

回遊・渡り・帰巢（全 12 回）

第 4 回 魚類の回遊Ⅱ

浦野明央（北海道大学名誉教授）

前回の「魚類の回遊Ⅰ」では、日本で、あるいは日本近海で見られる硬骨魚の回遊について、今、分かっていることの一部を、行動生態学的な面から眺めてみた。海洋における回遊には、まだ分かっていないことが多いが、魚類は水産資源として経済的に重要であることに加え、資源の減少が際だっている魚種が少なくない。そのため、研究者は、回遊の実態に迫ろうと、標識を付けて放流するなど、さまざまな努力をしている。

例えば、サケについては、北太平洋を囲む日本、ロシア、アメリカ、カナダなどの国が作っている NPAFC（North Pacific Anadromous Fish Commission）という組織が中心となって、母川にどのように帰ってくるかを知るための調査研究が行われている。図 1 は、その NPAFC が配布したポスターで、円形のディスクタグと呼ばれている標識と、ナノコンピューターと言ってもいい電子

NPAFC International High Seas Tagging Project 2008@USA

Wanted: Salmon and Steelhead Tags

measure length

Collect scales from these areas (both sides of fish); put scales in folded paper

- Collect Tag: if tag cannot be collected then record tag number and description
- Record Data: recovery location, date, species, gear, sex, length, and weight
- Collect Scales: used for age & growth
- Send: tags with your name, address, and phone number to one of addresses below to get release data and a reward.
- For Details: visit www.npafc.org

Thank you!

North Pacific Anadromous Fish Commission
 502-889 West Pender Street,
 Vancouver, BC, V6C3B2, Canada
 Tel: 604-775-5550, Fax: 604-775-5577
 E-mail: secretariat@npafc.org
www.npafc.org

Washington
 Kate Myers
 University of Washington
 P.O. Box 355020, Seattle
 WA 98195-5020, USA
 Tel: 206-543-1101
 E-mail: kmyers@u.washington.edu

Alaska
 Bill Heard
 Atke Bay Laboratories
 17109 Point Lena Loop Road
 Juneau, AK 99801, USA
 Tel: 907-789-6003
 E-mail: bill.heard@noaa.gov

図 1 標識が付いているサケ・マス類を見つけたら知らせたいという NPAFC のポスター。国際共同調査なので、ディスクタグの中には日本の調査船が用いているもの（上が白、下が赤で、赤い部分に Japan が見えている）も含まれている。

的な記録装置を内蔵したアーカイバルタグが付いているサケを見つけたら、連絡して欲しいというものである。なお、この調査では、ディスクタグとアーカイバルタグを装着する作業で、水産庁の調査船が大きく貢献している。

成長し大きくなった魚なら、上に述べたような標識を取り付けても、それほど負担にならないであろうが、まだ小さな仔・稚魚の場合、体外に標識を付けると大きな負荷を背負わせることになる。それを避けるため、仔・稚魚の体内に挿入できるような標識が開発されている。また、生物学的あるいは分子生物学的なマーカーを利用しようという試みもある。今回は、そういった研究者の努力と、それにより、どのようなことが分かってきたかを紹介したい。

標識放流による調査

外部標識 1990年代初めまでは、図1にあるディスクタグのような外部標識を、遊泳や摂食の妨げにならない体外の目立つ場所に取り付けて放流し、標識された個体が運よく捕獲されるのを待つ、という方法で、回遊経路を推定して

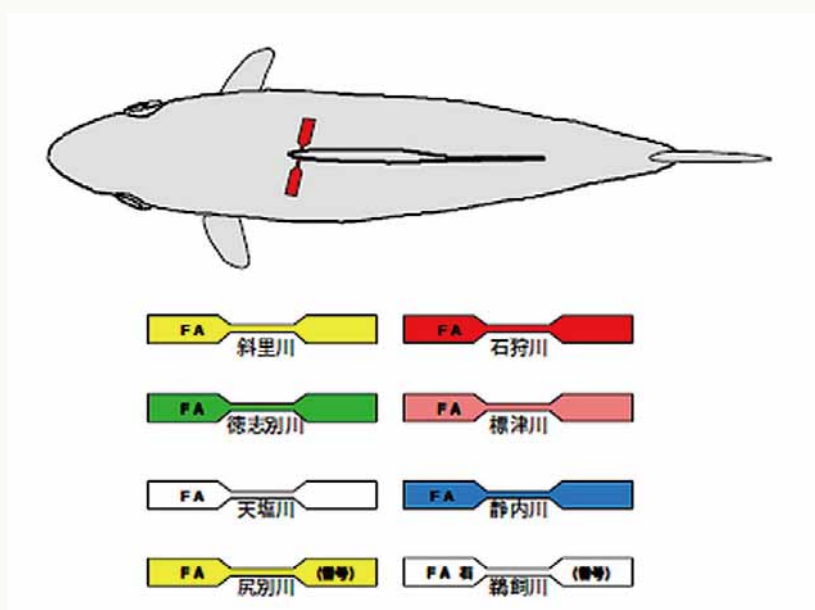


図2 サクラマス幼魚のリボンタグ標識。栽培漁業の技術開発の進展により、放流効果確認のため脱落しにくい外部標識法として、リボンタグが考案され、マダイの稚魚やサクラマスのスモルトなどに応用されている。サクラマスのスモルトに装着するリボンタグはビニール製。長さ40mmの標示部を体の左右に露出するように装着する。サクラマスの場合は通常背びれ基部の前方に装着する。

(引用：奈良和俊. 1998年に日本の近海と河川で実施した標識放流. さけ・ます資源管理センターニュース No.3:7 (1999))

いた。前回の図2上図に紹介した米盛（1980）の日本産サケの回遊経路推定図は、この方法によって集められた多くのデータから作られたものである。しかし、洋上で標識放流されたサケの母川はどこなのか、どれだけの率で再捕されるのか¹⁾、あるいは放流点と再捕点の2点を結んで回遊経路を推定しているのか、といった問題点があった。海洋において、標識放流により回遊経路を推定しようとする、このような問題がないわけではない。しかし、サクラマスのように河川から沿岸域にかけて回遊する魚種、あるいは前回紹介したマダイのように、沿岸域内で回遊する魚種の回遊生態を調べるために用いられたリボンタグなどによる標識放流からは、それなりに有用な情報²⁾が得られている。

内部標識 外部標識に用いるディスクタグやリボンタグなどは、サケ・マス類に限らず、稚魚や小型の魚に付けると、大きな負荷を与えることになるどころか、脱落することになりかねない。

PIT タグ：こういった問題を回避し、小さな稚魚に、個体識別が可能な標識をするために1980年代後半に開発されたのがPITタグ（passive integrated transponder tag）で、アメリカ北西部では広く使われていた。このタグは、径が2mm、長さが10mmほど、重さが0.06~0.1gのガラスの円筒の中に、電磁コイル、同調コンデンサーおよびマイクロチップが入ったもので、マイクロチップには10桁のアルファベットと数字からなるコードが入力されている。それぞれのPITタグは、読取器から送り出される高周波の無線信号を受信し、受動的にコードを載せた無線信号を送り出す。この信号は、タグが体内に入ったままでも読み取れるだけでなく、読取器のアンテナをループ状にすれば、その中を魚が通り抜けた時にも読み取れるので、回帰してきた標識魚からの情報を自動記録することも可能である。

ただ、PITタグにも問題点がないわけではない。タグを、魚の吻部あるいは腹腔内など、体内に挿入するには、個体毎に手作業で行う必要があるため、大量に標識するには難がある。また、日本では、魚を頭から尻尾まですべて食べるという食習慣から、再捕された魚の、食品としての安全性が懸念され、その使用が見送られてきた。

耳石標識：PITタグは、個体を識別してデータを収集する必要がある時にはたいへん有用であるが、集団としての回遊生態を調べたいといった時には、耳石標識がより有効である（浦和，2001）。魚類の耳石には、樹木に年輪がある

ように、日輪があるが、その成長は水温の影響を受けるので、水温が低い時には密度の高い暗いリングが、水温の高い時には密度の低い明るいリングができる。このことを利用して、サケ・マス類では、発眼卵および仔魚の時期に水温を変化させ、耳石にバーコードのような明暗のパターンを作らせることができる。この時期は、孵化槽で大量飼育をしている時でもあるので、一つの孵化場で放流するサケの稚魚の全てに標識をつけることも可能である。実際、北海道および東北の主要な孵化場から放流されるサケの稚魚には、それぞれの孵化場に特有の耳石バーコードがつけられている³⁾。

日本では、ほぼ全数のサケ稚魚に耳石標識をして放流する体制が整い、再捕された個体から得られたデータの解析も進みつつあるという。例をあげてみよう。2006年以降、北海道さけますセンターでは、全てのサケ稚魚に耳石標識して放流しているが、太平洋岸の静内川、十勝川、および釧路川で放流された稚魚が、西側の水温が高く生育に適した白老海岸に移動していることを示す結果が得られている。また、千歳に回帰してきたサケの成熟時期は、その親が成熟して帰ってきた時期に一致していたそうである（高橋史久，2009，2010）。このように、耳石標識によって、これまで知られていなかった回遊生態の一面が見えてきた。今後、サケ・マス類だけでなく、他の魚種でも耳石標識が利用できるのか、研究の進展が期待される。

アーカイバルタグ（データロガー）

今までに述べてきた標識放流では、放流点と再捕点の情報から回遊経路を推定することしかできなかった⁴⁾。魚に超音波発信器を取り付け、船で追いかけることで、位置や水深を調べて回遊行動の一端を解析することが行われていたこともあるが、外洋でこのような調査を行うのは困難で、得られる情報には限りがあった。こういった状況が、1991年、世界に先駆けて、日本のメーカーによりデジタル式データ記録装置（アーカイバルタグあるいはデータロガーと呼ばれる）が開発されたことで、急速に改善されていった。開発された当初はサケの成体などの大きな魚にしか装着できなかったが、小型化が進み、現在では30cmほどの魚にも装着できるようになった。測定・記録できる項目も、伝導度（塩濃度）、温度（水温と体温）、圧力（水深）、照度、遊泳速度、加速度、振動、心電位や筋電位、地磁気と多彩になり、数分毎の測定でよければ10年

分のデータが記録できるという。

回遊経路の推定 日本で魚類の回遊行動を調べるのに広く用いられているのは、図1にある外部装着型ではなく、水深、水温、体温および照度を記録できるタイプのもので、体温を測定するため腹腔内に挿入されている。照度の記録からは、日の出と日の入りの時間および日長が分かるので、動物の位置（緯度・経度）を推定することができる。また、表面水温のデータを気象衛星のデータと照らし合わせることで、照度の記録から推定した位置情報を補正することが可能である。こうして得られる魚類の回遊経路についての貴重なデータも、装着した魚が再捕されなければ見ることができない。そこで、1990年代後半には、設定した日時がくると魚体から切り離されて浮上し、衛星を利用して、浮上位置や蓄えたデータを送信してくれるポップアップ（アーカイバル）タグが開発された。アーカイバルタグやポップアップタグを用いた標識は電子標識と呼ばれている。

クロマグロの例 まだ使われ始めて間もないので、それほど多くのことが分かってきたわけではないが、電子標識で興味ある結果が出始めた。水産総合研究センターが、電子標識を用いて行ったクロマグロの回遊について行った調査では、対馬海峡で捕獲した1歳直前の若いクロマグロが、日本海を北上したか、南下し東シナ海を経て太平洋に向かったか、いずれかだったという。前者の多くは、北海道から東北北部の沖合で、夏から秋の数ヶ月を過ごした後、対馬海峡に南下した。一方、太平洋に移動したものは、一気に常磐沖に達した後、三陸沖、道東沖経由で東に向かい、日付変更線付近にたどりついて越冬する。越冬後は2~3年間を太平洋の北西域を回遊しながら成熟し、適齢期になると産卵のために沖縄から台湾付近に戻るということである（山田，2006）。

電子標識によってクロマグロの他にも、サケ・マス類、ブリ、カツオ、トラフグなどの回遊経路が明らかになり始めたが、ある魚種の回遊の全体像を理解するためには、電子標識による個体からの情報だけでなく、耳石標識からの情報、さらには分子レベルの情報を総合的に見る必要があるだろう。まだ道は遠いと言わざるを得ない。

註

- 1) 北洋では、1956年から1991年までの36年間で、約14万個体のシロザケが標識放流され、約1,900個体（1.3%）が、各国の沿岸あるいは河川で再捕されている。
- 2) さけ・ます資源管理センターでは、北海道の主な河川に遡上した親魚由来のスモルトを用いた標識放流試験を1995年春に始めた。放流河川や放流種苗の数量は、その年の供試魚の確保状況によって異なったが、2003年春の放流までの9年間に、計52万個体のスモルトにリボンタグ標識を装着して放流した。その結果、母川回帰するまでの回遊生態の一端が明らかにされた。
- 3) 耳石に標識できるのは、発生段階の限られた時期なので、バーコードのパターンには限りがある。そこで、NPAFCは耳石標識の方法の調整およびデータベースの作成を行う小委員会を立ち上げ、バーコードの重複を避けるための作業などに取り組んでいる。
- 4) 耳石標識に加えて、耳石に取り込まれたストロンチウム量とカルシウム量の比などの情報、あるいは組織中の炭素と窒素の同位体量などの情報を得れば、いつどのような場所にいたかを推定できないわけではないが、解析は容易ではない。

参考文献

浦和茂彦：さけ・ます類の耳石標識：技術と応用． さけ・ます資源管理センターニュース No.7：3-11（2001）

高橋史久：これまでの耳石温度標識から得られた知見． SALMON 情報 No.3：6-7（2009）

高橋史久：耳石温度標識放流魚から得られた知見その2（放流時期とサイズの検討）． SALMON 情報 No.4:12-14（2010）

奈良和俊：1998年に日本の近海と河川で実施した標識放流． さけ・ます資源管理センターニュース No.3:7（1999）

日本バイオリギング研究会（編）：バイオリギング 京都通信社（2009）

森沢正昭, 会田勝美, 平野哲也 (編) : 回遊魚の生物学 学会出版センター (1987)

山田陽巳 : 大回遊するクロマグロ—最高級まぐろをこれからも利用していくために. FRA ニュース 8:8-9 (2006)

本稿へのコメント・質問は aurano@sci.hokudai.ac.jp でお待ちしています。