

## さけ・ます類の耳石標識：技術と応用

うらわ しげひこ  
浦和 茂彦（調査研究課遺伝資源研究室長）

### はじめに

海洋を広く回遊するさけ・ます類の資源や生態調査を行う上で、小さな稚魚をいかに傷つけずに大量標識するかが懸案事項であった。サケでは遺伝的識別法により高い精度で系群を推定できるが（浦和 2000 を参照）、魚の起源を個体別には判別できない。北米では長さ0.5-1.0 mmほどの磁気性ステンレススチール標識を稚魚の吻部に打ち込む coded wire tag (CWT) 法が広く用いられているが（Johnson 1990）、個体毎に手作業で扱う必要があり、標識によって神経組織にダメージを与え生残や行動に影響することも懸念される（Habicht et al. 1998; Thedinga et al. 2000）。日本では、食品としての安全性の面からCWTを使用することは自制され、もっぱら鰭の一部を切除する標識方法が長い間用いられてきた。しかし、鰭切標識は、手作業のため大量に標識するのが困難で、識別できるパターンも極端に少なく、精度にも問題がある。

1980年代後半より北米において耳石温度標識法が開発され、数千万尾単位での標識が可能となった。また、より簡便なドライ標識法などの技術も新たに開発され、ロシアや日本も大量耳石標識を開始した。2000年には、北太平洋各国の孵化場より総放流数の20%以上に相当する約10億尾のさけ・ます類が耳石標識されて放流された（図1）。これらの大部分はサケとカラフトマス稚魚で占められている（図2）。

この大量標識技術により、海洋や沿岸におけるさけ・ます類の資源と生態に関する研究が飛躍的に向上することが期待されるが、一方では標識放流群の増加により標識パターンの重複が起きるようになった。耳石標識技術を有効に利用するため、国や地域間における耳石標識放流の調整とデータベースの構築が急務となった。

これらの状況を受けて、北太平洋溯河性魚類委員会 (NPAFC) は、1998年に耳石標識の調整などを目的とした作業グループを発足させると共に、本年3月にさけ・ます類の耳石標識に関するワークショップをシアトルで開催した。ここでは、耳石標識に関する最新の技術と応用例を紹介し、耳石標識を利用した研究の将来構想についてふれる。

### 耳石標識技術

飼育水温、摂餌率や光周期など生息環境を変

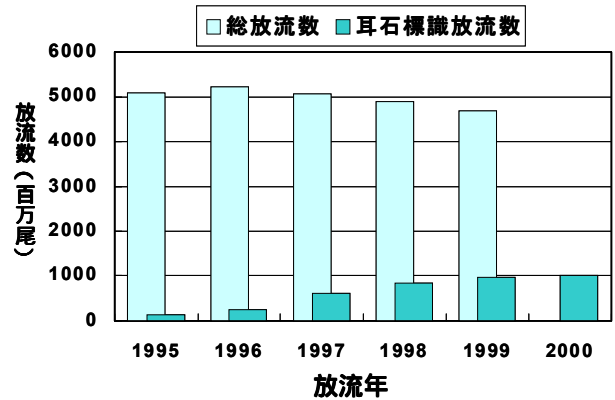


図1. 北太平洋地域におけるさけ・ます類の総放流数と耳石標識魚の放流数の年変化。2000年の総放流数は不明だが、耳石標識魚は毎年放流数が増加し、最近では総放流数の約20%を占める。

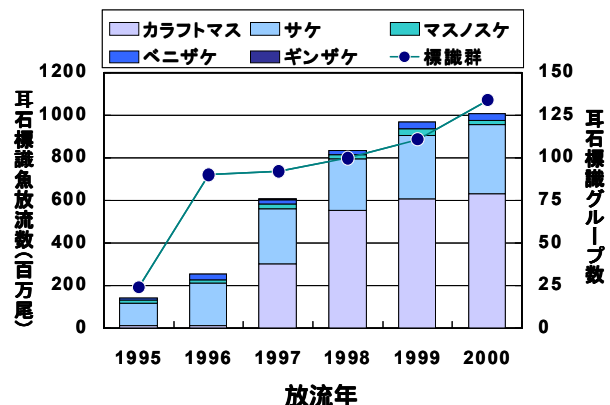


図2. 北太平洋地域における魚種別の耳石標識魚放流数と耳石標識グループ数の年変化。大部分がカラフトマスとサケで占められるが、放流数と共に標識グループ数も増加し、同一魚種で標識パターンの重複が起きるようになった。

えることによって、魚類の耳石中に含まれるカルシウムとタンパク質層の厚さが変化し、特定のマークが付くことが知られている。さらにアリザリン・コンプレクソンやストロンチウムなど化学物質で耳石を染色して標識する方法なども開発されている。これらの耳石につけられたマークは魚の一生を通じて残り、孵化場から放流される特定集団の追跡を可能にする。

**温度標識** 魚類の耳石の成長と密度は水温変化により強い影響を受けることが明らかにされてから（Campana and Neilson 1985; Neilson and Geen 1985）、多くの研究者がこの現象をさけ・ます類の耳石標識へ応用することを検討し、耳

石温度標識を実用化することに成功した (Brothers 1990; Volk et al. 1990, 1999; Munk et al. 1993). 特に孵化場で飼育されるさけ・ます類は、耳石に標識可能な発眼卵から仔魚期まで孵化槽などで大量に飼育されているので、温度標識を行うのに向いている。

耳石温度標識の基本は、短期間に水温を変化させることにより耳石の成長を変えて識別可能な標識パターンを作ることであり、水温を下げれば暗いリングが逆に水温を上昇させれば明るいリングが耳石に形成される (図3). 2時間から数日間のサイクルで飼育水を冷却するか加熱して水温を2-5℃変化させることにより、バーコード状のさまざまなパターンを耳石に記録することができる。水温変化が大きいほど明確なリングが形成される。また、水温変化の間隔が短いほど細かいリングが作られるが、体内リズムの影響なのか12時間あるいはその倍数の間隔にすると、より明確なバンドが形成されるらしい。

標識時に水温変化を与えることによる生残などへの影響はないとされる。実際に、当センターの事業所で耳石標識を行っても、卵の孵化率や放流までの生残率に無標識の対照魚と有意な差はみられない。

**ドライ標識** さけ・ます類の卵を水中から取り出してやると、生理的ストレスにより温度を低下させた時と同様のリングが耳石に形成されることをロシア極東マガダン地区の研究者が見出した (Rogatnykh et al. 2001). 彼らは日本製の増収型アトキンス式孵化槽を使い、水の供給をコントロールすることにより発眼卵の耳石に標識することを試みた (図4). 1996年における初期の試験ではあまり明確な標識が得られなかったが、その後、発泡スチロールで孵化槽を覆い内部の温度変化を極力なくし (2.9-3.1℃の間)、適度な湿度を保つなどの改良を重ねた結果、温度標識と変わらない高品質なリング標識を耳石に記録できるようになった (図5).

水の供給調整による標識作業は、通常は24時間間隔で行うが、12時間でもリングを形成することは可能という。孵化槽内の湿度を適度に保てば、水抜き作業を繰り返しても、卵の質やその後の生残率に影響を与えない (Rogatnykh et al. 2001). ドライ標識は、孵化した仔魚には使えないが、特殊な装置は必要ないので、マガダン地区だけでなく、カムチャツカ半島やサハリンの孵化場でも簡便な耳石標識法として利用されるようになった (Chebanov and Kudzina 2001). しかし、他国では技術的問題から実用化されていない。

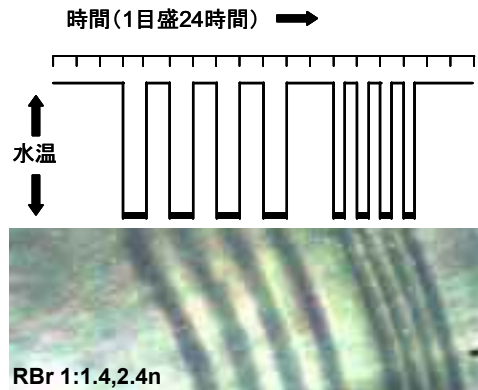


図3. サケの耳石に施された温度標識。発眼卵や仔魚期に水温を2-5℃低下させると、耳石に黒いリングが形成される。この耳石には、最初24時間毎に水温を4℃変化させて4本の太いリングを作り、48時間の間隔を置いて、今度は12時間毎に水温を変化させて4本の細かいリングを形成させた。水温変化の間隔を変えることにより、バーコード状のさまざまなパターンを標識できる。

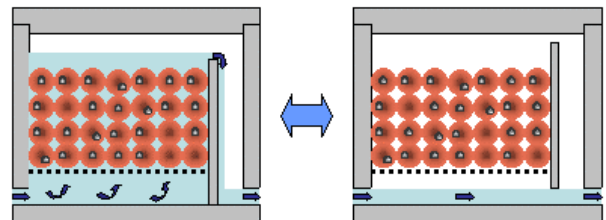


図4. 耳石ドライ標識法の概略。発泡スチロールで断熱した孵化槽に下網を敷き、発眼卵を收容する。通常は底から上に水が流れているが (左図)、仕切板を上げて飼育水を抜き卵が露出するようにする (右図)。これを一定間隔で繰り返すことにより、耳石に温度標識と同じリングが形成される。卵を空気中に露出させている時は、孵化槽に蓋をして湿度と温度を一定に保つ必要がある。

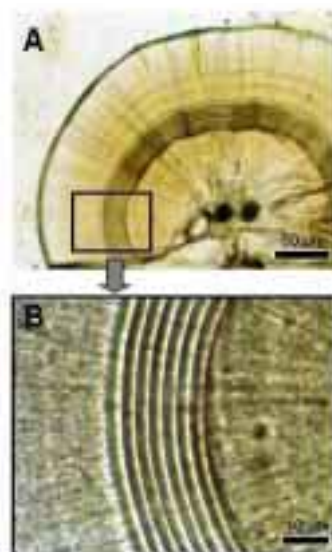


図5. ロシア Yana Hatchery で発眼卵期にドライ法により標識されたギンザケ仔魚の耳石。標本提供は Elina Akinicheva 女史 (Magadan NIRO)。

**ストロンチウム標識** 温度標識やドライ法では少なくとも数週間は魚を飼育する必要があり、野生魚や人工産卵床由来の魚のマーキングには向いていない。そこでストロンチウムを用いた標識法が開発された (Schroder et al. 2001)。

初期の段階では濃度1 ppm の塩化ストロンチウム液に魚を漬ける方法が取られたが (Behrens Yamada and Mulligan 1982, 1987), 耳石にマークがつくまで1週間程度を要した。そこで, Schroder et al. (1995) は濃度を1,200-9,000 ppm 程度まで高めた塩化ストロンチウム液に稚魚を24時間浸漬することで短期間に標識ができるように改良した (図6)。

鰓などより吸収され耳石に沈着したストロンチウムは魚の一生を通して残る。ストロンチウムは淡水よりも海水に多く含まれることから, 耳石や鱗を微量分析することにより降海型と残留型の識別や降海時期を特定できることが知られているが (Bagenal et al. 1973; Kalish 1990), 標識に用いられるストロンチウム濃度は天然水中よりも遥かに高い。ストロンチウムの濃度や浸漬時間を変えることによって温度標識と同様にバーコード状の標識を付けることもできる。

ストロンチウム標識を確認するには反射電子を検出する特殊な装置を備えた走査電子顕微鏡が必要なことから, 温度標識などと組み合わせた多重標識がより実用的であろう。これによって使える標識パターンを増加させることもできる。安全性の確認は十分されていないようにも思われるが, 昨年春にはストロンチウム標識されたベニザケ稚魚がアラスカの湖に放流された。

**蛍光標識** 道立水産孵化場では, 蛍光物質のアリザリン・コンプレクソン (ALC) を用いてサケの発眼期に耳石標識を行った (工藤 2001)。ボックス型孵化槽を用い, 水温を一定にして循環させた濃度200 mg/m<sup>3</sup>のALC液中に発眼卵を24時間収容することによって, 耳石に蛍光リングを付けた。一定間隔をおいて2重のリング標識を付けることも可能であるが (図7), 標識パターン数は限定される。

ALC標識の確認には蛍光顕微鏡が必要であるが, 耳石を研磨しなくても確認できるので, 検出は比較的容易である。1995年より5年間に渡り合計約1,150万尾のALC標識サケ稚魚が暑寒別川に放流された。放流河川付近の沿岸より多数の標識稚魚を再捕し (工藤 2001), 幼魚1尾がオホーツク海南部でも発見された (上野ら 1998)。さらに暑寒別川に回帰したサケ親魚の耳石にもALC標識を確認し (図7), 蛍光標識は4年以上残ることが確認されている。

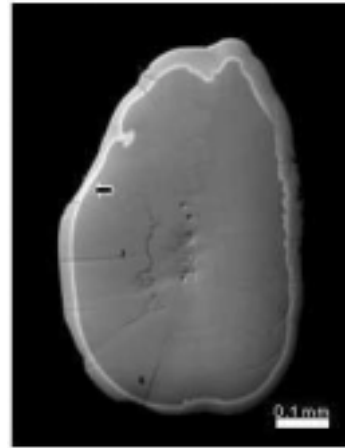


図6. ストロンチウム (矢印) により標識されたベニザケ仔魚の耳石。温度標識を施し (中心部), 孵化後に塩化ストロンチウム液 (濃度3,000 ppm) に48時間浸漬して2重標識とした。低真空走査電子顕微鏡にロビンソン型反射電子検出器を装着して観察撮影。標本提供はPeter Hagen 氏 (ADFG)。

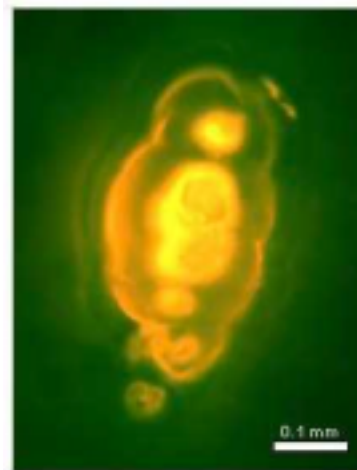


図7. サケ回帰親魚の耳石より検出されたアリザリン・コンプレキソン (ALC) 標識。発眼卵期に2重のALCリング標識を施したサケ稚魚を1996年4月に暑寒別川に放流したところ, 4年半後に母川回帰した親魚よりこの蛍光標識がみつかった。蛍光顕微鏡 (波長515 nm) で観察撮影。標本提供は工藤 智氏 (道立水産孵化場)。

**耳石標識の調整とデータベース化** 耳石に標識ができる時期は, 卵が発眼してからの数週間に限られるため, 使える標識パターンの数も限度がある (Hagen 1999)。標識パターンが複雑になるほど標識コストと起源を判別する労力が増加するので, シンプルな標識パターンを使う傾向にあり, 重複が起きやすい。最初に耳石標識魚が放流された北米西海岸では, 標識の主な目的が沿岸に産卵回帰したさけ・ます類の漁業資源管理であるため, 遠く離れた地域間における標識の重複についてはあまり配慮されなかった。しかし, ロシアと日本を加えた北太平洋沿岸各

Otolith Mark Basic Information		Additional Information	
ID #	J98-01	ID #	J98-01
Mark Type	TM	Date Last Released	4/18/99
Year Brood	1998	State/ Province	Hokkaido
Year Released	1999	Region Released	Japan Sea coast
Species	CHUM	Agency	NASREC
Country	JAPAN	Facility	Chitose Hatchery
Stock	Chitose River	Release Site	Chitose River
RBr Code	1:1.4	Stage	early fed fry
Hatch Code	4H	Weight (g)	1.04
Prehatch Graphic		Length (mm)	52.8
Posthatch Graphic		Total Released	1,227,500
Digital Photo Image	yes	OM ID	chitose98chum-e
Additional Information	yes	Temp. Shift Direct.	down
Contact Person	M. Kawana	Comments	excellent mark

図8. インターネット上で検索することにより得られる耳石標識放流群の基本的情報と追加情報。ここでは千歳事業所より1999年4月に放流されたサケ稚魚の耳石標識情報を例に示した。

国が積極的に耳石標識を行うようになり、沖合研究への利用が注目されるようになると、標識パターンの重複がにわかに問題となってきた。

NPAFC科学調査統計小委員会は、1998年に標識に関する作業グループを発足させ、耳石標識の調整方法とデータベースの構築を検討してきた。まず最初に国別コードを定めることが検討された (Munk 1999)。日本とロシアの間では地域別コードを定めることで合意したものの(日本はベースマークとして2本のリングを用いる)、アジアと北米間では標識パターンが限定されるため調整は困難であった。そこで、次のような方法で標識の重複を避けることとなった (Urawa et al. 2001)。

- (1) 国あるいは地域毎に耳石標識コーディネーターを決める。この任務はとりえず標識作業グループのメンバーが努める。
- (2) 各国はその年の年級群に用いる標識計画を7月下旬までに提案する。
- (3) 提出された計画に基づき、国間で標識の重複がないかコーディネーターが検討し、重複した標識パターンがある場合は調整する。
- (4) 標識作業中に事故などにより予定のマークが出来なかった場合は、すぐに他のコーディネーターへ連絡を行い、重複を最小限に留める。
- (5) 各国は前年級群に対して行った耳石標識に関する情報を年次会議(通常10月下旬)までに提出する。

各国の耳石標識放流に関する情報はデータベ

表1. 耳石標識パターンの表記例。

RBr code	Hatch code	グラフィック イメージ	
		孵化前	孵化後
1:1.6	6H		
1:1.2,2.3	2,3H		
1:1.2,2.3n	2,3nH		
2:1.2,2.3,3.3	H2,3,3		
1:1.2,2.3+3.3	2,3H3		

**RBr Code 1:1.6**

Region:Band.rings

**Region:** 耳石における標識位置  
1, 孵化前; 2, 孵化後

**Band:** 標識リングのグループ

**rings:** それぞれのバンドにおけるリング数。12時間単位の狭いリングの場合はnを添付する。

**Hatch Code 6H**

RBrと類似するが、"H"が孵化を表し、標識位置が孵化の前か後かを示す。

図9. RBrとHatch Codeによる耳石標識パターンの表記方法。

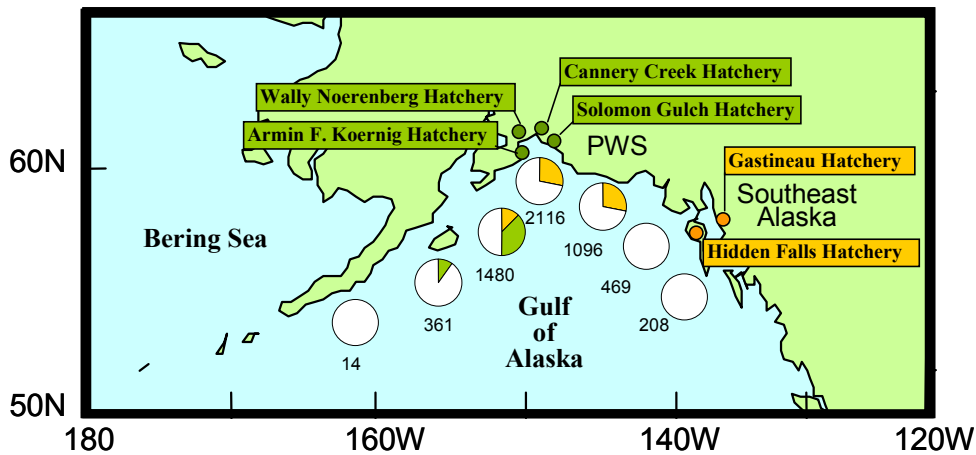


図10. 1996-98年夏にアラスカ湾大陸棚海域でトロール網により採集されたサケ幼魚に占める耳石標識魚の割合。プリンス・ウィリアムズ・サウンド (PWS) の4カ所の孵化場より放流された標識魚は緑色で、南東アラスカの2カ所の孵化場より放流された標識魚は橙色で示した。数字は採集尾数を示す。耳石標識魚の総放流数はPWSで約2億尾、南東アラスカで約4億尾。Carlson et al. (2000) より改図。

ース化されて、インターネット上で公開される予定である(図8)。これら情報には、魚種、年級群、放流日、放流場所、標識パターン、放流魚のサイズ、放流数などが含まれる。標識パターンは RBr code (Munk and Geiger 1998), Hatch code (Hagen et al. 2000) あるいはグラフィックイメージで表示され(表1, 図9), デジタル化した画像データも見る事ができる。さらに詳細な情報が必要な場合は、標識責任者のメールアドレスがハイパーリンクされているので連絡を取ることも可能である。

### 耳石標識の利用

以上のように最近急激に発展した大量耳石標識技術が、どのようなことに応用されているのか、あるいはどのような利用の可能性があるのか注目される。前述の耳石標識ワークショップでは様々な利用例が紹介された。

**分布と移動** 耳石標識の利用としてまず考えられるのは、特定の放流群毎に回遊経路、成長、食性などを追跡調査できることである。Ignell et al. (1997) が東部ベーリング海におけるスケトウダラのトロール漁で混獲されたサケより耳石標識を回収して以来、海洋でのさけ・ます類の分布や成長などの解明に耳石標識が大きな役割を果たすようになった。

特に、耳石標識魚が大量に放流されているアラスカ湾岸から沖合にかけては、多数の標識魚が再捕されている。例えば、南東アラスカのアイシーとチャットハム海峡では、6月から7月にかけて外洋に向けて通過するサケ稚魚の半数以上に2カ所の孵化場 (Gastineau と Hidden Falls Hatchery) 起源の耳石標識が確認された (Orsi et

al. 2000, 2001)。これらの5月に放流された標識稚魚の1日当たりの平均移動距離は0.9-3.6 kmであった。また、標識サケ稚魚は岸よりも海峡部で移動が遅くて相対成長速度が高く、水温と餌となる動物プランクトン量が稚魚の生息場所や移動に関係すると推定された。

アラスカ湾沿岸部に沿った大陸棚海域では、1996-1998年の夏季に国立アラスカ水産研究所により幼魚の分布調査が行われた (Farley and Munk 1997; Carlson et al. 2000)。それによると、南東アラスカ(前述の2カ所の孵化場)起源の耳石標識魚は、8月には南東アラスカ沿岸を去り、中部アラスカの大陸棚付近にまで移動していることがわかった(図10)。さらに、PWS起源のサケ幼魚は、南東アラスカ群よりも先行して西へ移動していた。

ほぼ同時的に、アラスカ湾沖合の2定線(西経165度と145度の南北ライン)で、北海道大学の調査船おしよる丸によりサケの分布調査が行われた (Urawa et al. 2000)。耳石標識魚の混入割合は、西部海域(165度)で1.1%と低いのが、中部海域(145度)では14.5%で、PWS 2カ所、南東アラスカ2カ所とカナダのバンクーバー島1カ所の孵化場から放流された標識魚が見つかった(図11)。アラスカ湾沿岸由来のサケはそれほど沖合まで回遊しないことを示唆している。これら標識魚のうち、その年に産卵する成魚は1尾のみで、他はすべて未成魚であった。これは成魚が産卵のためアラスカ沿岸海域へすでに移動したためである。遺伝的系群識別結果と耳石標識魚の割合を年齢別に比較したところ、アラスカ湾に分布する南東アラスカ産サケは大部分が孵化場由来と推定された。

**母川回帰精度** 沿岸に回遊した魚の耳石を調

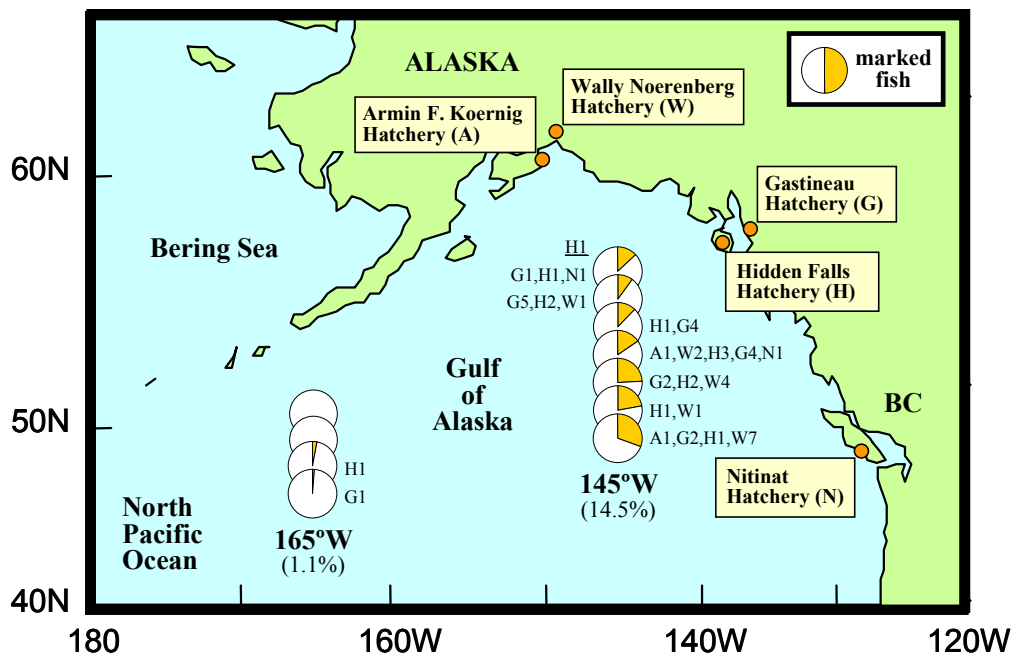


図11. 1998年夏にアラスカ湾で調査流網により漁獲されたサケ (n=527) に占める耳石標識魚の割合。見つかった耳石標識魚は図に示したアラスカ4カ所とカナダ1カ所の孵化場より放流された。標識魚の割合はアラスカ湾西部海域（西経165度）では非常に低い、中部海域（西経145度）では平均14.5%で南ほど高い。数字は見つかった標識魚数を孵化場別に示す。標識魚はアンダーラインで示した1個体を除きすべて未成魚であった。この時期、中部と南東アラスカ産のサケ成魚は産卵のため沿岸へ移動しているが、未成魚の沖合分布もアラスカ湾に限定されることを示唆する。Urawa et al. (2000) より改図。

べていると、予期しない標識パターンに遭遇することがある。南東アラスカの沿岸や河川に回帰したカラフトマス成魚の耳石を調べたところ、670尾中13尾（2%）に950 km 以上離れたPWS地区の孵化場起源と思われる標識パターンが確認された（Agler et al. 2001）。これらは標識の重複あるいは自然についたマークの可能性もあることから、放流時の基準標本を取り寄せて標識リングの位置や耳石に含まれる微量物質の比較を行ったが、やはりPWSからの迷入魚と判断された。サケ属魚類の中でカラフトマスは母川回帰精度が最も低いとされているが、これほど遠距離の迷入が確認されたのは初めてだった。さけ・ます類の回帰精度を知ることが、遺伝資源保全の観点からも興味深い。

**資源管理** アラスカでは、まず第一に野生資源、第二に孵化場産資源を持続的に維持するために、さけ・ます類の資源管理を行うように州法で定められている。持続的資源管理のために漁業規制を行うには、漁獲される魚の系群識別を迅速に行う必要があり、アラスカではこうした資源管理のために耳石標識が有効利用されている（Hagen et al. 1995）。

ジュノーにあるアラスカ州の耳石研究室では、年間約30,000個の耳石を分析している（Scott et al. 2001）。研究室に送られた耳石標識の検出作業は

即日行われ、分析結果は解禁か禁漁かの判断材料として利用される。耳石は必ず2人の検査者によって分析され、両者の見解が一致しない場合は第三者によって判断される。十分に訓練を受けた技術者の1時間当たり平均標本処理数は、頭部から耳石の取り出しが75個体、耳石をスライドグラスに貼り付けるのが35個体、耳石を研磨して標識を判別するのが60個体である。こうした迅速な耳石分析システムにより、試験漁業や商業漁業で頭部標本が採集されてから24時間以内に孵化場魚の混入率が資源管理者に報告される（Hagen et al. 1995）。

アラスカ中部のPWS地区では1995年よりカラフトマスに対する耳石標識が始まり、最近では毎年約5億尾の標識稚魚が4カ所の孵化場より放流されている。孵化場魚の貢献度を評価するのに、以前はCWTが使われていたが、混入率の高い耳石標識を使うことにより少ないサンプル数で高精度かつ迅速に推定できるようになった（Joyce and Evans 2001）。耳石標識で得られたデータは漁業管理に利用されるほか、孵化場近辺河川の野生資源への影響評価にも利用されている。例えば、1997年と1998年に河川へ回帰したカラフトマス親魚は孵化場産が2,600万尾であるのに対し、野生産は230-530万尾に過ぎない（Sharp et al. 2000）。

カナダのブリティッシュ・コロンビア (BC)

州では、1990年前後より孵化場産さけ・ます類に耳石標識がされるようになった。初期には、孵化場魚と野生魚の相互関係を調べる研究目的で耳石標識が使われた。その結果、両者には分布、豊度、成長速度、移動速度や摂餌率に差がみられ、特に孵化場魚は生残率が高く、野生魚に対して影響を与えていることが示唆された(Hargreaves et al. 2001)。最近では、耳石標識が資源評価や漁業管理の道具としてより重要になっている。具体的な応用として、地域漁獲に対する各孵化場魚の貢献度評価、他の標識方法における偏りの可能性の評価、孵化場産と野生産魚の両方が混在した産卵群における孵化場魚の貢献度評価、主な孵化場から放流されるさけ・ます類の迷い込み率 (straying rate) の決定、主要系群に対する搾取率 (exploitation rate) の推定、様々な漁業規制の有効性評価などが含まれる(Hargreaves et al. 2001)。

ロシア北オホーツク沿岸のマガダン地区には4カ所の孵化場があり、1994年より耳石標識が始まった。この地区では孵化場産魚に加えて野生魚も多いので、放流効果の判定に耳石標識が使われている。標識魚が母川回帰し始めたのは最近であるが、Yana Hatchery より放流された1994年級サケ稚魚の河川回帰率は0.3%であること、他河川からの移殖卵よりも地場卵を用いて放流した方が回帰率の高いこと、河川回帰したサケ親魚の中で孵化場魚の占める割合は4-5%に過ぎないことなどが明らかにされつつある(Akinicheva and Rogatnykh 2001)。

前述のように、道立水産孵化場では1995年より5年間に渡り、北海道増毛沿岸においてALC標識放流したサケ稚魚の追跡調査を実施し、小型トロール網により標識稚魚約3,000尾を再捕した(工藤 2001)。4月上旬から中旬にかけて体重1g前後(体長50 mm)で増毛孵化場より放流された標識魚は、およそ50日後の5月中下旬には平均体重が3 g(体長70 mm)まで成長し離岸することが確認された。体サイズの異なる標識放流群を比較すると、沿岸での成長は大型群が優位であるものの、今のところ親魚の母川回帰率には有意差がみられないという(工藤 2001)。

日本の耳石標識計画

日本では、耳石温度標識されたサケ稚魚が1999年春にはじめて放流された。その後、標識放流数は毎年増加し、2004年には1億尾を超える予定である(図12)。標識魚の大部分はサケであるが、一部にカラフトマスとサクラマスも含まれる。サケに関しては、北海道5カ所の地域集団と岩手県の太平洋集団を代表する河川の放流魚

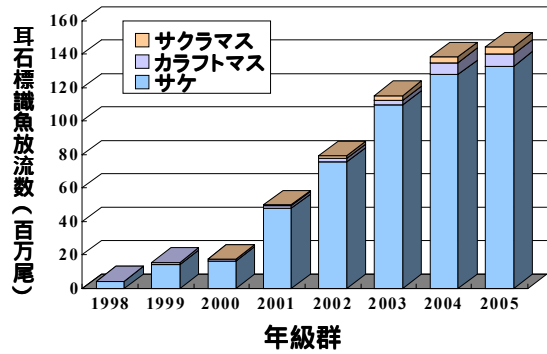


図12. さけ・ます資源管理センターによる耳石標識魚放流計画。2003年級群からは1億尾を超える耳石標識魚(サケ、カラフトマス、サクラマス)が北海道と本州の孵化場より放流される予定である。

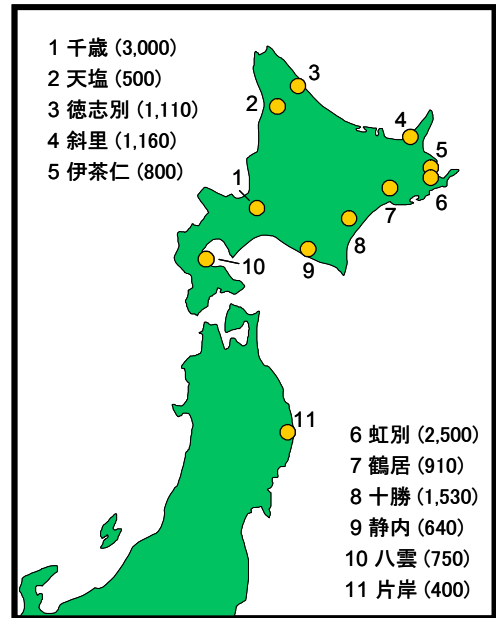


図13. さけ・ます資源管理センターによるサケの耳石標識実施予定場所。括弧内の数字は最終的な標識放流予定数(万尾)。

表2. 日本産サケ耳石標識魚の総放流数と調査の計画。越冬期とベーリング海調査では放流の翌年より標識魚が調査対象となる。は未定。

年	耳石標識魚		春季沿岸幼魚調査	秋季オホーツク海幼魚調査	越冬期調査	夏季ベーリング海調査
	年級	総放流数				
1999	1998	4,400,000	○			○
2000	1999	14,000,000	○	○		○
2001	2000	18,700,000	○	○		○
2002	2001	47,700,000	○	○		○
2003	2002	75,900,000	○	○		○
2004	2003	109,700,000	○	○	△	○
2005	2004	128,000,000	○	○	△	○
2006	2005	133,000,000	△	△	△	△

に対して、それぞれ異なるパターンの耳石標識を行う計画である(図13)。

耳石標識の目的は、さけ・ます類の回遊経路、成長や生残など系群特性を地域集団毎に明らかにし、これらの基本情報を資源の効率的な増殖や管理に役立てることである。調査海域は、各地の沿岸から幼魚の重要な生息場と考えられるオホーツク海、さらには夏季の主要な生育海域であるベーリング海にまで広範囲に及ぶので(表2)、これらの調査研究は水産総合研究センターや道県などとも協力しながら進める必要がある。

また、沿岸や河川に回帰した成魚の耳石を調べることによって、放流群毎の混入率、産卵回遊経路や母川回帰精度などを知ることができる。耳石標識魚の放流数が増加すれば、きめ細かな沿岸漁業管理への利用も可能になるであろう。

## 謝 辞

アラスカ州耳石研究室の Peter Hagen 氏、マガダン NIRO の Elina Akinicheva 女史と道立水産孵化場の工藤 智氏より各種の耳石標識標本を提供いただいた。また、マガダン NIRO の Alexander Rogatnykh 氏、アラスカ州耳石研究室の Kris Munk 女史、国立アラスカ水産研究所の Bill Heard 氏とワシントン州耳石研究室の Eric Volk 氏からは耳石標識などに関する貴重な情報を得た。記して感謝申し上げる。

## 引用文献

- Agler, B. A., P. T. Hagen, J. R. Scott, and J. W. Cashen. 2001. Wandering pink salmon: 1999 and 2000 thermal mark recoveries in southeast Alaska. NPAFC Tech. Rep., 3: 47-49.
- Akinicheva, E., and A. Rogatnykh. 2001. Use of otolith marking for evaluation of hatchery output efficiency. NPAFC Tech. Rep., 3: 39-41.
- Bagenal, T. B., F. J. H. MacKereth, and J. Heron. 1973. The distribution between brown trout and sea trout by the strontium content of their scales. J. Fish. Biol., 5: 555-557.
- Behrens Yamada, S., and T. J. Mulligan. 1982. Strontium marking of hatchery reared coho salmon *Oncorhynchus kisutch* Walbaum, identification of adults. J. Fish. Biol., 20: 5-9.
- Behrens Yamada, S., and T. J. Mulligan. 1987. Marking non-feeding salmonid fry with dissolved strontium. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44: 1502-1506.
- Brothers, E. B. 1990. Otolith Marking. Am. Fish. Soc. Symp., 7: 183-202.
- Campana, S. E., and J. D. Neilson. 1985. Microstructure of fish otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42: 1014-1032.
- Carlson, H. R., E. V. Farley, Jr., and K. W. Myers. 2000. The use of thermal otolith marks to determine stock-specific ocean distribution and migration patterns of Alaskan pink and chum salmon in the North Pacific Ocean 1996-1999. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 2: 291-300.
- Chebanov, N. A., and M. A. Kudzina. 2001. Otolith marking at Kamchatka salmon hatcheries. NPAFC Tech. Rep., 3: 42-44.
- Farley, E. V. Jr., and K. Munk. 1997. Incidence of thermally marked pink and chum salmon in the coastal waters of the Gulf of Alaska. Alaska Fish. Res. Bull., 4: 181-187.
- Habicht, C., S. Sharr, D. Evans, and J. Seeb. 1998. Coded wire tag placement affects homing ability of pink salmon. Trans. Am. Fish. Soc., 127: 652-657.
- Hagen, P. 1999. A modeling approach to address the underlying structure and constraints of thermal mark codes and code notation. (NPAFC Doc. 395) 12 p. Alaska Department of Fish and Game, Juneau, Alaska 99801-5526.
- Hagen, P., H.J. Geiger, E. Volk, and J. Grimm. 2000. Thermal mark patterns applied to salmon from Alaska, Washington and Oregon for brood year 1999 and some proposed marks for brood year 2000. (NPAFC Doc. 463) 8 p. Alaska Department of Fish and Game, Juneau, Alaska 99801-5526, USA.
- Hagen, P., K. Munk, B. Van Alen, and B. White. 1995. Thermal mark technology for inseason fisheries management: a case study. Alaska Fish. Res. Bull., 2: 143-155.
- Hargreaves, B., W. Luedke, and J. Till. 2001. Application of otolith thermal mass marking in British Columbia, Canada. NPAFC Tech. Rep., 3: 19-22.
- Ignell, S. E., C. M. Guthrie III, J. H. Helle, and K. Munk. 1997. Incidence of thermally-marked chum salmon in the 1994-1996 Bering Sea pollock B-season trawl fishery. (NPAFC Doc. 246) 16 p. Auke Bay Laboratory, Alaska Fisheries Science Center, NMFS, Juneau, Alaska 99801-8626, USA.
- Johnson, J. K. 1990. Regional overview of coded wire tagging of anadromous salmon steelhead in Northwest America. Am. Fish. Soc. Symp., 7: 782-816.



- Joyce, T. L., and D. G. Evans. 2001. Using thermally-marked otoliths to aid the management of Prince William Sound pink salmon. NPAFC Tech. Rep., 3: 35-36.
- Kalish, J. M. 1990. Use of otolith microchemistry to distinguish the progeny of sympatric anadromous and non-anadromous salmonids. Fish. Bull., 88: 657-666.
- 工藤 智. 2001. ALC標識放流サケの幼魚期の成長とその母川回帰状況. 魚と水, 37: 31-40.
- Munk, K. M. 1999. Discrimination and multi-country thermal mark codes by augmentation of coding schemes or marking mechanisms. (NPAFC Doc. 396) 14 p. Alaska Department of Fish and Game, CWT and Otolith Processing Laboratory, Box 25526, Juneau, AK 99802, USA.
- Munk, K. M., and H. J. Geiger. 1998. Thermal marking of otoliths: the "RBr" coding structure of thermal marks. (NPAFC Doc. 367) 19 p. Alaska Department of Fish and Game, CWT and Otolith Processing Laboratory, Box 25526, Juneau, AK 99802, USA.
- Munk, K., W. Smoker, D. Beard, and R. Mattson. 1993. A hatchery water-heating system and its application to 100% thermal marking of incubating salmon. Prog. Fish-Cult., 55: 284-288.
- Neilson, J. D., and G. H. Geen. 1985. Effects of feeding regimes and diel temperature cycles on otolith increment formation in juvenile chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha*. Fish. Bull., 82: 91-101.
- Orsi, J. A., D. G. Mortensen, D. L. Tersteeg, and R. Focht. 2001. Early marine growth and habitat utilization of two major southeastern Alaska chum salmon stocks, based on thermally marked otoliths recovered 1997-2000. NPAFC Tech. Rep., 3: 16-18.
- Orsi, J. A., M. V. Sturdevant, J. M. Murphy, D. G. Mortensen, and B. L. Wing. 2000. Seasonal habitat use and early marine ecology of juvenile Pacific salmon in southeastern Alaska. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 2: 111-122.
- Rogatnykh, A., E. Akinicheva, and B. Safronenkov. 2001. The dry method of otolith mass marking. NPAFC Tech. Rep., 3: 3-5.
- Schroder, S. L., C. M. Knudsen, and E. C. Volk. 1995. Marking salmon fry with strontium chloride solutions. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52: 1141-1149.
- Schroder, S. L., E. C. Volk, and P. Hagen. 2001. Marking salmonids with strontium chloride at various life history stages. NPAFC Tech. Rep., 3: 9-10.
- Scott, J. R., R. P. Josephson, P. T. Hagen, B. A. Agler, and J. W. Cashen. 2001. Alaska Department of Fish and Game Otolith Marking and Recovery Program. NPAFC Tech. Rep., 3: 45-46.
- Sharp, D., T. Joyce, J. Johnson, S. Moffitt, and M. Willette. 2000. Prince William Sound management area 1999 annual finfish management report. Alaska Department of Fish and Game, Regional Information Report No. 2A00-32, Anchorage.
- Thedinga, J. F., A. C. Wertheimer, R. A. Heintz, J. M. Maselko, and S. D. Rile. 2000. Effects of stock, coded-wire tagging, and transplant on straying of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in southeastern
- 上野康弘・永田光博・河村 博・鈴木研一・真山 紘・関 二郎・浦和茂彦・有吉智宏・中村紀章. 1998. 秋季にオホーツク海に分布するシロザケ幼魚の起源及びその回遊経路. サーマンレポートシリーズ, 46: 64-92.
- 浦和茂彦. 2000. 日本系サケの回遊経路と今後の研究課題. さけ・ます資源管理センターニュース, 5: 3-9.
- Urawa, S., P. Hagen, D. Meerburg, A. Rogatnykh, and E. Volk. 2001. Compiling and coordinating salmon otolith marks in the North Pacific. NPAFC Tech Rep., 3: 13-15.
- Urawa, S., M. Kawana, G. Anma, Y. Kamei, T. Shoji, M. Fukuwaka, K. Munk, K. W. Myers, and E. V. Farley, Jr. 2000. Geographical origin of high-seas chum salmon determined by genetic and thermal otolith markers. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 2: 283-290.
- Volk, E. C., S. L. Schroder, and K. L. Fresh. 1990. Inducement of unique otolith banding patterns as a practical means to mass-mark juvenile Pacific salmon. Am. Fish. Soc. Symp., 7: 203-215.
- Volk, E. C., S. L. Schroder, and J. J. Grimm. 1999. Otolith thermal marking. Fish. Res., 43: 205-219.