

シロザケ親魚の標識放流データに基づく資源特性値の推定方法

星野 昇

北海道立水産孵化場

Mathematical Method for Estimating Stock Characteristics of Adult Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*) based on Mark-Recapture Data.

Noboru Hoshino

Hokkaido Fish Hatchery, Kitakashiwagi 3-373, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan

Abstract In this paper, I present four mathematical methods of estimating the numerical values that are required to evaluate salmon stock characteristics based on mark-recapture data for adult chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in northern Hokkaido, Japan. First, the fishing mortality coefficient and dispersal rate (per day) in the fishing area were estimated based on time series data of recaptures. Second, the date on which most fish reached a catch point in the river was estimated. The third and fourth methods provided the estimates for the parameters of stock structure. Each mathematical model was closely followed to the observed data of the three mark-recapture experiments conducted in the coastal area of the Sea of Okhotsk in 2003 and 2004.

Key words : シロザケ, 標識放流, 資源特性値, 漁獲死亡係数, 資源構造

沿岸域に回帰したシロザケ(*Oncorhynchus keta*)に標識を付けて放流し、回遊経路や行動特性、資源構造を把握する試みは多い。佐藤(1936)は千島列島からカムチャツカ半島にかけての海域で夏期に標識放流試験を実施し、カムチャツカ半島やアジア大陸の河川における再捕を記している。北海道では1917年から1942年にかけて、シロザケ親魚に対する標識放流試験が実施され、オホーツク西部から日本海、えりも岬東側から噴火湾や本州への移動が記録されている(平野, 1953)。1970~80年代には、発信器を装着した個体を放流し併走する船舶で発信記録を収集して個体の行動を観察する、バイオテレメトリーによる研究が行われるようになり、オホーツク海沿岸や千島列島周辺のシロザケの遊泳行動が研究されている(例えば、市原ら, 1975; 嶋村ら, 1987; Ogura and Ishida, 1994)。一方、1980年頃から日本に回帰するシロザケの数量が著しく増加したことともない、北海道南部や本州の河川を母川とするシロザケに対する漁業調整の必要性が生

じてきた。これをうけ1986~1996年にかけて水産庁による秋さけ資源利用配分適正化事業が実施され、北海道の多くの海域において定置網により漁獲された個体を標識放流する試験が行われた。その結果、北海道沿岸の定置網漁場に参加するシロザケ資源はきわめて複雑な資源構造を呈していることが明らかとなった(北海道, 1986~1996)。同時期に上野(1993)は、岩手県沿岸に来遊したシロザケ親魚を延縄で漁獲して標識放流する研究を通じ、移動生態や資源特性値の算出を詳細に行っている。最近では、水温や水深を自身で記録する小型のアーカイバル標識を付けて放流し、再捕された個体の行動履歴を把握する研究が行われており、個体の沈降行動や海水温への応答特性などが明らかにされつつある(さけ・ます資源管理センター, 2005)。

日本のシロザケ資源のほとんどは、産卵のため河川に遡上した個体から採卵し、人工授精により生産した個体を体重1g程度にまで飼育し放流する人工種苗生産

によって構成されている（永田・山本，2004；帰山，2003）。漁獲は毎年9～11月に沿岸域に回帰した資源を対象に，主として定置網によって行われている。漁獲量の水準を維持するためには，毎年，一定量の親魚および卵を各河川において確保する必要がある。回帰尾数が少ない年には定置網による漁獲を制限し，河川に遡上する魚を確保する措置が想定される。親魚不足が恒常化するようであれば，定置網の規模や設置位置など定置漁業権の免許内容を修正する必要も生じる。このとき，漁獲制限すべき期間や漁獲制限によって確保される親魚の数量とその時期の見通しに関する情報が必要となる。また，定置網で漁獲される魚は必ずしもその地域の河川を母川とする地元の資源だけではないことから，漁場付近の河川を母川とする親魚を安定して確保するためには，定置網による漁獲率や漁獲死亡係数，漁場に来遊した資源の河川，他海域への移動，分散時間といった資源特性値にくわえ，漁獲物全体にしめる地元河川由来の資源の割合に関する情報が必須となる。

定置網で漁獲されたシロザケを一度に多数標識放流する試験で得られる放流・再捕データ，すなわち，再捕された位置および時間，個体の年齢やサイズ，放流群の組成といったデータを解析することで，資源管理を進める上で必要な数値を推定することが可能である。しかし，これまでの研究では再捕位置や移動時間の解析に主点があり，上野（1993）以外には資源管理のために必要な数値の算出が試みられた例は少ない。北海道庁では，2004年より5年間の計画で道内の定置漁業の調整管理を目的としてシロザケの標識放流試験を実施している。北海道全域において実施されていることから，調査データに基づき資源管理のために必要な数値の算出を行い，北海道の秋サケ資源管理に資する情報を集積していく必要がある。

本稿では，秋季に定置網で漁獲されたシロザケを漁場付近から標識放流する試験調査で得られるデータに基づき，来遊資源が定置漁場外や河川内に移動するまでの移動時間，漁場における漁獲死亡係数および漁獲死亡率，漁獲物全体にしめる地元河川へ遡上する資源の割合を推定するための，簡便な計算手法を提示した。一般的な汎用モデルや簡単な確率現象に基づく推定問題として単純化するために，条件設定や仮定を整理したうえで推定モデルを構築した。2003年および2004年においてオホーツク沿岸域において実施された標識放流調査のデータに適用し，有効性について検討した。

材料および方法

本稿の対象となる標識放流試験は，さけ定置網に入網した秋サケを作業船に設置された水槽に收容し，全個体の尾叉長，体重，性別，成熟度（体色判別）を計測，年齢査定のために採鱗した後，直径12mm厚さ1mmの白色円盤形標識を背鰭前端基底部にビニルチューブで装着し，舷側から放流する方法を基本とする。漁業協同組合など漁業関係機関および河川遡上した個体の捕獲作業を行っている増殖事業団体から報告された，再捕日と標識番号をとりまとめたものがデータである。

2003および2004年に，オホーツク海沿岸の枝幸町および常呂町において実施された3回の標識放流試験データを解析に供した。対象となった定置網の所在位置をFig. 1に示す。対象の定置網はいずれも捕獲部分が垣網にそって2～3段に設置された階層構造を呈している。2004年に枝幸町および常呂町で実施した試験では，いずれも各定置網捕獲部分の最も陸側（陸網と称する）と最も沖合側（沖網と称する）の捕獲部分に入網した漁獲物それぞれを標識放流した。2003年は陸網に入網した漁獲物のみを標識放流した。すなわち，2004年の常呂・沖網放流群，常呂・陸網放流群，枝幸・沖網放流群，枝幸・陸網放流群，2003年枝幸放流群（陸網）の，5つの放流群が解析の対象である。各放流標本群の実施概況をTable 1に示す。

標識魚を放流する位置は放流群ごとに異なっている。2003および2004年の枝幸放流群では，沖網，陸網の漁

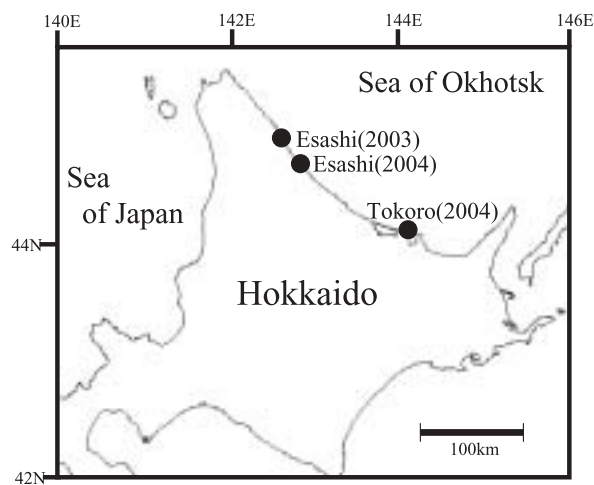


Fig. 1 Locations of the release points of mark-recapture experiment in the coastal area of Hokkaido.

Table 1 Summary of the five mark-recapture experiments in the coastal area of Hokkaido (2003-2004).

Location	Fish released				Recaptures	
	Position of Trap	Date	Number	MeanFL.(s.d.) (mm)	Number	Percentage of Recaptures
Esashi	Inshore	11-12 Sep. 2003	355	700(51.0)	196	55.2
Esashi	Inshore	17 Sep. 2004	213	666(48.1)	128	60.1
	Offshore	16 Sep. 2004	259	663(51.0)	157	60.6
Tokoro	Inshore	28 Sep. 2004	236	670(47.1)	142	60.2
	Offshore	28 Sep. 2004	186	669(47.1)	117	62.9

Inshore trap; fishing trap set in the position of 500 ~ 1,000m from coast line.

Offshore trap; fishing trap set in the position of 2,000 ~ 3,000m from coast line.

獲物をそれぞれ対象定置網の全設置範囲の沖端を越えた直後から、海岸線に対しほぼ垂直方向の潮流に作業船を一定速度で流しながら放流した。常呂放流群では、沖網、陸網の漁獲物をそれぞれ対象定置網の沖端より約0.5マイル、約2.5マイルの2カ所に分けて放流した。実施方法が異なるのは作業船の設備、実作業との兼ね合いなど調査協力いただいた漁業者の都合を考慮した調査計画を設定したことによる。

再捕個体の大部分は漁業もしくは河川捕獲作業の過程で回収された。再捕は放流位置の周辺海域において放流後1週間に集中し、放流から日数が経過するにつれ放流位置から離れた海域や河川で再捕されるようになった。すべての再捕魚は放流から3週程度の間におホーツク海および日本海の北海道沿岸全域と流入河川から回収された。

1. 解析条件の設定 放流位置周辺の一定範囲を“漁場”と称する。2003および2004年の枝幸放流群では網走管内雄武町および宗谷管内枝幸町の定置網設置範囲を“漁場”と定義する。海岸線の長さは約90kmである。常呂放流群では網走管内常呂町および網走市を“漁場”と定義する。海岸線の長さは約50kmである。

上で定義された漁場内に流入しているサケマス捕獲実施河川を、当該漁場の“地元河川”と称する。“漁場”および“地元河川”以外の水域（河川、海域含め）を“他地区”と称する。枝幸放流群の“地元河川”は北見幌別川、徳志別川、幌内川の3河川を指す。常呂放流群の“地元河川”は常呂川、網走川、藻琴川の3河川を指す。

それぞれの放流群に対する再捕位置データを“漁場”、“地元河川”、および“他地区”の3区分に分割して整理、解析の対象とする。“漁場”には“地元河川”

と“他地区”のそれぞれに由来する資源が混在して加入している状況である。

2. 仮定 解析に際しては、本標識放流データに関する次の特殊性を考慮し、標識放流された個体の自然死亡と標識魚の未発見数は微小なものとして無視する。

回帰親魚のサイズは大きく、沿岸域において他種による被食は少ないうえに、病死や環境不適合による死亡も親魚については想定されにくい、河川において捕獲場所のほとんどは河口から数kmの範囲にあることから、遡上途中に死亡する確率もきわめて小さい、

北海道に回帰する親魚の場合、その大部分が海で漁獲され、漁獲されずに河川に遡上しても遡上数量の多い主要な河川では採卵用親魚としてほぼすべての個体が捕獲されている状況にある、漁期中、全道の沿岸域には定置網が密集して設置されており、沿岸に到達し母川を探索する親魚の回遊経路は基本的に定置網漁場内に限られる、再捕は放流から約1週間に集中し、長くとも1ヶ月の短期間で再捕が終了する。同様の調査が以前から頻繁に実施されており、標識魚を発見した場合に報告する慣例が根付いている。すなわち、親魚の自然死亡要因が少ないうえに対象期間がきわめて短く、放流後は分布回遊範囲の全域で再捕データを回収するための体制が整備されている、ということから、放流個体の自然死亡を解析上無視することは合理的と考えた。

このため、各放流群で回収されなかった約40% (Table 1) の個体は、放流後の移動過程での死亡ではなく、放流作業時に受ける大きなストレスにより放流直後に現場にて死亡したものとする。すなわち、再捕されなかったものは無効放流であり有効放流数と再捕総数は同一とみなす。

“他地区”に移動した個体は完全に当該漁場より離散したものとみなし、ふたたび漁場内や地元河川に戻るといった状況は想定しない。

結 果

標識放流データから資源特性値を得るための数学モデルを構築した。

ある漁場に到達したシロザケの群もしくは個体が、その漁場内に滞留して漁獲対象となっている期間、すなわち漁場に達してから地元河川や他地区に移動するまでの時間については、操業規制の実施期間を定めるうえで必要な情報である。標識放流試験の再捕尾数の経日変化から、標識魚が漁場内に残存する確率の日変化と瞬間漁獲死亡係数（一日あたり）を同時推定する。

漁場内で漁獲されずに翌日まで生き残る一日あたりの確率 S を、

$$S = \exp(-f) \quad (1)$$

とする。 f ($0 < f$) は一日あたりの瞬間漁獲死亡係数である。漁場内から他地区あるいは地元河川へ移動せずに翌日まで残存する一日あたりの確率 P を、

$$P = \exp(-z) \quad (2)$$

とする。 P の大小を決めるパラメータ z ($0 < z$) は離散係数と称することとする。 z が大きくなるほど確率 P は小さくなる。 S および P は漁期中変化しないものとする。放流から t 日後に漁場内で再捕される標識魚尾数の期待値 $g(t)$ は、

$$g(t) = N \cdot \exp(-(f+z) \cdot (t-1)) \cdot (1 - \exp(-f)) \quad (3)$$

である。 N は有効放流数、ここでは前述のとおり再捕数に等しい。前項は $t-1$ 日後における残存尾数、後項は t 日後における漁獲率を表す。パラメータ z を自然死亡係数（一般的には M と表記）に置き換えると、よく知られた自然死亡過程での再捕確率を示す期待値関数である。この場合の推定方法の枠組みは北田（2001）などに詳しい。ただしこの場合には、 f が期間中一定、再捕数が0の日を設定しない、といった条件が求められる。定置網漁業では通常市場の定休日や時化の日は出漁しないので、漁獲自体は網により続けられているが再捕報告は無いが極端に少ない、という日がある。そこで、放流から t 日後までに漁場内で再捕される標識魚の累積数として考えることとすれば、その期待値 $G(t)$ は、

$$G(t) = \sum_{i=1}^t g(i) \quad (4)$$

である。実際の標識放流データの放流から再捕最終日までの期間における t 日後の漁場内再捕尾数の総計値をデータセットとして、ここでは簡単のため非線形最小自乗法に基づき f, z を点推定する。

Table 1に示した5放流群から得られた再捕データをそれぞれ4式に適用して、 f, z を数値計算により推定した。放流後から t 日後の累積再捕尾数の理論曲線と観測値を放流群ごとにFig. 2に示した。各理論曲線を描く推定パラメータは、漁獲死亡係数 f が常呂・沖網放流群で0.27と小さく、枝幸2003放流群で0.64と大きく推定された。一日あたりの漁獲率は $1 - \exp(-f)$ であるから、それぞれ23.7%、47.1%となる。離散係数 z は、0.25～0.35の範囲で推定された。枝幸では陸網群より沖網群でやや小さく常呂では反対の傾向を示した。陸網群である枝幸2003放流群では0.35と大きく推定された。観測データは理論曲線に対し概ね良く適合しており、計算過程での推定値の収束状況も頑健であった。

推定結果に基づき離散係数 z を、推定値どうしが近い枝幸2004放流群と常呂放流群で0.26、枝幸2003放流群で0.35として、一尾の個体もしくは魚群が漁場に到達してから、漁獲がない場合に漁場内に残存する確率の変化を図示した（Fig. 3）。枝幸2003放流群では二日後に約50%、一週間後には90%以上が漁場外に離散することが示唆されている。常呂、枝幸2004の両放流群では枝幸2003放流群より1～2日程度漁場内に滞留する時間が長くなる。枝幸2003放流群で残存確率が小さいのは、対象定置網が北見幌別、徳志別両河川に近いことから、標識放流した個体の多くは成熟が進んでいる状態にあり、放流後速やかに定置網設置範囲より陸側の汽水域から河川にかけての水域に移動したものと推察される。

次に、漁場に到達した個体もしくは魚群が、河川に遡上して最終的に捕獲されるまでに要する時間を推定することを試みる。枝幸放流群および常呂放流群について、それぞれの地元河川において再捕された合計尾数を1としたときの累積頻度の経日変化をFig. 4に示した。遡上傾向に陸網、沖網間の違いはないものとし、ここでは両者をまとめている。枝幸放流群の地元河川では河口より数百mの位置で遡上を遮断するトラップでほぼ全数を捕獲している。常呂放流群の地元河川では、河口から約3kmの位置で同様に全数を捕獲している。河川再捕に至るまでの時間変化は枝幸の両年放流群で同様の傾向を示しており、常呂放流群では枝幸放流群より5日程度遅れる傾向がみられている。Fig. 4の

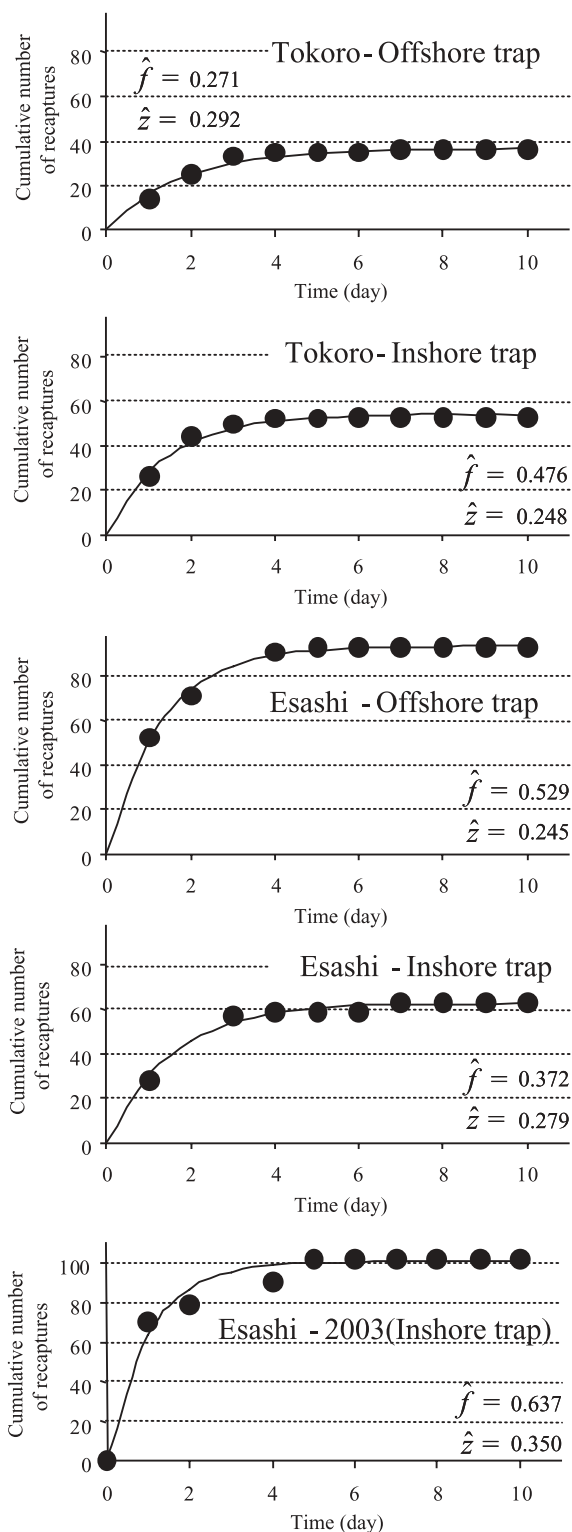


Fig. 2 Changes in the cumulative number of recaptures in each fishing area. The curve shows the theoretical prediction based on estimated parameters (f & z). f ; instantaneous fishing mortality coefficient, z ; dispersal coefficient (per day)

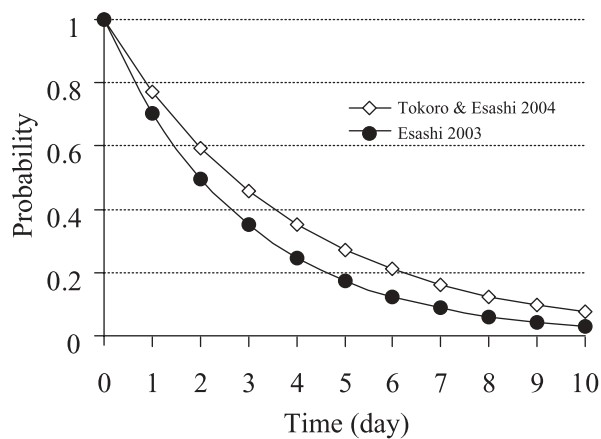


Fig. 3 Estimated curves for the probability that a fish stays in the fishing area.

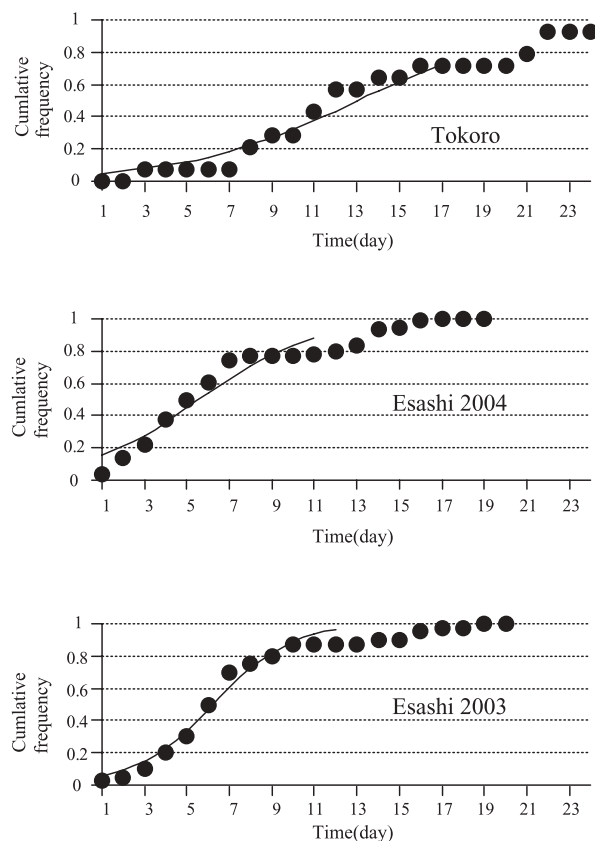


Fig. 4 Changes in the cumulative frequency of recaptures in each local river group. The curve shows a fit of logistic function.

ような累積再捕尾数の時間変化を定式化した関数の微分値は各時点における瞬間再捕尾数を与えることになるので、その最大瞬間再捕尾数、すなわちもっとも捕獲現場に標識魚が出現した時間はその関数の変曲点である。ここでは、一般に集団の個体数増加を表現する関数であるロジスティックモデル、

$$Y = \frac{1}{1 + \exp(A \cdot r \cdot t)}$$

を便宜的に与えることとすれば、漁場に参加した資源が河川捕獲されるピーク日もしくは漁場に参加した魚1尾が河川捕獲されるまでに要する日数の期待値は、ロジスティック曲線変曲点の t 座標であり、その Y 座標は常に0.5であるから、河川再捕総数の50%が再捕された日と同義である。観測データにロジスティック曲線をあてはめ (Fig.4), 各推定関数の変曲点 t は、常呂放流群で12.0日、枝幸2004放流群で4.6日、枝幸2003放流群で5.2日と計算された。なおここでは、3群に共通の傾向としてみられている期間後半に再び再捕尾数が微増する部分を省いて推定している。この時期に再捕された個体はそれより前の段階で再捕された個体に比べ、常呂放流群と枝幸2004放流群で雌個体が大半を占め、枝幸2003放流群ではすべてが雄個体という特異な特徴があった。放流時における肉眼による成熟度の判定では、ブナ化の程度が少ないと判定される個体が多い傾向にあった。これらのことからこの時期に変則的に遡上、再捕された資源と、それ以前に遡上したものとでは、成熟の進行が異なる別時期の遡上群であることが示唆されたため、この後半にみられた遡上群の再捕データを除いた前半期の主群の再捕傾向に対し、河川捕獲時期のピークとなる日を推定したものである。

次に、再捕データに基づいて、標識放流標本の中にしめる地元河川を母川とする資源の割合を推定する方法を二種類示した。遡上量が不振で定置網での漁獲を制限しなくてはならない状況では、前浜における漁獲物にしめる地元河川資源の割合に関する情報が必要となる。同様に、地元河川を母川としない他地域へ移動途中の資源の比率は、他地域における親魚を安定確保するための漁業調整上、重要な情報となる。

漁場内で再捕された個体は、もし漁場内に漁具が設置されていなかったとすれば、地元河川で再捕されるか他地区で再捕されるかのいずれであろう。したがって、漁場内で再捕された個体のうち、漁業がなければ地元河川再捕となるべきはずの個体の比率を推定することができる、放流群にしめる地元河川資源の割合

を知ることができる。

このとき最も困難な問題は標識放流を行う位置についての解析上の解釈である。すべての個体と同じ位置から放流する試験を行った場合、その放流位置に応じて再捕される場所が傾向的に異なる可能性がある。たとえば、対象定置網の近くから放流した場合と沖合に移送して放流した場合とでは、漁場内の漁具に対する相対的な入網確率やそれに応じた河川への遡上率も変化する可能性がある。Fig. 5は枝幸2004放流群と常呂放流群の沖網、陸網両群について、放流位置から再捕位置までの海岸線距離を階級値(階級幅10km)としたときの累積度数分布を、放流位置別に示している。枝幸2004放流群の放流位置は、対象定置網の沖端付近から海岸線垂直方向に作業船を一定速度で進めながら連続して放流している。したがって作業の前半は沿岸寄り、後半はそれより沖合から放流している。常呂放流群の放流位置は対象定置網から0.5および2.5マイル沖合に離れた2カ所で定位して放流している。枝幸2004・沖網放流群では、定置網に近い前半放流群で66%が放流位置から30km以内の範囲で再捕されているのに対し、後半放流群では50%程度であった。20km以内の範囲では、それぞれ58%と46%、10km以内の範囲での再捕は27%と18%となっており、放流位置が定置網から離れると、より遠方まで移動して再捕される傾向にある。枝幸2004・陸網放流群では放流位置の違いによる沖網放流群でみられたような明瞭な差はなかった。常呂放流群では枝幸放流群と逆の傾向がみられ、沖合2.5マイル定点から放流した群の方が0.5マイル定点放流群より放流位置から近い距離で再捕される傾向にあった。

すなわち、再捕位置に及ぼす放流位置の影響は非常に大きいといえる。そこで、枝幸放流群のように放流位置を一定間隔で対象定置網から離しながら放流する方法をとれば、次のような簡易な算出方法に基づいて推定することが可能と考えた。

漁場内再捕された個体のうち地元河川資源の比率を p ($0 < p < 1$)とする。他地区資源の比率は $1-p$ である。地元河川資源が漁場内で漁獲、再捕される確率を S 、他地区資源が漁場内で漁獲、再捕される確率を T とする。ここで次の2つの仮定をおく。放流個体が地元河川資源である場合は、放流位置が定置網から離れるほど漁場全範囲との相対的な接触面積が広がるため、漁場内再捕される確率が上がる。個体が他地区資源である場合は、放流位置が漁場から離れると次第に漁場の範囲

シロザケ資源特性値の推定方法

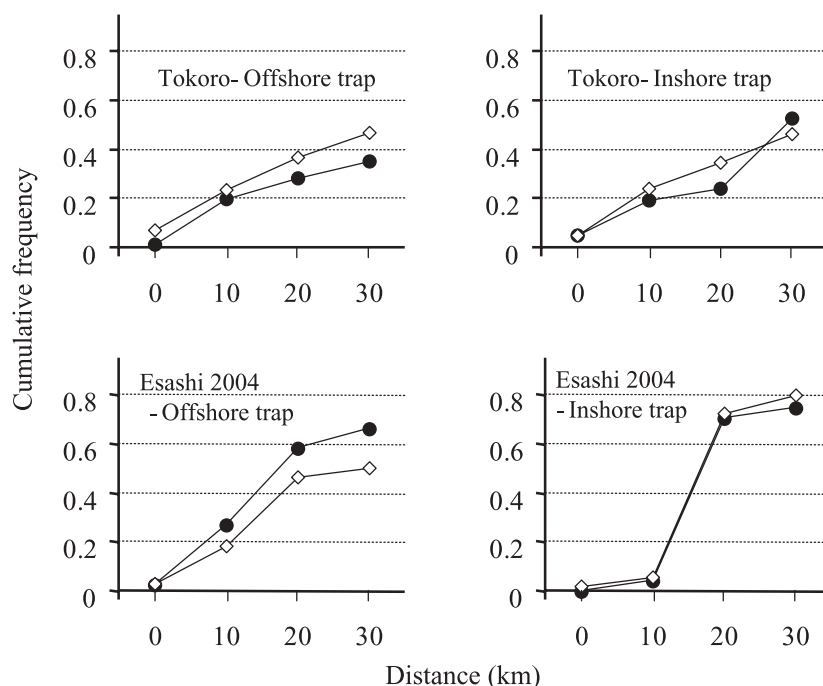


Fig. 5 Cumulative frequency of the distance from a release point to recovery points. Line with \bullet ; fish were released from the position near the set net. Line with \diamond ; fish were released from the position of about 2 mile off the set net.

Table 2 Maximum likelihood estimates of stock structure for each release group.

Location	Position of trap	Parameter estimated			
		equation (5) & (6)			equation (8)
		p			p
Esashi 2004	Inshore	0.601	0.008	0.008	0.703
	Offshore	0.219	0.004	0.005	0.268
Tokoro	Inshore	-	-	-	0.339
	Offshore	-	-	-	0.480
Esashi 2003	Inshore	-	-	-	0.458

を通過する確率が下がるので、漁場内再捕される確率が下がる。すなわち S を対象定置網からの相対距離 d の増加関数、

$$S = 1 - \exp(-\lambda \cdot d) \quad (5)$$

とし、 T を d の減少関数、

$$T = \exp(-\mu \cdot d) \quad (6)$$

で表す。 λ 、 μ は定数であり推定パラメータである。距離 d から放流された1個体が地元河川再捕となる確率は $p \cdot (1-S)$ 、他地区再捕となる確率は $(1-p) \cdot (1-T)$ 、漁場内再捕となる確率は $p \cdot S + (1-p) \cdot T$ である。有効放流された各個体がいずれの区分で再捕されたか、すべての

再捕個体の実現確率を乗じたものは p 、 λ 、 μ の尤度関数となるから、その値もしくは対数尤度を最大にする p 、 λ 、 μ を数値計算で求める。

枝幸2004放流群について推定された最尤推定値をTable 2に示した。推定値から漁場内再捕個体の内訳は沖網放流群で22%、陸網放流群で60%が地元河川資源と計算され、これに地元河川再捕数をくわえた有効放流数全体にしめる地元河川資源の割合は、沖網放流群で29.9%、陸網放流群で69.2%と計算された。

次に、地元河川再捕群と他地区再捕群との年齢組成の傾向差を利用して、漁場内再捕個体のうち地元河川

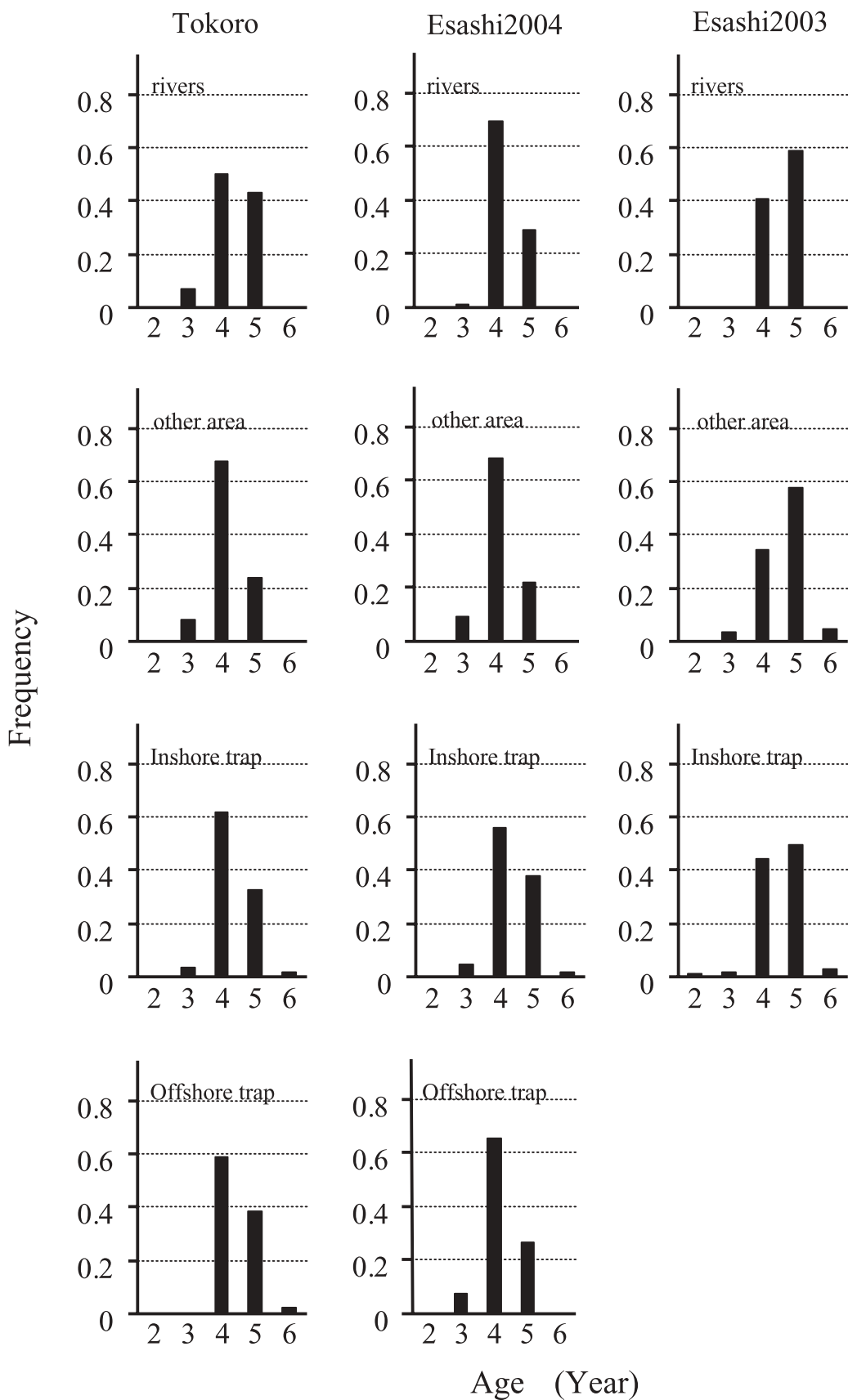


Fig. 6 Age-frequency distributions of marked fish from each recovery area.

資源の比率を推定することを試みた。Fig.6に、各地の放流群において、地元河川再捕群、他地区再捕群の年齢組成を、沖網、陸網それぞれの放流群の年齢組成と対比させて示している。いずれの放流群でも地元河川再捕群と他地区再捕群の年齢組成の間には比較的明瞭な違いがみられている。そこで、漁場内再捕群の年齢組成は、地元河川、他地区両者の年齢組成がある比率によって混成している状態を母分布として、そこから再捕数分を抽出したときの組成と考える。放流数に定める地元河川資源の比率を p 、他地区資源の比率を $1-p$ とする。年齢はごくまれに出現する2歳以下および6歳以上を無視し、3~5歳の3年級群として考える。地元河川再捕群の年齢頻度分布 $Q(\text{age}3, \text{age}4, \text{age}5 | q_3, q_4, q_5)$ 、他地区再捕群の年齢頻度分布 $R(\text{age}3, \text{age}4, \text{age}5 | r_3, r_4, r_5)$ (q_i, r_i は年齢 i の相対頻度)とし、これら標本組成がそれぞれの母分布に等しいと仮定すれば、資源全体の年齢組成 X は、

$$X(\text{age}3, \text{age}4, \text{age}5 | p \cdot q_3 + (1-p) \cdot r_3, p \cdot q_4 + (1-p) \cdot r_4, p \cdot q_5 + (1-p) \cdot r_5) \quad (7)$$

である。分布 X から N 個を抽出した場合の各年齢の個体数がそれぞれ n_3, n_4, n_5 であるときの確率は3項の多項分布、

$$\frac{N!}{n_3! n_4! n_5!} \cdot p^{n_3} (1-p)^{n_4} (1-p)^{n_5} X_i^{n_i} \quad (8)$$

で示される。8式は p の尤度関数であるから、8式を最大化する p が最尤推定値である。各放流群に対する p の推定結果をTable 2に示す。枝幸2004・沖網放流群で26.8%、陸網放流群で70.3%、常呂・沖網放流群で48.0%、陸網放流群で33.9%、枝幸2003放流群で45.8%と推定された。

考 察

本稿では定置網で漁獲されるシロザケの標識放流試験データに基づいて、資源管理を進めるうえで必要な数値情報を算出するための簡便な計算方法を示した。

計算に際して、標識親魚の再捕期間中における自然死亡は十分に小さいものとして仮定し無視した。すなわち、各放流群の40%前後の未再捕個体は放流時の作業の影響で放流直後にすべて死亡したものと仮定し、再捕尾数と有効放流数が同一として捉えた。実態として、放流作業中に標識魚は相当のストレスを受けており、定置網から水槽への収容時、水槽内での収容時、

測定、標識装着の際の麻醉といった作業を経る間に死亡する個体も多数ある。したがって、再捕されたもののみを有効放流数と考え、放流個体は全て再捕されたという仮定は概ね妥当であると判断して解析を行ったものである。これまでに開発されている標識放流データに基づく生残過程の解析方法は、主として栽培事業で生産され放流された幼稚魚の数年にわたる再捕データを解析することが具体的対象となっている場合が多い(北田, 2001)。そのような対象では自然死亡過程の推定がきわめて重要な要素となるが、本稿のように大型魚の短期間再捕データの解析で、自然死亡を考慮しないことは合理的と考えられる。

まず、漁場に到達した資源が母川や他海域に離散し、漁獲対象とならなくなるまでの時間と漁獲死亡率の簡便な計算方法を示した。離散係数 z が大きいほど漁場に残留する確率は小さくなる。漁場には地元河川に遡上する資源と、他海域に母川をもついわゆる“通り魚”が混成している。本稿で用いた放流群のデータからは z は同程度の値で推定されたが、通り魚の構成率が高い場合や、成熟が進行した個体の占める割合が大きい群では、推定値は大きくなるであろう。来遊資源の移動に関する情報を広く把握するためには、過去に実施された同様の標識放流試験データから値を推定し、北海道沿岸の複数の海域、時期における推定値を比較することが必要である。なお、本稿では推定値の精度について議論するにいたらなかったが、 z の誤差分布は上記のように二つの資源構造の特徴が反映されており単一モードではないので、確率モデルによる区間推定の枠組みで解析する際には工夫を要する点である。

漁場に到達した資源が地元河川に遡上し捕獲に至るまでの経過時間を推定した。上野(1993)も累積再捕尾数の時間変化から遡上のピークを推察している。常呂川の遡上ピークは12日前後、枝幸では5日前後と推定された。枝幸放流群の漁場内再捕はFig. 2に示したように放流後5日前後で終了していることから、5日目以降にはほぼ全数が徳志別川や北見幌別川の河口付近に設置された捕獲トラップから定置網の設置範囲よりさらに海岸側の汽水域に移動したものと推察される。常呂放流群でも5日前後で漁場内再捕が途絶えているが、河川捕獲のピークは12日である。この河川間にみられた差は、常呂川などの捕獲トラップが河口から3~4kmの河川内に設置されていることから、そこまで遡上するまでの時間差であることが示唆される。千歳川や十勝川のように捕獲場までの距離が河口から数十

kmと十分に隔たっている条件下で同様の試験を行い捕獲ピークを推定すれば、シロザケの河川遡上速度を把握することが可能である。

なお、前述の漁場残存確率の評価と河川遡上の評価では、いずれも再捕尾数の累積時系列モデルに対して観測値をあてはめている。これは漁獲や河川捕獲は天候等に左右され、日によっては操業、作業自体が行われない場合や、十分な遡上数が無い場合に作業の効率上、捕獲作業を先延ばしする場合があることを考慮した。そのような日の再捕尾数を0や微量な数値として扱えば、推定精度を著しく下げる可能性がある。定置網漁業や河川捕獲は、操業自体はなくとも漁獲、捕獲は漁具によって続けられており、次の操業日には操業しなかった前日までの数量が上乘せされることから、累積データの時系列を用いた方が解析上都合がよい。

次に、放流群のうち地元河川を母川とする資源の比率を推定することを試みた。定置網の漁獲物を標識放流する際に、その定置網に対する放流位置の選定は慎重かつ計画的に行わなければならない。漁獲物はその定置網の垣網沖端から入網してきたのであるから、本来ならその位置に放流し、遊泳させることが望ましい。しかしその方法では常に同じ定置網に魚が入るため、統計解析に資するデータを得ることが難しい。反対に放流魚を船舶で沖合域まで移送した後放流する場合には、生物本来の回遊経路ではない位置からの放流・再捕データを評価することになり、結果の解釈が困難となる。上野（1993）は、延縄により沖合域で捕獲した個体を漁獲位置から標識放流している。これが本来最も合理的な方法であると思われるが、延縄や刺し網は個体に与えるダメージが定置網と比べてきわめて高く、必然的に再捕数が少なくなり解析精度が下がる欠点がある。本稿では、放流位置を定間隔でずらしながら放流し、放流後の漁場内で再捕される確率を放流位置の連続関数としてとらえることで、地元河川資源の比率を推定した。実態として、漁場において漁獲される確率が放流位置に対する連続関数で表現することができるかを議論することは難しい。海域によっては水塊構造が複雑で単純な関数などで表現することができない可能性もある。いくつかのモデルや確率一定のモデルなどを併用して、AICなどで精度評価するといった吟味も必要であろう。結論としては、一定位置からの放流結果では資源構造の評価について定量的な解析は困難と考えられる。今後の調査でも放流位置を移動させながら放流することで、複数の放流条件を意図的に作

り出した方が、資源構造を推定する際に解析上の柔軟性を与えると考えられる。

年齢という再捕個体の属性を利用して、再捕群の年齢頻度分布の差異から地元河川資源の比率を計算することを試みた。シロザケ回帰群の年齢組成は河川間で一様ではなく、各河川における毎年の種苗性や放流時期の沿岸環境の影響などを反映して、河川ごとに特異的なパターンを呈している（北海道立水産孵化場、2004）。オホーツク海やえりも岬周辺など、地元河川資源のほかに複数の資源が混成している海域の漁獲物の年齢組成は、多数の河川の異なる組成の混合分布となっている。本稿で用いたデータでも、各放流群の地元河川で再捕された群と他地区で再捕された群とでは年齢組成に大幅な違いがみられた（Fig. 6）。十分に再捕数が多ければ、両群の組成はそれぞれ抽出誤差による偏りが小さくなることから、両群の標本分布をそのまま両群の母分布に等しいと仮定して解析した。両群の再捕数が少ない、両群間の年齢組成に明瞭な差がないといった状況で推定できる枠組みではないので注意を要する。今後は、両群の組成にどの程度違いがあれば、また、どの程度の再捕数が確保できれば抽出誤差を無視でき本解析に頑健な推定値を与えることができるのか、モンテカルロシミュレーションなどによって事前に精度評価をしておく必要がある。枝幸2004放流群に対しては、2種類の構造の異なる計算方法によって地元河川資源の比率を推定していることになる。推定値は沖網放流群、陸網放流群のいずれの場合も、二種類の方法で同程度に推定されたことは両方法の頑健性を示唆しており、興味深い。

いずれの推定結果も標識放流群に対して推定された値であるので、この値をもって各海域各資源の代表的な資源特性値として捉えることはできない。年や時期、あるいは対象とする定置網の違いや海況により、推定結果はその都度変化する。また、推定は設定した仮定が概ね妥当と判断される場合にのみ適用可能であり、汎用性は必ずしも広くない。とくに近年増加傾向にある海中飼育放流に由来する資源が多い場合には、河川生産されたものと母川回帰能力自体に差がある可能性も示唆されるため、本稿で示した解析では手続き上大きな誤差要因となる。資源管理や漁業管理に用いる資源特性値は、評価対象に対する普遍的な数値であることが望ましい。したがって、同様の試験調査、解析を複数回実施するほか、稚魚の標識放流など別試験や、推定値を漁獲統計や河川捕獲統計を用いて調査時期以

外の対象に引き延ばす解析，漁獲および捕獲の統計数値のみの解析などを併用していくことで，それぞれから得られた情報を総合的に評価し判断していく必要がある。

要 約

1. さけ定置網で漁獲されたシロザケ（アキサケ）の標識放流データに基づいて，北海道におけるサケ資源の管理施策に必要とされる数値情報の簡便な算出方法を開発した。2003～2004年にオホーツク海の3カ所において実施された標識放流試験のデータに適用し，推定結果を考察した。
2. 放流位置付近の漁場における再捕尾数の経時データから，漁場における漁獲死亡係数および漁場から移動分散する一日あたりの確率を推定する方法を示した。河川における再捕尾数の経時データから，漁場に達した群が地元の河川において捕獲されるまでに要する時間の期待値を算出する方法を示した。
3. 放流群のうち，地元河川に由来する資源と他海域河川に由来する資源との比率を推定する方法を示した。放流位置を一定間隔でずらしながら放流することで，放流位置による推定値の偏りを考慮したモデルを活用できることを示した。河川で再捕された群と他海域で再捕された群の年齢組成の傾向差を利用して，放流群全体の比率を推定する方法を示した。

謝 辞

本稿の解析に用いた標識放流データは，北海道立水産孵化場，水産技術普及指導所，各管轄支庁の多数の職員による調査で得られたものである。放流作業は枝幸漁業協同組合および常呂漁業協同組合ならびに両定置部会の全面的な協力のもと実施された。再捕にあたっては，道内外の漁業協同組合およびサケマス増殖事業関連団体の職員，水産加工場，一般の遊漁者など，関係する多数の方々から再捕報告をいただいた。貴重な調査データを蓄積することに積極的に参加いただくことで北海道のサケマス資源管理に多大な貢献をされ

たすべての方々に敬意を表します。

文 献

- 平野義見 (1953). 過去のサケ属魚類標識放流試験と主にその結果から見た北太平洋北西海域に於ける回遊経路 - . 日本水産学会誌, 18, 544 - 577.
- 北海道(1986 - 1996). 秋さけ資源利用配分適正化事業報告書.
- 北海道立水産孵化場(2004). 事業成績書, 66 - 72.
- 市原忠義・米盛 保・浅井久男(1975). 南千島，エトロフ島沖合における南下回遊期のシロザケ（アキサケ）の遊泳行動. 遠洋水産研究所研究報告, 13, 63 - 77.
- 帰山雅秀 (2002). 孵化場生まれと野生のサケ. 「最新のサケ学」(帰山雅秀編) pp96 - 111. 成山堂書店, 東京.
- 北田修一 (2001). 標識放流による生残過程の推測. 「栽培漁業と統計モデル分析」(北田修一編) , pp103 - 170. 共立出版, 東京.
- 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. 「サケマスの生態と進化」(前川光司編) , pp.213 - 241. 文一総合出版, 東京.
- 嶋村哲哉・余座和征・長谷川英一・古田昌弘・添田秀男(1987). 北海道網走沖における早期来遊シロザケの遊泳行動. 日本水産学会誌, 53(3), 411 - 415.
- Ogura M and Ishida Y (1995). Homing behavior and vertical movements of four species of Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) in the central Bering Sea. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. 52, 532 - 540.
- さけ・ます資源管理センター (2005). さけ・ます業務管理センター業務報告書, 87 - 89.
- 佐藤六治(1936). 昭和11年度北洋産鮭鱒属魚類の標識放流試験に於て判明せる新回遊経路に就て (第二報). 日本水産学会誌, 6, 251 - 261.
- 上野康弘(1993). 本州太平洋岸域のシロザケ親魚の生態と資源に関する研究. 遠洋水産研究所研究報告, 30, 79 - 206.