与えていただきました。隼野寛史 氏，藤原 真 氏，安藤大成 氏，青山智哉 氏，小山達也 氏，鷹見達也 氏をはじめ，北海道立水産孵化場の多くの研究職員の方々には，共同研究を通じて数多くの議論の機会を賜りました。Pacific Biological Station (Canada) の James R. Irvine 博士にはサケ・マスの資源評価について懇切な御指導を賜りました。

市場での標識魚の水揚げ調査や種苗放流において，北海道立水産孵化場，北海道庁水産林務部，支庁水産課，水産技術普及指導所，北海道内の各漁業協同組合，乙部町および初山別村役場の職員の皆様には御理解と御協力を賜りました。遊漁船を対象とした調査では胆振遊漁船業組合，苫小牧漁業協同組合および鶴川漁業協同組合，北海道庁水産林務部漁業管理課の職員の皆様に御協力いただきました。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

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 (2002) 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 **68**: 52–60.
- 安藤大成・宮腰靖之 (2003) 河川下流域に放流されたサクラマススモルトの遊漁による釣獲尾数の推定. 北海道立水産孵化場研究報告 **57**: 49–53.
- Ando, D., Nagata, M., Kitamura, T., and Shinriki, Y. (2004). Evaluation of loss rate of coded-wire tags implanted into adipose eye tissue of masu salmon *Oncorhynchus masou* and effect on growth of tagged salmon. *Fisheries Science* **70**: 524–526.
- Ando, D., Miyamoto, M., Kasugai, K., Miyakoshi, Y., and Nagata, M. (2005). Seasonal distribution of yearling masu salmon released from the Sea of Japan side of southwestern Hokkaido, Japan. *North American Journal of Fisheries Management* **25**: in press.
- 新谷康二 (1982) 池中養殖サクラマスによる種卵生産事業の現況. 魚と水 **20**: 1–7.
- Arnason, A. N., Kirby, C. W., Schwarz, C. J., and Irvine, J. R. (1996) Computer analysis of data from stratified mark-recovery experiments for estimation of salmon escapements and other populations. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* No. 2106, 1–37.
- Beckman, B. R., Dickhoff, W. W., Zaugg, W. S., Sharpe, C., Hirtzel, S., Schrock, R., Larsen, D. A., Ewing, R. D., Palmisano, A., Schreck, C. B., and Mahnken, C. V. W. (1999) Growth, smoltification, and smolt-to-adult return of spring chinook salmon from hatcheries on the Deschutes River, Oregon. *Transactions of the American Fisheries Society* **128**: 1125–1150.
- Bernard, D. R., Marshall, R. P., and Clark, J. E. (1998) Planning programs to estimate salmon harvest with coded-wire tags. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**: 1983–1995.
- Bilton, H. T., Alderdice, D. F., and Schnute, J. T. (1982) Influence of time and size at release of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) on returns at maturity.

- Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **39**: 426–447.
- Bjornn, T. C. (1971) Trout and salmon movements in two Idaho streams as related to temperature, food, stream flow, cover, and population density. *Transactions of the American Fisheries Society* **100**: 423–438.
- Blankenship, H. L. and Leber, K. M. (1995) A responsible approach to marine stock enhancement. *American Fisheries Society Symposium* **15**: 167–175.
- Bradford, M. J. (1995) Comparative review of Pacific salmon survival rates. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **52**: 1327–1338.
- Brannon, E. L., Amend, D. F., Cronin, M. A., Lannan, J. E., LaPatra, S., McNeil, W. J., Noble, R. E., Smith, C. E., Talbot, A. J., Wedemeyer, G. A., and Westers, H. (2004) The controversy about salmon hatcheries. *Fisheries* **29**(9): 12–31.
- Burnham, K. P. and Anderson, D. R. (1998) *Model selection and inference: a practical information – theoretic approach*. Springer, New York.
- Bustard, D. R. and Narver, D. W. (1975) Aspects of winter ecology of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **32**: 667–680.
- Carle, F. L. and Strub, M. R. (1978) A new method for estimating population size from removal data. *Biometrics* **34**: 621–630.
- Carlson, S. R., Coggins, L. G. Jr, and Swanton, C. O. (1998) A simple stratified design for mark-recapture estimation of salmon smolt abundance. *Alaska Fishery Research Bulletin* **5**: 88–102.
- Chapman, D. G. and Junge, C. O., Jr. (1956) The estimation of the size of a stratified animal population. *The Annals of Mathematical Statistics* **27**: 375–389.
- Chapman, D. W. (1966) Food and space as regulators of salmonid populations in streams. *American Naturalist* **100**: 345–357.
- Conlin, K. and Tutty, B. D. (1979) Juvenile salmonid field trapping manual. *Fisheries Marine Service Manuscript Reports* No.1530, 1–136.
- Cousens, N. B. F., Thomas, G. A., Swann, C. G., and Healey, M. C. (1982) A review of salmon escapement estimation techniques. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* No.1108, 1–122.

- Cowx, I. G. (1983) Review of the methods for estimating fish population size from survey removal data. *Fisheries Management* **14**: 67–82.
- Cowx, I. G. (1994) Stocking strategies. *Fisheries Management and Ecology* **1**: 15–30.
- Cowx, I. G. (1996) The integration of fish stock assessment into fisheries management. In: *Stock assessment in inland fisheries* (Cowx, I. G. ed.), Blackwell Science, Oxford, 495–506.
- Cunjak, R. A. (1996) Winter habitat of selected stream fishes and potential impacts from land-use activity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **53 (Supplement 1)**: 267–282.
- Cunjak, R. A., Curry, R. A., and Power, G. (1987) Seasonal energy budget of brook trout in streams: implications of a possible deficit in early winter. *Transactions of the American Fisheries Society* **116**: 817–828.
- Cunjak, R. A., Prowse, T. D., and Parrish, D. L. (1998) Atlantic salmon (*Salmo salar*) in winter: “the season of parr discontent”? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55 (Supplement 1)**: 161–180.
- Darroch, J. N. (1961) The two-sample capture-recapture census when tagging and sampling are stratified. *Biometrika* **48**: 241–260.
- Dempson, J. B. and Stansbury, D. E. (1991) Using partial counting fences and a two-sample stratified design for mark-recapture estimation of an Atlantic salmon smolt population. *North American Journal of Fisheries Management* **11**: 27–37.
- Ewing, R. D. and Ewing, S. K. (1995) Review of the effects of rearing density on survival to adulthood for Pacific salmon. *Progressive Fish-Culturist* **57**: 1–25.
- Finstad, B. and Jonsson, N. (2001) Factors influencing the yield of smolt releases in Norway. *Nordic Journal of Freshwater Research* **75**: 37–55.
- Foerster, R. E. (1954) On the relation of adult sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) returns to known smolt seaward migrations. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **11**: 339–350.
- 藤原 真 (2004) サクラマスにおけるリボンタグの脱落率. *魚と水* **41**: 59.
- 藤原 真・隼野寛史・大森 始・杉若圭一 (1998) 増幌川に秋放流された池産サクラマスのスマルト生産率と初期分散. *魚と水* **35**: 151–164.

- Guthrie, D., Hoenig, J. M., Holliday, M., Jones, C. M., Mills, M. J., Moberly, S. A., Pollock, K. H., and Talhelm, D. R. (1991) *Creel and angler surveys in fisheries management. American Fisheries Society Symposium 12*, American Fisheries Society, Bethesda.
- Guy, C. S., Blankenship, H. L., and L. A. Nielsen (1996) Tagging and marking. In: *Fisheries techniques, 2nd edition* (Murphy, B. R. and Willis, D. W. eds.) American Fisheries Society, Bethesda, 353–383.
- Hager, R. C. and Noble, R. E. (1976) Relation of size at release of hatchery-reared coho salmon to age, size, and sex composition of returning adults. *Progressive Fish-Culturist 38*: 144–147.
- Hankin, D. G. (1984) Multistage sampling designs in fisheries research: applications in small streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 41*: 1575–1591.
- 隼野寛史・永田光博・宮腰靖之 (1999) 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 **53**: 39–47.
- Hayano, H., Miyakoshi, Y., Nagata, M., Sugiwaka, K., and Irvine, J. R. (2003) Age composition of masu salmon smolts in northern Japan. *Journal of Fish Biology 62*: 237–241.
- Henderson, M. A. and Cass, A. J. (1991) Effect of smolt size on smolt-to-adult survival for Chilko Lake sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 48*: 988–994.
- Hilborn, R. (1992) Hatcheries and the future of salmon in the Northwest. *Fisheries 17*(1): 5–8.
- Hilborn, R. (1998) The economic performance of marine stock enhancement projects. *Bulletin of Marine Science 62*: 661–674.
- Hilborn, R. and Eggers, D. (2000) A review of the hatchery programs for pink salmon in Prince William Sound and Kodiak Island, Alaska. *Transactions of the American Fisheries Society 129*: 333–350.
- Hirata, T., Goto, A., and Yamazaki, F. (1988) Individual growth and smoltification of juvenile masu salmon, *Oncorhynchus masou* Brevoort, under rearing conditions.

Journal of Fish Biology **32**: 77–84.

広井 修 (1988) 天然溯上サクラマス親魚の性成熟と長期蓄養試験. 昭和 62, 63 年度「近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究」(マリーナランディング計画) プロGRESS・レポート サクラマス(8), 北海道さけ・ますふ化場, 札幌, 1–8.

北海道さけ・ますふ化場 (1969) 北海道河川溯上マス調査記録(カラフトマス及びサクラマス). 北海道さけ・ますふ化場研究報告 **23**: 29–44.

北海道立水産孵化場 (2002) 平成 12 年度事業成績書. 北海道立水産孵化場, 恵庭, 65–66.

Holtby, L. B. (1988) Effects of logging on stream temperatures in Carnation Creek, British Columbia, and associated impacts on the coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **45**: 502–515.

Holtby, L. B., Andersen, B. C., and Kadowaki, R. K., (1990) Importance of smolt size and early ocean growth to interannual variability in marine survival of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **47**: 2181–2194.

Hunt, R. L. (1969) Overwinter survival of wild fingerling brook trout in Lawrence Creek, Wisconsin. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **26**: 1473–1483.

Hvidsten, N. A., Jensen, A. J., Vivås, H., Bakke, Ø., and Heggberget, T. G. (1995) Downstream migration of Atlantic salmon smolts in relation to water flow, water temperature, moon phase and social interaction. *Nordic Journal of Freshwater Research* **70**: 38–48.

今井利為・高間 浩・柴田勇夫 (1994) 神奈川県における遊漁船のマダイ釣獲量の推定. 栽培漁業技術開発研究 **23**: 77–83.

Inoue, M., Nakano, S., and Nakamura, F. (1997) Juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) abundance and stream habitat relationships in northern Japan. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**: 1331–1341.

井上 聡・石城謙吉 (1968) 冬期の河川におけるヤマメの生態. 陸水学雑誌 **29**: 27–36.

Irvine, J. R. and Ward, B. R. (1989) Patterns of timing and size of wild coho salmon

- (*Oncorhynchus kisutch*) smolts migrating from the Keogh River watershed on northern Vancouver Island. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **46**: 1086–1094.
- Irvine, J. R. and Nelson, T. C. (1995) Proceedings of the 1994 salmon escapement workshop plus an annotated bibliography on escapement estimation. *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences* No.2305, 1–97.
- 石田昭夫 (1981) 稚魚の河川生活と資源培養の問題. 人工ふ化稚魚について. 昭和 55 年度「近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究」(マリーナランチング計画) プログレス・レポート サクラマス(1), 北海道さけ・ますふ化場, 札幌, 38–42.
- Johnson, J. K. (1990) Regional overview of coded wire tagging of anadromous salmon and steelhead in northwest America. *American Fisheries Society Symposium* **7**: 782–816.
- Johnson, S. W., Heifetz, J., and Koski, K. V. (1986) Effects of logging on the abundance and seasonal distribution of juvenile steelhead in some southeastern Alaska streams. *North American Journal of Fisheries Management* **6**: 532–537.
- Jones, M. L. and Stockwell, J. D. (1995) A rapid assessment procedure for the enumeration of salmonine populations in streams. *North American Journal of Fisheries Management* **15**: 551–562.
- Kaeriyama, M. (1999) Hatchery programmes and stock management of salmonid populations in Japan. In: *Stock enhancement and sea ranching* (Howell, B. R., Moksness, E. & Svåsand, T. eds.), Blackwell-Science, Oxford, 153–167.
- 帰山雅秀 (1999) サケ属魚類における野生魚と孵化場魚の生物学的相互作用. 水産育種 **27**: 33–44.
- 帰山雅秀 (2002) 最新のサケ学. ベルソープックス 011 ((社)日本水産学会監修). 成山堂書店, 東京.
- Kato, F. (1991) Life histories of masu and amago salmon. In: *Pacific salmon life histories* (Groot C. and Margolis, L. eds.), University of British Columbia Press, Vancouver, 447–520.
- 加藤禎一 (1981) サクラマスの種苗生産技術の現状と問題点. 昭和 55 年度「近海

漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究」(マリーンランチング計画) プログレス・レポート サクラマス(1), 北海道さけ・ますふ化場, 札幌, 15-18.

Kennen, J. G., Wisniewski, S. J., Ringler, N. H., and Hawkins, H. M. (1994) Application and modification of an auger trap to quantify emigrating fishes in Lake Ontario tributaries. *North American Journal of Fisheries Management* **14**: 828-836.

木曾克裕 (1995) 本州北部太平洋岸の河川を母川とするサクラマスの生活史の研究. 中央水産研究所研究報告 **7**: 1-188.

北田修一 (1992) RECOVERY : パソコンによる放流効果評価のための標識再捕データ解析プログラム集. 栽培資源調査検討資料 **8**, 日本栽培漁業協会, 東京.

北田修一 (1993) 遊漁船の標本調査による遊漁釣獲量の推定方法. 日本水産学会誌 **59**: 75-78.

Kitada, S. (1999) Effectiveness of Japan's stock enhancement programmes: current perspectives. In: *Stock enhancement and sea ranching* (Howell, B. R., Moksness, E., and Svåsand, T. eds.), Blackwell-Science, Oxford, 103-131.

北田修一 (1999) 水産学におけるサンプリング理論の応用. 計量生物学 **20**: 1-29.

北田修一 (2001) 栽培漁業と統計モデル分析. 共立出版, 東京.

北田修一・須田 明 (1988) 放流魚の混獲状況からみた放流効果評価の諸問題. 水産増殖 **36**: 107-112.

Kitada, S., Taga, Y., and Kishino, H. (1992) Effectiveness of a stock enhancement program evaluated by a two-stage sampling survey of commercial landings. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **49**: 1573-1582.

北田修一・関谷幸生・横田賢史 (2001) 水槽実験による Petersen 法の実用性の検討. 日本水産学会誌 **67**: 203-208.

Kitada, S. and Tezuka, K. (2002) Longitudinal logbook survey designs for estimating recreational fishery catch, with application to ayu (*Plecoglossus altivelis*). *Fishery Bulletin* **100**: 228-243.

Knapp, G. P. (1999) Alaska salmon ranching: an economic review of the Alaska salmon hatchery programme. In: *Stock enhancement and sea ranching* (Howell, B. R., Moksness, E., and Svåsand, T. eds.), Blackwell-Science, Oxford, 537-556.

- 小林美樹・岩見俊則・岡田鳳二・永田光博 (1988) サクラマス生態学的研究. I. 古宇川に放流した池中継代サクラマスの降海行動について. 北海道立水産孵化場研究報告 **43**: 57–64.
- 小林哲夫 (1981) サクラマス人工ふ化事業について. 昭和 55 年度「近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究」(マリーンランディング計画) プログレス・レポート サクラマス(1), 北海道さけ・ますふ化場, 札幌, 34–37.
- Koenings, J. P., Geiger, H. J., and Hasbrouck, J. J. (1993) Smolt-to-adult survival patterns of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*): effects of smolt length and geographic latitude when entering the sea. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **50**: 600–611.
- 小池利通・塚本勝巳 (1994) サクラマスの銀毛に伴う群行動の変化と系群差. 日本水産学会誌 **60**: 331–340.
- 小島 博・泉 孝行 (1985) 天然サクラマス幼魚のスマルト変態過程における海水適応能の変化. 北海道立水産孵化場研究報告 **40**: 77–86.
- 小山達也・永田光博 (1995) 池産系, 尻別川系サクラマス及びその交雑魚の降海時期. 北海道立水産孵化場研究報告 **49**: 1–7.
- Kruse, C. G., Hubert, W. A., and Rahel, F. J. (1998) Single-pass electrofishing predicts trout abundance in mountain streams with sparse habitat. *North American Journal of Fisheries Management* **18**: 940–946.
- 久保達郎 (1974) サクラマス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 **28**: 9–26.
- 久保達郎 (1980) 北海道のサクラマス生活史に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 **34**: 1–95.
- Leber, K. M., Kitada, S., Blankenship, H. L., and Svåsand, T. (2004) *Stock enhancement and sea ranching, developments, pitfalls and opportunities, 2nd edition*, Blackwell Publishing, Oxford
- Levin, P. S., Zabel, R. W., and Williams, J. G. (2001) The road to extinction is paved with good intentions: negative association of fish hatcheries with threatened salmon. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B* **268**: 1153–1158.
- Lichtowich, J. A. and McIntyre, J. D. (1987) Use of hatcheries in the management of

- Pacific anadromous salmonids. *American Fisheries Society Symposium* **1**: 131–136.
- Lobón-Cerviá, J. and Utrilla, C. G. (1993) A simple model to determine stream trout (*Salmo trutta* L.) densities based on one removal with electrofishing. *Fisheries Research* **15**: 369–378.
- 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.
- Mäntyniemi, S and Romakkaniemi, A. (2002) Bayesian mark-recapture estimation with an application to a salmonid smolt population. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **59**: 1748–1758.
- Martin, R. M. and Wertheimer, A. (1989) Adult production of chinook salmon reared at different densities and released as two smolt sizes. *Progressive Fish-Culturist* **51**: 194–200.
- Mason, J. C. (1976) Response of underyearling coho salmon to supplemental feeding in a natural stream. *Journal of Wildlife Management* **40**: 775–788.
- Matsuishi, T., Narita, A., and Ueda, H. (2002) Population assessment of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* caught by recreational angling and commercial fishery in Lake Toya, Japan. *Fisheries Science* **68**: 1205–1211.
- 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. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 **46**: 1–156.
- 真山 紘・野村哲一・大熊一正 (1988) 越冬前の秋季に放流されたサクラマス *Oncorhynchus masou* 標識魚のスモ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 **42**: 21–36.
- 真山 紘・野村哲一・大熊一正 (1989) サクラマス *Oncorhynchus masou* の交換移植試験. 2. 地場産魚と移植魚の降海移動と親魚回帰の比較. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 **43**: 99–113.
- McMenemy, J. R. and Kynard, B. (1988) Use of inclined-plane traps to study movement and survival of Atlantic salmon smolts in the Connecticut River. *North American Journal of Fisheries Management* **8**: 481–488.
- 三坂尚行・内藤一明・河村 博 (1998) 海水適応能を指標としたサクラマス幼魚

- の種苗性の評価. 魚と水 **35**: 233–239.
- 三坂尚行・水野伸也・下田和孝・佐々木義隆・内藤一明・安藤大成・北村隆也・笠原 昇 (2002) 池産及び天然サクラマススモルトの生化学的性状の違い. 北海道立水産孵化場研究報告 **56**: 89–96.
- Mitro M. G. and Zale, A. V. (2000) Predicting fish abundance using single-pass removal sampling. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **57**: 951–961.
- Miyakoshi, Y. (1998) Recoveries of masu salmon strayed into Shokanbetsu River, northern Hokkaido, Japan. *Scientific Reports of the Hokkaido Fish Hatchery* **52**: 75–77.
- 宮腰靖之 (1999) 北海道北部河川に移殖放流されたサクラマスの回帰魚体サイズ. 北海道立水産孵化場研究報告 **53**: 59–66.
- Miyakoshi, Y. and Kudo, S. (1999) Mark-recapture estimation of escapement of masu salmon *Oncorhynchus masou* with a comparison to a fence count. *North American Journal of Fisheries Management* **19**: 1108–1111.
- Miyakoshi, Y., Nagata, M., Sugiwaka, K., and Kitada, S. (2001a) Commercial harvest of hatchery-reared masu salmon *Oncorhynchus masou* estimated by a coast-wide sampling program in Hokkaido, northern Japan, and the two-stage sampling schemes of landings. *Fisheries Science* **67**: 126–133.
- Miyakoshi, Y., Nagata, M., and Kitada, S. (2001b) Effect of smolt size on postrelease survival of hatchery-reared masu salmon *Oncorhynchus masou*. *Fisheries Science* **67**: 134–137.
- Miyakoshi, Y., Nagata, M., Takeuchi, K., Sugiwaka, K., and Kitada, S. (2001c) Effectiveness of stocking masu salmon *Oncorhynchus masou* fry as a means of increasing commercial catches. *Fisheries Science* **67**: 1184–1186.
- 宮腰靖之・隼野寛史・永田光博・Irvine, J. R. (2001d) 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 **67**: 231–237.
- 宮腰靖之・隼野寛史・藤原 真・杉若圭一・永田光博 (2001e) ロータリー式スクリーントラ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 **49**: 445–450.
- Miyakoshi, Y., Hayano, H., Omori, H., Nagata, M., and Irvine, J. R. (2002a) Importance

- of instream cover for young masu salmon, *Oncorhynchus masou*, in autumn and winter. *Fisheries Management and Ecology* **9**: 217–223.
- Miyakoshi, Y., Nagata, M., Shimoda, K., Sugiwaka, K., and Kitada, S. (2002b) Assessment of stocking effectiveness of hatchery-reared age-0 and age-1 masu salmon smolts through a fish market survey in Hokkaido. *Fisheries Science* **69 (Supplement I)**: 908–911.
- Miyakoshi, Y., Hayano, H., Fujiwara, M., Nagata, M., and Irvine, J. R. (2003a) Size-dependent smolt yield and overwinter survival of hatchery-reared masu salmon released in fall. *North American Journal of Fisheries Management* **23**: 264–269.
- Miyakoshi, Y., Takami, T., Takeuchi, K., Omori, H., Nagata, M., and Irvine, J. R. (2003b) Sampling of masu salmon, *Oncorhynchus masou*, spawners on the spawning grounds: is carcass sampling effective as a mark-recovery method? *Fisheries Management and Ecology* **10**: 273–275.
- Miyakoshi, Y., Koyama, T., Aoyama, T., Sakakibara, S., and Kitada, S. (2004a) Estimates of numbers of masu salmon caught by recreational fishermen in the coastal area off Iburi, Hokkaido, Japan. *Fisheries Science* **70**: 87–93.
- Miyakoshi, Y., Nagata, M., Sugiwaka, K., and Kitada, S. (2004b) Evaluation of stock enhancement programs for masu salmon in Hokkaido, northern Japan, by two-stage sampling surveys of commercial landings. In: *Stock enhancement and sea ranching, developments, pitfalls and opportunities, 2nd edition* (Leber, K. M., Kitada, S., Blankenship, H. L., and Svåsand, T. eds.), Blackwell Publishing, Oxford, 187–198.
- 宮本真人・平野和夫・大久保進一・浅見大樹 (1994) 信砂川および風連別川に放流したサクラマスの回遊と回帰. 魚と水 **31**: 227–231.
- 水野伸也・三坂尚行・佐々木義隆・村上 豊・安藤大成・北村隆也・神力義仁・笠原 昇 (2002) 腎臓における傍糸球体細胞数を用いたサクラマススモルトの海水適応能評価. 北海道立水産孵化場研究報告 **56**: 149–152.
- Moksness, E. and Støle, R. (1997) Larviculture of marine fish for sea ranching purposes: is it profitable? *Aquaculture* **155**: 341–353.
- Murphy, M. L., Thedinga, J. F., Koski, K. V., and Grette, G. B. (1984) A stream ecosystem in an old-growth forest in southeast Alaska: part V: seasonal changes in

- habitat utilization by juvenile salmonids. In: *Fish and wildlife relationships in old growth forests: proceedings of a symposium* (Meehan, W. R., Merrell, T. R., and Hanley, T. A. eds.) American Institute for Fishery Research Biologists, Juneau, 89–98
- Murphy, M. L., Heifetz, J., Johnson, S. W., Koski, K V., and Thedinga, J. F. (1986) Effects of clear-cut logging with and without buffer strips on juvenile salmonids in Alaskan streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **43**: 1521–1533.
- Nagata, M. (1989) The occurrence of bimodality in the length frequency distribution, and its relation to growth and density in a juvenile masu salmon population in a Hokkaido stream. In: *Biology of charrs and masu salmon: Proceedings of the international symposium on charrs and masu salmon* (Kawanabe, H., Yamazaki, F., and Noakes, D. L. G. eds.), *Physiology and Ecology Japan Special Volume 1*: 141–150.
- Nagata, M. (2002) Ecological studies on the dispersal of newly emerged masu salmon fry, *Oncorhynchus masou*. *Scientific Reports of the Hokkaido Fish Hatchery* **56**: 1–87.
- 永田光博・宮本真人・外崎 久 (1984) 河川に放流した池産サクラマス *Oncorhynchus masou* (BREVOORT) 幼魚の個体群動態. 北海道立水産孵化場研究報告 **39**: 1–17.
- 永田光博・Irvine, J. R.・宮本真人・大久保進一・小林美樹 (1998) サクラマスのワイヤータグ標識部位と脱落率. 北海道立水産孵化場研究報告 **52**: 37–43.
- Nagata, M., Omori, H., and Yanai, S. (2002) Restoration of spawning and rearing habitats for masu salmon, *Oncorhynchus masou* in a channelized stream. *Fisheries Science* **69 (Supplement II)**: 1707–1710.
- 永田光博・山本俊昭 (2004) サケ属魚類における「人工孵化」の展望. (前川光司編) サケ・マスの生態と進化. 文一総合出版, 東京, 213–241.
- National Research Council (1996) *Upstream. Salmon and Society in the Pacific Northwest*. National Academy Press, Washington, D. C.
- Newcomb, T. J. and Coon, T. G. (2001) Evaluation of three methods for estimating

- numbers of steelhead smolts emigrating from great lakes tributaries. *North American Journal of Fisheries Management* **21**: 548–560.
- NPAFC (North Pacific Anadromous Fish Commission) (2000) Statistical yearbook 1996, NPAFC, Vancouver, 1–22.
- 岡部 久 (1995) 市場調査による放流サザエの検出と回収率の推定. *水産増殖* **43**: 283–288.
- 小野寺毅・菊地喜彦・水間敏朗・佐藤金三・藤田則孝 (2001) 志津川湾における魚市場出荷外利用も含めたクロソイの年間採捕数の推定. 東北区水産研究所研究報告 **64**: 53–60.
- 長内 稔・大塚三津男 (1967) サクラマス生態に関する研究 I. 遼河サクラマスの形態と産卵生態について. 北海道立水産孵化場研究報告 **22**: 17–32.
- Peterson, N. P. (1982a) Population characteristics of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) overwintering in riverine ponds. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **39**: 1303–1307.
- Peterson, N. P. (1982b) Immigration of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) into riverine ponds. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **39**: 1308–1310.
- Peterson, J. T., Thurow, R. F., and Guzevich, J. W. (2004) An evaluation of multipass electrofishing for estimating the abundance of stream-dwelling salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society* **133**: 462–475.
- Plante, N., Rivest, L. P., and Tremblay, G. (1998) Stratified capture-recapture estimation of the size of a closed population. *Biometrics* **54**: 47–60.
- Pollock, K. H., Jones, C. M., and Brown, T. L. (1994) *Angler survey methods and their applications in fisheries management*. American Fisheries Society Special Publication **25**, American Fisheries Society, Bethesda.
- Power, G. (1985) Estimating and understanding smolt output from Atlantic salmon rivers. In: *1985 Northeast Atlantic salmon workshop*. Atlantic Salmon Federation and New Brunswick Wildlife Federation, Moncton, 108–124.
- Quinn, T. P. and Peterson, N. P. (1996) The influence of habitat complexity and fish size on over-winter survival and growth of individually marked juvenile coho salmon

- (*Oncorhynchus kisutch*) in Big Beef Creek, Washington. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **53**: 1555–1564.
- Reimers, N. (1963) Body condition, water temperature, and over-winter survival of hatchery-reared trout in Convict Creek, California. *Transactions of the American Fisheries Society* **92**: 39–46.
- Riley, S. C., Haedrich, R. L., and R. J. Gibson (1993) Negative bias in removal estimates of Atlantic salmon parr relative to stream size. *Journal of Freshwater Ecology* **8**: 97–101.
- Rivot, E. and Prévost, E. (2002) Hierarchical Bayesian analysis of capture-mark-recapture data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **59**: 1768–1784.
- Robson, D. S. and Regier, H. A. (1964) Sample size in Petersen mark-recapture experiments. *Transactions of the American Fisheries Society* **93**: 215–226.
- Roper, B. and Scarnecchia, D. L. (1996) A comparison of trap efficiencies for wild and hatchery age-0 chinook salmon. *North American Journal of Fisheries Management* **16**: 214–217.
- Salminen, M. and Erkamo, E. (1998) Comparison of coastal and river releases of Atlantic salmon smolts in the river Kokemäenjoki, Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science* **55**: 1071–1081.
- Schaefer, M. B. (1951) Estimation of size of animal populations by marking experiments. *U. S. Fish Wildlife Service Fishery Bulletin* **52**: 191–203.
- Schwarz, C. J. and Dempson, J. B. (1994) Mark-recapture estimation of a salmon smolt population. *Biometrics* **50**: 98–108.
- Schwarz, C. J. and Taylor, C. G. (1998) Use of the stratified-Petersen estimator in fisheries management: estimating the number of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) spawners in the Fraser River. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* **55**: 281–296.
- Schwarz, C. J. and Seber, G. A. F. (1999) Estimating animal abundance: review III. *Statistical Science* **14**: 427–456.
- Seber, G. A. F. and Le Cren, E. D. (1967) Estimating population parameters from

- catches large relative to the population. *Journal of Animal Ecology* **36**: 631–643.
- Seelbach, P. W. (1987) Effect of winter severity on steelhead smolt yield in Michigan: an example of the importance of environmental factors in determining smolt yield. *American Fisheries Society Symposium* **1**: 441–450.
- 下田和孝 (2002) 春季の成長率および体サイズがサクラマスの 0+スモルト化に与える影響. 北海道立水産孵化場研究報告 **56**: 97–105.
- 下田和孝・山下幸悦・小林美樹 (2001) サクラマスの成熟体サイズの大型化に関する人為選択の効果. 北海道立水産孵化場研究報告 **55**: 7–12.
- 下田和孝・内藤一明・中島美由紀・佐々木義隆・三坂尚行・今田和史 (2003) サクラマスのスモルトサイズと関連した海洋生活期の生残および成長. 日本水産学会誌 **69**: 926–932.
- Smoker, W. W. and Linley, T. J. (1997) Are Prince William Sound salmon hatcheries a fool's bargain? *Alaska Fishery Research Bulletin* **4**: 75–78.
- 傍島直樹・桑原昭彦 (1991) 京都府におけるマダイ遊漁の実態について. 栽培漁業技術開発研究 **19**: 127–133.
- Speas, D. W., Walters, C. J., Ward, D. L., and Rogers, R. S. (2004) Effects of intraspecific density and environmental variables on electrofishing catchability of brown and rainbow trout in the Colorado River. *North American Journal of Fisheries Management* **24**: 586–596.
- 杉若圭一 (1991) 北海道北部河川におけるサクラマス幼魚のスモルト化. 北海道立水産孵化場研究報告 **45**: 29–40.
- 杉若圭一 (1992) 放流サクラマス稚魚の生残率と遊漁の関係. 魚と水 **29**: 27–31.
- 杉若圭一・田中寿雄・笠原 昇・新谷康二 (1981) 標識放流からみた 1+池産サクラマススモルトの回遊. 北海道立水産孵化場研究報告 **36**: 11–31.
- 鈴木研一・小林敬典・松石 隆・沼知健一 (2000a) ミトコンドリア DNA の制限酵素切断型多型解析から見た北海道内におけるサクラマスの遺伝的変異性. 日本水産学会誌 **66**: 639–646.
- 鈴木研一・永田光博・中島美由紀・大森 始 (2000b) 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場所とその物理環境. 北海道立水産孵化場研究報告 **54**: 7–14.

- 田子泰彦 (1997) 放流標識として切除したサクラマス腹鰭および背鰭の再生. 水産増殖 **45**: 479–483.
- 田子泰彦 (1999) 神通川と庄川におけるサクラマス親魚の遡上範囲の減少と遡上量の変化. 水産増殖 **47**: 115–118.
- Takami, T., Aoyama, T., Nagata, M., Miyamoto, M., Ohkubo, S., and Kawamura, H. (1998) Individual growth and life-history divergence of juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in a northern Japanese stream. *Scientific Reports of the Hokkaido Fish Hatchery* **52**: 21–29.
- Tamate, T. and Maekawa, K. (2000) Life cycle of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in Shumarinai Lake, northern Hokkaido, Japan. *Eurasian Journal of Forest Research* **1**: 39–42.
- 玉手 剛・山本祥一郎 (2004) サケ科魚類における二つの生活史. ～生活史分岐と生活史多型に関する進化現象について～. (前川光司編) サケ・マスの生態と進化. 文一総合出版, 東京, 43–69.
- 田中昌一 (1998) 水産資源学総論 (増補改訂版). 恒星社厚生閣, 東京.
- 田中哲彦・石田昭夫・松川 洋・石川嘉郎・薫田道雄 (1971) 人工ふ化サクラマス稚魚の河川放流に関する研究—1 報. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 **25**: 1–17.
- Taylor, E. B. and McPhail, J. D. (1985) Burst swimming and size-related predation of newly emerged coho salmon *Oncorhynchus kisutch*. *Transactions of the American Fisheries Society* **114**: 546–551.
- Theedinga, J. F., Murphy, M. L., Johnson, S. W., Lorenz, J. M., and Koski, K. V. (1994) Determination of salmonid smolt yield with rotary-screw traps in the Situk River, Alaska, to predict effects of glacial flooding. *North American Journal of Fisheries Management* **14**: 837–851.
- Thorpe, J. E., Morgan, R. I. G., Ottaway, E. M., and Miles, M. S. (1980) Time of divergence of growth groups between potential 1+ and 2+ smolts among sibling Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* **17**: 13–21.
- Tipping, J. M. (1986) Effect of release size on return rates of hatchery sea-run cutthroat trout. *Progressive Fish-Culturist* **48**: 195–197.

- Tipping, J. M. and Blankenship, H. L. (1993) Effect of condition factor at release on smolt-to-adult survival of hatchery sea-run cutthroat trout. *Progressive Fish-Culturist* **55**: 184–186.
- Todd, G. L. (1994) A lightweight, inclined-plane trap for sampling salmon smolts in rivers. *Alaska Fishery Research Bulletin* **1**: 168–175.
- Tschaplinski, P. J. and Hartman, G. F. (1983) Winter distribution of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) before and after logging in Carnation Creek, British Columbia, and some implications for overwinter survival. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **40**: 452–461.
- Tsiger, V. V., Skirin, V. I., Krupyanko, N. I., Kashkin, K. A., Semenchko, A. Yu. (1994) Life history forms of male masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in South Primor'e, Russia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **51**: 197–208.
- 上田 宏 (2004) サケの母川回帰を解明するバイオテレメトリー. 日本海洋理工学会誌 **9**: 191–199.
- Unwin, M. J. (1997) Fry-to-adult survival of natural and hatchery-produced chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) from a common origin. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**: 1246–1254.
- 宇藤 均 (1976) サクラマス *Oncorhynchus masou* Brevoort の降海型と河川残留型の分化機構に関する研究 1. 早熟な河川残留型の体生長と性成熟. 北海道大学水産学部彙報 **26**: 321–326.
- Vincent-Lang, D. (1993) Relative survival of unmarked and fin-clipped coho salmon from Bear Lake, Alaska. *Progressive Fish-Culturist* **55**: 141–148.
- Waples, R. S. (1991) Genetic interactions between hatchery and wild salmonids: lessons from the Pacific Northwest. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **48** (Supplement 1): 124–133.
- Waples, R. S. and Drake, J. (2004) Risk/benefit considerations for marine stock enhancement: a Pacific salmon perspective. In: *Stock enhancement and sea ranching, developments, pitfalls and opportunities, 2nd edition* (Leber, K. M., Kitada, S., Blankenship, H. L., and Svåsand, T. eds.), Blackwell Publishing, 260–306.
- Ward, B. R. and Slaney, P. A. (1988) Life history and smolt-to-adult survival of Keogh

- River steelhead trout (*Salmo gairdneri*) and the relationship to smolt size. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **45**: 1110–1122.
- Ward, B. R., Slaney, P. A., Facchin, A. R., and Land, R. W. (1989) Size-biased survival in steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*): back-calculated lengths from adults' scales compared to migrating smolts at the Keogh River, British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **46**: 1853–1858.
- Ward, B. R. and Slaney, P. A. (1990) Returns of pen-reared steelhead from riverine, estuarine, and marine releases. *Transactions of the American Fisheries Society* **119**: 492–499.
- Worlund, D. D., Wahle, R. J., and Zimmer, P. D. (1969) Contribution of Columbia River Hatcheries to harvest of fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Fishery Bulletin* **67**: 361–391.
- Wyatt, R. J. (2002) Estimating riverine fish population size from single- and multiple-pass removal sampling using a hierarchical model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **59**: 695–706.
- 山口忠則・伊藤史郎・北田修一 (2003) 有明海佐賀県海域におけるクルマエビ標識種苗の再捕尾数の推定と誤差評価. 佐賀県有明水産技術センター研究報告 **21**: 1–5.
- 柳井清治・長坂 有・佐藤弘和・安藤大成 (2004) 都市近郊溪流における木製構造物による流路とサクラマス生息環境の改善. 応用生態工学 **7**: 13–24.
- 柳瀬良介・阿井敬雄 (1998) 静岡県における遊漁船によるマダイ釣獲量の推定. 栽培漁業技術開発研究 **26**: 67–73.
- Zippin, C. (1956) A evaluation of the removal method of estimating animal populations. *Biometrics* **12**: 163–189.