

北海道におけるサクラマスの放流効果および資源評価に関する研究

宮腰 靖之

平成 16 年

目 次

第1章 北海道におけるサクラマス	
生活史と資源増殖の取り組み	
1.1 はじめに	4
1.2 論文の構成	7
1.3 北海道におけるサクラマスの生活史	8
1.4 資源保護の取り組み	10
1.5 増殖事業の歴史と現在の主な放流方法	10
増殖用種卵の確保 / 稚魚放流 / 秋季幼魚放流 / スモルト 放流	
第2章 市場調査によるサクラマス放流効果の推定	
2.1 はじめに	17
2.2 調査方法	18
調査場所および市場での調査 / 水揚げ尾数の推定方法 / 対 象とした標識魚 / 層別方法の検討 / 調査計画の検討 / 経済 回収率の推定	
2.3 結果	27
2.4 考察	42
第3章 スモルトの放流サイズと放流効果の関係	
3.1 はじめに	47
3.2 調査方法	47
3.3 結果	49
3.4 考察	51
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	55
4.2 調査方法	55
調査海域/ 遊漁船を対象とした標本調査 / 釣獲尾数の推定	
4.3 結果	59
4.4 考察	62

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	69
5.2	調査方法	71
	調査河川 / 標識再捕調査 / 層別 Petersen 法 / スマルト降河 尾数の推定	
5.3	結果	79
5.4	考察	87
第 6 章	秋季に河川放流したサクラマス幼魚の生残率の推定	
6.1	はじめに	91
6.2	調査方法	91
	試験魚の養成と放流 / スマルト降河尾数の推定 / 河川残留 型個体の生息尾数の推定	
6.3	結果	97
6.4	考察	103
第 7 章	総合討論	
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	109
7.2	サクラマス資源増殖における問題点と今後の展望	114
	要約	119
	謝辞	123
	文献	124

第1章 北海道におけるサクラマス你的生活史と資源増殖の取り組み

1.1 はじめに

サクラマス *Oncorhynchus masou* は太平洋サケ類 (Pacific salmon) と呼ばれるサケ属 6 種 (サクラマスのほか, サケ *O. keta*, カラフトマス *O. gorbuscha*, ベニザケ *O. nerka*, ギンザケ *O. kisutch*, マスノスケ *O. tshawytscha*) のうち唯一, 北太平洋のアジア側にのみ分布する魚種である。海洋における分布域はサケ属の他の魚種と比べて狭く (帰山 2002), その中心は日本海およびオホーツク海に面した地域である (待鳥・加藤 1985)。サクラマスの漁獲量は太平洋サケ類の中で最も少ないが (NPAFC 2000; 帰山 2002), 主に秋に来遊するサケ, カラフトマスとは対照的に, サクラマスは冬から春にかけて沿岸漁業の対象となるため, 北日本での重要な漁業資源の一つとなっている。しかしながら, 近年は漁獲量が漸減傾向にあり, 北海道沿岸での最近 20 年間 (1983~2002 年) の漁獲量は 400~1,000 トンで推移している (Fig. 1.1)。水揚げ金額は年間 5~8 億円である。サクラマスを漁獲する主な漁法は定置網 (2002 年の漁獲重量比で 64.5%), 一本釣り (18.5%), 刺網 (14.4%) である。一本釣りや刺網など経費のかからない漁法による水揚げが多いこともサクラマス漁業の特徴である。北海道でのサクラマスの漁獲量は日本海側およびえりも岬以西の太平洋側で多く, 道内での漁獲量の概ね 7~8 割がこれらの地域で漁獲されている。1970 年代まではサクラマスの沿岸漁獲の半数以上が日本海側で水揚げされていたが, 最近では日本海側での漁獲量の減少傾向が著しい (Fig. 1.1)。

サクラマスの漁獲量を回復させることを目的として, 人工孵化放流による増殖事業が北日本各地で実施されている。北海道ではサクラマスを日本海側での漁業振興を図る上での重要魚種の一つと位置付けて, 増殖事業と資源保護に積極的に取り組んでいる。放流技術の向上により来遊量を大きく増大させたサケ (Kaeriyama 1999) とは対照的に, サクラマスでは増殖事業を実施しているにもかかわらず, これまでのところ漁獲量の顕著な回復には至っていない。

サクラマスに関してはこれまで, 生活史や生理生態などの調査研究が精力的に行われてきた (久保 1980; 真山 1992; 木曾 1995; Nagata 2002 など)。サクラマ

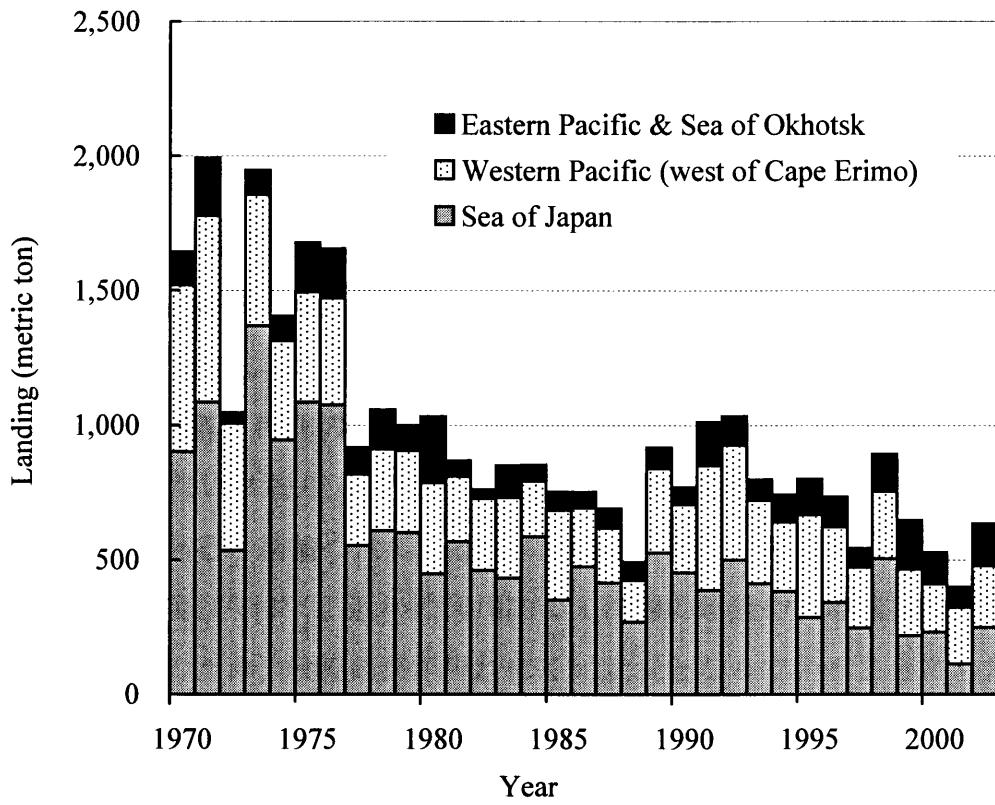


Fig. 1.1 Annual commercial landings of masu salmon in Hokkaido during 1970–2002.

スは、産卵床から浮上した後間もなく降海するサケやカラフトマスとは異なり、1年以上の河川生活を経て銀毛幼魚（スマルト）となり、海洋生活へと移行する。サクラマスの増殖を図る上では、本種のこうした生活様式を考慮した放流技術の確立が不可欠である。人工孵化放流においては、稚魚期（卵黄を吸収し終わり、群れをなして遊泳する時期：孵化場での飼育期間は1～2ヶ月間）、幼魚期（秋季を迎え、その後の生活型の分化が明らかとなる時期：孵化場での飼育期間は約半年間）、スマルト期（抗流性が弱まり降河行動を起こす時期：飼育期間：約1年間）など、いくつかの発育段階での放流を試み、放流効果を高めるための放流方法の検討がなされてきた。真山（1992）はサクラマスの資源培養について包括的な研究を行い、稚魚、幼魚、スマルト、それぞれの放流方法の有効性を実証的に検討した。その結果、単一の放流方法により高い増殖効果を得ることは難しく、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、河川の実産力に依存しないスマルト放流を河川ごとに異なる環境に応じて組み合わせることが必要であると結論づけている。さらに、サクラマスは河川内での生息環境変化の影響を受けやすく、近年の河川内の工作物の建設や流域開発などによる生息環境の悪化のため、放流効果が現れにくい状況となっていることにも言及している。真山（1992）をはじめとする精力的な研究により、サクラマスの放流技術は着実に向上してきたが、放流効果についての定量的な評価を行うまでには至っていない。すなわち、これまでの試験放流の多くでは、放流河川への標識魚の回帰尾数や放流場所近くの市場での標識魚の水揚げ尾数を調べることで放流効果を評価するにとどまった。種苗放流によるサクラマスの資源増殖を展開する上では、サクラマス漁業が行われている広い海域での放流種苗の回収率を明らかにする必要があるものと考えられる。また、稚魚や幼魚放流では放流後、降海までの河川内での生残率が調べられた事例はなく、その評価方法を研究し、どのようなサイズの種苗を放流するのが効果的かについても検証する必要がある。

現在、日本国内で種苗生産および放流が実施されている魚種は70種以上に及ぶ（北田 2001）。国内においては、減少した魚種の資源回復のための方策として種苗放流を実施する傾向が依然として根強いが、国外では種苗放流を見直す動きもみられる。種苗放流による増殖事業の経済的な是非が問われ（Moksness and Støle 1997; Hilborn 1998; Kitada 1999）、さらに、種苗放流が天然資源に与える影響

や放流魚による天然資源との置き換わりが懸念されるなど (Lichatowich and McIntyre 1987; Waples 1991; National Research Council 1996; Hilborn and Eggers 2000), 種苗放流の是非について議論される機会が増えている (Leber *et al.* 2004)。対象魚種の資源回復を図る上では, 増殖手段の検討を行い, 種苗放流を行う時にはその目的を明確にすることの必要性が提唱され (Cowx 1994), さらに, 増殖目標の設定, 種苗放流の効果の検証, 放流に用いる系群の管理, 魚病対策など, 責任ある対応を取ることが求められている (Blankenship and Leber 1995; Kitada 1999)。このような観点から, サクラマスにおいても放流効果を検証し, 増殖事業を展開する上での問題点を整理して, 本種の今後の増殖方法を検討することが必要と考えられる。

栽培漁業の対象魚種の中には遊漁の対象となっているものも少なくない。サクラマスも遊漁の対象種として人気が高く, 溪流釣りの代表格とも言えるヤマメ (サクラマスの幼魚, 北海道ではヤマベとも呼ばれる) 釣りに加え, 最近では海面や海浜でのサクラマス釣りも盛んに行われている。資源にかかる釣獲圧が高い場合には (今井ら 1994, 柳瀬・阿井 1998 など), 放流効果の評価や資源評価において, 遊漁による釣獲尾数の把握が重要である。しかし, サクラマスの釣獲尾数を定量的に調査した例はきわめて少ない (安藤ら 2002)。このことから, 遊漁によるサクラマス釣獲尾数の調査事例を蓄積する必要があるものと考えられる。

1.2 本論文の構成

本論文の構成は次のとおりである。第1章では北海道におけるサクラマスの生活史の概要と資源増殖に向けた取り組みの現状について述べる。第2章では, 北海道西岸の広い範囲を対象として市場調査を実施し, 稚魚放流およびスマルト放流した標識サクラマスの水揚げ尾数を推定し, 種苗放流効果の評価を試みた。精度よく放流効果を推定するための調査計画や水揚げ尾数を推定する際の市場の層別基準についても検討した。第3章では, 市場調査により推定されたスマルトの回収率を用い, 放流時のスマルトサイズと放流効果 (回収率) の関係について検討した。第4章では, 遊漁船によるサクラマス釣りが盛んに行われている北海

道太平洋側の胆振海域において、遊漁船の標本調査を実施し、この海域での遊漁によるサクラマス釣獲尾数の推定を試みた。第5章では、同一河川に設置した2つのトラップを用いて標識再捕調査を行い、野生サクラマススモルトの降河尾数を推定した。特に、スモルトの個体数推定における層別 Petersen 法の有効性を検討した。第6章では、秋季に河川放流した幼魚を調査の対象とし、標識再捕により放流翌春のスモルト降河尾数を推定し、さらに冬季間の生残率を推定した。最後に第7章では、前章までの調査結果を踏まえて、サクラマスの水揚げ尾数や個体数の推定方法について議論し、本種の種苗放流を含む資源増殖に関する問題点と今後の展望を述べる。

1.3 北海道におけるサクラマスの生活史

本邦のサクラマスには、河川と海洋とを回遊する遡河回遊型と河川内で一生を過ごす河川残留型という2つの生活史がみられる。回遊型でのスモルト化の年齢や河川残留型での初成熟年齢には個体群内でも変異がみられる。個体群間でみても、北海道以北では河川残留型は雄だけに限られているのに対し、分布の南限域では雌雄ともに河川残留型のみがみられるなど、地理的変異も大きい。サクラマスの生活史については多くの研究で詳しく述べられているので(久保 1980; 真山 1992; 木曾 1995; 玉手・山本 2004) , ここでは北海道におけるサクラマスの生活史の概要を述べるにとどめる。

北海道ではサクラマスは8月下旬から10月上旬にかけて河川の主に上流域で産卵する(Kato 1991)。翌年春に産卵床から浮上した稚魚は1~3年間の河川生活の後、銀毛変態(スモルト化)して降海する。スモルト化には河川での幼魚の成長が強く関わっており(久保 1974; Hirata *et al.* 1988) , 成長が良好な個体は1歳(1+)でスモルト化するが、小型の個体はさらに河川生活を続け、翌春以降にスモルト化して降海する。従来、北海道のサクラマス幼魚の河川生活は1年あるいは2年とされてきたが、北海道北部の河川では河川生活3年のスモルトも出現することが最近報告された(Hayano *et al.* 2003)。本州では河川残留型の雌が出現するが(木曾 1995) , 北海道では雌はすべて降海し、河川残留型の成熟雌は出現しない。一方、雄では成長が良好な個体が0歳の秋に成熟する(宇藤 1976)。

幼魚の体長分布を季節的に追跡した研究では、その後の生活様式を反映した異なる成長パターンを示す2つないし3つのサイズ群が秋までに出現することが報告されている（久保 1974; Hirata *et al.* 1988; Nagata 1989）。最近の野外研究では、生活史分岐はすでに夏の時点で始まっていることが報告され（Takami *et al.* 1998）、さらには、産卵床から浮上直後の稚魚の行動および初期成長が雄の河川内成熟や生活史分岐に影響することを指摘した研究もみられる（Nagata 2002）。河川型成熟雄の出現のため、スモルトの雌雄比は雌に偏っており、そのため河川に回帰した親魚では雌雄比が雌に偏っている（Kato 1991）。サクラマスは海洋生活は1年であり、これまでに海洋で2度の越冬を経験した個体の存在は報告されていない。降海した年の秋に回帰する早熟雄（ジャックと呼ばれる）については、ロシアではその存在が報告されているが（Tsiger *et al.* 1994）、日本では湖沼型サクラマスでジャックの存在が報告されているものの（Tamate and Maekawa 2000）、海洋生活を経たジャックの報告例はみられていない。

約1年間の海洋生活を経たサクラマスの河川遡上は春季からみられ、北海道での河川遡上のピークは5~7月にみられる（Kato 1991; 真山 1992）。河川に遡上したサクラマスは淵などで越夏し、降雨時の増水を利用して上流へ移動しながら、秋の産卵期を待つ。サクラマスは母川回帰性が極めて強く、母川以外へ迷入した事例はこれまでほとんど報告されていない。わずかに Miyakoshi (1998) が、迷入したと思われる標識サクラマス2尾の捕獲事例を報告している。ただし、それら標識個体の放流元は特定できておらず、放流までの飼育過程や移殖などの記録などは不明である。また、湖沼型サクラマスでは母川以外への迷入が観察されているが、この場合には幼魚期に川と湖を行き来できることから、正確な母川記録が行われていないものと考えられる（上田 2004）。

北海道でのサクラマスの成熟時の体サイズは河川により変異がみられ、一般に日本海側南部の河川では大型（平均尾叉長 50 cm 以上）であり、日本海側北部やオホーツク海側の河川では小型（平均尾叉長 40 cm 台）である（待鳥・加藤 1985）。サクラマス親魚の大きさは移殖放流された場合でも母川の親魚のサイズとほぼ同等であることが報告されており（宮腰 1999）、また、親魚の体サイズの大型化に関する人為選抜が有効であることも報告されていることから（下田ら 2001）、親魚の成熟サイズには遺伝的要因が強く関与しているものと考えられる。

1.4 資源保護の取り組み

サクラマス資源を保護するため、北海道では、水産資源保護法および内水面漁業調整規則により、次のように河川内でのサクラマスの採捕を禁じている。1) すべての河川に遡上した親魚の採捕禁止（周年），2) スモルトが降河移動する時期（北海道南西部では4～5月，北海道北東部では5～6月）の幼魚の採捕禁止，3) 保護水面に指定された32河川でのサクラマスを含むすべての水産動植物の採捕の禁止（周年），4) 資源保護水面に指定された12河川でのサクラマス幼魚の採捕禁止（禁漁期間は河川ごとに設定）。この他，内水面漁場管理委員会指示により，増殖事業を実施している河川などに採捕禁止区域が設定されている。

海面においては海面漁業調整規則により，体長20cm未満のサケ・マスの採捕が禁止されている。また，増殖事業用の親魚捕獲を実施している河川では，河口付近におけるサケ・マス採捕禁止区域が設定されている。最近では海面での遊漁船によるサクラマス釣りが盛んとなっており，一部の沿岸域では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，釣りのできる時間帯，漁法，釣獲尾数が制限されている。

1.5 増殖事業の歴史と主な放流方法

サクラマスの人工孵化による増殖事業の歴史はサケの増殖事業とともに古く，我が国での人工孵化放流の黎明期である1878年に石狩川および遊楽部川で試験的に実施されたのが最初とされる（小林1981）。人工孵化放流の歴史は古いものの，サクラマスの生理生態を考慮した増殖手段がとられたわけではなく，ただサケに準じた捕獲，採卵，孵化放流の事業運営が継続されたのが実態であったとされる。1960年代以降，サクラマスの生態研究およびそれに基づく種卵生産や放流技術の研究が行われ，1980年代以降は稚魚，幼魚，スモルトなど様々な発育段階での試験放流が盛んに行われている。現在ではサクラマスの種苗が安定的に生産されるようになり，最近10年間の北海道における放流数は稚魚，幼魚，スモルト合わせて1,000万尾程度で推移している（Fig. 1.2）。以下，サクラマスの増

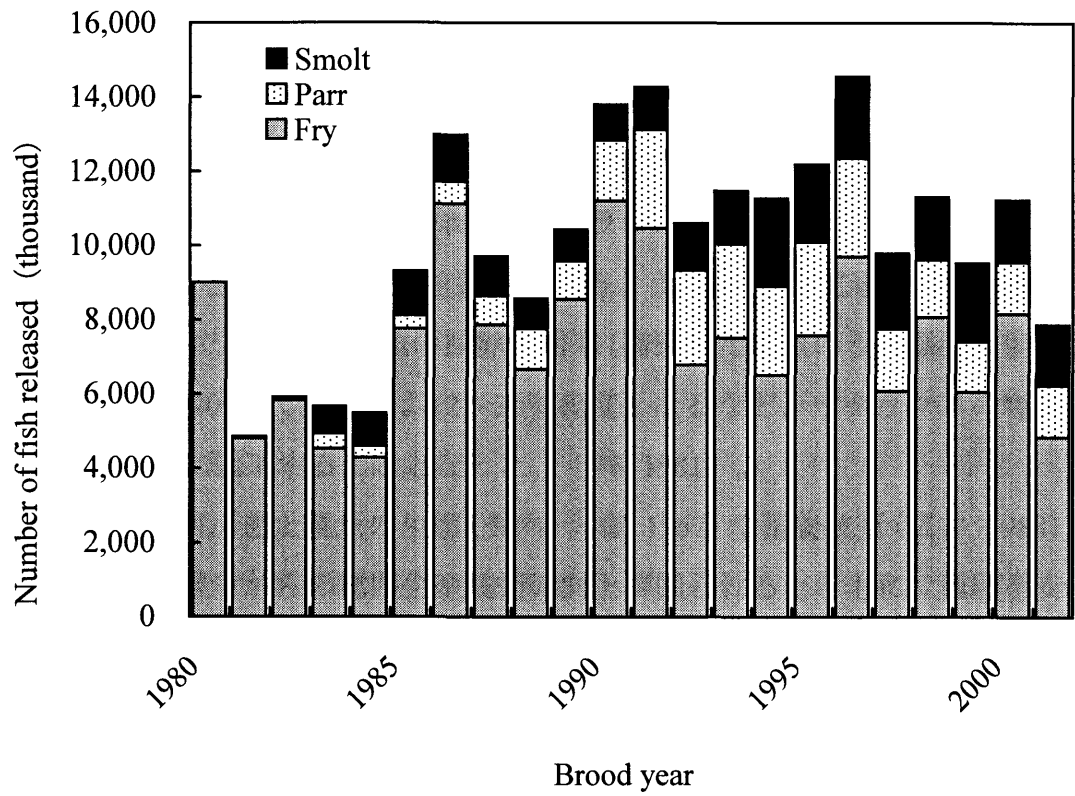


Fig. 1.2 Number of hatchery-reared masu salmon stocked in Hokkaido, 1980–2001.

殖用種卵生産と最近の主な放流方法についての概要を述べる。

増殖用種卵の確保

1960年代までは、サクラマスSalmo gairdneriの放流用種卵は河川に遡上した親魚から採卵されてきたが、遡上尾数の年変動が大きく、種卵を安定的に確保することは困難であった（小林 1981）。遡上時期が春に始まり蓄養期間が長期に及ぶため、親魚の斃死率が高いことも増殖事業を実施する上での障害となってきた。特に戦後間もない時期には、密漁対策および親魚捕獲の効率化のため、河川の下流域でサケの親魚を捕獲するようになり、これに伴ってサクラマスの親魚もより未熟な状態で捕獲され、採卵までさらに長い期間を蓄養されるようになった。これにより、1940年頃まで60%前後であった雌親魚の採卵使用率（捕獲した親魚のうち採卵に供した魚の割合）が1940年代後半には12~30%程度となるなど、サクラマスの増殖事業の効率はさらに低下することとなった（小林 1981）。

1960年代以降、河川遡上親魚の生態（長内・大塚 1967）や蓄養技術（広井 1988）が研究され、遡上親魚からの種卵生産技術の向上が図られるとともに、種卵を安定的に確保することを目的として、池中飼育したサクラマスから種卵を生産しようとする試みが各道県の水産試験場等により本格的に行われるようになった（加藤 1981）。北海道立水産孵化場ではサクラマスを卵から淡水の池中で飼育し、親魚まで養成して採卵する技術を確立し、サクラマス種卵の安定的な生産を実現させた（新谷 1982）。これを池産系サクラマスと呼ぶ。最近では、北海道立水産孵化場森支場と同熊石支場で合わせて1,000万粒以上の種卵が生産され、サクラマスの増殖事業に使用されてきた。現在、北海道でのサクラマスの放流尾数のうち、約半数は池産系種苗である。北海道立水産孵化場森支場では日本海側南部を流れる尻別川系群のサクラマスを継代飼育し、熊石支場では尻別川系群に加えて日本海側北部を流れる暑寒別川系群のサクラマスを保持している。サクラマスの移殖放流では、移殖距離が遠くなると放流魚の生残率が低下することが報告されているので（真山ら 1989）、放流にあたっては近隣の河川系群の種苗を用いることとし、原則として日本海側南部での種苗放流には尻別川系群を、日本海側北部での放流には暑寒別川系群を使用している。

稚魚放流

1960年代初めまでのサクラマス放流方法は、養魚池内で卵黄を吸収し浮上したばかりの稚魚を無給餌で河川に放流するというものであった。前述のとおり、サクラマスの増殖事業はサケに準じて行われることが多く、通常自然界では河川水で発生するサクラマスの卵を湧水で管理することも多かった。そのため、自然界よりもかなり早い時期に浮上した稚魚を無給餌で放流することとなり、目立った放流効果がみられることはなかった（小林 1981）。

1960年代後半以降、サクラマス稚魚の生態調査が盛んに行われるようになり（石田 1981）、そこで得られた知見に基づき稚魚の放流方法の改善が図られた。野生のサクラマスは河川の上流域で産卵し、浮上した稚魚は産卵床付近から下流側を中心に分散し、春の融雪増水が治まる頃には稚魚は河川内で強い定住性を示すようになる。放流した稚魚についても河川内での分散移動や成長が調べられ（田中ら 1971）、さらに、稚魚の発育に伴う形態の変化や食性など基礎的知見も蓄積された（真山 1992）。

現在では、河川水を飼育用水に用い 1~2 ヶ月飼育した稚魚を放流するのが一般的となっており、稚魚放流が北海道におけるサクラマス放流数全体の 6~7 割を占める（Fig. 1.2）。この放流方法は後に述べる幼魚放流と比べて飼育期間が短いため、種苗単価が安く、また、稚魚が小型であることから大量の種苗の輸送放流が容易であることが長所である。

放流された稚魚はスモルトとなり降海するまでに 1 年以上の河川生活を送る。そのため、放流後の稚魚の生き残り、成長には河川環境が大きく影響する。河川の限られた生産力を有効に活用するためには、放流後、稚魚が広く分散し、適正な生息密度および成長量が得られるように放流数を定めることが重要である（真山 1992）。放流した後の稚魚の生残、成長を追跡調査し、放流密度について詳細に検討した研究例もみられるが（田中ら 1971; 永田ら 1984; Nagata 1989）、生残率や成長には河川が生産力が関わることから、サクラマス稚魚の適正放流密度についての一般的な基準の確立に至っていない。さらに、近年では河川および流域の開発が進み、サクラマスにとっての生息環境は悪化しており、稚魚放流の効果が現れにくい状況となっている（真山 1992）。

また、サクラマス幼魚はヤマメ（北海道ではヤマベ）と呼ばれ、溪流釣りの対

象魚として人気がある。稚魚放流では、以前から遊漁による減耗が放流効果を著しく低下させるのではないかと懸念されてきた。禁漁河川と遊漁規制のない河川に放流した稚魚の生息密度や体長分布を比較し、規制のない河川では多くの稚魚が降海前に遊漁によって釣られているものと推測した報告もみられる（杉若 1992）。最近では、都市近郊の河川でのサクラマス幼魚の釣獲尾数を調べ、春に放流した稚魚の 65%が遊漁によって秋までに釣獲されたことを報告した研究もみられる（安藤ら 2002）。

河川での遊漁による減耗を避けるため、保護水面への稚魚放流が積極的に行われているが、放流された稚魚の沿岸漁業による回収率についての調査事例はこれまでほとんどなく、増殖効果についての事例の蓄積が必要である。本研究では、稚魚放流された標識魚の沿岸漁業による回収率について第 2 章で述べる。

秋季幼魚放流

放流後の遊漁による減耗を抑えるため、河川での遊漁が盛期を過ぎた晩秋に幼魚を放流する試みが 1970 年代後半から始められ、1980 年代以降、その有効性を検証するための標識放流が実施されてきた（真山ら 1988）。秋季幼魚放流では、孵化場での飼育期間が半年程度と稚魚放流に比べ長く、種苗単価は高いものの、河川内での遊漁による減耗を抑えることができれば放流効果は高いものと期待されてきた。

秋季幼魚放流では、幼魚は放流後まもなく冬を迎える。サケ科魚類の幼魚にとって、冬は生き残ることが厳しい季節であることが知られている（Murphy *et al.* 1984）。サケ科魚類の幼魚は、夏季には餌の豊富な条件を選択するのに対して、冬季には流れが緩く、外敵からの隠れ場所のある生息場所を選択するようになる（Chapman 1966; Bjornn 1971; Cunjak 1996）。そのため、サクラマスの秋季幼魚放流においては、放流された幼魚が速やかに越冬に適した場所に移動できることが重要である。サケ科魚類の冬季間の生態や生息場所については欧米を中心に数多くの研究例がみられる（Bustard and Narver 1975; Tschaplinski and Hartman 1983; Peterson 1982a; Seelbach 1987; Cunjak 1996; Cunjak *et al.* 1998 など）。サクラマスの越冬環境についてもこれまでにいくつかの研究例がみられている（井上・石城 1968; 真山 1992; 鈴木ら 2000b; Miyakoshi *et al.* 2002a）。一方、秋季幼魚放流の

放流効果については、河川への回帰結果を報告した事例がいくつかみられるものの（真山ら 1988）、放流後の河川内での生残率などについての研究例は少なく、調査事例の蓄積が必要と考えられる。本研究では、秋季に放流されたサクラマスSalmo salarの放流翌春までの生残率について第 6 章で述べる。

スマルト放流

稚魚を 1 年間飼育し、スマルト化し海水適応能を獲得した幼魚を放流する 1+スマルト放流は、放流後、幼魚がすぐに降海するため、河川での遊漁による減耗がなく、河川の生産力の制約を受けないため、サクラマスの有効な増殖手段と考えられている。サクラマスのスマルト放流は 1980 年代から実施されるようになり、多数の放流魚が河川およびその周辺海域へ回帰した事例も報告されている（真山 1992; 宮本ら 1994）。高い放流効果が期待される一方、飼育期間が 1 年以上の長期間にわたるため、種苗単価が高く、魚病の発生などの懸念も大きい。適期に放流できなければ高い放流効果は望めないことから、スマルトの養成にはそれぞれの施設の飼育条件（水量、水温など）に合わせた成長促進あるいは抑制などの飼育管理が必要である。サクラマスと同様に 1 年以上の河川生活を持つギンザケ、マスノスケ、カットスロートトラウト *O. clarki*、タイセイヨウサケ *Salmo salar* など他のサケ科魚類でもスマルト放流が広く行われ、放流サイズ、放流時期、飼育密度、放流場所などの要因と放流後の生残率の関係について、現在に至るまで盛んに研究が行われている（Bilton *et al.* 1982; Ewing and Ewing 1995; Finstad and Jonsson 2001 など）。本研究では、スマルト放流魚の沿岸漁業による回収率について第 2 章で、放流時のスマルトサイズと回収率の関係について第 3 章で述べる。

サクラマスの通常的生活史に合わせて養成される 1+スマルトの他に、初期の成長を促進させることにより、短い飼育期間で 0+スマルトを作出することが可能である。北海道立水産孵化場森支場では、周年水温（12～13℃）の安定した湧水を利用して、冬季間も通常より高い水温下で卵の管理および浮上後の成長を促進させることにより、採卵の翌年春に 95%程度の高い割合で 0+スマルトを作出することが可能となった（下田 2002）。1990 年以降、0+スマルトの試験放流が実施され、高い放流効果を示した年もみられている（Miyakoshi *et al.* 2002b）。1+スマルトの飼育と比べて飼育期間を 1 年短縮することができるのは大きな長所であ

るが、冬季間の高成長を可能とする飼育水の確保が困難であるなどの理由から、0+スマルトを増殖手法として事業化することは困難であると考えられている。

第2章 市場調査によるサクラマス放流効果の推定

2.1 はじめに

種苗の大量生産が可能となった魚種では、放流魚の水揚げ尾数を調べて放流効果を評価し、それを放流技術の開発に反映させて技術の向上を図るという繰り返しが重要である。1970年代後半、放流効果の調査が始められた当初は、アンカータグなどの外部標識をつけた種苗を放流し、漁業者あるいは遊漁者からの再捕報告により放流効果の推定を試みた（北田 2001）。サクラマスでも、スモルト生産が開始された1980年代にはアンカータグやリボンタグで標識した種苗が放流され、放流効果および回遊経路の調査が試みられた（杉若ら 1981）。しかしながら、再捕報告は不完全であり、標識の脱落や見落としもあることから、この方法では偏りが大きく、放流効果の正確な推定は期待できないと認識されるようになった（北田・須田 1989）。そのため現在では、市場において水揚げの一部を抽出して、標識魚の水揚げ尾数を調べる市場調査が最も信頼できる方法として定着している（北田 2001）。

サクラマスの放流効果は、1980年代から1990年代前半にかけて、放流河川への標識魚の回帰尾数や放流場所近くの市場での標識魚の水揚げ尾数を調べることにより推定された（真山 1992; 宮本ら 1994）。それらの調査では、水揚げの多い時期を中心に、週に数回の調査日を抽出して標識魚の水揚げ尾数を確認し、市場調査で得られた標識魚の混獲率に月ごとの水揚げ尾数を乗じて標識魚の水揚げ尾数を推定するのが一般的であった。これらの調査は、技術開発の端緒にいたばかりのサクラマス幼魚放流の有効性を示したという点での意義は大きい。しかし、標識放流の結果が蓄積されるにつれ、サクラマスは冬から春にかけて、北海道沿岸の広い海域で漁業の対象となることが明らかとなり、放流効果の評価のためには、従前から実施されてきた放流場所近くの市場調査だけでは不十分であると考えられるようになった（Miyakoshi *et al.* 2001a）。また、標本抽出は有意抽出となっていたことから、推定精度の評価は困難であった（北田 2001）。最近では、水産資源の資源量および放流効果の評価において、推定精度の評価が不可欠であるとの認識が持たれている（Cowx 1996）。さらに、放流事業が経済的

に成り立っているかどうかを評価することの重要性も強く認識されるようになった (Moksness and Støle 1997; Hilborn 1998)。これらのことから、サクラマスの放流効果調査においても、推定精度の評価が可能であり、かつ、広い範囲を効率よく調査できる調査方法が必要と考えられた。

Kitada *et al.* (1992) は放流効果調査における問題点を考慮した上で、2 段のランダムサンプリングに基づく一般的な放流効果の推定方法を提案した。この調査方法では推定精度の評価が可能であり、調査計画について検討することもできる。北田 (2001) はこの推定方法を用いて、北海道立水産孵化場が 1993 年 1~4 月に北海道南西部において実施したサクラマスの市場調査の結果から、同海域でのサクラマスの水揚げ尾数を推定するとともに、調査計画を検討した。この予備調査に基づき、北海道立水産孵化場では 1994 年以降、調査対象を北海道西岸の広い地域に拡大し、2 段抽出の市場調査を実施した。市場調査の結果から、標識サクラマスの季節的な水揚げ場所の分布を明らかにし、海域全体での沿岸漁業による回収率を推定した (Miyakoshi *et al.* 2001a; Miyakoshi *et al.* 2001c)。また、高い精度で放流効果を推定するための調査計画や市場の層別基準を検討した。さらに、サクラマス種苗の生産経費に対する水揚げ金額、すなわち経済回収率を推定し、サクラマス放流事業の経済効率を評価した (Miyakoshi *et al.* 2004b)。

2.2 調査方法

調査場所および市場での調査

1994~2002 年、ランダムサンプリングを基本とする調査方法 (Kitada *et al.* 1992) に従って、北海道西岸において市場調査を実施した。調査は 2 段抽出とし、1 次抽出単位として市場を抽出し、2 次抽出単位として各市場における水揚げ日を抽出した。

調査の対象範囲は、北海道の枝幸町以北のオホーツク海、日本海全域、および広尾町以西の太平洋に面する地域とした (Fig. 2.1)。調査対象範囲には約 90 箇所市場があるが、その中にはサクラマスがほとんど水揚げされない市場が 20 箇所程度含まれている。そこで、サクラマスの水揚げ尾数が年間 500 尾以下の市場を除く 64~70 箇所の市場から調査を実施する市場を抽出することとした。調

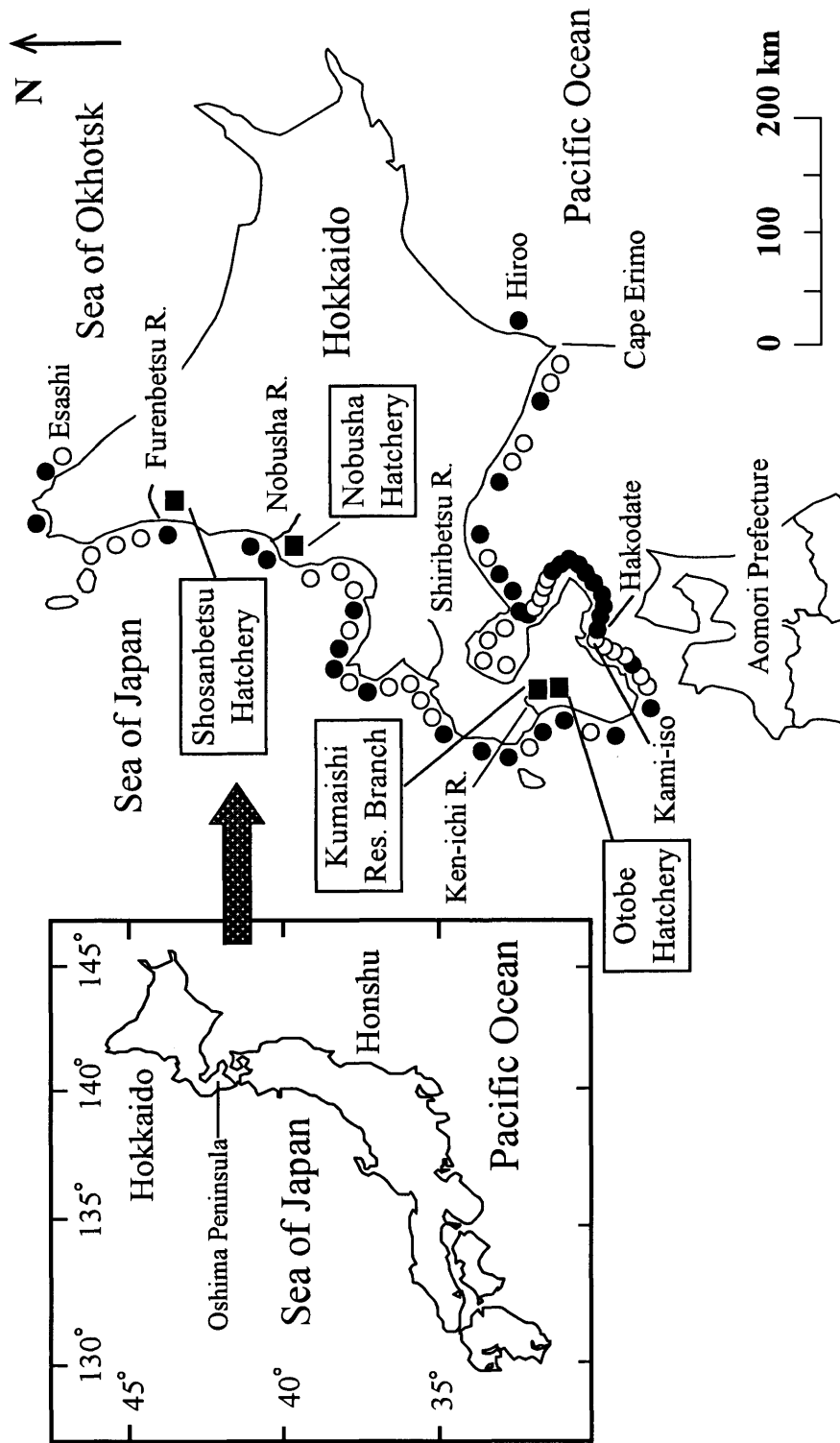


Fig. 2.1 Locations of the fish markets in western Hokkaido, northern Japan. Locations of fish markets surveyed (●) and not surveyed (○) in 1996. Locations of hatcheries (■) are indicated.

査市場を抽出する際には、調査実施前3ヵ年（1991～1993年）の市場別の平均水揚げ尾数を調べ、水揚げ尾数の規模を基準として4つの階層に分け、また、地理的に大まかに4つの階層にわけて、それぞれの階層から調査市場が抽出されるように配慮した。サクラマスは河川遡上前には、放流場所近くの市場で数多く水揚げされることから、放流場所近くの市場は必ず調査することとした。

調査実施時期は1～6月とし、この期間に各市場において原則として月3回の調査を実施した。予算的、人的都合から調査日数を増やすことが可能な市場ではさらに多くの調査日を設定した。調査日には原則として水揚げされたサクラマス全数について標識の有無を調べ、標識種類ごと（鰭切除の場合は切除された部位、リボンタグなど）に水揚げ尾数を記録した。サクラマスは大きさ別に発砲スチロールあるいはプラスチック製のトロ箱に入って市場に並べられるのが普通であり、1箱あたりのサクラマスの尾数は1尾から十数尾程度である（Fig. 2.2）。一般に漁業者はセリ開始時刻の数時間から数分前に水揚げ物を市場に搬入する。水揚げ物が市場に並んでからセリにかけられるまでの間に標識魚の調査をすることになるが、この時間が短い場合には迅速に調査を実施することが要求される。調査員の数はこれらの状況や水揚げ尾数の規模に応じて1～6名程度として対応した。

本章の調査対象範囲では、北海道の年間サクラマス水揚げ尾数の約80%が水揚げされ、調査時期とした1～6月には北海道沿岸での年間水揚げ尾数の約95%が水揚げされる（1994～2002年平均；北海道立水産孵化場事業成績書）。このことから本章の市場調査は北海道沿岸での年間サクラマス水揚げの大部分をカバーしたものといえる。1994～2002年に実施した調査でのサンプル数をTable 2.1に示す。市場の抽出率は1998年までは48～54%、1999年以降は37～40%であった。総水揚げ日数に対しての調査日数の抽出率は4～14%であった。

水揚げ尾数の推定方法

サクラマスの水揚げ尾数と分散の推定はKitada *et al.* (1992) に従った。推定にあたり、記号を次のように定めた。

K : 調査地域にある総市場数

k : 調査のために抽出する市場数



Fig. 2.2a Masu salmon landed at the Muroran Fish Market, Hokkaido.



Fig. 2.2b Marked masu salmon landed at the Muroran Fish Market, Hokkaido. The upper one is unmarked fish, and the lower one is marked fish (adipose, dorsal, and anal fins clipped).

Table 2.1 Number of fish markets and days surveyed, and number of masu salmon examined for marks in the fish market surveys in western Hokkaido, 1994–2002

Year	Number of fish markets in the population	Number of fish markets surveyed	Sampling fraction for fish markets	Total number of landing days	Total number of days surveyed	Sampling fraction for landing days	Total number of fish examined	Total number of marked fish observed ¹	Mark ratio (%)
1994	69	33	0.478	5,038	679	0.135	72,124	3,000	4.2
1995	67	36	0.537	5,442	625	0.115	60,866	4,135	6.8
1996	69	35	0.507	5,309	704	0.133	65,504	3,675	5.6
1997	69	37	0.536	5,276	352	0.067	35,505	1,041	2.9
1998	71	35	0.493	5,366	¥380	0.071	44,116	999	2.3
1999	68	25	0.368	5,071	247	0.049	24,505	1,055	4.3
2000	68	25	0.368	4,756	247	0.052	28,891	1,563	5.4
2001	63	25	0.397	4,029	198	0.049	15,384	626	4.1
2002	64	25	0.391	4,922	189	0.038	20,745	1,734	8.4

¹ Numbers of total marked masu salmon counted by samplers at fish markets (*i.e.* does not imply total recoveries).

- D_i : i 番目の市場のサクラマスの水揚げ日数
 d_i : i 番目の市場の調査日数
 M : 標識魚の水揚げ尾数
 M_i : i 番目の市場での標識魚の水揚げ尾数
 m_{ij} : i 番目の市場での j 番目の水揚げ日の標識魚の水揚げ尾数

標識魚の水揚げ尾数 M の推定値 \hat{M} および分散 $\hat{V}(\hat{M})$ は、

$$\hat{M} = \frac{K}{k} \sum_{i=1}^k \frac{D_i}{d_i} \sum_{j=1}^{d_i} m_{ij} \quad (2.4)$$

$$\hat{V}(\hat{M}) = \left(\frac{K}{k}\right)^2 \sum_{i=1}^k D_i^2 \frac{D_i - d_i}{D_i - 1} \frac{\hat{\sigma}_{M_i}^2}{d_i} + K^2 \frac{K - k}{K - 1} \frac{\hat{\sigma}_{M_b}^2}{k} \quad (2.5)$$

で与えられる。ここで、 $\hat{\sigma}_{M_i}^2$ は市場内分散 $\sigma_{M_i}^2$ の不偏推定量であり、

$$\hat{\sigma}_{M_i}^2 = \frac{1}{d_i - 1} \sum_{j=1}^{d_i} (m_{ij} - \bar{m}_i)^2, \quad \bar{m}_i = \frac{1}{d_i} \sum_{j=1}^{d_i} m_{ij} \text{ である。}$$

$\hat{\sigma}_{M_b}^2$ は市場間分散 $\sigma_{M_b}^2$ の不偏推定量であり、

$$\hat{\sigma}_{M_b}^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left(\hat{M}_i - \hat{M} \right)^2 - \frac{k-1}{k} \sum_{i=1}^k D_i^2 \frac{D_i - d_i}{D_i - 1} \frac{\hat{\sigma}_{M_i}^2}{d_i} \quad (2.6)$$

で与えられる。ここで、 $\hat{M}_i = D_i \bar{m}_i$, $\hat{M} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \hat{M}_i$ である。

ここで、 m および M を標識魚の水揚げ尾数の代わりにサクラマスの総水揚げ尾数と読み替えることにより、調査対象地域でのサクラマスの総水揚げ尾数を推定することができる。各市場での水揚げ日数は毎年の漁期終了後、各漁業協同組合から報告を受けた。各市場での漁獲尾数についても合わせて報告を受け、市場調査からの水揚げ尾数の推定値と比較し、推定値の正確さを評価した。

対象とした標識魚

日本海側の種苗生産施設で生産されたスマルトおよび稚魚を調査の対象とした。スマルトの生産は日本海側南部にある北海道立水産孵化場熊石支場および乙部町サクラマス種苗センター、日本海側北部にある初山別村サクラマス飼育センターで行った (Fig. 2.1)。各種苗生産施設では、稚魚が浮上した後、放流までの約1年間にわたり幼魚を飼育しスマルトを生産した。南部の2つの施設では熊石

支場で採卵した池産サクラマス（尻別川系群）を飼育し、初山別村サクラマス飼育センターでは、原則として熊石支場で採卵した池産サクラマス（暑寒別川系群）を飼育したが、信砂川、風連別川に遡上した親魚から採卵したサクラマスが入手可能な場合にはそれらも飼育した。熊石支場および初山別村サクラマス飼育センターでは生産したスマルトをそれぞれの立地水系である見市川および風連別川へ放流し、乙部町サクラマス種苗センターでは、生産したスマルトを乙部漁港に設置した網生簀に移し、5日間馴致した後、乙部漁港へ放流した。放流は5月中旬から6月上旬に実施した。

稚魚の生産は北海道立水産孵化場熊石支場と日本海側北部の増毛町にある信砂川さけ・ますふ化場で行った。北海道立水産孵化場熊石支場では、池産サクラマス（尻別川系群）の稚魚を浮上後約2ヶ月間飼育し、5月中旬あるいは5月下旬に見市川へ放流した。信砂川さけ・ますふ化場では、信砂川に遡上した親魚から採卵した種苗を浮上後約2ヶ月間飼育し、6月中旬に同施設の立地水系である信砂川へ放流した。稚魚放流での放流河川はいずれも保護水面であり、河川内での遊漁は禁じられている。なお、放流された稚魚のうち一部は2+スマルトとして降海するものと考えられるが、通常は1+スマルトが大部分を占めることから（待鳥・加藤 1985）、ここではすべて1+スマルトとして降海し、放流の翌々年に水揚げされるものとして扱った。

いずれの放流群も放流前に鰭切除により標識した。サクラマスの増殖および調査研究を目的として、北海道および本州各県から標識サクラマスが放流されており、市場調査では多くの種類（各鰭切除の組み合わせやリボンタグ、など）の標識魚の水揚げがみられた（Fig. 2.2b）。その中で、放流元を特定することができたりボンタグ標識魚の再捕状況をみると、北海道西岸、特に津軽海峡東部や太平洋側沿岸では、北海道および本州各地からの放流魚が水揚げされており、本州県の中では青森県からの（スマルト）放流魚の再捕報告が多い。青森県以外の本州各県から放流された標識魚の再捕もみられるが、その数は極めて少ない（北海道立水産孵化場、未発表資料）。これらのことから本章では、北海道内の他地域あるいは青森県から放流されたスマルト放流と標識部位が重複しない放流群のみを水揚げ尾数推定の対象とした。

層別方法の検討

標識魚の水揚げ尾数の推定に際して、推定精度を向上させるため市場の層別方法を検討した (Miyakoshi *et al.* 2001a)。層別基準は、無標識魚を含むサクラマス水揚げ尾数の規模と市場の地理とし、その検討には 1994～1996 年に水揚げされたスマルト放流魚の調査データを用いた (Table 2.2)。実際の層別の仕方は、

- I) 1～6 月のサクラマス水揚げ尾数の規模：
 - ・ 500 尾以上 5,000 尾未満の市場
 - ・ 5,000 尾以上の市場
- II) 市場の地理：日本海側と太平洋側の境界線を津軽海峡のほぼ中央（函館市と上磯町の境）として、
 - ・ 日本海側：枝幸町以北のオホーツク海側，日本海全域，および上磯町以西の津軽海峡
 - ・ 太平洋側：函館市以東の津軽海峡，および広尾町以西の太平洋側
- III) 放流場所（河川への放流の場合は放流河川の河口）からの距離
 - ・ 放流場所から 10 km 以内に位置する市場
 - ・ 放流場所から 10 km 以遠に位置する市場

とした。層ごとに水揚げ尾数と分散を推定した後、それらを合計して調査範囲全体での水揚げ尾数と分散を推定した。I)～III)のそれぞれ単独および複数の組み合わせで層別し、変動係数 (CV) の大小によりそれぞれの層別の効果を評価した。最終的な水揚げ尾数の推定においては、多くの放流群に対して最も高い推定精度となる (CV が小さくなる) 層別方法を適用することとした。

調査計画の検討

1995 年および 1996 年の調査から得られた分散の値を用い、1 次抽出単位である市場数と 2 次抽出単位である調査日数を変化させて、放流魚の水揚げ尾数の分散を (2.5) 式で計算した上で、標準誤差の等値線を描いた。ここで調査日数は各市場で同じ値とし、最大値を実際の各市場の平均水揚げ日数とした。

次に各市場での最適調査日数 d を求めた。調査市場数 k に比例する費用を c_1 、総調査日数 dk に比例する費用を c_2 、費用関数を $C = c_1k + c_2dk$ として、この費用関数のもとで、分散 $\hat{V}(\hat{M})$ を最小にする d を求めた。市場内分散 $\hat{\sigma}_{Mw}^2$

Table 2.2 Date, site, number, mean weight, and mark of masu salmon smolts stocked in 1993–1995

Date of release	Release site	Number of fish released	Mean weight at release (g)	Mark (fin clips)	Year of recovery	Number of fish observed at fish markets ¹
1993.5.31	Shosanbetsu	81,000	21.1	Adipose and left pelvic fins	1994	280
1994.5.19	Otobe	212,000	22.4	Adipose and right pelvic fins	1995	1,037
1994.5.26	Shosanbetsu	45,000	14.8	Adipose and anal fins	1995	10
1995.5.19	Otobe	100,000	32.6	Adipose and right pelvic fins	1996	1,003
1995.5.29	Shosanbetsu	69,000	26.0	Adipose and left pelvic fins	1996	226

¹ Numbers of total marked masu salmon counted by samplers at fish markets (*i.e.* does not imply total recoveries).

($= \sum_{i=1}^k D_i^2 \hat{\sigma}_{Mi}^2 / k$) と市場間分散 $\hat{\sigma}_{Mb}^2$ の値を用い、最適調査日数 d は

$$d = \sqrt{\frac{c_1 \hat{\sigma}_{Mw}^2}{c_2 \hat{\sigma}_{Mb}^2}} \quad (2.7)$$

により求められる (Kitada *et al.* 1992)。ここで、 c_1/c_2 の値はわからないが、一つの調査市場を増やす費用は1日の調査に要する費用よりも相当大きいと考えられるので、ここでは $c_1/c_2=30$ と仮定した。

経済回収率の推定

北海道水産林務部が実施した 1996～1998 年のサクラマス種苗生産施設における飼育経費の調査結果から、稚魚およびスマルト1尾あたりの生産経費を算出し、放流事業の経済回収率 (種苗生産経費に対する水揚げ金額の比) を推定した。ここでの飼育経費は人件費、餌料費、光熱水費、消耗品費とし、施設の減価償却費、災害時の施設補修費は除外した。一方、サクラマスの水揚げ金額を推定する際、水揚げ時のサクラマスの平均体重は市場での標識魚の測定データから、南部の熊石町および乙部町からの放流群では 2.0 kg、北部の初山別村および増毛町からの放流群では 1.4 kg とした。また、魚価は魚体サイズ、漁法、市場によりかなりの違いがみられるが (100～3,000 円/kg)、ここでは春季の平均的な単価である 1,000 円/kg として計算した。

2.3 結果

標識魚の水揚げ場所

日本海側から放流されたスマルトの水揚げ場所および水揚げ尾数の季節的な推移を調べるため、1996年の市場調査のデータを用い、日本海側の2つの種苗生産施設から1995年に放流された標識サクラマスの水揚げ尾数を市場ごとに、1～2月、3～4月、5～6月の2ヶ月ごとに推定した (Fig. 2.3)。日本海側から放流された標識サクラマスは、1～2月には太平洋側、特に津軽海峡東部で数多く水揚げされた。この時期の主な漁法は一本釣りや刺網である。3～4月になると太平洋側での水揚げはやや減少し、日本海側での水揚げが徐々に増加した。春の定置網

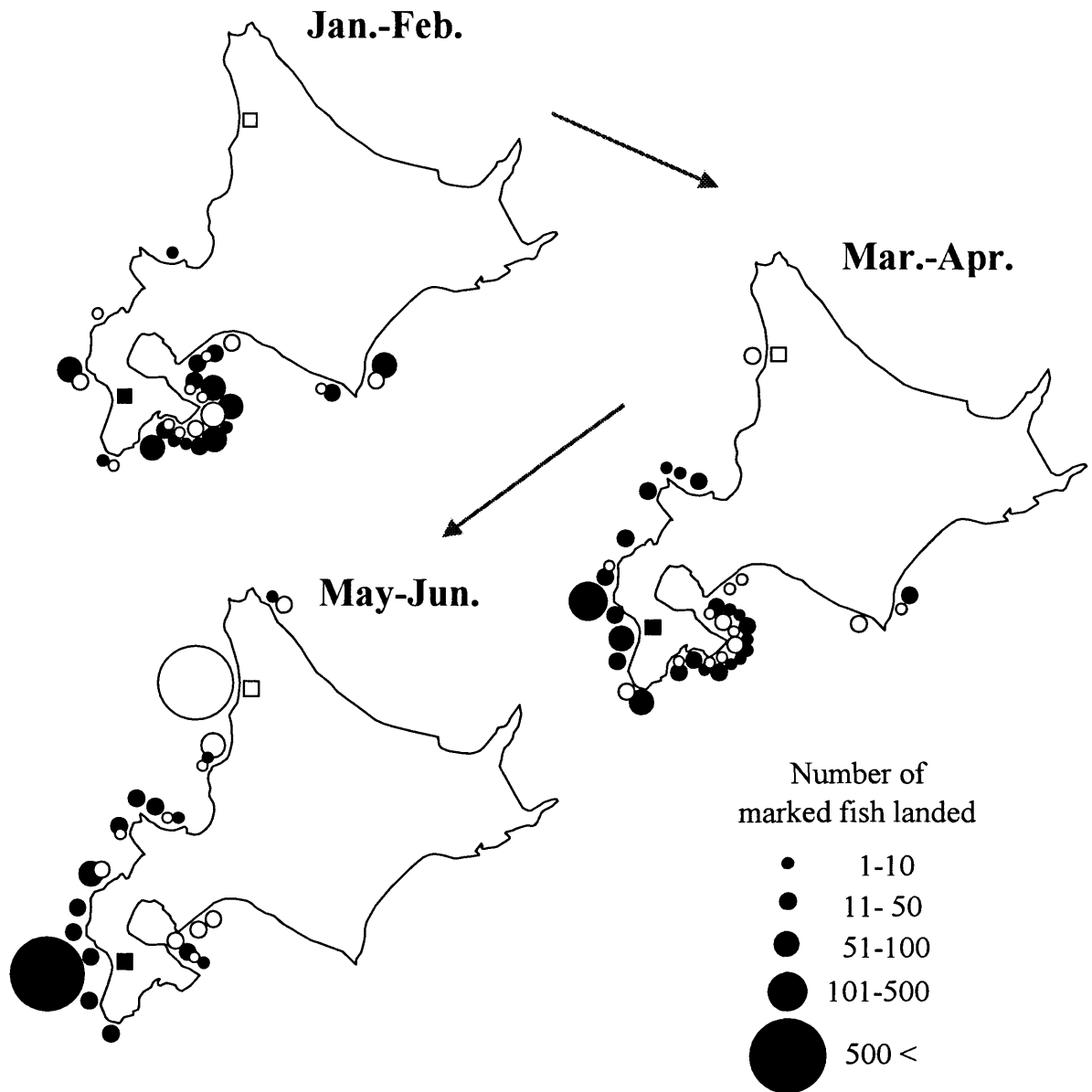


Fig. 2.3 Estimated seasonal recoveries of hatchery-reared masu salmon at each surveyed market in 1996. Recoveries of marked fish stocked by Otobe Hatchery (●), and Shosanbetsu Hatchery (○). Locations of Otobe Hatchery (■) and Shosanbetsu Hatchery (□) are indicated.

漁業が始まる4月以降は日本海側の各市場において標識魚の水揚げが確認された。5～6月になると太平洋側での水揚げ尾数は少なくなり、日本海側での水揚げ尾数が顕著に増加した。5月以降はサクラマスの河川への遡上がみられる時期であり、放流場所近くでの水揚げが顕著に多くなった (Fig. 2.3)。

各市場での1～6月における標識魚の推定水揚げ尾数を地理的に北から順に並べると、放流場所に最も近い乙部および初山別市場での水揚げ尾数の多いことがわかる (Fig. 2.4)。それ以外の市場では、放流場所に近い地域に水揚げ尾数の多い市場がみられるほか、両群とも津軽海峡東部から太平洋側の市場では水揚げ尾数が多い傾向がみられた。次に、サクラマスの水揚げ尾数と標識魚の水揚げ尾数の関係を Fig. 2.5 に示す。ここでは放流場所に近い乙部および初山別市場は除外した。サクラマスの総水揚げ尾数と標識魚の水揚げ尾数の間には明瞭な関係はみられず、市場間での標識魚の水揚げ尾数のばらつきが目立った。

すべての(初山別村および乙部町からの放流魚も含む)標識魚の各市場での混獲率をみると、その数値は市場ごとに大きく異なった (Table 2.3)，大規模な標識放流を実施した初山別、乙部、留萌(近隣の信砂川で稚魚放流を実施)市場では近隣の市場よりも混獲率が顕著に高く、また、津軽海峡東部から太平洋では混獲率が総じて高めとなっており、日本海側南部では低いなど、地域ごとにも違いがみられた (Table 2.3)。

層別の効果

はじめに、市場の層別をせずに標識魚とサクラマスの総水揚げ尾数を推定した (Tables 2.4a & 2.4b)。サクラマスの総水揚げ尾数は高い精度 (CV: 0.11～0.14) で推定できたものの、標識魚の水揚げ尾数の推定精度は総じて低かった (CV: 0.21～0.50)。分散の構造をみると、1例(1995年回帰の初山別村からの放流群)を除き、市場間分散が市場内(日間)分散に比べて大きく、全分散の84～93%を占めていた (Table 2.4b)。

次に、I)～III)の基準で層別したところ、III)の層別基準、すなわち、放流場所から10 km以内に位置する市場を10 km以遠の市場と別の層とすることが推定精度の向上に有効であった (Fig. 2.6)。I)やII)の層別の効果は各放流群によって異なり、単独の層別では推定精度の向上はみられなかった。I)～III)のすべての層別を

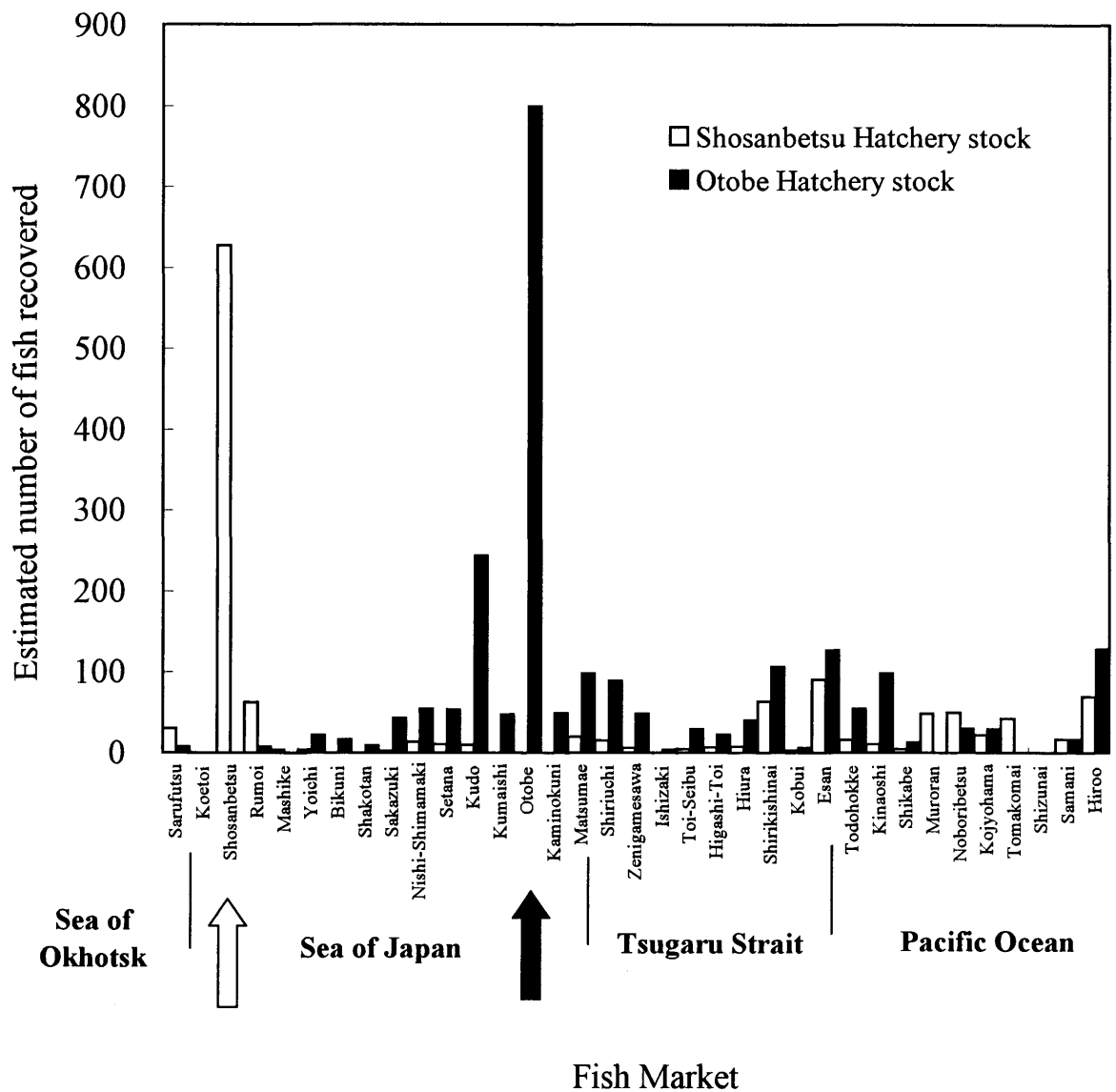


Fig. 2.4 Estimated number of marked masu salmon landed at each market in 1996. The arrows indicate stocking sites.

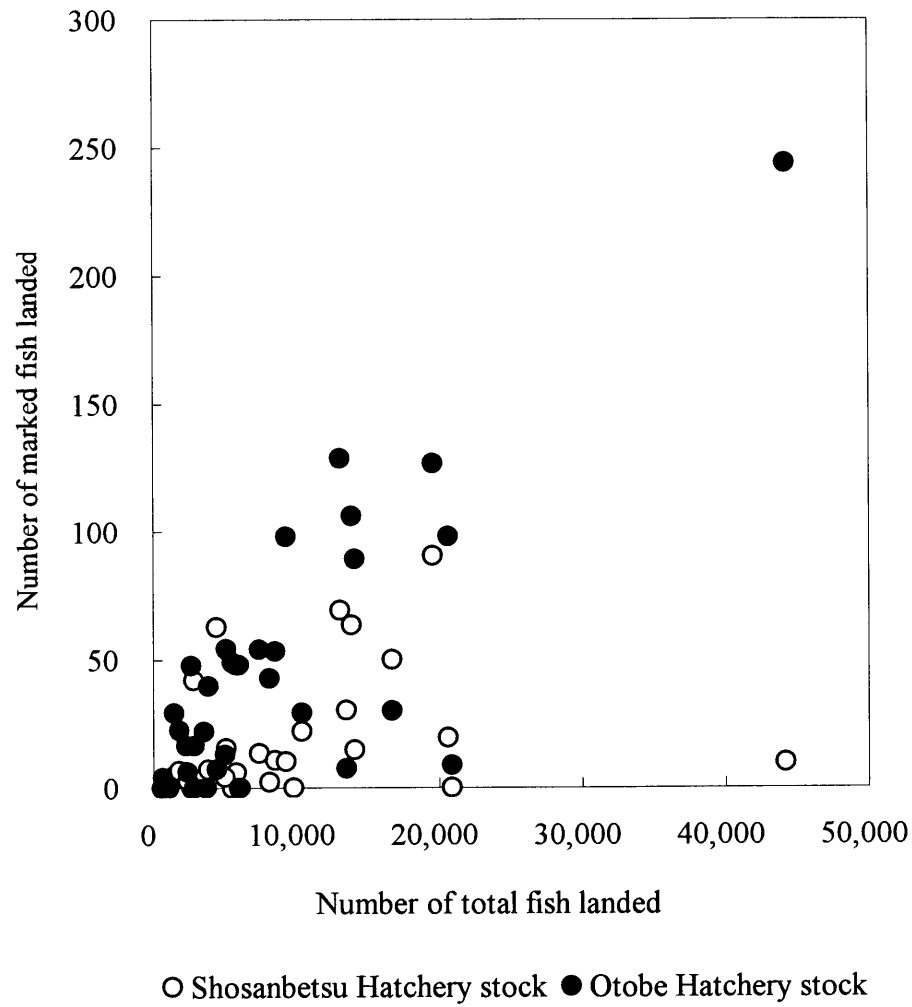


Fig. 2.5 Estimated number of marked masu salmon recovered in relation to total number of masu salmon landed at each market in 1996 (except for Otobe and Shosanbetsu fish markets).

Table 2.3 Number of marked fish recovered and mark ratio at each fish market surveyed in 1996

Fish market	Total number of landing days	Number of days surveyed	Total number of fish landed	Number of fish examined	Number of marked fish observed			Mark ratio (%)		
					Fish stocked from Otobe	Fish stocked from Shosanbetsu	Total marked fish			
Sea of Okhotsk	Sarufutsu	38	5	13,492	2,416	1	4	28	1.2	
	Koetoi	38	6	587	43	0	0	1	2.3	
	Shosanbetsu	46	8	3,734	716	0	109	127	17.7	
	Rumoi	59	16	4,430	863	2	17	151	17.5	
	Mashike	69	20	1,096	243	0	1	22	9.1	
	Yoichi	97	97	3,560	3,560	22	4	125	3.5	
	Bikuni	91	11	2,879	114	2	0	13	11.4	
Sea of Japan	Shakotan	41	14	20,850	941	3	0	26	2.8	
	Sakazuki	88	76	8,347	8,263	37	2	136	1.6	
	Nishi-Shimamaki	88	13	7,418	1,213	8	2	37	3.1	
	Setana	64	6	8,545	849	5	1	18	2.1	
	Kudo	117	12	44,180	2,320	25	1	84	3.6	
	Kumaishi	62	13	2,665	389	10	0	14	3.6	
	Otobe	82	71	9,811	9,577	692	0	808	8.4	
	Kaminokuni	49	2	5,522	167	2	0	7	4.2	
	Matsumae	98	15	20,602	4,848	15	3	101	2.1	
	Tsugaru Strait	Shiriuchi	119	24	14,076	2,423	18	3	84	3.5
		Zenigamesawa	102	17	5,829	681	8	1	63	9.3
		Ishizaki	57	14	665	172	1	0	11	6.4
Toi-Seibu		73	15	1,448	326	6	1	30	9.2	
Higashi-Toi		43	19	1,821	1,208	10	3	60	5.0	
Hiura		83	23	3,876	1,223	11	2	74	6.1	
Shirikishinai		99	28	13,846	4,801	30	18	342	7.1	
Kobui		74	24	2,417	539	2	1	36	6.7	
Esan		105	29	19,559	5,742	35	25	470	8.2	
Pacific Ocean	Todohokke	101	26	5,117	1,596	14	4	124	7.8	
	Kinaoshi	124	24	9,287	2,405	19	2	198	8.2	
	Shikabe	65	15	5,003	1,185	3	1	39	3.3	
	Muroran	80	5	6,013	1,144	0	3	79	6.9	
	Noboribetsu	120	12	16,676	1,351	3	5	97	7.2	
	Kojyohama	95	13	10,399	1,629	4	3	84	5.2	
	Tomakomai	84	2	2,825	118	0	1	6	5.1	
	Shizunai	91	7	6,091	469	0	0	17	3.6	
	Samani	107	13	2,294	444	2	2	27	6.1	
Hiroo	89	9	13,045	1,526	13	7	136	8.9		
Total		2,838	704	298,005	65,504	1,003	226	3,675	5.6	

Table 2.4a Estimated number of total masu salmon landed in the coastal waters of western Hokkaido in 1994–1996 (without stratification of markets)

Year	Estimate	W. Var. ¹	B.Var. ²	Total Var.	CV	True number	Accuracy(%) ³
1994	525,819	1.72 × 10 ⁹ (32.8 %)	3.53 × 10 ⁹ (67.2 %)	5.25 × 10 ⁹ (100.0 %)	0.14	529,997	-0.79
1995	616,419	1.52 × 10 ⁹ (35.6 %)	2.75 × 10 ⁹ (64.4 %)	4.27 × 10 ⁹ (100.0 %)	0.11	542,499	+13.63
1996	580,395	2.26 × 10 ⁹ (46.5 %)	2.60 × 10 ⁹ (53.5 %)	4.86 × 10 ⁹ (100.0 %)	0.12	531,862	+9.13

¹ Within-variance: variance accounts for the variation of fish landed among landing days

² Between-variance: variance accounts for the variation of fish landed among fish markets

³ Accuracy(%) = (Estimate - True number)/True number × 100

Table 2.4b Estimated number of marked masu salmon landed in the coastal waters of western Hokkaido in 1994–1996 (without stratification of markets)

Year	Release site	Estimate	W. Var. ¹	B.Var. ²	Total Var.	CV
1994	Shosanbetsu	2,364	227,512 (16.3 %)	1,171,544 (83.7 %)	1,399,056 (100.0 %)	0.50
1995	Otobe	5,030	111,587 (10.2 %)	979,574 (89.8 %)	1,091,161 (100.0 %)	0.21
1995	Shosanbetsu	107	1,304 (96.4 %)	49 (3.6 %)	1,353 (100.0 %)	0.34
1996	Otobe	4,518	97,894 (7.5 %)	1,201,587 (92.5 %)	1,299,481 (100.0 %)	0.25
1996	Shosanbetsu	2,480	96,699 (12.3 %)	688,318 (87.7 %)	785,017 (100.0 %)	0.36

¹ Within-variance: variance accounts for the variation of fish landed among landing days

² Between-variance: variance accounts for the variation of fish landed among fish markets

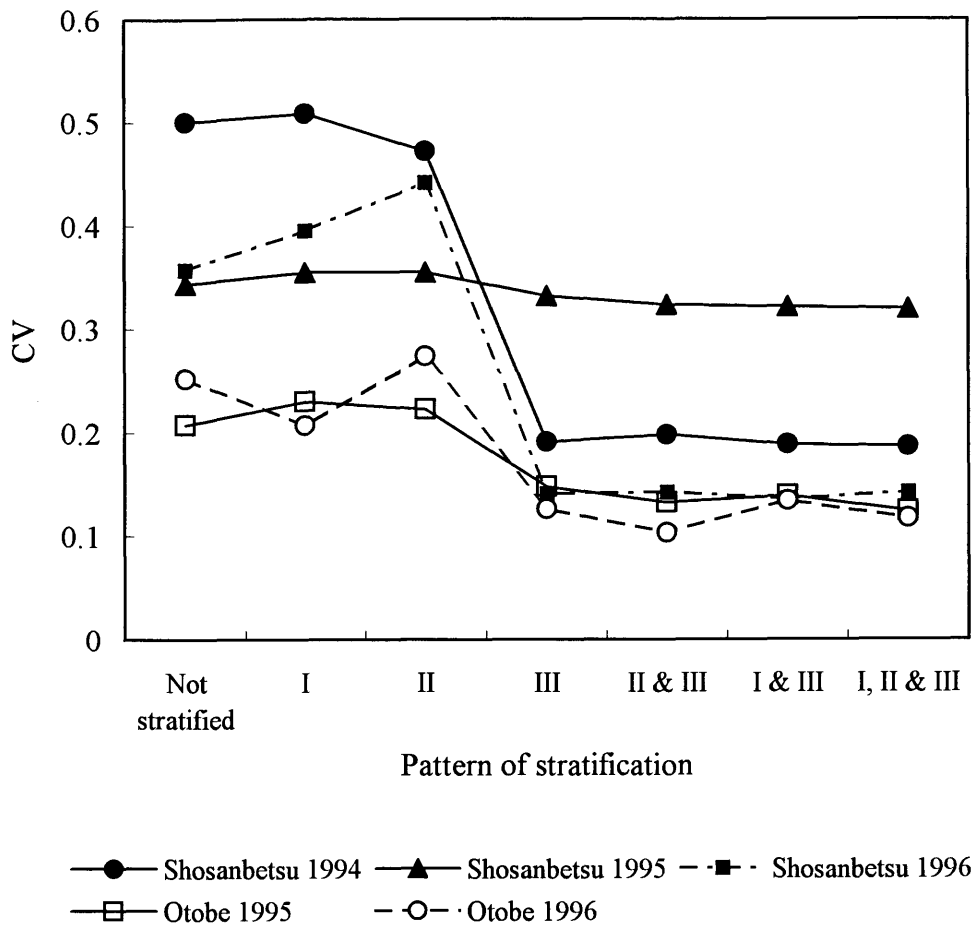


Fig. 2.6 Effects of stratification of fish markets on the coefficient of variation for the estimates. Explanatory notes show the hatcheries of origin and the years of recoveries.

Pattern of stratification: I : on the basis of magnitudes of landings (<5,000; ≥5,000)

II: on the basis of geography (Sea of Japan; Pacific Ocean)

III: on the basis of distance from release site (≤10 km; >10 km)

組み合わせた場合、多くの放流群において高い推定精度を示したことから、標識魚の水揚げ尾数の推定するには I)~III)のすべての層別を組み合わせることとして取り扱いを統一した。

層別後は総水揚げ尾数、標識魚の水揚げ尾数ともに推定精度が向上した (Tables 2.5a & 2.5b)。特に、標識魚の水揚げ尾数では顕著な精度の向上がみられた (CV: 0.12~0.32)。ただし、1995年に回帰した初山別村からの放流群では層別による推定精度の向上はわずかであった。層別前の分散の構造をみると、この放流群では全分散のうち市場内分散が大部分を占めていた (Table 2.4b)。この放流群は回収率が極めて低く、放流場所に近い初山別市場以外では標識魚の水揚げがほとんどみられなかった。

調査範囲全体における総水揚げ尾数の推定値の正確さを評価するため、層別後の推定値と真の水揚げ尾数 (各漁業協同組合から報告された水揚げ尾数の集計値) を比較した。ただし、ここでは放流場所はないため、層別ではIII)を除き、I)とII)の組み合わせにより市場を層別した。総水揚げ尾数の推定値は真の水揚げ尾数の±10%以内の値を示した (Table 2.5a)。

調査計画の検討

1996年に水揚げされた乙部町からの放流群と1995年に水揚げされた初山別村からの放流群の調査データを用い、1次および2次抽出単位のサンプル数を変えた場合の標準誤差の等値線を Fig. 2.7 に示した。図中の*は実際の調査でのサンプル数と標準誤差の値を示している。乙部町からの放流群では、1次抽出単位である市場数を増やすことが推定精度の向上に有効であり、2次抽出単位である調査日数を現状より増やしても推定精度はほとんどよくなる示された (Fig. 2.7)。この放流群を対象とした場合の最適調査日数は9.0日と推定された。実際の各市場での平均調査日数は20日であり、このことから推定精度の向上のためには調査日数ではなく、市場数を増やすことが有効であることが示された。

一方、回収率が著しく低かった初山別村からの放流群では、市場数あるいは調査日数のいずれを増やしても推定精度は向上することが示された (Fig. 2.7)。この放流群を対象とした最適調査日数は71.6日と推定された。各市場での平均水揚げ日数は83日であり、水揚げ日数の大部分を調査すべきとの結果となった。

Table 2.5a Estimated number of total masu salmon landed in the coastal waters of western Hokkaido in 1994–1996 (with stratification I &II)

Year	Estimate	W. Var. ¹	B.Var. ²	Total Var.	CV	True number	Accuracy(%) ³
1994	502,304	1.46 × 10 ⁹ (54.9 %)	1.20 × 10 ⁹ (45.1 %)	2.66 × 10 ⁹ (100.0 %)	0.10	529,997	-5.23
1995	585,031	1.33 × 10 ⁹ (55.9 %)	1.05 × 10 ⁹ (44.1 %)	2.38 × 10 ⁹ (100.0 %)	0.08	542,499	+7.84
1996	511,474	1.68 × 10 ⁹ (60.9 %)	1.08 × 10 ⁹ (39.1 %)	2.76 × 10 ⁹ (100.0 %)	0.10	531,862	-3.84

¹ Within-variance: variance accounts for the variation of fish landed among landing days

² Between-variance: variance accounts for the variation of fish landed among fish markets

³ Accuracy(%) = (Estimate - True number)/True number × 100

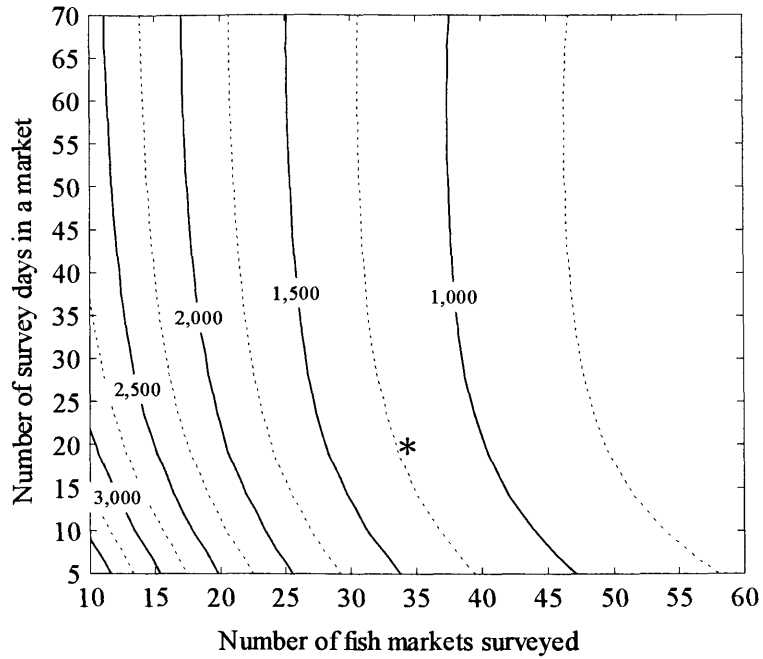
Table 2.5b Estimated number and recovery rate of marked masu salmon landed in the coastal water of western Hokkaido in 1994–1996 (with stratification I, II & III)

Year	Release site	Estimate	W. Var. ¹	B.Var. ²	Total Var.	CV	Percent recovery (SE)
1994	Shosanbetsu	1,458	58,345 (78.4 %)	16,046 (21.6 %)	74,391 (100.0 %)	0.19	1.80 (0.34)
1995	Otobe	4,205	96,027 (35.2 %)	176,876 (64.8 %)	272,903 (100.0 %)	0.12	1.98 (0.25)
1995	Shosanbetsu	83	700 (99.3 %)	5 (0.7 %)	705 (100.0 %)	0.32	0.18 (0.06)
1996	Otobe	3,502	85,015 (50.3 %)	84,123 (49.7 %)	169,138 (100.0 %)	0.12	3.50 (0.41)
1996	Shosanbetsu	1,706	43,379 (73.5 %)	15,616 (26.5 %)	58,995 (100.0 %)	0.14	2.47 (0.35)

¹ Within-variance: variance accounts for the variation of fish landed among landing days

² Between-variance: variance accounts for the variation of fish landed among fish markets

A) Otohe Hatchery stock recovered in 1996



B) Shosanbetsu Hatchery stock recovered in 1995

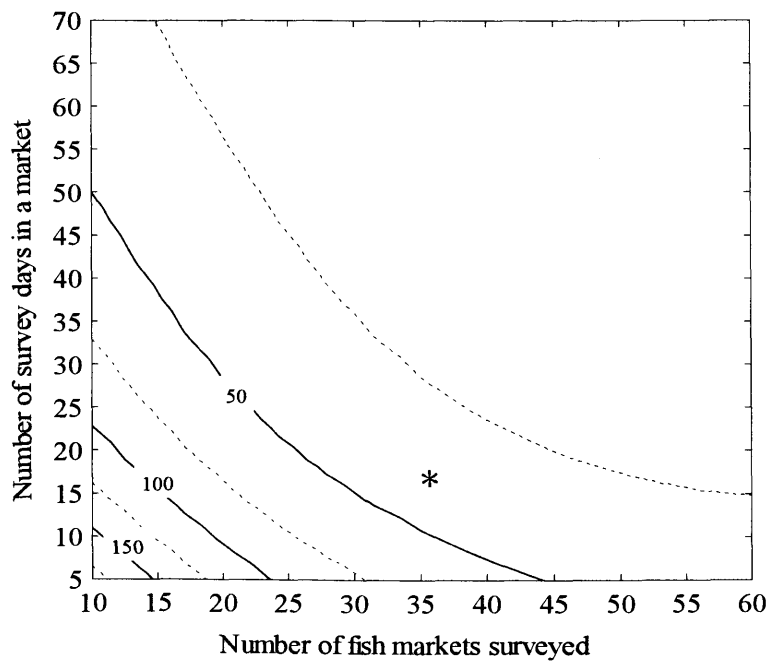


Fig. 2.7 Relation between the numbers of fish markets surveyed and survey days for SE of the marked masu salmon recovered. *Present value of the estimate of SE. (A) Otohe Hatchery stock recovered in 1996. (B) Shosanbetsu Hatchery stock recovered in 1995.

標識魚の回収率と海域別水揚げ比率

1993～2001年に放流されたスマルト12群について調査結果が得られ、沿岸漁業による回収率は0.18～4.05%と推定された（Table 2.6）。南部の乙部町、熊石町からの放流群の回収率の範囲は1.98～4.05%、平均では3.08%であった（Table 2.7）。一方、初山別村からの放流群の回収率の範囲は0.18～2.47%、平均では1.46%となり、南部からの放流群と比べ低い回収率となった。スマルト放流の回収率には放流群間で大きなばらつきがみられた。

稚魚放流では、1992～1994年に放流された4群について調査結果が得られ、沿岸漁業による回収率は0.22～0.54%と推定され（Table 2.6）、平均では0.41%であった（Table 2.7）。稚魚放流では、標識魚の回収率はスマルト放流より低いものの、放流群間のばらつきは小さかった。

1996年の標識魚の推定水揚げ尾数を海域別（地理的層別ごと）にみると、北部の2施設（初山別村から放流されたスマルト、増毛町信砂から放流された稚魚）および南部の2施設（熊石町から放流された稚魚、乙部町から放流されたスマルト）から放流された標識魚の海域別水揚げ尾数の比率はそれぞれの地域ごとにほぼ同様の傾向を示した。すなわち、調査対象範囲での標識魚の水揚げ尾数のうち、太平洋側での水揚げ尾数が北部からの放流魚では40～42%、南部からの放流魚では31～32%を占めた（Fig. 2.8）。なお、北海道立水産孵化場熊石支場から放流された稚魚では、放流場所に近い熊石市場での水揚げ比率が5%と低かったが、これは、熊石町沿岸ではこの年、春の定置網漁業が行われなかったためである。

経済回収率

1尾あたりの生産経費はスマルト放流では、乙部町サクラマス種苗センターでは38.7円/尾、初山別村サクラマス飼育センターでは35.5円/尾、調査した種苗生産施設の平均は37.7円/尾であった。一方、稚魚放流では1尾あたりの生産経費は4.6円/尾であった。スマルト放流では生産経費のうち、人件費が53～74%と大部分を占め、餌料費は11～22%であった。稚魚放流では生産経費に占める人件費は78%とさらに高く、餌料費はわずか1%であった。

稚魚放流ではすべての放流群で水揚げ金額が生産経費を上回った（Table 2.7）。スマルト放流では回収率のばらつきが大きく、回収率の高い放流群では水揚げ金

Table 2.6 Data of marked masu salmon fry and smolts released and recovery rates estimated from the fish market surveys in western Hokkaido, 1994–2002

Date of release	Hatchery	Number of fish released	Mean fork length at release (cm)	Mean weight at release (g)	Mark (fin clips)	Year of recovery	n ¹	Number of fish landed			Recovery rate (%)			
								Estimate	SE ²	95% C.I. ³	CV ⁴	Estimate	SE	95% C.I.
<i>Smolt</i>														
1993. 5.31	Shosanbetsu	81,000	12.8	21.1	Adipose and left pelvic fins	1994	280	1,458	273	(923 – 1,993)	0.19	1.80	0.34	(1.14 – 2.46)
1994. 5.26–27	Shosanbetsu	45,000	11.3	14.8	Adipose and anal fins	1995	10	83	27	(31 – 135)	0.32	0.18	0.06	(0.07 – 0.30)
1995. 5.29	Shosanbetsu	69,000	14.0	26.0	Adipose and left pelvic fins	1996	226	1,706	243	(1,230 – 2,182)	0.14	2.47	0.35	(1.78 – 3.16)
1997. 6. 4	Shosanbetsu	68,000	13.0	22.0	Adipose and right pelvic fins	1998	43	537	104	(334 – 740)	0.19	0.79	0.15	(0.49 – 1.09)
2001. 6. 4	Shosanbetsu	154,100	13.2	23.7	Right pectoral fin	2002	289	3,213	634	(1,971 – 4,455)	0.20	2.09	0.41	(1.28 – 2.89)
1994.5.19–26	Otobe	212,000	13.2	22.4	Adipose and right pelvic fins	1995	1,037	4,205	522	(3,181 – 5,229)	0.12	1.98	0.25	(1.50 – 2.47)
1995. 5.19	Otobe	100,000	14.8	32.6	Adipose and right pelvic fins	1996	1,003	3,502	411	(2,696 – 4,308)	0.12	3.50	0.41	(2.70 – 4.31)
2001. 5.11	Otobe	313,700	ND ⁵	31.5	Adipose fin	2002	680	9,222	1,653	(5,981 – 12,463)	0.18	2.94	0.53	(1.91 – 3.97)
1998. 5.12	Kumaishi	42,200	15.8	38.2	Adipose and left pelvic fins	1999	153	1,322	366	(605 – 2,039)	0.28	3.13	0.87	(1.43 – 4.83)
1999. 5.12	Kumaishi	62,200	14.9	34.6	Adipose and left pelvic fins	2000	255	1,767	313	(1,154 – 2,380)	0.18	2.84	0.50	(1.85 – 3.83)
2000. 5.19	Kumaishi	31,000	15.7	38.5	Adipose and left pelvic fins	2001	48	946	335	(290 – 1,602)	0.35	3.05	1.08	(0.94 – 5.17)
2001. 5.18	Kumaishi	103,400	14.6	32.0	Adipose and left pelvic fins	2002	256	4,188	910	(2,405 – 5,971)	0.22	4.05	0.88	(2.33 – 5.77)
<i>Fry</i>														
1992. 5.31	Kumaishi	100,000	4.0	0.65	Adipose and right or left pectoral fins	1994	26	347	106	(139 – 555)	0.31	0.35	0.11	(0.14 – 0.55)
1993. 5.25	Kumaishi	100,000	ND	0.73	Adipose and right or left pectoral fins	1995	65	530	124	(287 – 773)	0.23	0.53	0.12	(0.29 – 0.77)
1994. 5.17	Kumaishi	50,000	ND	0.63	Adipose and left pectoral fins	1996	13	109	39	(33 – 185)	0.36	0.22	0.08	(0.07 – 0.37)
1994. 6.21	Nobusha	195,000	4.5	0.97	Posterior part of dorsal fin	1996	212	1,054	168	(725 – 1,383)	0.16	0.54	0.09	(0.37 – 0.71)

¹ Numbers of marked fish observed at fish markets, ² Standard errors, ³ Normally approximated confidence intervals, ⁴ Coefficient of variation, ⁵ No data

Table 2.7 Cost and financial returns for hatchery-reared masu salmon fry and smolts. Ranges in parentheses.

Stage	Hatchery	Sample size	Cost per release (yen) (A)	Size at release (g)	Recovery rate (%)	Landing per release (yen) (B)	Economic efficiency (B/A)
Fry	Kumaishi & Nobusha	4	4.6	0.8 (0.6 – 1.0)	0.41 (0.22 – 0.54)	7.4 (4.4 – 10.6)	1.6 (1.0 – 2.3)
Smolt	Shosanbetsu	5	35.5	21.5 (14.8 – 26.0)	1.46 (0.18 – 2.47)	20.4 (2.5 – 34.6)	0.6 (0.1 – 1.0)
Smolt	Kumaishi & Otobe	7	38.7	32.8 (22.4 – 38.2)	3.08 (1.98 – 4.05)	61.7 (39.6 – 81.0)	1.6 (1.0 – 2.1)
Smolt	Total	12	37.7	28.1 (14.8 – 38.2)	2.41 (0.18 – 4.05)	44.5 (2.5 – 81.0)	1.2 (0.1 – 2.1)

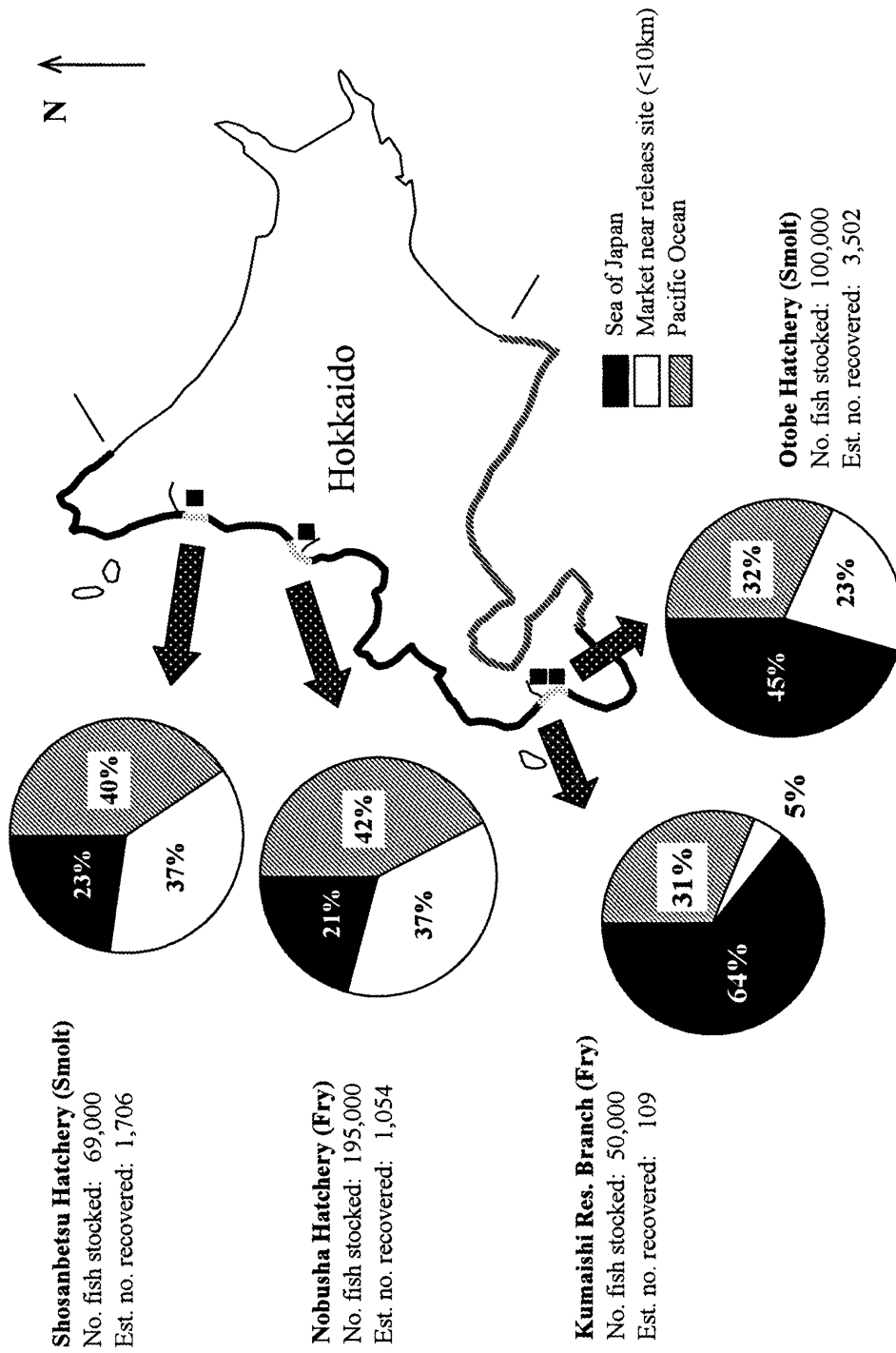


Fig. 2.8 Relative catch ratios of hatchery-reared masu salmon fry and smolts landed from the Sea of Japan, the Pacific Ocean, and markets near the release sites in 1996. Locations of hatcheries (■) are indicated.

額が生産経費の2倍を超えたものがある一方、生産経費を下回った放流群もみられた。初山別村からの放流魚は乙部町からの放流魚と比べて回収率が低かったことに加えて、水揚げ時の魚体が小さく（Fig. 2.9）1尾あたりの水揚げ金額が安いこともあり、水揚げ金額が生産経費を上回ったのは5例中1例にすぎなかった。

2.4 考察

北海道西岸における2段抽出の市場調査のデータを用い、1994～1996年のサクラマス総水揚げ尾数を推定した結果、実際の漁獲尾数の±10%以内の正確な推定値が得られた。1次抽出単位である市場の抽出率が50%前後と高く、事前の検討に基づき、水揚げ尾数の規模によらず偏りなく市場が抽出されていたことが、このような正確な推定結果に結びついたものと考えられる。調査市場では概ね7～10日おきに調査日を設けており、対象市場全体でみると水揚げ日数の12～14%を調査日としたことになる（Table 2.1）。水揚げ日数の1割程度の抽出率の調査により、海岸線延長約2,000 kmに及ぶ広い範囲でのサクラマス水揚げ尾数を正確に推定できたことは、2段抽出の市場調査方法が広い範囲の水揚げ尾数を効率良く調査する上で有効な手段となることを示している。本章ではランダムサンプリングに基づく調査方法を採用したことにより推定精度の評価が可能となった。このことは、第3章で述べるように推定結果を用いた解析を行う上でも重要である。また、一般には調査に費やすことのできる時間や労力、予算には限りがあるため、推定精度の面から調査計画を検討できることもこの調査方法の利点である。多くの場合、全分散に占める市場間分散の割合が高く、推定精度を向上させるには市場数を増やすことが効果的と考えられた。ただし、1995年に水揚げされた初山別村からの放流群では、水揚げ尾数が著しく少なく、相当なサンプリング強度にしなければ精度のよい推定値は得られないものと考えられた。サンプリング調査により放流効果を正しく評価するには、市場において標識魚の水揚げが多く確認されることも必要であり、対象とする放流群の放流尾数についても十分な検討が必要である。また、推定精度の向上には市場の層別が有効であった。本章では市場の地理および水揚げ尾数の規模を基準として層別方法を検討した。対象魚種の回遊などの生物学的特徴や調査対象場所、抽出単位など個別の事例に応じて層別方

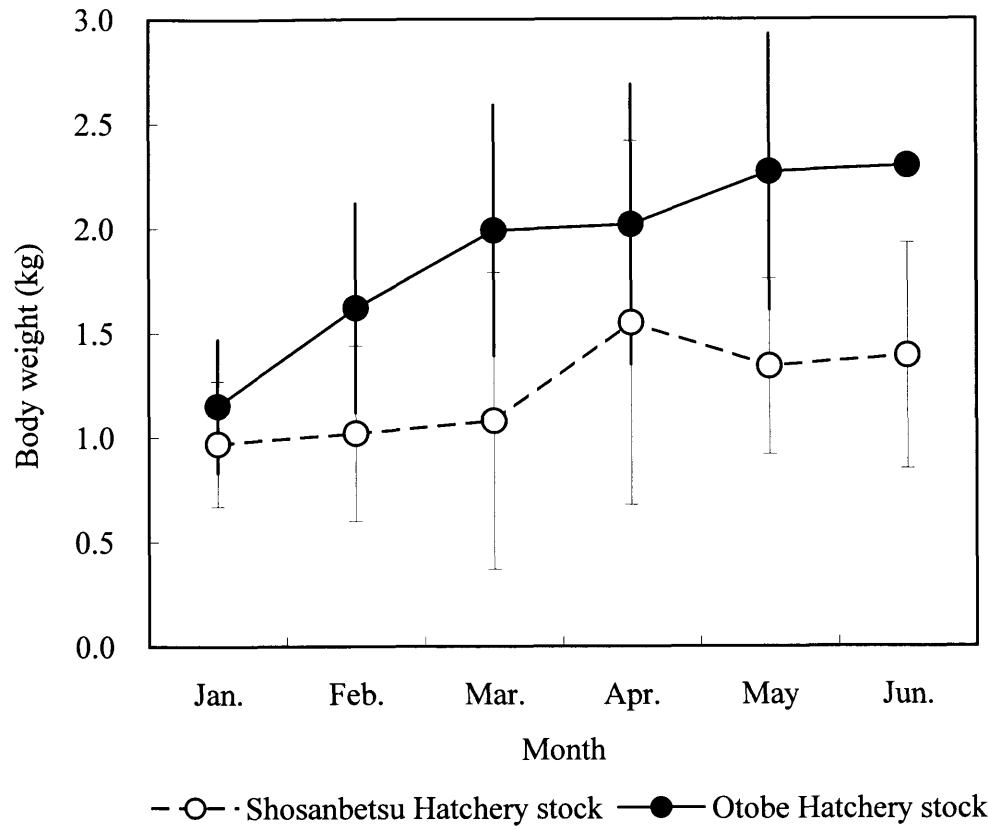


Fig. 2.9 Mean weight of marked masu salmon landed in western Hokkaido in 1996. Vertical bar indicates standard deviation.

法を検討することが重要と考えられる (Miyakoshi *et al.* 2001a)。

広い範囲を対象としてサクラマス漁期を通じて市場調査を実施した結果、標識魚の水揚げ尾数の季節的な推移を定量的に推定することができた (Fig. 2.3)。日本海側から放流された標識魚が少なからず太平洋側でも水揚げされており (Fig. 2.8), サクラマスの放流効果調査では広い範囲における市場調査が不可欠であることが確認された。待鳥・加藤 (1985) は標識放流の結果から、日本海側に注ぐ河川に放流した標識スモルトの一部が翌年冬には津軽海峡に分布したことを報告している。本研究でも日本海側から放流した標識魚が数多く太平洋側から津軽海峡にかけて分布しており、この海域がサクラマスの冬季の生息場所となっていることが確認された。このような水揚げの地理的分布を把握することはサクラマスの資源増殖を検討する上で重要である。リボンタグを用いた最近のサクラマスの標識放流では、北海道から放流した標識魚が本章での調査範囲外、すなわち、北海道東部沿岸、本州日本海側および太平洋側沿岸でも水揚げされており (下田ら 2003; Ando *et al.* 2005), その地理的分布も年によって異なることが報告されている (Ando *et al.* 2005)。本研究の調査対象範囲は北海道におけるサクラマスの主要な生産地および水揚げ時期の大部分をカバーしたが、調査対象範囲外でも水揚げの対象とされており、さらに厳密な放流効果の推定のためには近隣の地域間の調査協力が必要と言える。

北海道西岸におけるサクラマス総水揚げ尾数に占める標識魚の混獲率は 2.3~8.4%であった (Table 2.1)。最近 5 年間、北海道では平均 1,108 万尾 (範囲: 960~1,363 万尾) のサクラマスの稚幼魚が放流されており、そのうち標識されたものは放流数全体の約 1 割にあたる 118 万尾 (範囲: 94~141 万尾) である (さけます資源管理センター調べ)。標識魚の大部分 (62.8~92.6%) はスモルトで、スモルトでは放流数の半数以上が標識されているものの、放流数の過半数を占める稚魚放流や秋季幼魚放流ではほとんどが無標識で放流されている。このようなことからスモルト放流以外の放流方法の沿岸漁獲に対する貢献度を正確に推定することは現時点では困難である。スモルト放流を中心とする標識魚の混獲率を見る限りでは、現在の北海道のサクラマス増殖事業は漁獲量の顕著な回復を実現させるまでには至っていないものの、漁業資源の下支えの役割は果たしているものと思われる。

本章ではスマルトおよび稚魚放流された標識魚の沿岸漁業による回収率を明らかにした。スマルト放流では放流群間のばらつきが大きく、回収率の向上と安定化に向けた試験研究の取り組みが必要と考えられる。また、水揚げ金額が生産経費に満たない事例もみられており、回収率の向上とともに生産経費の削減による事業の効率化の検討も必要であろう。一方、稚魚放流では回収率は総じて低いものの、ばらつきは小さく、また、生産経費が安いこと、経済回収率ではスマルト放流を上回った。本章での稚魚放流の調査事例はいずれも遊漁が禁じられた保護水面に種苗を放流したものであり、規制のない河川に放流した場合には遊漁による釣獲の影響を受け、放流効果は低下する。また、河川の生息環境が稚魚の生残率および成長に強く影響し、放流効果を左右するものと考えられるが、これらの評価技術は確立されていない。

以上のように、北海道西岸において市場調査を実施し、サクラマス放流効果を明らかにしたが、一方で放流効果を評価する上での問題点もみられた。現在、サクラマスの標識方法としては鰭切除が広く使用されている。北海道および本州各県ではサクラマス資源増殖および調査研究のため、数多くの組み合わせの鰭切除を施した標識魚を放流している。各種苗生産施設で標識として切除する鰭の部位は重複することもあり、その場合には市場に水揚げされた魚の放流元を特定できない。標識部位の重複の他にも、鰭の再生とそれに伴う標識の見落とし (Guy *et al.* 1996; 田子 1997) や、鰭切除により標識個体の生残率が低下することも報告されている (Vincent-Lang 1993)。鰭切除による標識は、標識装着のための機材を必要とせず、安価であることからサクラマスでは一般的な標識方法となっている。しかしながら、上記のように放流効果の把握には必ずしも適さない特徴も多い。鰭切除とともに現在使用されているリボンタグでは、タグに印字をすることにより放流元を正確に知ることはできるが、脱落率が高く (藤原 2004)、タグの装着が魚の生残に与える影響も懸念される。北米ではスマルトの吻部への coded wire tag (CWT) の挿入が標識として一般的に使用されている (Johnson 1990)。CWT は魚に対する影響は小さく、タグに刻まれたバーコードあるいは数字を読み取るにより放流元を正確に知ることができる。サクラマスでも CWT の装着部位が検討され (永田ら 1998)、脱落率が調べられるとともに、試験放流群への装着と回帰した個体からの CWT の検出が試みられている (Ando *et al.* 2004a)。

サクラマス¹の放流効果をより正確に評価するために標識技術の改善も必要と考えられる。

第3章 スモルトの放流サイズと放流効果の関係

3.1 はじめに

サケ科魚類の多くの魚種では、降海時のスモルトサイズと海洋での生残率との間に正の相関がみられることが報告されている。そのことはベニザケ (Foerster 1954; Henderson and Cass 1991; Koenings *et al.* 1993) , ギンザケ (Holtby 1990) , スチールヘッド (Ward and Slaney 1988; Ward *et al.* 1989) の野生魚でみられるのに加え、孵化場からの放流魚でもサケ (Kaeriyama 1999) , ギンザケ (Hager and Noble 1976; Bilton *et al.* 1982) , マスノスケ (Martin and Wertheimer 1989; Unwin 1997) , カットスロートトラウト (Tipping 1986; Tipping and Blankenship 1993) など多くの論文で報告されている。サクラマスでは数多くの試験放流が実施されてきたにもかかわらず、放流サイズと放流後の生残率の関係について述べた研究は最近までみられなかった。放流効果の評価方法、調査体制が確立されていなかったことがその一因であると考えられる。スモルトの放流サイズと放流効果の関係を明らかにすることは、放流技術を向上させる上で極めて重要である。そこで、第2章で述べた北海道西岸における市場調査から推定された放流サクラマスの回収率の結果を用い、スモルトの放流サイズと放流効果の関係を調べた。なお、Miyakoshi *et al.* (2001b) は1994～1996年の3カ年の調査結果からスモルトの放流サイズと回収率の関係を検討しているが、ここでは1997年以降も含め、1994～2002年の調査結果を用いて検討した。

3.2 調査方法

サクラマス1+スモルトの放流時の平均体重を独立変数、市場調査により得られた回収率の推定値を従属変数として、それらを7つのモデルに適用した (Table 3.1)。市場調査および回収率の推定方法は第2章に示したとおりである。ここで、スモルトの放流時の平均体重は正確に測定されたものと仮定した。すなわち、独立変数の測定誤差は無視できるものとした。一方、従属変数である回収率については、各放流サイズに対して等分散を仮定せず、それぞれの推定値の分散の大き

Table 3.1 Detailed results from investigating parameters of each model to illustrate the relationship between smolt size of hatchery-reared masu salmon at release and subsequent recovery rate by commercial fisheries (for total smolts)

Model	Formula ¹	Estimated value and SE of parameters						AIC
		α	SE(α)	β	SE(β)	γ	SE(γ)	
1	$E(Y_i) = \alpha + \beta X_i$	-2.198	0.192	0.161	0.011			33.509
2	$E(Y_i) = \alpha + \beta X_i^{1/2}$	-5.523	0.411	1.479	0.099			34.164
3	$E(Y_i) = \alpha + \beta \ln(X_i)$	-8.823	0.634	3.334	0.229			36.684
4	$E(Y_i) = \alpha \{1 - \exp(\beta + \gamma X_i)\}$	26.317	76.870	0.089	0.275	-0.006	0.020	35.401
5	$E(Y_i) = \alpha + \beta X_i + \gamma X_i^2$	-2.459	0.769	0.187	0.075	-0.001	0.002	35.386
6	$E(Y_i) = \alpha + \beta X_i^\gamma$	-2.559	2.065	0.241	0.506	0.902	0.503	35.464
7	$E(Y_i) = \frac{\alpha}{1 + \exp(\beta + \gamma X_i)}$	3.368	0.283	7.963	1.064	-0.339	0.051	29.368

¹ X_i is mean weight of hatchery-reared masu salmon at release, and Y_i is estimated recovery rate by commercial fisheries.

さを考慮した。本来、各放流サイズに対して複数回の放流実験を行い、回収率の平均値と分散を得て解析に供すべきであるが、ここでは1回の放流から得られた回収率の推定値と分散をその放流サイズにおける回収率の平均値および分散として扱った。すなわち、各放流サイズにおける分散の大きさは、市場調査のデータから推定された分散の大きさに相当するものと仮定した。この仮定の下、誤差が正規分布するものと仮定して、尤度関数を次のとおり定めた。

$$L = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}_i^2}} \exp \left\{ -\frac{\{Y_i - E(Y_i)\}^2}{2\hat{\sigma}_i^2} \right\} \quad (3.1)$$

ここで、 n はデータ数、 Y_i は i 番目の放流群の回収率の点推定値、 $\hat{\sigma}_i^2$ は i 番目の放流群の推定回収率の分散とした。 $E(Y_i)$ を表すモデルは Table 3.1 に示した。シンプレックス法により L の対数を最大にするパラメータを推定し、パラメータの標準誤差はヘシアン行列の2階微分により推定した。モデルの妥当性は AIC の大小により評価した。AIC は、

$$\text{AIC} = -2 \times \ln(\text{最大尤度}) + 2p \quad (3.2)$$

で求められる。ここで、 p は推定すべき自由パラメータの数である。AIC が最小のモデルを最も妥当なモデルとして採用した。これらの計算には北田 (1992) が報告した MS-DOS BASIC プログラム「DIR1.BAS」の目的関数とデータを書き換えて使用した。

3.3 結果

放流時の平均体重が 20~30 g の範囲では、大型の放流群ほど回収率 (沿岸漁業による水揚げ尾数/放流尾数) が高くなる傾向がみられた (Fig 3.1)。平均体重が 20 g に満たない小型の放流群では回収率が著しく低く、放流効果が低いことがわかる。北海道北部の初山別村で飼育された放流群は、平均体重が 14.8~26.0 g の範囲にあり、放流サイズが大きくなるほど回収率も高くなる傾向がみられた。一方、北海道南部の乙部町および熊石町で飼育された放流群では、平均体重が 21.1~38.8 g の範囲にあり、1 群を除き平均体重が 30 g を超えていた。30 g を超える放流群では総じて高い回収率を示したが、35 g を超える範囲で回収率がさらに高くなる傾向はみられなかった。

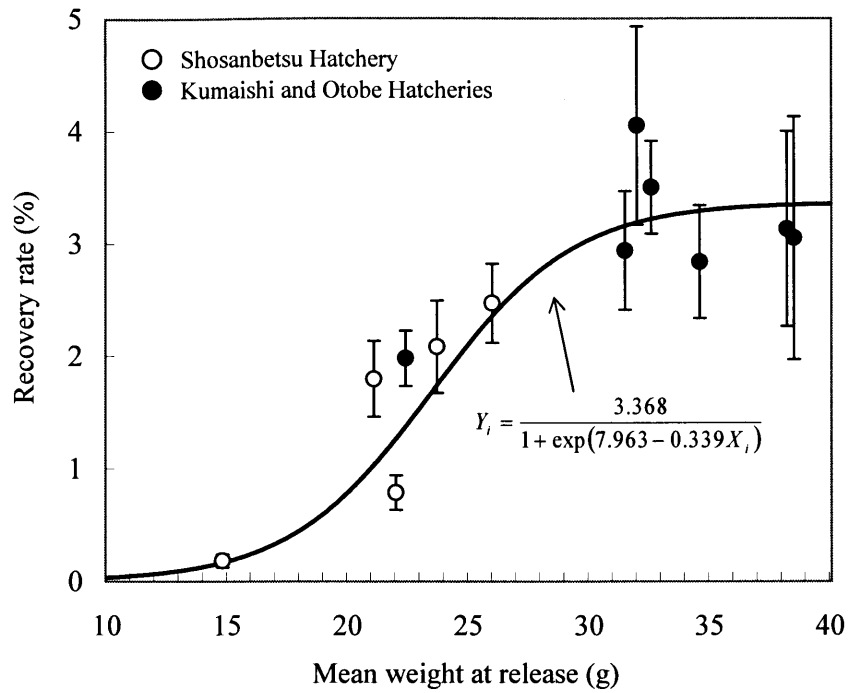


Fig. 3.1a Relationship between recovery rate by commercial fisheries and mean weight of masu salmon smolts at release. Regression line was estimated for total smolts.

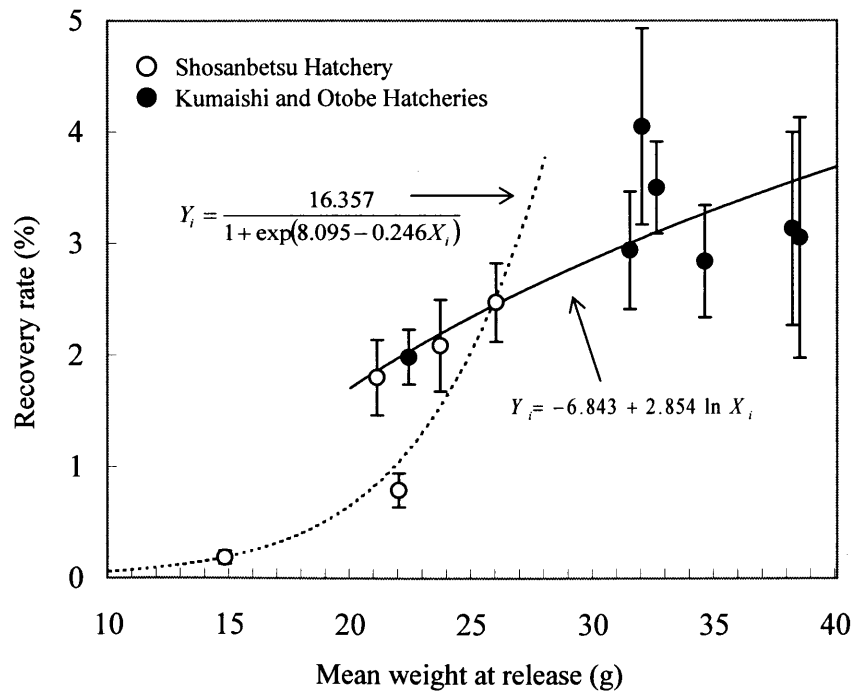


Fig. 3.1b Relationship between recovery rate by commercial fisheries and mean weight of masu salmon smolts at release. Regression lines were estimated for the Shosanbetsu Hatchery stock (---) and the Kumaishi and Otobe Hatcheries stocks (—), separately.

放流サイズと回収率の関係は、すべてのデータを用いた場合は S 字型のロジスティック曲線 (Model 7) が最小の AIC となり、最も妥当なモデルと判断された (Table 3.1a; Fig. 3.1a)。地域別にみた場合、北部の初山別村からの放流群でもロジスティック曲線 (Model 7) が、南部の乙部町および熊石町からの放流群では独立変数を対数変換したモデル (Model 3) がそれぞれ最小の AIC を示した (Tables 3.2 & 3.3; Fig. 3.1b)。ただし、南部の放流群では Model 6 を除く 5 つのモデルの AIC の値の差は小さく、1 に満たなかった。

3.4 考察

スマルト放流された標識サクラマス回収率は放流群間で大きく変動し、放流時のサイズが回収率、すなわち放流効果に強く影響することが示された。スマルトサイズと放流後の生残率の関係の解析には、線形回帰モデルが用いられることが多いが (Ward and Slaney 1988; Holtby *et al.* 1990; Henderson and Cass 1991)、第 2 章の市場調査から推定された回収率では放流群ごとに分散の大きさが異なり、通常の線形回帰分析の前提となる分散の均一性が満たされない。このため、スマルトの放流サイズと回収率の推定値に線形回帰モデルを適用することは適当ではなく、個々の推定値の分散で加重した解析が妥当である。この意味でも、放流効果調査において水揚げ尾数の推定誤差が正しく評価されることが重要であると言える。

スマルトの放流サイズの大型化に伴い放流効果が高くなる理由については、大型化に伴って捕食者からの逃避能力が向上すること (Taylor and McPhail 1985; Ward *et al.* 1989) や海水適応能が高くなること (小島・泉 1985; 三坂ら 1998) などが考えられる。これまでの研究例をみると、サケ科魚類のスマルトを放流群内でサイズクラス別に標識して放流した場合、ある大きさ以上のサイズクラスでは再捕率が低下した研究例がいくつか報告されている (Bilton *et al.* 1982; Tipping 1986; 下田ら 2003)。また、北海道立水産孵化場森支場で成長を促進させて養成したサクラマス 0+スマルトの試験放流でも、放流サイズが平均 30 g 程度の放流群で高い回収率が得られ、さらに大型の平均 40 g 程の放流群では回収率は低下した (Miyakoshi *et al.* 2002b)。サケ科魚類のスマルト化には個体群ごとに臨界サイ

Table 3.2 Detailed results from investigating parameters of each model to illustrate the relationship between smolt size of hatchery-reared masu salmon at release and subsequent recovery rate by commercial fisheries (for smolts stocked from Shosanbetsu)

Model	Formula ¹	Estimated value and SE of parameters						AIC
		α	SE(α)	β	SE(β)	γ	SE(γ)	
1	$E(Y_i) = \alpha + \beta X_i$	-1.976	0.287	0.145	0.017			16.054
2	$E(Y_i) = \alpha + \beta X_i^{1/2}$	-4.630	0.605	1.249	0.150			16.966
3	$E(Y_i) = \alpha + \beta \ln(X_i)$	-7.021	0.897	2.671	0.323			17.851
4	$E(Y_i) = \alpha \{1 - \exp(\beta + \gamma X_i)\}$	Failed to form estimates						
5	$E(Y_i) = \alpha + \beta X_i + \gamma X_i^2$	5.147	3.067	-0.642	0.338	0.021	0.009	12.612
6	$E(Y_i) = \alpha + \beta X_i^\gamma$	Failed to form estimates						
7	$E(Y_i) = \frac{\alpha}{1 + \exp(\beta + \gamma X_i)}$	16.357	66.076	8.095	2.987	-0.246	0.075	12.315

¹ X_i is mean weight of hatchery-reared masu salmon at release, and Y_i is estimated recovery rate by commercial fisheries.

Table 3.3 Detailed results from investigating parameters of each model to illustrate the relationship between smolt size of hatchery-reared masu salmon at release and subsequent recovery rate by commercial fisheries (for smolts stocked from Kumaishi and Otobe)

Model	Formula ¹	Estimated value and SE of parameters						AIC
		α	SE(α)	β	SE(β)	γ	SE(γ)	
1	$E(Y_i) = \alpha + \beta X_i$	-0.184	0.859	0.100	0.030			13.186
2	$E(Y_i) = \alpha + \beta X_i^{1/2}$	-3.026	1.688	1.070	0.319			12.947
3	$E(Y_i) = \alpha + \beta \ln(X_i)$	-6.843	2.795	2.854	0.842			12.738
4	$E(Y_i) = \alpha \{1 - \exp(\beta + \gamma X_i)\}$	Failed to form estimates						
5	$E(Y_i) = \alpha + \beta X_i + \gamma X_i^2$	-9.335	6.879	0.766	0.498	-0.012	0.009	13.388
6	$E(Y_i) = \alpha + \beta X_i^\gamma$	-49.773	361.814	43.750	356.499	0.054	0.612	14.759
7	$E(Y_i) = \frac{\alpha}{1 + \exp(\beta + \gamma X_i)}$	3.218	0.243	28.754	12.845	-1.305	0.573	13.483

¹ X_i is mean weight of hatchery-reared masu salmon at release, and Y_i is estimated recovery rate by commercial fisheries.

ズが存在することが知られており、自然環境下では極端に大きなスマルトは出現しない（玉手・山本 2004）。平均体重が 30 g 台後半のスマルトは平均体長が 15 cm 台であり（Table 2.6），これは野生サクラマスのスマルトサイズ（Kato 1991; 杉若 1991）と比べかなり大型の部類に属する。種苗生産施設からのスマルト放流では、その地域の野生スマルトの降海時期に合わせてスマルトを養成し、放流することにより高い放流効果を期待することができるが（真山ら 1989），飼育環境下での成長が極端に良好な場合には、放流時期よりも早い時期にスマルト化し、放流までにさらに大型に成長する個体もみられる。このような場合には、サイズは大型であっても、スマルト化時期と放流時期にずれが生じているものと推測される。極端に大型のスマルトの放流効果が低い現象にはこのような飼育過程も影響しているものと推測される。サケ科魚類のスマルト放流では、放流サイズ以外の要因、たとえば、放流時期（Bilton *et al.* 1982），成長率（Beckman *et al.* 2000），放流場所（Ward and Slaney 1990; Salminen and Erkamo 1998），飼育密度（Ewing and Ewing 1995），河川流量（Finstad and Jonsson 2001）なども放流後の生残率に影響することが報告されており、今後はサクラマスにおいてもこれらの要因の影響について調査する必要がある。

以上のように、サクラマスのスマルト放流では大型種苗の放流効果が高いものと考えられるが、飼育環境下で過度に幼魚の成長を促進させることにより、河川内成熟雄の出現割合が高まり（宇藤 1976），スマルトの生産尾数が減少することが予測される。これらのことから、効率よくスマルトを生産できるよう各飼育施設の条件に合わせて成長をコントロールすることが重要と言える。