

瀬戸内海東部海域におけるブリ人工種苗の標識放流 とその結果（昭和56～57年度）－II 減少過程の 分析と今後の問題点

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: 須田, 明, 錦, 昭夫, 三橋, 直人 メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014267

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



瀬戸内海東部海域におけるブリ人工種苗の標識放流 とその結果 (昭和 56~57 年度) II 減少過程の分析と今後の問題点

須田 明*・錦 昭夫**・三橋直人***

前報¹⁾においては、日本栽培漁業協会屋島事業場が昭和 56 年~57 年度に瀬戸内海東部域で実施したブリ人工種苗の標識放流試験 (表 1) の結果について、放流群別にみた移動、分散や、漁具別にみた再捕状況に重点を置いて報告した。しかし、放流種苗の残存率や漁獲率については大まかな計算結果を述べるにとどまった。

本報告は、これをうけて、放流ブリ種苗の減少過程について、全減少係数を構成する成分や、その季節、海域的な変化に焦点を置きつつ分析するとともに、その結果をめぐって二、三の問題提起を試みたものである。

本文に入るに先だち、本報告の校閲をお願いした日本栽培漁業協会大島泰雄特別顧問、東京大学農学部能勢幸雄教授、再捕資料の解析手法や結果の解釈について議論いただいた当協会企画調査室北田修一氏、本試験の実施を担当された西日本支部古沢 徹第 1 技術部長、屋島事業場福永辰広主任はじめ職員各位に深謝する。さらに、本試験が、和歌山、徳島両県と協同で実施中の“紀伊水道入口水域に於ける当オブリの標識放流試験”の担当者、並びに標識魚の再捕報告について漁業者の指導を行われている瀬戸内海中・東部沿岸各県の普及担当者の協力によって推進されていることを記して、関係各位に厚く御礼申し上げる。

1. 全再捕期間をこみにしてみた減少係数

分析の対象となった標識群の放流並びに再捕の概況を表 1 に示す。スパゲティ型やダート型の標識でも、再捕継続期間は意外と長く、170 日以上、中には 500 日近くに達しているものもある。

(1) 減少係数の計算

減少係数の計算手法には大別して回帰法による方法と最尤法によるものがある。

1) 回帰法による計算

計算の手法は、基本的には BEVERTON²⁾ や BEVERTON and HOLT³⁾ にならったものである。ここでは再捕尾数を放流日 ($t=0$) から始まる 10 日きざみの基準期間毎に集計した。問題は、再捕尾数 0 の基準期間が出現した場合の再捕資料の扱い方である。そのような場合には、再捕のあった基準期間を含むように前後の幾つかの基準期間をこみにし、その間の 10 日当りの平均再捕尾数を求め、この値を各々の基準期間での再捕尾数とした。これは基準期間の幅をなるべく小さくして、再捕の過程を出来るだけ詳しく観察したいという考え方に基づいた資料操作で、基準期間の統合操作を出来るだけ再捕期間の後期に限定しようとするものである。

放流後、 t 日目から始まる基準期間 (10 日間) での漁獲尾数 C_t は以下のように表わされる。

$$C_t = \frac{F}{Z} \cdot N_0 \cdot e^{-Zt} (1 - e^{-10Z}) \quad (1)$$

* 日本栽培漁業協会本部

** 日本栽培漁業協会若狭湾事業場小浜施設

*** 日本栽培漁業協会屋島事業場

表 1 昭和 56 年度および昭和 57 年度における日本栽培漁業協会による 0 才人工ブリ種苗の放流状況

年 No.	放 流 場 所	放流月日	放流尾数	平均全長 (同上範囲)	標識の型式 (標識の大きさ)	再捕 尾数	再捕継 続日数	再捕率
56. 1	香川県 豊島北沖, 団子瀬	8月19日	4927	169.5 mm (122~215)	スパゲティ型 (30~40 mm)	238	381	4.8%
2	"	9月18日	2735	193.7 (152~224)	"	139	215	5.1
3	"	10月20日	693	240.1 (212~264)	背 骨 型	59	175	8.5
4	香川県 本島北沖, 高月瀬	8月20日	4898	190.1 (122~215)	スパゲティ型 (30~40 mm)	186	385	3.8
5	"	9月18日	2744	204.2 (152~244)	"	136	324	5.0
6	"	10月20日	714	240.1 (212~264)	背 骨 型	43	172	6.0
57. 1~4	香川県 小豆島沖, 水ノ子岩	8月13日 ~9月1日	29614	182.0 (137~280)	ダート型 (40 mm)	2313	474	7.8
5	"	9月10日	5574	229.0 (155~280)	"	654	391	11.7

したがって,

$$\ln C_t = a - zt \quad (2)$$

ただし,

$$a = \ln \frac{F}{Z} \cdot N_0 \cdot (1 - e^{-10Z})$$

ここで, N_0 は放流尾数, Z と F は 1 日当りの全減少並びに漁獲死亡係数。 t は放流日からの経過日数で, 0 日目から始まり, 10 日目, 20 日目, ……という風に 10 日間隔となる。

式 (2) の定数は最小自乗法で決めることが出来る。放流群毎に計算した全減少係数と生残率を表 2 に示す。

ところで, 上述の計算では再捕尾数のない基準期間 (10 日間) がある場合, 既に説明したような基準期間の統合操作を行っている。この操作の際の基準期間の組合せ方によって多かれ少なかれ主観が導入され, これが係数の推定値に影響を与えることが考えられる。元来, この手法を用いる際には, 再捕尾数 0 の基準期間がなくなるまで基準期間の幅を拡大してから計算に入れるものである。57 年度放流群 (57・No. 1~No. 4 放流群及び 57・No. 5 の 2 グループ, 再捕資料については表 3 参照) を例に, 再捕尾数 0 がなくなるまで基

表 2 放流群別に, 式 (3) を用いて計算した減少係数 (基準期間 10 日の最小自乗解)

放 流 群	回 帰 式	相 関 係 数	全 減 少 係 数		漁 獲 死 亡 係 数 (日当り)
			(日当り)	(年当り)	
56年 No. 1	$Y = -0.0166X + 2.7472$	-0.9135 (40)	0.0166	6.06	0.0003
No. 2	$Y = -0.0216X + 2.7017$	-0.8192 (22)	0.0216	7.88	0.0006
No. 3	$Y = -0.0256X + 2.1224$	-0.8644 (19)	0.0256	9.34	0.0013
No. 4	$Y = -0.0136X + 2.3273$	-0.8110 (43)	0.0136	4.96	0.0002
No. 5	$Y = -0.0129X + 2.3250$	-0.9044 (34)	0.0129	4.71	0.0004
No. 6	$Y = -0.0214X + 1.6402$	-0.7591 (19)	0.0214	7.81	0.0008
57年 No. 1~4	$Y = -0.0167X + 5.2808$	-0.9198 (48)	0.0167	6.10	0.0007
No. 5	$Y = -0.0174X + 3.9716$	-0.9607 (44)	0.0174	6.35	0.0010

註 1. () 内の数字は回帰式の計算に現われた基準期間 (10 日) 数

2. 回帰式の計算にあたっては, 再捕日不明分を, 各基準期間に, それぞれの再捕頻度に応じて割り振った。

準期間の幅を拡大してみると、表4に示すように、基準期間は No. 1～No. 4 放流群で 60 日、或いはそれ以上、No. 5 放流群で 70 日、或いはそれ以上となる。再捕尾数 0 の期間をなくするためには相当大幅な基準期間の統合が必要ということである。当然、一方では基準期間の統合に伴う情報のロスはあるものと思われる。このように基準期間を統合し直した上で、式 (2) を用いて再計算し直した結果 (表4の最小自乗解) についてみると、仮に基準期間の幅が異なっても、全減少係数には殆んど差は現われていない。しかし、その成分のひとつである漁獲死亡係数についてみると、基準期間が大きくなるにつれて推定値が大きくなる傾向があり、統合操作の影響が示唆される。

2) 最尤法による計算

再捕期間 0 の基準期間が含まれるような再捕データを分析する場合には回帰法より最尤法の方が適している。同時に分析の手法によって係数の推定値がどのように変化するかについても強い関心が持たれるところである。

最尤法については、北田⁴⁾がその幾つかの例を紹介している。ここでは PAULIK⁵⁾の方法を用い、57 年 No. 1～No. 4 放流群と同 No. 5 放流群を事例として、全減少係数と漁獲死亡係数を計算してみた。計算には北田⁶⁾が ROBSON and CHAPMAN⁷⁾の表をもとにして作製した数値表を用いるのが便利であるが、この数値表の場合、準備されている最大の基準期間数が 19 個であるので、計算にあたっては基準期間数が 19 以下になるように、その幅を 30 日、或いはそれ以上にとってある。計算結果は表4に示した。この事例では全減少係数についても、漁獲死亡係数についても、最尤解の方が最小自乗解より大きくなる傾向が認められる。また、最尤解相互に比較してみると、基準期間の幅が大きくなると、逆に、除々にではあるが係数の計算値は小さくなってゆく傾向がある。

(2) 減少係数の計算値のもつ意味

以上、基準期間の大きさを 10 日から 90 日までの間で種々に変化させたり、推定の手法を変えて最小自乗解のみならず最尤解も求めてみた。その結果、最小自乗解と最尤解の間にはかなりの差があるばかりか、同じ最小自乗解や最尤解の間でも、基準期間のとり方によって差が生ずることが示唆された。

理論的に言えば、回帰法 (最小自乗法) でも最尤法でも再捕数は指数函数的に減少するという共通の前提がある。そして実際の再捕経過がこの前提を満しており、かつ標本数が十分に大きい場合には、どの解析手法を用い、どのように基準期間を変化させても、係数の推定値には大きな差は生じない筈である。今回の計算結果のような差を生じた背景には、例えば現実の放流魚の再捕過程には特有の個性があって、これらの分析手法が前提としている再捕数の指数函数的減少という条件が満されていないとか、或いは再捕過程が単純でなく、性格を異にする複数の過程から成り立っているというようなことがあるためであろう。観方を変えれば、推定の方法を変えて、その結果、計算値に無視出来ないような差が生ずる場合には、放流群の減少過程は単純でないと考えるべきであろう。

ここで放流後の経過日数が増加するにつれて、再捕データの式 (2) への当てはまりの程度と全減少係数の推定値がどのように変化するかを検討してみた。表5は、回帰法によって計算した放流後 100 日迄、200 日迄及び全再捕期間に対応する全減少係数、並びに再捕尾数 (対数値) と再捕までの経過日数の間の相関係数を示したものである。この表によると、再捕期間の短かった 56 年 No. 3 及び No. 6 放流群を除いた他の放流群については、放流後 200 日前後までの再捕データの式 (2) への当てはまりが最もよい。200 日を越えると、当てはまりの指標である相関係数が小さくなる傾向がある。特に注目されるのは、200 日迄の再捕資料で計算した全減少係数と、それ以降の再捕データを加えて計算した全減少係数の間にも差があり、前者が後者よりかなり明瞭に大きいことである。この表によれば、放流されたブリ種苗の減少過程は少くとも単純ではないと判断される。おそらく放流後 200 日前後、或いはそれ以前の或る時期に再捕過程に何等かの変化が生じていると思われる。

結局、今回のブリ種苗放流のように、成長と生態変化の著しい幼魚期から出発し、群によっては 1 年以上の期間にわたって追跡を行う場合には、その間に幾つかの減耗条件や再捕条件の異なる生活段階があり、これを無視して全体をこみにした計算を行っても、減少の経過について正確な判断には到達できる保証はな

表 3 モデル放流群 (57 年放流群) からの

No. 1 ~ No. 2 放 流 群						
経過日数	経過日数 (9月1日より)	播 磨 灘	紀伊水道	合 計	統 合 操 作	
					合 計	紀伊水道
1 ~ 10		27		27		
~ 20		45		45		
~ 30	1 ~ 10	243	1	244	243	
~ 40	~ 20	431	17	448	447	
~ 50	~ 30	365	10	375	373	
~ 60	~ 40	192	20	212	211	
~ 70	~ 50	86	27	113	112	
~ 80	~ 60	31	10	41	41	
~ 90	~ 70	58	9	67	67	
~ 100	~ 80	64	20	84	84	
101 ~ 110	~ 90	56	18	74	72	
~ 120	~ 100	23	32	55	44	
~ 130	101 ~ 110	38	42	80	54	106
~ 140	~ 120	14	32	46	23	
~ 150	~ 130	1	11	12	13.7	36
~ 160	~ 140		8	8	13.7	
~ 170	~ 150		17	17	13.7	22
~ 180	~ 160		12	12	6	
~ 190	~ 170		1	1	6	6
~ 200	~ 180		9	9	6	
201 ~ 210	~ 190		4	4	2	2
~ 220	~ 200		2	2	2	
~ 230	201 ~ 210				2	2
~ 240	~ 220				0.7	
~ 250	~ 230		2	2	0.7	69
~ 260	~ 240				0.7	
~ 270	~ 250		41	41	24	7
~ 280	~ 260		7	7	24	
~ 290	~ 270		21	21	24	3
~ 300	~ 280		5	5	1.2	
301 ~ 310	~ 290		1	1	1.3	1
~ 320	~ 300		1	1	1.3	
~ 330	301 ~ 310		3	3	1	0.5
~ 340	~ 320				1	
~ 350	~ 330				1	2
~ 360	~ 340				0.3	
~ 370	~ 350				0.3	2
~ 380	~ 360		1	1	0.3	
~ 390	~ 370		1	1	1.7	2
~ 400	~ 380		2	2	1.7	
401 ~ 410	~ 390		1	1	1.7	2
~ 420	~ 400				0.1	
~ 430	401 ~ 410				0.1	0.5
~ 440	~ 420				0.1	
~ 450	~ 430				0.1	0.5
~ 460	~ 440				0.1	
~ 470	~ 450				0.1	0.5
~ 480	~ 460		1	1	0.1	
~ 490	~ 470				0.1	0.5
~ 500	~ 480				0.1	
合 計		1674 (1602)	389 (389)	2063 (1991)	(注)	257

注： 前報¹⁾での全減少係数の計算に用いた再捕数とその統合操作（前報表3参照）を示す。その後

再捕状況と、係数計算のためのデータ操作

No. 5 放 流 群					
経過日数	播 磨 灘	紀伊水道	合 計	統 合 操 作	
				合 計	紀伊水道
1 ~ 10	197	7	204	204	
~ 20	115	5	120	120	
~ 30	59	4	63	63	
~ 40	26	3	29	29	
~ 50	12	6	18	18	
~ 60	20	3	23	23	
~ 70	16	8	24	24	
~ 80	10	2	12	12	
~ 90	6	11	17	17	
~ 100	12	4	16	16	
101 ~ 110	1	3	4	4	} 10
~ 120	2	3	5	3.7	
~ 130		1	1	3.7	} 7
~ 140		6	6	3.7	
~ 150				1.3	} 2
~ 160				1.3	
~ 170				1.3	} 2
~ 180		2	2	1.3	
~ 190		2	2	1.3	} 2
~ 200				1.3	
201 ~ 210				1.3	
~ 220				1.3	} 1
~ 230				1.3	
~ 240		1	1	1.3	} 7
~ 250		4	4	1.3	
~ 260		3	3	1.3	} 0.5
~ 270				0.17	
~ 280				0.17	} 0.5
~ 290				0.17	
~ 300		1	1	0.17	
301 ~ 310				0.17	} 0.5
~ 320				0.08	
~ 330				0.08	} 0.33
~ 340				0.08	
~ 350				0.08	} 0.33
~ 360				0.08	
~ 370				0.08	} 0.33
~ 380				0.09	
~ 390				0.08	} 0.33
~ 400		1	1	0.08	
401 ~ 410				0.08	} 0.33
~ 420				0.08	
~ 430				0.08	
~ 440				0.08	
~ 450					
~ 460					
~ 470					
~ 480					
~ 490					
~ 500					
合 計	476	80	556	(注)	31

紀伊水道域から追加報告があり、本表の再捕数は前報のそれより多くなっている。

表 5 追跡日数別に計算した“再捕尾数(対数)と経過日数の間の回帰式のパラメータ (b は全減少係数)と相関係数 (r)

a : 回帰線の Y 切片 b : 回帰係数 (全減少係数) r : 相関係数 $T_{\max}$; 再捕のあった最大の基準期間

追 跡 期 間	56. No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	57. No. 1 ~No. 4	57. No. 5
100 日 まで								
a	4.1907	3.2827	2.9305	2.6876	3.1069	2.7767	5.8900	4.7262
b	-0.0375	-0.0277	-0.0475	-0.0013	-0.0266	-0.0473	-0.0243	-0.0274
r	-0.9369	-0.7102	-0.9182	-0.0864	-0.7499	-0.8422	-0.8499	-0.8799
$T_{\max}$	100	100	100	100	100	100	100	100
200 日 まで								
a	4.0433	2.9757	2.1053	3.7231	2.9051	1.6408	6.0343	4.5909
b	-0.0314	-0.0261	-0.0256	-0.0265	-0.0204	-0.0214	-0.0268	-0.0263
r	-0.9576	-0.8663	-0.8644	-0.8811	-0.9149	-0.7591	-0.9703	-0.9626
$T_{\max}$	200	200	190	200	200	190	200	200
全再捕期間								
a	2.7430	2.6872		2.2833	2.2722		5.1329	3.8075
b	-0.0166	-0.0216		-0.0136	-0.0129		-0.0167	-0.0174
r	-0.9135	-0.8192		-0.8110	-0.9044		-0.9198	-0.9607
$T_{\max}$	400	220		430	340		480	440

ということであろう。むしろ全体をこみにして行う計算は問題検討への準備作業と考えるべきであろう。

今回の準備作業の結果提起された問題としては、表 2、表 4 に示したように、全減少係数の値が著しく大きいということが重要である。表 2 によると、年当りの減少係数は 4.71~9.34 とどの放流群についてみても極めて大きい。逆に言えば、年当りの残存率は何れの放流群についても 1% 以下と極端に低い。土井⁸⁾ は漁獲物の銘柄別組成から、ブリの残存率を 0.33 (年当り全減少係数 1.11 に相当) と推定している。今回の標識放流調査で著者等が追跡しているのは 0 才から 1 才前半の幼魚であり、成魚、未成魚に比べて死亡率が高いということはあるとしても、表 2 の全減少係数の値は余りにも大きいように思われる。おそらく元来の死亡以外に、魚群の放流水域外への逸散や、標識の脱落、埋没等、放流技術の不十分さに伴うノイズのために、係数の計算値が著しく大きくなっていると思われる。このような見掛け上の減少要因の効果を分離、推定してゆくことが本報告の重要な課題である。

2. 瀬戸内海東部水域から紀伊水道域へ移動した放流群をモデルとした減少要因の解析

前節で述べたように、放流されたブリ種苗の全減少係数は極めて大きく、かつその減少過程は単純なものではないらしい。このような放流ブリ種苗の減少経過について、さらに理解を増すために、再捕過程を区分し、区分毎に減少係数を構成する成分要因の種類とその大きさの解明を試みることにした。そのため、57 年放流群をモデルに選んだ。この年の放流群をモデルにしたのは、この群が、昭和 57 年度より和歌山、徳島両県と当協会との協力のもとに行われている“紀伊水道入口水域における当オブリの標識放流試験”⁹⁾ の実施水域に向けて移動しており、双方の試験結果を連繫させて考察を進めることが出来ること、脱落の少いと思われるダート型標識が用いられていること¹⁾ 等による。

見掛け上の減少要因としては種々のものが考えられるが、ここでは取りあえず以下の 3 要因をとりあげる。

要因 (1) 対象水域外への逸散 (逸散係数 D)

要因 (2) 脱落、埋没等による標識の減損 (減損係数 L)

要因 (3) 再捕報告洩れ (再捕報告率 α)

そして式 (1) は以下のように書き直すことが出来る。

$$C_t = \frac{\alpha F}{Z} \cdot N_0 \cdot e^{-t(F+D+L+\dots+M)} \cdot (1 - e^{-T(F+D+L+\dots+M)}) \quad (3)$$

ただし、 T は基準期間の日数である。

昭和 57 年群の放流は 8 月中旬から 9 月初旬にかけて行われているが、この後間もなく海水温度は下降し始める。その結果、前報¹⁾でも述べたとおり、放流されたブリ種苗は播磨灘から越冬域である紀伊水道に向けて移動する。しかも播磨灘と紀伊水道とでは、ブリを対象とする漁業の種類やその統数にかなりの差がある。このようなブリの生態と再捕条件をめぐる海域差を考慮して、再捕データを播磨灘域と紀伊水道域に分けて分析を進める(第 3 表参照)。

なお、昭和 57 年度には、表 1 に示したように、全部で 5 群が放流されているが、再捕資料の分析に当っては No. 1~No. 4 放流群はこみにして扱っている。これら 4 放流群では同一の標識が使用されたためである。また、4 群の放流期間に 20 日の幅があるため、No. 1 放流群の放流日から起算して 20 日目までの再捕資料は分析には用いていない。No. 4 放流群の放流日を 0 日目として以下の分析を進めている。また、以下の生残率の計算は全て回帰法で行っている。

(1) 播磨灘と紀伊水道域に分けて観察した放流ブリ種苗の減少過程

57 年放流群を No.1~No. 4 群と No. 5 群の 2 グループに分け、夫々について、播磨灘と紀伊水道域で

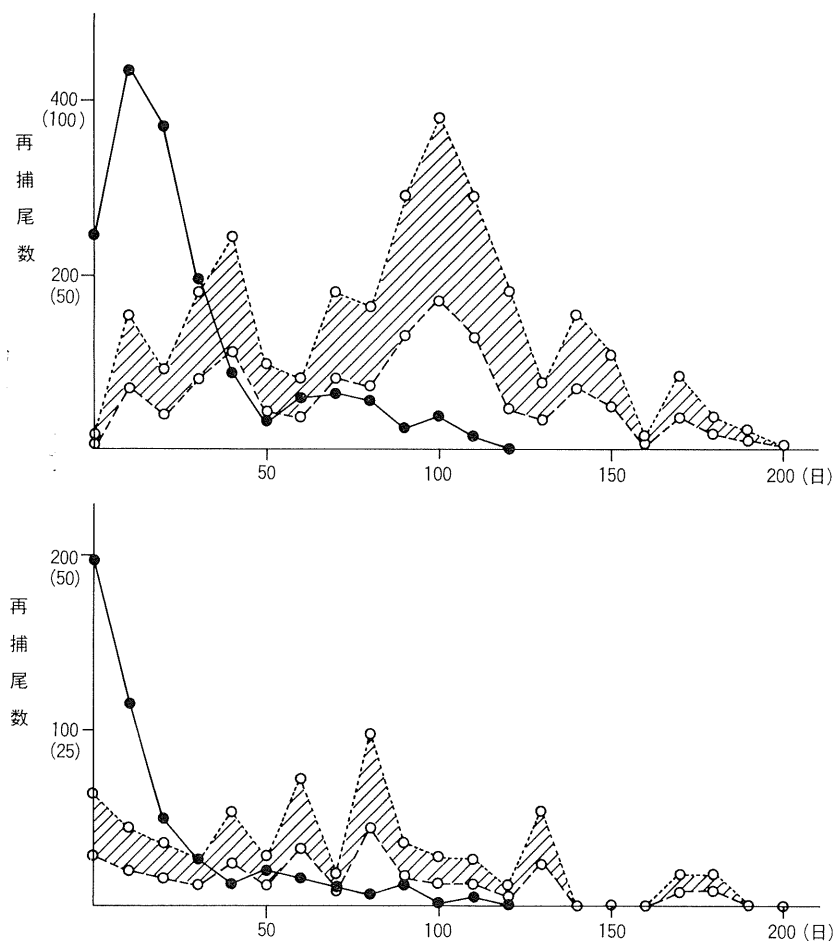


図 1 昭和 57 年放流群の放流後 200 日目までの海域別、経過日数別再捕尾数
 上段は No. 1~No. 4 放流群、下段は No. 5 放流群
 ●は播磨灘、○は紀伊水道域での再捕尾数。また、縦軸目盛 () 内は紀伊水道域での再捕尾数 (下側曲線に対応) を示す。なお、紀伊水道域での再捕数を示す 2 本の曲線のうち、下側曲線は播磨灘の 4 倍、上側のそれは 9 倍のスケールでプロットしてある。

の放流後 200 日までの再捕尾数の変化を図 1 に示す。また、水域別に計算した全減少係数、生残率、漁獲死亡係数を表 6 及び表 7 に示す。なお、表 3 に示すように、紀伊水道域での諸係数の計算にあたっては、播磨灘からの移動に要する時間を考慮して、放流後 90 日目以降の再捕資料を用いている。また、再捕尾数は 30 日毎に集計しているので式 (3) の T は 30 となる。

1) 図 1 によれば、播磨灘から越冬場である紀伊水道域への移動は速やかで、放流後 110～120 日目、換言すれば放流年の年末には播磨灘に残留するブリ幼魚は殆んどなくなる。

表 6 によると、播磨灘だけについて計算した全減少係数は、全再捕期間について計算した値 (表 2, 表 4) より更に大きく、モデルとした 2 つの放流グループの平均で 1 日当たり 0.0377 となっている。放流されたブリ種苗は 1 日当たり 3.5～4%, 月当たり 66～70% の割合で減少していることになる。

一方、表 6 によれば、紀伊水道での全減少係数は播磨灘での約 1/3 で、2 つの水域での減少の様相はかなり異なったものであることが示唆される。

表 6 昭和 57 年放流群について計算した海域別全減少係数と生残率

放 流 群	海 域	回 帰 式 (式 (2))	相関係数*	全減少係数 (日当たり)	全減少係数 (年当たり)	生 残 率 (年当たり)
57年 No. 1～4	播 磨 灘	$Y = -0.0360X + 6.1834$	-0.8737 (13)	0.0360	13.14	0
	紀伊水道	$Y = -0.0130X + 3.9584$	-0.8481 (13)	0.0130	4.75	0.009
57年 No. 5	播 磨 灘	$Y = -0.0393X + 4.9021$	-0.9308 (12)	0.0393	14.34	0
	紀伊水道	$Y = -0.0116X + 1.9945$	-0.8632 (10)	0.0116	4.23	0.015

* () 内は追跡期間数

表 7 昭和 57 年放流群について計算した播磨灘での漁獲死亡係数及び漁獲率

放 流 群	(2) 式の a の値	全減少係数 (日当たり)	放流尾数	再捕報告率 (α)	漁獲死亡係数 (日当たり, F)	放流年内 120 日間に おける漁獲率 (%)
57年 No. 1～4	6.1834	0.0360	29614	1	0.0020	5.5
				0.75*	0.0030*	7.3*
				0.5	0.0039	10.7
				0.25	0.0078	21.4
57年 No. 5	4.9021	0.0393	5574	1	0.0030	7.5
				0.75*	0.0045*	10.0*
				0.5	0.0059	14.9
				0.25	0.0119	30.0

* 最もありそうな値

2) ここで、さきに図 1 に示した両海域での再捕尾数の時間的経過が注目される。この図では、紀伊水道域での再捕尾数を播磨灘でのその 4 倍 (下側曲線) と 9 倍 (上側曲線) のスケールでプロットしてある。一方、後述 (表 8) するように、“紀伊水道入口水域に於ける当オブリの標識放流試験”の放流データ^{11,12)}を用いて、紀伊水道域での漁獲死亡係数が推定できる。ここで紀伊水道での再捕報告率を仮に播磨灘のその 2/3～1/3 と想定し、漁獲死亡係数を高目に評価しても、その値は 1 日当たり 0.00036～0.00072 であり、表 7 に示した播磨灘での平均漁獲死亡係数 0.0037 の 1/5 ないし 1/10 程度になる。したがって両水域での再捕尾数が同じであれば、紀伊水道での魚群量を 4～9 倍* に評価すればよい。その結果、図 1 で両水域の再捕尾数曲線が交る辺りで両水域の魚群量は等しくなると考えられる。放流後 30～40 日目辺りで両水域の再捕

* 両水域での再捕尾数をそれぞれ C_1, C_2 とすると、両水域の魚群量 N_1, N_2 の比は下式で表わされる。

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{Z_1 F_2 (1 - e^{-T Z_2})}{Z_2 F_1 (1 - e^{-T Z_1})}$$

$C_1 = C_2$ とおき、表 6～表 8 から必要な数値を拾って入れてゆくと N_1/N_2 は、 F_2/F_1 が 1/5 ないし 1/10 に対してそれぞれ 4.65, 9.29 となる。

尾数曲線が交叉することから推すと、この前後で放流ブリ種苗の半数がすでに紀伊水道域へ移動していると判断される。ただし、この判断には紀伊水道域における再捕報告率の低さが前提となっており、今後さらに見直してゆく必要がある。

3) 表3によれば、紀伊水道へ移動し、越冬した後、換言すれば200日目以降での再捕状況をみると、ブリが漁獲の対象となり易い時期とそうでない時期があるように思われる。とくに5～6月頃に漁獲が増加するのが注目される。No. 1～No. 4放流群では秋にも再捕のピークが現われている。ただし、今回の放流試験で著者等が追跡し得た期間はせいぜい1カ年程度(表1)であるので、1才後半以降のブリの再捕特性については、今後さらに資料の蓄積をまつ必要がある。

上記1)～3)で指摘した事項に注目しながら、以下、式(3)を構成する各種減少要因について水域別に考察を行う。

(2) 播磨灘における減少要因の分析

放流直後から越冬直前(放流年の年末)までが播磨灘滞留期であり、この水域で越冬する個体は殆んどない。この水域での減少要因としてとくに注目されるのは紀伊水道への逸散である。また、標識の脱落、埋没や再捕報告洩れが全減少係数の推定にどの程度の影響を及ぼすかについても関心がもたれる。

1) 逸散係数(D)の大きさ

さきに述べたように、放流後30～40日で魚群量の半分が紀伊水道域へ移動しているとすると

$$e^{-30D}=0.5 \quad \text{又は} \quad e^{-40D}=0.5 \quad (4)$$

とおける。そして逸散係数(D)の値は、1日当たり0.0173～0.0231(平均で0.0200)という計算になる。この値は播磨灘域での全減少係数の50%以上に相当する。しかもこの値は紀伊水道域での漁獲死亡係数を高目に見積ったときのものであり、実際の逸散係数はさらに大きくなる可能性がある。

2) 標識の減損(L)

当協会の3事業場で飼育中のブリ幼魚を用いて実施したダート型標識の脱落試験の結果を図2に示す。屋島事業場¹⁰⁾での試験結果では、標識の脱落は比較的少く、かつ標識装着後、日数が経過しても脱落は余り進

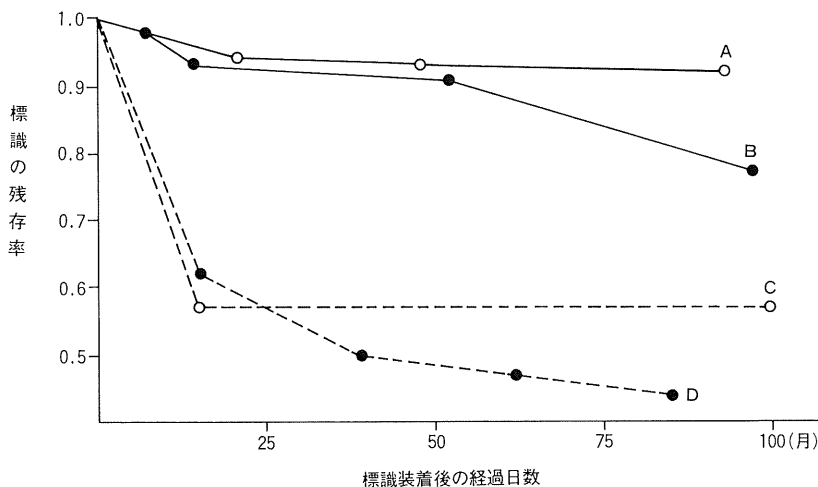


図2 飼育試験によるダート型標識の残存率追跡結果

A 屋島事業場 (1958年) B 屋島事業場 (1959年)
C 上浦事業場 (1958年) D 上浦事業場 (1959年)

* 屋島事業場では金属パイプに標識を挿入し、このパイプを魚体に貫入させた後、パイプだけを抜き去る方法で標識を装着している。一方、上浦事業場では、錐型の穴あけ器で先づ魚体に穴をあけ、ここに標識を植え込み方式をとっている。

行しないように見える。一方、上浦事業場¹⁰⁾での結果では、初め 15 日間の脱落はかなり大きいですが、その後著しく減少する。このような脱落率の事業場間の差は標識装着方法の差に起因する*。

どのような脱落曲線を想定するか、実験のデータがなお十分でないだけに判断はむづかしいが、とりあえず最も単純に、標識の残存率は時間とともに指数函数的に減少してゆくと考えたことにした。屋島事業場での試験結果を用いて計算した標識装着後の経過日数 t に対する標識の残存率 K_t の回帰式は

$$\ln K_t = -0.0222 - 0.0015 t \quad (r = -0.7311) \quad (5)$$

となる。したがって脱落係数は 1 日当たり 0.0015 である。この値は播磨灘での全減少係数の 3~4% に相当する。

この脱落係数を用いて計算してみると、1 カ年後の残存率は約 55%、1 年半後の残存率は 40~45% となる。今回の計算では、指数函数型の脱落曲線を想定し、全期間を通じて脱落率を一定としたが、図 2 での脱落の経緯をとると、標識は装着後ある期間を過ぎれば魚体内に固定され殆んど落ちなくなるという解釈も成り立ちそうである。この場合、ある固定水準に接近してゆく漸近線のようなものを考える方がよいのかも知れない。

以上の議論では、標識の脱落だけが問題にされたが、再捕されたブリ種苗の体長測定結果からみると、放流年の年末には尾叉長はすでに 40~45 cm (600~800 g) に達しており、放流種苗に装着した小型の標識 (40 mm) が体内へ埋没し始める可能性は十分にある。もし埋没が実際に始まっているとすれば、上記の脱落係数の計算だけでは標識の減損係数 L は明らかに過少評価である。

3) 漁獲死亡係数 (F) と再捕報告率 (α)

漁獲死亡係数の推定値の誤差の原因のひとつは、再捕報告率が 1 でなく、かつ正確に再捕報告率を推定することが困難なことにある。表 7 では、まず α を 1, 0.75, 0.5, 0.25 とおいて再捕データから漁獲死亡係数を計算した。ところで、モデル放流群の播磨灘での再捕は当然香川、兵庫両県に集中している。この地域は本試験の実施を担当した屋島事業場にとって情報収集態勢が最も整備されているところであり、実際の再捕報告率は 0.5 よりかなり高いと考えられている。したがって、本報告では最もありそうな報告率を 0.75 とおく。この場合、漁獲死亡係数の値は 0.0030~0.0045 となる。大まかに言えば漁獲死亡係数は全減少係数の約 10% である。また表 7 に示すように、播磨灘に放流された直後から紀伊水道への移動が終了する年末迄の 120 日間での漁獲率は 7~10% で比較的小さいとみることが出来る。

なお、放流直後に、例えば標識装着の傷による死亡、放流時のショック死、外敵による食害等があるなら、ここでも再捕報告率が 1 でないために生ずるのと同じ様な誤差が導入されることになる。おそらくこの型の減耗が実際に存在することは否定できないであろう。ただし、屋島事業場では標識魚は標識装着後直ちに放流せず、数日間蓄養の後放流することになっているので、漁獲死亡係数への影響はある程度小さく抑えられている筈である。

4) 自然死亡係数 (M)

通常、自然死亡係数は全減少係数から逸散、標識の脱落と埋没、漁獲死亡係数等を差し引いた残差として評価されている。しかし、1)~3) で述べてきたように個々の減少係数は不十分な資料と幾つかの仮定に基づいて計算されている。そのうえ、未知の減耗要因が存在する可能性も残されている。したがって現段階では自然死亡係数について十分な根拠をもった議論は不可能と考える。

(3) 紀伊水道域における減少要因の分析

播磨灘に放流されたブリ種苗が、この水域に來遊し、滞留するのは放流年の年末以降、放流後はほぼ 1 カ年迄の間と考えられる。表 6 によれば、この水域での全減少係数は播磨灘でのその約 1/3 である。それでも年率では 4 以上の値となり、決して小さいとは言えない。その内訳は一応以下のようなものであろうと推測される。

1) 漁獲死亡係数 (F)

表 6 からは全減少係数の内訳に関する情報は殆んど引き出せない。そこで昭和 57 年度に和歌山、徳島両県が“紀伊水道入口水域における当オブリの標識放流試験”の一環としてこの水域で行った 0 オブリ種苗の

表 8 昭和 57 年に徳島県及び和歌山県が実施したブリ幼魚の標識放流試験結果を用いて
計算した全減少係数と漁獲死亡係数

放 流 群	回 帰 式 (式 (2))	相 関 係 数*	数全減少係 (日当り, Z)	再捕報告率 (α)	漁獲死亡係数 (日当り, F)
徳島県蒲生田崎 (2943尾)	$Y = -0.0109X + 1.7551$	-0.6007 (16)	-0.0109	0.5 0.25	0.00042 0.00083
和歌山県日ノ御崎 (1910尾)	$Y = -0.0095X + 1.0314$	-0.3897 (11)	-0.0095	0.5 0.25	0.00031 0.00061

* () 内は追跡期間数

標識放流試験の結果^{11,12)}を分析してみた。両県の放流群については、当然放流尾数が判っているので漁獲死亡係数の計算が可能だからである。全減少係数や漁獲死亡係数の計算結果を表 8 に示す*。漁獲死亡係数は、再捕報告率 α を 0.25~0.5 とおいて高目に見積っても、両県の放流群の平均で 0.00036~0.00072 となり、播磨灘よりかなり小さい。この値は、播磨灘に放流され、越冬のためこの水域に移動してきた群にも適用できる筈である。

2) その他の減少係数 (D , L 等)

さきに述べたように、標識の脱落率は 0.0015 と推定されている。一方、放流された年の末にはブリは既に 40~45 cm に達していること、しかもこの水域での主要な滞留期が放流年の年末以降であることを考えると、この水域では幼魚用の小型標識は急速にブリの体内に埋没してゆく可能性がある。その進行程度を数量的に把握することは出来ないが、全減少係数を構成する要因としては無視出来ない程大きくなっているのではないと思われる。

また、外海域への逸散も数量的には把握出来ていないが、同様に無視出来ない減少要因であろうと思われる。成長に伴ってブリは棲息域を内海域から外海域へと移してゆくからである。

以上、1)、2) での議論を通して、まず言えることは、紀伊水道域での全減少係数は播磨灘のそれに較べて可成り小さいということである。しかしその内訳けについては、漁獲死亡係数が 4~7% を占めると推定されることを除いて、現段階では殆んど判っていない。おそらく、見掛け上の減少要因 (とくに標識の埋没と外海域への逸散) が全減少係数のなかで占める割合は著しく大きいであろうと思われる。

(4) モデル放流群に作用した各種減少要因の役割

表 9 はモデル放流群について推定した各種減少係数の大きさと特長を、播磨灘と紀伊水道域にわけて整理したものである。

1) 逸散係数と標識の脱落は見掛け上のものではあるが、前者は播磨灘では全減少係数の極めて大きな成分となっている。紀伊水道においては具体的な推定値を得ていないが実態に大差はないと思われる。

2) 57 年放流群をモデルとして選んだ理由のひとつは、本群に装着したダート型標識の脱落が比較的少ないと考えられたためであるが、この標識の場合でもブリの成長とともに急速に埋没が進むと予想される。表 9 では埋没は未解明の要因群のひとつとして扱っているが、とくに満 1 才以降の減少過程の分析を困難にしている原因である。

3) 播磨灘、紀伊水道の両域を通じて、0 才から 1 才前半での漁獲死亡率は意外に小さい。

4) 播磨灘では逸散 (D) + 漁獲死亡 (F) + 標識の減損 (L) の値が全減少係数の 2/3 を占める。換言すれば自然死亡を含む未解明の減少要因群の合計が全死亡係数の 1/3 ということである。

5) 最後に残された重要な問題は、現状では自然死亡係数の推定が殆んど出来ないことである。この係数の推定は $M = Z - (D + F + L + \dots)$ の形で行われるが、現段階では D , F , L 等個々の要因の推定精度が十分に高くなくところに基本的な問題がある。人工種苗放流の場合、自然死亡係数として評価される成分が“種苗性”に相当する。種苗性は将来の放流技術開発を方向づける Key-factor であるだけに自然死亡係数の

* 徳島県水産試験場が放流した群については、同場による計算結果¹²⁾があり、著者等の計算結果よりやや大きな値になっている。おそらく、これは計算に際しての基準期間のとり方の差にもとづくものであろう。

表 9 瀬戸内海東部に放流されたブリ幼魚に働く減耗要因の内訳
(57 年標識放流群をモデルとする。係数の大きさは日率)

	播 磨 灘 (放 流 年 内)	紀 伊 水 道 (放 流 翌 年 の 前 半)
全 減 少 係 数 (Z)	0.0377 放流の手法 (放流時期, 場所, 放流魚の大きさ等) によって変化する。	0.0123 (同左)
逸散係数 (D)	0.0200 最大の減耗要因。ただし, 見掛け上の要素	係数の大きさ不明 成長に伴う外海域への移動に起因するもので, この水域における重要な減耗成分
成分要素 漁獲死亡係数 (F)	0.0037 意外に小さい。人工種苗はとくに定置網で獲られ易い。	0.0036~0.00072 このあと, 成長とともに本格的に漁業の対象となるので, 漁獲死亡は大きくなると思われる。
標識の脱落係数 (L の一部)	0.0015 この値は実験でさらに確かめる必要がある。	(同左)
未解明の要因群 (M')	全減少係数の約 1/3 一部として, 当然, 自然死亡係数を含む。ダート型標識の埋没がすでに年末に始まっているとすれば, 当然ここに含まれる。	成長に伴うダート型標識の埋没は急速に進み, 未解明要因群のなかで大きな割合を占めると予測される。

正確な把握が必要である。

3. 今後の技術開発上の問題点

以上, 瀬戸内海東部水域に放流されたブリ人工種苗の再捕状況を手掛りに, 放流後の移動とその間での減耗状況を追跡してきた。その結果, 放流ブリ種苗が天然資源に添加してゆく過程の最初の部分, 即ち 0 才後半から 1 才前半における移動や減少要因について, なお不明の点を残しつつも, ある程度の知見が整理されたとともに, 将来の放流技術開発に向けて二, 三の問題点が指摘された。

(1) まず, 前報¹⁾でも述べたとおり, 瀬戸内海域に放流されたブリ幼魚は, 水温の下降とともに放流された年の年末迄に, 越冬場に向けて明瞭な移動を行う。越冬後は, 越冬域を中心に滞留しつつ漸次外洋へ逸散してゆくと考えられ, 放流後 1 カ年以上を経ると追跡も困難になる。外海への逸散の詳細については今後の調査にまたなければならないが, 以上の経緯からみて, 内海域に放流されたブリ種苗は順調に外海域へと移動してゆくように思われる。

同時に, 播磨灘での放流年内の漁獲率は 10% どまりで, 大島¹³⁾が予測したように, 放流直後の望ましくない漁獲を可成り小さく抑え得ることの可能性が示唆されたことも注目される。

このように今回の放流試験を通じて, 瀬戸内海域をブリ資源のナーサリとして利用することの可能性を裏付けるような知見が蓄積されつつある。また紀伊水道域での 0 才魚の漁獲率が播磨灘でのそれより更に低いことを考えると, 播磨灘の代りに紀伊水道域へ種苗を放流することも今後検討の価値がある。

(2) 次に問題になるのは, 放流種苗がナーサリから外洋の資源に向けて添加されてゆく過程で, 如何に添加効率を確認し, かつその効果の改善を図るための Key-factor, 即ち種苗のもつ“種苗性”を確実に測定してゆくかということである。そのための手掛りが, 前者については生残率 $e^{-(F+M)}$, 即ち見掛け上の減少を除去した真の生残率であり, 後者については, 2, (4), (5) で述べたように自然死亡係数である。両者の精度は深く関連し合っていて, いかに後者を正確に把握出来るかにかかっている。

(3) 自然死亡の実態を明らかにしてゆくためには、見掛け上の減耗の解明、とくに紀伊水道域滞留期間中のダート型標識の埋没に関する情報の蓄積や、紀伊水道域から外海資源にむけての添加（逸散）の実態把握が当面の課題となる。

前者、即ち紀伊水道域へ来遊して越冬し、その後外海域へ逸出してゆく迄の間での、埋没によるダート型標識の減損は、表9に示すように、全減少係数の未解明部分のなかで大きな割合を占めていると考えられる。それだけに、標識埋没の発生過程やその進行速度を数量的に把握するために、飼育試験等による観察と測定が必要と考えられる。

後者、即ち内海域から外海資源への添加過程の解明にあたって、小型標識を装着した 20~25 cm 幼魚を長期にわたって追跡することはもともと困難であり、より大型の個体からなる新たな放流群を準備する必要がある。この放流群にはより大型で埋没しにくい標識を使用したい。

(4) 以上のように、標識放流手法の内容充実によって、自然死亡の実態を明らかにし、ひいては放流種苗の添加効率の評価と改善を図り得るものと期待される。

要 約

(1) 備讃瀬戸並びに播磨灘西部域に標識放流されたブリ幼魚は瀬戸内海西部域や紀伊水道域にむけて移動し、かつ、これらの群からの再捕は放流後約 1 カ年にわたって継続する。この間の減少係数の推定値は、計算の手法によって、また放流後の経過日数によっても変化し、個体数の減耗は一樣な過程では進行していないと判断される。今回の標識放流試験のように、成長と生態変化の著しい幼魚期から出発して 1 カ年、時にはそれ以上にわたって追跡を行う場合には、その間に減耗条件や再捕条件を異にする生活段階が存在すると推定され、このことを念頭におきつつ、減耗過程を区分して分析を進める必要がある。

(2) 播磨灘西部域に放流された群をモデルとして、播磨灘滞留期と紀伊水道滞留期に分けてその減耗過程を追跡すると、

1) 播磨灘滞留期（放流直後から放流年の年末迄）での減耗（日率 0.0377）は著しく大きい、その大半は紀伊水道域への逸散を主とし、これに標識の脱落を含めた見かけ上のものである。

2) 紀伊水道域での減耗は播磨灘でのその約 1/3 であり、減耗の主要部分は外海域への逸散と標識の埋没によると予想される。

3) 漁獲死亡係数は両水域を通じて、全減少係数の 10% 以下と推定され、意外に小さい。

4) 自然死亡係数だけをとり出してその大きさを評価できる程には、現行の追跡試験の精度は高くない。

(3) 放流された種苗が播磨灘から紀伊水道域へと効率的に移動してゆくこと、またこの間の漁獲死亡係数が小さいこと等は、瀬戸内海東部域をナースリーとしてここに種苗を放流し、太平洋外海資源への補充量を増加させようという発想の可能性を、少なくともその初期の部分について、示唆するものと考えられる。今後さらに放流種苗の外海資源への添加効果を明らかにするためには、より長期間にわたって追跡精度を高める方向で放流手法の内容充実を図ってゆく必要がある。

文 献

- 1) 錦 昭夫・三橋直人 (1984) 瀬戸内海東部水域における ブリ人工種苗の 標識放流とその結果 (昭和 56~57 年度) I. 栽培技研, **13** (1): 49-61.
- 2) BEVERTON, R. J. H. (1954) Notes on the use of theoretical models in the study of the dynamics of exploited fish populations. Misc. Contr. Biol. Lab. Beaufort, 2: 159 pp.
- 3) BEVERTON, R. J. H. and S. J. HOLT (1957) On the dynamics of exploited fish populations. Fishey Invest., London, Ser. 2, 19: 533 pp.
- 4) 北田修一 (1985) 標識放流再捕データからパラメーターを推定する方法, その理論と応用の留意点. 日裁協研究資料, **28**: 20 pp.
- 5) PAULIK, G. J. (1963) Estimates of mortality rates from tag recoveries. Biometrics, **19**: 28-57. (北田⁴⁾より孫引き)

- 6) 北田修一 (1985) 標識放流再捕データから PAULIK の方法によって生残率を推定するための簡便表. 栽培技研, **14** (1): 79-85.
- 7) ROBSON, D. S. and CHAPMAN, D. G. (1961) Catch curves and mortality rate. Trans. Am. Fish. Soc., **90**: 181-189. (北田⁶⁾ より孫引き)
- 8) 土井長之 (1967) ブリ成魚の漁獲統計調査とその資源学的解析. 農林水産技術会議研究成果, **30**: 100-129.
- 9) 日本栽培業協会 (1983) 日本栽培漁業協会事業年報 昭和 57 年度. 資源添加技術開発の概要, C ブリ: 318-338.
- 10) ——— (1985) 同上 昭和 59 年度. 資源添加技術開発の概要, N 種苗を対象とした標識方法の開発: (印刷中).
- 11) 和歌山県水産試験場 (1983) 紀伊水道域における若年ブリの標識放流結果について. 日栽協研究資料, **25**: 71-81.
- 12) 徳島県水産試験場 (1983) 徳島県瀬戸内海域における当年産ブリの標識放流結果. 同上: 53-69.
- 13) 大島泰雄 (1973) 瀬戸内海におけるブリ種苗放流の意義について. 日栽協研究資料, **4**: 6 pp.