

## トラフグの長期飼育試験から推定したイラストマー 標識の脱落率とその補正法

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2025-04-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 大河内, 裕之, 町田, 雅春, 田中, 寿臣, 小泉, 康二, 阿知波, 英明, 甲斐, 正信, 中西尚文, 中島, 博司 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014577">https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014577</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



## トラフグの長期飼育試験から推定した イラストマー標識の脱落率とその補正法

大河内裕之<sup>\*1</sup>・町田雅春<sup>\*2</sup>・田中寿臣<sup>\*3</sup>・小泉康二<sup>\*4</sup>  
阿知波英明<sup>\*5</sup>・甲斐正信<sup>\*6</sup>・中西尚文<sup>\*7</sup>・中島博司<sup>\*8</sup>

Shedding rates for Elastomer-Marking on Ocellate Puffer, *Takifugu rubripes*,  
estimated through long-term rearing experiments and correction methods

Hiroyuki OKOUCHI, Masaharu MACHIDA, Toshiomi TANAKA, Koji KOIZUMI,  
Hideaki ACHIHA, Masanobu KAI, Naofumi NAKANISHI and Hiroshi NAKAJIMA

We examined correcting methods of return rate, which had been underestimated because of the shedding of elastomer marking performed on released ocellate puffer (*Takifugu rubripes*) juveniles, using rearing experiments. We observed the retention conditions of elastomer marking for three years after marking. It was seen that the retention rate of marking under initial excellent conditions is high, and we have found that there is a remarkable decrease in the opposite case. We assumed five cases of initial conditions of marking and calculated the correction rate of each case. In each case where initial conditions were good, correction of return rate would not be required in three years after marking. However, where it was poor, a 2.3-fold rate of correction was necessary.

2006年8月7日受理

放流効果を把握するには放流魚に標識を付け、天然魚と区別できるようにしておく必要がある。これまでに開発された標識は、装着型の外部標識（アンカータグ、ダートタグ等）を始めとして、埋め込み型の内部標識（金線標識、コードットワイヤータグ等）、染色型の内部標識（アリザリンコンプレクソン等）、体部分標識（鰭の切除・抜去、焼印標識等）、さらには人工種苗に特有の形態や色素を利用する方法など様々なタイプと種類に及んでいる<sup>1)</sup>。しかし、これらの標識には視認性や持続性などの性能に一長一短があり、あらゆる目的に適合する万能標識は存在しない。従って、魚種や調査目的に応じて

必要な標識を選択する必要がある<sup>2)</sup>。

2000年から始まった東海三県（静岡県、愛知県、三重県）のトラフグ共同放流調査は、各県が放流したトラフグの移出入を市場調査によって定量的に把握することを目的としている。使用する標識には、市場で識別可能な視認性、定量評価に必要な持続性に加え、複数の放流群を識別する性能が必要である。イラストマー標識（米国 Northwest Marine Technology Inc., 以下 NMT 社）は、着色シリコンを皮下に注入して外部から識別する標識であり、豊富なカラーバリエーションによる群識別性能に優れた標識としてこの共同調査に導入された。しかし、

\*1 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 〒027-0097 岩手県宮古市崎山4-9-1 (FRANational Center for Stock Enhancement, Miyako Station, 4-9-1 Sakiyama Miyako Iwate, 027-0097 Japan).

\*2 独立行政法人水産総合研究センター宮津栽培漁業センター 〒626-0052 京都府宮津市小田宿野1721

\*3 静岡県水産試験場 〒425-0033 静岡県焼津市小川汐入3690

\*4 静岡県水産試験場浜名湖分場 〒431-0214 静岡県浜松市舞阪町弁天島5005-1

\*5 愛知県水産試験場 〒443-0021 愛知県蒲郡市三谷町若宮97

\*6 愛知県水産試験場漁業生産研究所 〒470-3412 愛知県知多郡南知多町大字豊浜字豊浦2-1

\*7 三重県科学技術振興センター水産研究部鈴鹿水産研究室 〒510-0243 三重県鈴鹿市白子1-6277-4

\*8 三重県科学技術振興センター水産研究部 〒517-0404 三重県志摩市浜島町大字浜島3564-3

実際に使用した結果、群識別には有効であったが視認性と持続性に問題があり、見落としや脱落・埋没の発生が確認された。その後の技術改善<sup>3)</sup>によって脱落・埋没の軽減および発見率の向上が図られたが、回収率が過小推定されているとの懸念は払拭されなかった。この偏りを除くためにはイラストマー標識の脱落率を把握し、既に得られた、あるいは今後得られる回収率を補正する方法が考えられる。

本研究では、トラフグの長期飼育試験によってイラストマー標識の保持状態の変化を経時的に把握し、標識の脱落によって生じる回収率の過少推定分を補正する方法を検討した。

## 材料と方法

**飼育魚および標識の装着** 飼育試験に用いたトラフグ種苗は、2002年4～7月にかけて(独)水産総合研究センター南伊豆栽培漁業センター(以下、南伊豆栽セ)で種苗生産され、同年7月29日～8月2日に平均体長94.0mmでイラストマー標識を装着した2002年度伊勢湾放流群の一部である。標識作業には5日間で延べ63人が参加し、蛍光の赤色イラストマーを2.1万尾、蛍光の黄色イラストマーを1.7万尾、計3.8万尾に装着した。標識の装着部位は、視認性が最も高いと考えられる胸鰭基部(図1)である<sup>3)</sup>。

**飼育期間と飼育尾数** 飼育期間は、標識の装着を完了した7日後の2002年8月9日から2005年7月7日の35ヵ月間である。開始時の平均体長は93.6±6.3mm、飼育尾数は蛍光の赤色を装着した群(以下、Red)が129尾、蛍光の黄色を装着した群(以下、Yellow)が125尾である。これら全数の背部筋肉中にピットタグを打ち込み個体識別した上で、南伊豆栽セの角形RC 50kl水槽2面に標識色別に収容して飼育を開始した。

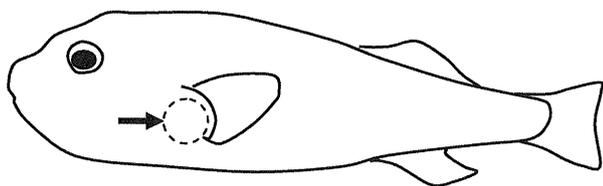


図1. イラストマー標識の装着部位(胸鰭基部)

**標識の装着状態および保持状態の観察** 飼育開始時に1回目の観察を実施し、これを標識の装着状態(放流前の状態に相当)とした。以降は、2004年9月までの25ヵ月間はおおよそ2ヵ月間隔で12回、35ヵ月目(試験終了時)に1回の計13回の観察を実施し、この結果を標識の保持状態(市場調査時の状態に相当)とした。装着状態および保持状態は個体別に記録した。これらの観察は基本的には南伊豆栽セの職員が実施したが、試験開始時、試験開始後1、7、13、19、25ヵ月目および試験終了時については静岡、愛知、三重の3県の担当者が参加し、観察基準等を確認しながら実施した。

標識の装着状態はA、A'、B、Cの4段階で、保持状態はa、b、cの3段階で評価した(表1)。装着状態のA'およびBの確認に用いたLEDライト(以下、ライト)はNMT社が開発したもので、蛍光色の確認に効果がある<sup>3)</sup>。実際の市場調査では常時ライトを使用しており、AおよびA'は区別されないの、保持状態の評価はこれらをまとめてaランクとした。なお、試験途中で死亡した個体については直前の観察結果を記録した。

**脱落補正の基準月** 本共同放流調査の対象海域である伊勢湾および遠州灘を中心とする東海海域では、トラフグの主漁期は9月下旬から始まり、12月～翌年2月頃まで継続する。本研究では漁期単位の脱落補正を念頭に置き、各年齢の9月時点の保持状態をその後に続く漁期全体の補正率に反映させることとした。従って、0歳漁期の補正率は標識装着後1ヵ月目の保持状態から、1歳漁期は13ヵ月目、2歳漁期は25ヵ月目の保持状態からそれぞれ推定した。3歳漁期は試験を終了した7月(35ヵ月目)の保持状態から推定した。

**死亡個体における標識保持状態の推定** 本試験では、結果で述べるように4ヵ月日以降に急激な生残率の低下がみられ、生残個体から十分なデータが得られるのは標識後1ヵ月目のみとなった。補正データを得る13、25、35ヵ月目の保持状態を推定するには、途中で死亡した個体の観察データも利用する必要があると考えられた。そこで、ある時点で観察された保持状態が、その後改善される(再び見易くなる)ことはないという前提で、12ヵ月以内に死亡した個体については死亡時期に関係なく、死亡直前の観察結果をそのまま13ヵ月目の保持状態とした。14→24ヵ月の期間中の死亡個体についても、同じ方法で25ヵ月目の保持状態を推定した。

死亡個体の観察データは、本来は死亡後初めての基準

表1. 標識の装着状態および保持状態の評価基準

装着状態	保持状態	評価基準
A	a	自然光で容易に確認できる
A'		自然光では確認できないが、ライトを当てれば容易に確認できる
B	b	ライトを当てればかろうじて確認できる
C	c	確認不可能

月の保持状態を推定するに止めるべきである。しかし、後述するように、本試験では保持状態の低下が顕著な個体が飼育初期に死亡しているため、これらのデータを除外すると2歳以降の漁期で保持状態が改善される逆転現象が起きる。また、13ヵ月目の保持状態を固定し、2歳および3歳漁期まで変化しないと仮定すると、脱落率は大幅に過小推定される。そこで、13ヵ月目以前に死亡し、14→25ヵ月の観察データが全くない個体群に関しては、この期間の生残個体と同じ比率でランクの変化があったとみなし、2歳および3歳漁期の保持状態を推定することとした。例えば、13ヵ月目でaランクだった生残個体のうち、25ヵ月目にaランクを維持した個体、bあるいはcランクに低下した個体の尾数比率をそれぞれ求め、これを13ヵ月目に同ランクだった死亡個体の尾数に乗じて25ヵ月目の保持状態（ランク別尾数）を推定した。同様にbランクについても生残個体のb、cランクへの変化率を求めて推定した。25→35ヵ月の保持状態の変化も同様に推定した。

以上の2通りの手順で、全ての死亡個体の標識保持状態を35ヵ月目まで推定した。

**標識脱落率および補正率の推定** イラストマー標識の脱落率は、習熟した職員が確実に胸鰭基部に打ち込む場合と、不慣れな者が作業する場合とで大きく異なる。従って、本飼育試験から得られた脱落率を、異なる条件で標識付けされた他の放流群にそのまま当てはめるのは適当ではない。これまでの大量標識作業を通して、作業者の技術の差が初期の装着状態に現れることが確認されているので、これを指標とした補正方法が実用的と考えられる。

まず、標識の装着状態によって飼育魚をA、A'、B、Cの4つのグループに分け、それぞれについて各年齢漁期における保持状態a、b、cランクの尾数を求める。cランクを標識脱落尾数として、i歳漁期(i=0, 1, 2, 3)における各グループの標識脱落率 $\hat{S}_{ij}$ は、

$$\hat{S}_{ij} = \frac{N_{ij}^{(c)}}{N_j}, \quad (j=A, A', B, C) \quad (1)$$

と表せる。ここで、

$N_j$  : グループjの合計尾数

$N_{ij}^{(c)}$  : グループjのうち、i歳漁期の保持状態がcランクであった尾数

である。なお、 $\hat{S}_{ic} = 1$ である。

i歳における放流群全体の標識脱落率 $S_i$ は、標識の装着状態により変動する。即ち、AやA'の尾数が多ければ脱落率は低く、逆にB、Cが多ければ高くなると予想される。 $S_i$ に装着状態を反映させるために、(1)式で推定した各グループの年齢別脱落率 $\hat{S}_{ij}$ を、放流群全体に占めるそれぞれのグループの尾数の比率 $p_j$ ( $\sum p_j = 1$ )で加重して合計し、

$$\hat{S}_i = \sum_j \hat{p}_j \cdot \hat{S}_{ij} \quad (i=0, 1, 2, 3) \quad (2)$$

として推定する。なお、標識色により差が生じることも考えられるので、RedとYellowは別々に脱落率を推定する。

標識の脱落によって過小推定された年齢別回収尾数 $Y_i$ を、(2)式で求めたi歳漁期の標識脱落率の推定量 $\hat{S}_i$ を用いて補正する。即ち、

$$\hat{Y}_{i,correct} = \frac{Y_i}{(1-\hat{S}_i)} \quad (3)$$

ここで、 $\hat{Y}_{i,correct}$ は補正された回収尾数である。補正率は $1/(1-\hat{S}_i)$ であり、脱落率が高いほど大きくなる。

## 結 果

**飼育魚の生残と成長** 標識後3ヵ月までは順調な飼育状態であったが、これ以降に死亡が増加し、13ヵ月までの生残率はRedが38.8%、Yellowが32.8%まで低下した。その後も死亡が継続し、25ヵ月目の生残尾数(生残率)は、Redが16尾(12.4%)、Yellowが20尾(16.0%)となった(図2)。主な死亡原因は夏季から秋季に発生した口白症と呼ばれる疾病である。生残率はともに低かったが、群間に差はみられなかった( $p=0.42$ )。

飼育魚の平均体長/体重は、試験開始後1ヵ月では112 mm/52 g、13ヵ月では288 mm/737 g、25ヵ月では346 mm/1,050 g、35ヵ月では382 mm/1,836 gであった。これらを全長に読み替えると25ヵ月で410 mm、35ヵ月では450 mmとなり、本海域の天然魚<sup>9)</sup>と比較して35ヵ月(3歳)で3 cm程度小型であったものの、25ヵ月(2歳)までは遜色のない成長であった。各群の成長もほぼ一致していた。

**標識の装着状態および保持状態** イラストマー標識の装着状態は、RedがA:A':B:C=98:22:7:2(尾)≐76:17:5:2(%), Yellowは56:58:11:0(尾)≐

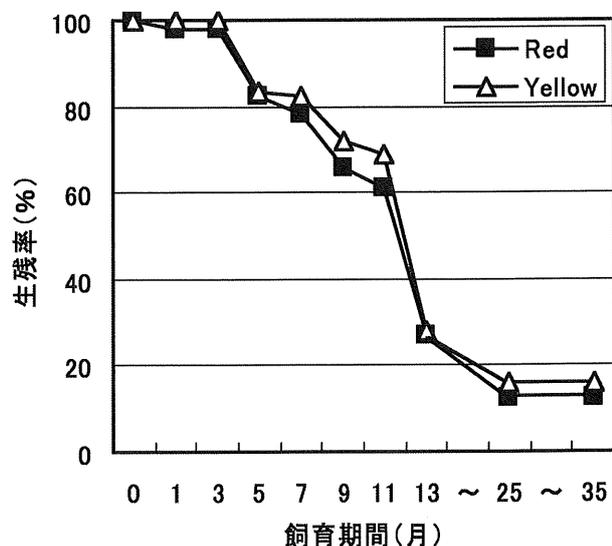


図2. トラフグ飼育群の生残率の推移

表2. 飼育群の装着状態および保持状態の推移

飼育群	装着状態	尾数	保持状態	尾数			
				1ヵ月	13ヵ月	25ヵ月	35ヵ月
Red	A	98	a	98	94	93	92
			b	0	3	1	2
			c	0	1*	4	4
	A'	22	a	21	19	13	7
b			1	3	6	12	
c			0	0	3	3	
B	7	b	7	6	0	0	
		c	0	1	7	7	
C	2	c	2	2	2	2	
Yellow	A	56	a	56	51	49	49
			b	0	5	2	2
			c	0	0	5	5
	A'	58	a	57	43	39	24
b			0	11	4	14	
c			1*	4	15	20	
B	11	b	11	10	0	0	
		c	0	1	11	11	
C	0	c	0	0	0	0	

\*確認作業のハンドリングによって標識が脱落したと考えられる個体

45:46:9:0 (%)であった(表2)。B, Cランクは共に少なかったが, Redと比較してYellowはA'の比率が高く, 装着状態が劣っていたと判断される。

標識色に着目して保持状態の推移を見ると, 標識後1ヵ月目では, Red, Yellowともに初めの状態をほぼ維持しており, 保持状態のランクが低下したのは各区とも1尾のみであった。しかし, 1→13ヵ月目にランクが低下した個体はRedが7尾なのに対してYellowが20尾と多く, 同様に13→25ヵ月でもRedの19尾に対してYellowが32尾, 25→35ヵ月でもRedが7尾なのに対してYellowでは15尾のランク低下がみられた(表2)。なお, 飼育中に保持状態が改善された(ランクが上がった)個体は確認されなかった。

13ヵ月目の保持状態がb, cランクとなった個体の尾数比率は, この時点での生残個体群ではRed:0%, Yellow:14.2%であったのに対し, 既に死亡していた個体群はRed:14.4%, Yellow:26.9%と明らかに高かった。

表3. 推定された標識色別・装着状態別の標識脱落率

標識色	装着状態	0歳	1歳	2歳	3歳
蛍光赤	A	0.0	0.0*	4.1	4.1
	A'	0.0	0.0	13.6	13.6
	B	0.0	14.3	100.0	100.0
	C	100.0	100.0	100.0	100.0
蛍光黄	A	0.0	0.0	8.9	8.9
	A'	0.0*	6.9	25.9	62.0
	B	0.0	9.1	100.0	100.0
	C	100.0	100.0	100.0	100.0

\*ハンドリングによる脱落個体を除外した比率

た。これは, 装着状態が悪化した個体に偏って死亡が発生したことを示しており, 死亡個体の保持状態のデータを使用しないと, 脱落率は過小推定されることが考えられた。

**装着状態(グループ)別の脱落率** Aグループの脱落率はRed, Yellowともに低く, 3歳漁期でも10%未満と推定されたが, A'では脱落率に差が生じ, Redは3歳でも13.6%だったのに対してYellowは2歳で25.9%, 3歳では62.0%まで上昇した(表3)。Bグループの脱落率は, 標識色に関係なく2歳までに全て100%となった。Cグループは作業ミスによる標識の付け忘れや標識直後の脱落個体と考えられ, 脱落率は飼育期間を通して100%であった。

**補正率の推定** グループ別標識脱落率(表3)から補正率を推定するには, 各グループの尾数比率 $p_j$ を与える必要がある。そこで, Cグループの比率をゼロと置き, A, A', Bの各グループの比率を任意に与えて5つのケースを想定した(表4)。Case 1は全てAの場合で最も装着状態が良い。Case 2~4では $A \geq A'$ ,  $A \geq B$ の関係を保ちつつ, 徐々にA'とBの比率を高くした。Case 5では3つのグループを等比率とした。なお, Case 2は飼育実験のRedに, Case 4はYellowにそれぞれ近い設定となっている。

推定された補正率は, 標識色およびCaseに関係なく1歳漁期までは低く推移し, 2歳漁期以降に高くなった(図3, 4)。蛍光赤色の補正率は, Case 1, 2では3歳漁期でも1.04, 1.06倍と非常に低かったが, Case 3, 4では1.37, 1.65倍まで上昇した。一方, 蛍光黄色の補正率

表4. 補正率の試算に用いた標識の装着状態

ケース	装着状態の比率 (%)			
	A	A'	B	C
Case 1	100	0	0	0
Case 2	80	20	0	0
Case 3	60	30	10	0
Case 4	40	40	20	0
Case 5	33	33	33	0

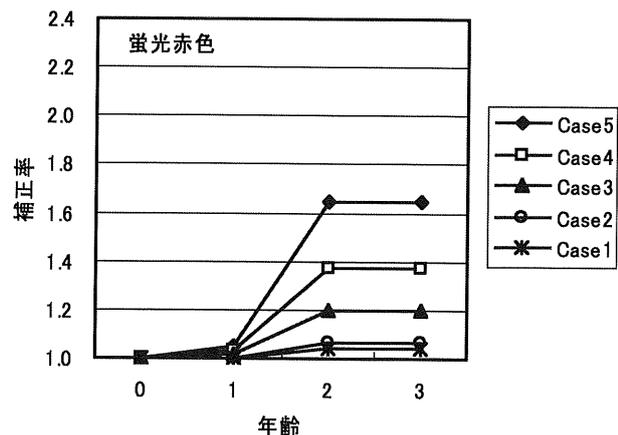


図3. イラストマー標識の脱落補正率(蛍光赤色)

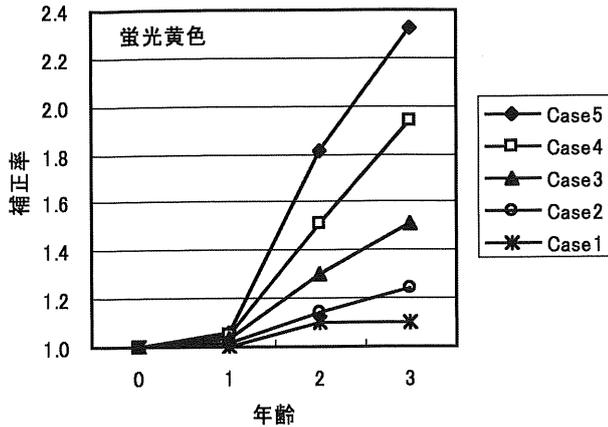


図4. イラストマー標識の脱落補正率（蛍光黄色）

は赤色に比べて全般に高く、2歳漁期で1.10～1.82、3歳漁期では1.10～2.32倍となった。

## 考 察

**標識色による持続性の差** 蛍光赤色の補正率は全般に低く、装着状態が良好であれば3歳漁期でも補正が不要な水準であった。これに比べて黄色の補正率は明らかに高く、標識色による持続性の差が明瞭であった。グループ別の観察結果から、両色の保持状態はA'のみで差があり、黄色の保持状態はこのグループが多いほど低下することが分かった。従って、注意深く標識付けを行ってAグループの比率を高めれば、黄色にも赤色と同等の持続性が期待できることになる。一方、飼育群の装着状態は、黄色を装着したYellowが明らかに劣っていた。Red, Yellowともにほぼ同じメンバーが標識付けを行っており、技術的な差はないのに装着状態に差が生じた原因は、作業時の視認性にあると考えられる。ライトを使う市場調査では赤色と黄色の視認性は同等だが、目視のみの装着作業では、黄色のイラストマーは赤色より見づらいために、軽微な打ち損じが多くなる可能性がある。実用的には、黄色の持続性は赤色より劣るという前提で利用する必要があると考えられた。

本共同放流調査では、ここで取り上げた蛍光赤色と黄色の他に、蛍光緑色と蛍光オレンジ色も使用している。この2色に関する長期飼育試験は実施していないが、南伊豆裁セが実施した短期飼育試験の結果（未発表）と、市場で標識魚を確認した3県の担当者の見解は一致しており、緑色とオレンジ色の持続性は黄色に近いと考えられた。このため本共同調査では、この2色の補正には黄色の試験データを用いている。

**脱落率の過小推定と実用上の問題** 本試験では、生残率の低下による飼育個体数の不足を補うために、途中死亡魚についても、2通りの方法でその後の保持状態の変化を推定した。死亡時の保持状態を次の基準月の状態とした方法では、早い時期に死亡した個体ほど更に脱落が進

行した可能性が残っており、脱落率は明らかに過小推定となるが、生残個体の保持状態と同様の変化があると仮定した方法では、推定結果は両側に振れる可能性があるため偏らないことが期待される。一方、補正率推定の基準月を漁期初めの9月に固定したことで、漁期中の脱落の進行を無視しており、ここでも脱落率は過小推定される可能性を含んでいる。従って、本研究で得られたイラストマー標識の脱落率は、過大推定の危険性は低いものの過小推定されている可能性がある。脱落率の過小推定は放流効果の過小推定をもたらすので、留意が必要である。

**脱落補正方法としての合理性** 標識の脱落は時間経過に伴って進行するので、これを正確に把握するには、放流群の一部を継続飼育するか、脱落のない他の標識を併用する以外に方法がない。放流群によって脱落率が異なる場合には群ごとに補正する必要が生じ、継続飼育のための負担が増大する。このような問題に対処する1つの手段として、1例ないしは数例の飼育試験データから、装着状態の異なる他の放流群を補正できる本方法は合理的と考えられる。ただし、イラストマー標識はLEDライトという補助器具によって装着状態を詳細に分類でき、これが正確な補正を可能にする重要な要素であったと考えられる。この脱落補正方法を他の標識へ応用する際には、装着状態の評価精度を高める方法を開発する必要がある。

**イラストマー標識の性能評価** 当海域におけるトラフグ放流魚の回収は、尾数で見れば1歳魚が中心であり、この年齢でのイラストマー標識の持続性は十分と評価できる。しかし、尾数比率は低くとも回収重量や回収金額での貢献が大きい2、3歳魚が過小推定されると、経済効果を見積もる上での影響が大きい。従って、長期的な持続性は十分でなく、定量調査への適用に際しては脱落補正が必要な標識であると判断される。

注意が必要なのは比較放流試験等への適用である。持続性に差がある標識色を用いて比較試験を行うと、再捕尾数に差が生じた、あるいは生じなかった場合の解釈が、各群の移動や生残状況に起因するのか、単に標識の脱落率の差なのか判断できない。この場合も補正を念頭に置くか、同等の持続性を維持できるような標識色、装着方法・確認方法を検討する必要がある。なお、非蛍光色のイラストマー標識は、蛍光色より持続性、視認性が相当劣るので<sup>3)</sup>、利用には更なる注意が必要である。

トラフグ種苗に装着したイラストマー標識は、実際には微細な「点」に過ぎず、決して確認が容易な標識ではない。東海三県のトラフグ共同放流調査では、群識別性を重視してイラストマー標識を選択し、不足する性能を補うための努力が重ねられた結果<sup>3)</sup>、脱落補正方法の開発も含め、定量調査に利用可能な性能を引き出せたと考えられる。ここでの性能評価は標識の特性を普遍的に表したのではなく、対象魚種や調査目的によって変化

する可能性がある。このことを理解し、イラストマー標識導入の際の参考としていただきたい。

## 謝 辞

長期の飼育試験を支えて頂いた南伊豆栽培漁業センターの臨時職員の皆様に心から感謝申し上げます。

## 文 献

1) 北田修一 (2001) 栽培漁業と統計モデル分析. 共立出版, 東京, pp. 103-105.

- 2) 大河内裕之 (2006) 放流効果の調査手法と標識技術. 日水誌, **72**, 450-453.
- 3) 田中寿臣・中西尚文・阿知波英明・町田雅春・大河内裕之 (2006) トラフグ放流効果調査におけるイラストマー標識の適用. 栽培技研, **34**, 43-51.
- 4) 水産庁増殖推進部・独立行政法人水産総合研究センター (2006) 平成17年度 我が国周辺水域の漁業資源評価. 第3分冊, 1388-1400.