特集

栽培漁業技術開発の最前線-II

放流効果の調査手法と標識技術

大河内 裕 之*

(財)水産総合研究センター宮古栽培漁業センター

Stocking effectiveness assessment and marking techniques in marine stock enhancement

HIROYUKI OKOUCHI*

Miyako Station, National Center for Stock Enhancement, Fisheries Research Agency, Miyako, Iwate 027-0097, Japan

1. はじめに

標識放流実験の理論は、生態情報の収集や資源量推定を目的とした水産資源学の枠組みの中で整理されており、¹⁾ 栽培漁業における放流効果調査の考え方もここに基礎が置かれている。しかし、放流効果調査が抱える問題が、この枠組みの中で全て解決されたわけではない。

資源調査における標識放流では、採捕した天然個体に標識を付けて再放流するので、放流群は必然的に少数・大型サイズとなる。一方、放流効果調査では人工種苗の大量放流が前提なので、放流尾数の規模は大きく、放流サイズは小さくなる。この「量」と「サイズ」の違いは標識に求められる性能を大きく変化させ、人工種苗に特有の形態や色素を利用する方法も含め、様々な標識²⁾が開発される結果となった。また、放流効果を定量化する過程では、報告漏れや脱落といった標識の系統誤差を解析的にカバーするのでなく、調査方法の工夫²⁾によって克服してきた。これらは、栽培漁業の現場で独自に開発された「栽培漁業技術」といえる。

本稿では、これまでに体系化された放流効果調査の基本的な流れを、標識技術との関連に重点を置いて紹介する。その上で、岩手県宮古湾で実施した放流効果調査の事例を挙げ、的確な調査設計と、栽培漁業技術の応用の可能性について考える。

2. 放流効果調査の基本的な流れと標識技術

種苗放流の開始から放流効果の評価に至る過程では、「放流効果の波及範囲の把握」→「放流効果の定量化」→「放流技術の高度化」の3つの段階が踏まれる。一方、標識の特性を理解するための評価項目としては、「視認性」、「持続性」、「群識別」、「小型魚への装着」の4項目が重要である。以下に、各調査段階に適した調査方法と標識の特性について整理した。

(1) 放流効果の波及範囲の把握

調査の目的は、放流魚の移動範囲や回遊経路を把握し、効果の波及範囲＝調査エリアを設定することにある。どこまで泳いで行くかわからない放流魚の移動情報を得るには、標識魚を再捕した漁業者や漁協、市場など、不特定多数の再捕者（発見者）から直接報告を得る「再捕報告法」が適している。この調査に求められる標識の性能は、誰にでも標識が確認できる「視認性」につけるが、あわせて放流実施者を特定するための最低限の情報機能も備えていることが望ましい。アンカー型に代表される「装着（Tagging）タイプの外部標識」は、脱落が不規則で補正できない点が短所であるが、視認性が非常に良く刻印（文字や数字のプリント）も可能という長所を生かした再捕報告法に適している。

(2) 放流効果の定量化

目的は、調査エリア内における放流魚の漁獲回収尾数の推定である。得られた結果から、回収率や経済回収率（後述）が推定される。初期の放流効果調査では、装着型の外部標識を用いた再捕報告法によって効果の定量化が試みられたが、再捕者からの報告もれや標識の脱落が発生し、回収尾数が過少推定されることがわかった。この問題への対処として導入されたのが「市場調査法」²⁾である。この方法は、研究機関（調査員）が市場に水揚げされた放流魚を直接確認するため、報告もれの誤差を完全に排除できる点が優れている。同時に、不特定多数の再捕者が標識を見つける再捕報告法に比べ、標識の発見能力が格段に向上するため、後述するように視認性よりも持続性を重視した標識が使用可能となり、標識の脱落に関する誤差も小さくできる。標本購入を伴わないので調査個体数が増やせる点も含め、放流魚の水揚げ総量を推定するのに適した調査法である。

市場調査法には、定量推定に耐える「持続性」と、最

* Tel : 81-193-63-8121. Fax : 81-193-64-0134. Email : okouchi@affrc.go.jp

低限の「視認性」を備えた標識が必要である。ただし、持続性に問題があっても脱落分が補正できればよい。栽培漁業の先進種であるマダイとヒラメでは、それぞれ鼻孔隔皮欠損、無眼側の黒色色素（黒化）といった人工種苗に特有の部位を標識として市場調査が進められており、腹鰭抜去標識はマダイ、クロソイ、シマアジで、尾肢切除標識はクルマエビの市場調査で成果をあげている。これら「マーキング（Marking）タイプの外部標識」は、一般の漁業者には発見されにくい、調査員には確実に識別できるレベルの視認性を備えている。

ALC (Alizarin Complexion) 標識に代表される「内部標識」を用いた効果の定量化には、市場調査でなく標本購入（サンプリング）調査が必要となる。放流魚の混入割合が低いとサンプルの購入費用や処理労力が增大するので、これらを踏まえた放流・調査計画が必要となる。内部標識は、本来は(3)で述べるような補助的な使い方が適している。

(3) 放流技術の高度化

放流効果が定量化された結果、所期の目的に達していなければより効果の高い放流方法を模索する必要が生じ、目的が達成された場合でもさらなる効率化を求められるのが一般的である。この段階の調査目的は、放流サイズ、放流時期、放流場所といった技術要素の最適化であり、条件設定を変えた比較放流試験の実施が合理的である。確実な結果を得るには市場での回収データによる比較が望ましい。

比較放流試験に用いる標識には「群識別」機能は必須であり、比較要素が放流サイズであれば「小型魚への装着」機能も重要である。さらに、比較群の死亡率に差が生じたり、群毎に脱落率が異なる標識では得られた結果の信頼性が損なわれる。現在のところ、これらの条件を全て満たすのは ALC 標識しか見当たらない。この標識は、生体染色剤である ALC を飼育水に溶解し、主に耳石を蛍光染色するもので、ニシン、ヒラメ、クロソイ、トラフグ等の魚種で比較放流試験への使用実績がある。受精卵でも標識が付けられ、染色サイズや回数を変えれば多群識別も可能である。一方、最大の短所は、内部標識のため標本を購入しないと標識が確認できない点であるが、市場調査の枠組みの中で外部標識と組み合わせ使用すれば、購入標本（放流魚）が絞り込め、効率よく比較群を検出できる。

もう一つの内部標識として近年注目されているのが遺伝標識である。²⁾ ヒラメでは県間の入り会いを把握するための共同調査で、外部標識と併用しての導入が検討されている。この標識は、再捕魚だけでなく放流種苗や親魚の遺伝分析も必要となるので、労力とコストを十分に考慮した調査計画が必要である。

この他に、腹鰭抜去標識（クロソイ）や焼印標識（ヒ

ラメ）では装着部位を替えて2群を識別し、イラストマー標識（トラフグ）では色と装着部位から4～6群を識別している。いずれも小型魚への対応には限界があるが、市場調査で確認できる外部標識なので、標本を購入することなく比較データが収集できるメリットが大きい。

3. 宮古湾における放流効果調査の事例

独立行政法人水産総合研究センター・宮古栽培漁業センター（以下、センターという）は、岩手県宮古湾（図1）を試験海域として1980年からヒラメ、84年からニシン、88年からはクロソイの放流試験に着手した。周辺海域からの漁獲物の多くは宮古魚市場に水揚げされるため、ここに1988年より専属の市場調査員を配置し、3魚種の全日・全数測定調査を実施してきた。クロソイについては宮古湾の南側に隣接する山田湾と船越湾（図1）を放流海域とした時期があり、それぞれの地先市場においても同様の調査態勢をとった。ここでは、クロソイとヒラメは標識技術を有効に利用した調査事例として、ニシンは栽培技術の応用例として紹介する。

(1) シンプルな標識による効率的な調査（クロソイ）

腹鰭抜去標識は、左右どちらかの腹鰭を引き抜き目印とするシンプルな標識である（図2）。基部から完全に抜けば再生しないが、抜き方が不十分だと再生し、市場調査員にも識別できなくなる。この方法はマダイ種苗の標識法として実用化され、瀬戸内海では1980年代を中

図1 宮古湾の位置と地形

図2 クロソイ再捕魚に見られる鰭抜去標識

心に毎年数十万尾～百万尾規模の標識放流が行われた。

1) 腹鰭抜去標識による移動範囲の推定

1989～94年には、放流魚の入り会いを把握する目的で、山田湾と船越湾の2ヶ所で同時に放流試験を実施し、左右の腹鰭を抜き分けてそれぞれの放流海域を特定した。放流魚の回収データは、それぞれの海域の漁獲物が水揚げされる山田魚市場と船越魚市場、および宮古魚市場における市場調査から得た。本来は、移動状況を把握するには再捕報告法が適しているが、市場調査でカバーできるエリアが広いことと、クロソイは定着性が強いという事前情報を考慮すると、このケースでは、漁場が固定されている定置網の回収状況を市場調査から把握したほうが正確である。

6年間の調査の結果、山田湾と船越湾の間を移動した個体は各群の回収尾数の0.1～0.4%にとどまり、入り会いは非常に少なかった。3つの調査市場に水揚げする合計42カ統の定置網ごとの回収データを、山田湾放流群に絞って整理すると、漁獲回収された合計16,908尾のうち山田湾での回収が16,787尾(99.3%)を占めた。この結果から、クロソイの調査エリアを湾単位で設定できることがわかった。

2) 腹鰭抜去標識による放流効果の定量化

定量調査では、標識の脱落(腹鰭の再生)を把握して回収尾数を補正する必要があるため、装着サイズを全長4, 6, 8, 10 cmの4段階に設定した腹鰭抜去標識の性能試験を行った。装着後2年間の飼育結果から、装着サイズを4 cmまで小型化しても脱落率、生残率ともに変化しないこと、装着後1年間は脱落が進行するが、それ以上経過しても変化しないこと等が確認された。³⁾つまり、放流群の一部を1年間飼育して脱落率を求めれば、その放流(年級)群の回収率が補正できることになる。

1999年から宮古湾1か所に絞って実施したクロソイ放流試験では、水揚げされた放流魚の年齢を特定するために、毎年交互に左右の腹鰭を抜去した。この方法では1歳と3歳が同じ標識となるが、両者は全長組成から容易に分離できるので問題はない。この設定によって市場調査のみで「放流魚の識別」と「年級群の特定」が可能となり、標本購入および年級分離(解析)を行うことなく年齢別回収尾数が把握された。一方、継続飼育による標識の脱落率は12.1～24.7%の間で変動した。これは、大勢の人を動員する大量標識ゆえの誤差だが、補正データは毎年更新する必要があることがわかる。

宮古湾におけるクロソイの補正済み回収率は、平均全長9.3～9.5 cmの種苗を2万尾規模で放流した場合で13.9～22.6%と推定された。

図3 ヒラメ再捕魚に見られる焼印標識(矢印で示した透明および黒化部位、自然の傷跡と間違えないよう必ず2点に装着する)

(2) 複数の標識を組み合わせた高度な効果調査(ヒラメ)

現在、日本沿岸では毎年2,500万尾のヒラメ種苗が放流されている。ヒラメは栽培漁業の代表種であり、常に放流技術の高度化が求められてきた。

1) 焼印標識を利用した年級分離

ヒラメの放流効果調査では、種苗生産での克服すべき課題である「無眼側の黒化」が皮肉にも有効な標識となり、全国各地で比較的容易に放流魚の水揚げ尾数が推定された。残る課題は、回収率の算出に必要な年齢組成の推定(年級分離)である。年齢査定を含む様々な年級分離が行われたが、データが少なく大雑把な解析にとどまったり、成長式が固定されていて年ごとの成長差を考慮できない等の問題が残った。

焼印標識は、熱した半田ゴテでヒラメ種苗の無眼側に火傷を負わせ、その治癒痕を標識とする(図3)。外部標識なので市場調査で容易に確認できる反面、成長に伴って脱落が進行するので脱落補正が難しい。センターでは、この標識をヒラメの背鰭側と尻鰭側に毎年交互に装着し、装着位置と全長から標識残存個体の年齢を特定した。⁴⁾ただし、脱落の進行によって標識魚の尾数組成は若齢に偏るので、これを尾数比率データ(定量データ)ではなく、月別・年齢別の平均全長と分散(これを年齢情報という)を得るための定性データとして利用した。実際には、年齢がわからない放流魚(黒化魚)の全長組成に、焼印標識魚から得られた年齢情報をパラメータとする複合正規分布をあてはめて年級分離した。焼印標識魚から得られる年齢情報には、年ごとの成長差や漁獲物組成の偏りが自動的に反映されるので、非常に精度の高い年級分離が可能となる。

これらの調査・解析の結果、1987～95年に宮古湾へ放流したヒラメ(毎年およそ8万尾)の回収率は5.9～23.3%と推定され、健全な種苗であれば20%前後の回収が見込めるが、質の劣る種苗はその1/3しか回収できないこと、全長30 cm規制によって回収率は低下するが、経済回収率はむしろ向上すること等が明らかにな

図4 ニシンの耳石に見られる ALC 標識

った。⁴⁾

2) ALC 耳石標識による比較放流試験

1989～93 年放流群の中には、放流サイズが異なる 2～3 の比較放流群が毎年設定されており、これらは ALC 標識の有無と多重染色によって識別されている。同じ放流サイズでも回収率は年によって変動するので、この誤差を補正するために全長 60 mm の基準群を毎年設定した。比較群のサイズは全長 25, 80, 90, 100, 110 mm の 5 種類である。

市場調査と並行して定期的なサンプリング調査を実施し、ALC 標識から比較群の混入比率を把握した。さらに基準群による補正を経て生涯の回収率と回収金額を推定し、別途積算したサイズ別放流経費で除して経済回収率を求めた。その結果、経済回収率は全長 60～100 mm の間で 1 を超え、最も利益が大きいのは 80～90 mm であった。しかし、60 mm 未満では回収率が低いため、また、100 mm を超えると経費が掛かりすぎるために経済回収率は 1 を下回った。⁴⁾

このように、市場調査で基本的な回収データが得られる設定の下であれば、ALC 標識を用いた比較放流試験は断片的な定性情報でなく、定量化された信頼性の高い情報を提供する。

(3) 栽培漁業技術を応用した資源生態の解明(ニシン)

地域型ニシンには産卵回帰性があると言われてきた。しかし、ハンドリングに弱いニシン稚魚を捕まえて標識を付けるのは至難の業であり、歴史の長いニシン資源調査においても産卵回帰を直接確認するには至らなかった。ところが、近年の栽培技術の進展によって、ALC 標識(図4)を付けた人工稚苗を数十万～百万尾単位で放流することが可能となり、資源生態についても新たな知見が得られるようになった。

1) 放流海域への産卵回帰の確認

ニシンの種苗生産試験の歴史は古いが、技術的に確立されたのは栽培対象種に加えられた 1983 年以降である。⁵⁾ 放流試験に際しては、魚体の脆弱さがネックとな

って標識に苦慮したが、ALC 標識法の確立によって大量標識放流が可能となった。

宮古湾では 1984 年に放流試験を開始し、88 年から ALC 標識を採用した。近年では全長 50～60 mm サイズで 60 万尾前後の全数標識放流を実施している。一方、養成 1 歳魚を用いた再捕報告調査から、北海道から宮城県に至る太平洋沿岸域が調査エリアと推定されたが、サンプリング調査でこの範囲を網羅するのは不可能なので、対象を産卵回帰群に限定した。調査の結果、宮古湾では 1991 年以降に成熟した放流魚が確認され始め、2005 年までの 15 年間に毎年 24～3,005 尾が湾内で漁獲回収された。放流効果調査を通して、ニシンの産卵回帰が証明された事例である。

脆弱なニシンに適用できる大量標識技術は ALC の他にはないので、効果調査はサンプリング法となる。センターでは、市場での測定調査と並行して毎年数千尾規模のサンプリング調査を実施している。

2) 放流魚の移動生態に基づく資源変動要因の推定

本州では、1993～2000 年の 8 年間は宮古湾のほか宮城県石巻湾周辺でもニシンを放流し、ALC 標識の装着時期(=標識リング径)を変えて両群を識別した。それぞれ産卵回帰調査を実施したところ、宮古湾放流群は多くが放流海域で確認されたが、宮城県放流群は放流海域よりも宮古湾で多く確認された。⁵⁾ 宮城県万石浦でニシンの豊漁が続いた 1975～90 年頃にこのような現象があれば、宮古湾でも漁獲が急増するはずだがその事実はない。万石浦ニシンの資源調査から得られた過去の年齢別漁獲尾数と、ニシンの放流効果調査から推定した近年のデータを精査すると、年を追ってニシンの北上・滞留傾向が強まっていることがわかった。即ち、再生産効率の低下だけでなく、移動生態の変化によっても万石浦ニシンが減少した可能性が考えられる。

標識魚をマーカーとして天然資源の動向を調べるのは、水産資源学における標識放流理論の基礎である。ここに栽培漁業技術を上手に組み込めば、新たな知見を得る機会が増えると期待される。このような栽培漁業技術の他分野への応用は、今後の重要な課題である。

文 献

- 1) 田中昌一。「水産資源学総論」恒星社厚生閣、東京、1985。
- 2) 北田修一。「栽培漁業と統計モデル分析」共立出版、東京、2001。
- 3) 中川雅弘、大河内裕之。水槽実験によるクロソイ小型種苗の腹鰭除去標識の有効性。栽培技研 2001; 29: 9-11。
- 4) Okouchi H, Kitada S, Iwamoto A, Fukunaga T. The flounder stock enhancement in Miyako Bay, Japan. Fishery Technical Book, FAO, Italy. (in press)。
- 5) 大河内裕之、児玉純一、永島 宏、児森良則、岩本明雄。本州の太平洋沿岸におけるニシン放流魚の移動生態と産卵回帰。栽培資源調査検討資料 16, 社団法人日本栽培漁業協会、東京、2003; 1-46。