

有明海におけるトラフグの放流技術
と放流効果に関する研究

Studies of stocking techniques and effectiveness
for the ocellate puffer, *Takifugu rubripes* in Ariake Sound

2007年1月

京都大学博士論文

松村靖治

第1章 緒言	49
第2章 標識技術	49
第1節 耳石標識方法	49
1. 材料及び方法	51
1) 浸漬法によるALC及びTCの処理濃度及び処理時間	51
2) 浸漬法によるALC及びTC標識が成長と生残に及ぼす影響	52
3) 浸漬法によるALC及びTC標識の有効期間	52
4) TC経口投与方法による添加濃度及び投与期間	53
5) TC経口投与方法による耳石標識が成長及び生残に及ぼす影響	53
6) TC経口投与方法による耳石標識の有効期間	54
7) 両蛍光物質による複合標識	54
8) 大量標識事例	54
2. 結果	55
1) 浸漬法によるALC及びTCの有効処理条件	55
2) 浸漬法によるALC及びTC標識が成長及び生残率に与える影響 と有効期間	57
3) 経口投与方法によるTC標識の有効処理条件	57
4) 経口投与方法によるTC標識が成長及び生残率に与える影響と有効 期間	58
5) 両蛍光物質による複合標識	59
6) 大量標識事例	59
3. 考察	60
第2節 胸鰭切除標識方法	61
1. 材料と方法	61
1) 標識の識別性と成長・生残への影響	61
2) 標識の作業性と混獲率調査の実用性	62
2. 結果	62
1) 標識の識別性と成長・生残に及ぼす影響	62
2) 標識の作業能率と混獲率調査の実用性	63
3. 考察	64
第3章 当歳魚の放流効果からみた最適放流方法	65
第1節 有明海における当歳魚の漁業実態	65
1. 材料と方法	65
1) 各市場の月別漁獲尾数, 漁獲重量および漁獲金額	66
2) 平均単価および平均魚体重の経月変化	67
3) 各県の漁獲尾数, 漁獲重量および漁獲金額の推定	67
4) 漁場形成	67
5) 有明海における漁獲変動と他海域との比較	68
2. 結果	68

1) 漁獲尾数, 漁獲重量および漁獲金額の経年変化と各市場の割合	68
2) 平均単価および平均魚体重の経月変化	69
3) 県別の漁獲尾数, 漁獲重量および漁獲金額の割合	70
4) 漁獲尾数の経月変化	70
5) 漁場形成	71
6) 漁獲水準の変動	72
3. 考察	72
第2節 当歳時の放流効果と最適放流方法	73
1. 材料と方法	74
1) 標識放流	74
2) 市場調査	76
3) 回収尾数, 回収率, 回収金額および貢献率の推定	76
4) 放流サイズと回収率および放流魚1尾あたり回収金額の関係	77
5) 利益率の推定	77
6) 各県の受益割合の推定	77
2. 結果	78
1) 市場調査結果の概要	78
2) 回収尾数, 回収率, 回収金額および貢献率	79
3) 放流サイズと回収率および放流魚1尾あたり回収金額の関係	79
4) 放流適正サイズの推定	79
5) 各県の受益割合の推定	80
3. 考察	80
1) 種苗放流による漁獲の安定	80
2) 放流サイズと回収率	81
3) 放流海域と回収率	81
4) 経済効率と最適放流方法	81
5) 種苗性	82
第3節 人工種苗の漁獲サイズにおよぼす放流条件, 資源量指数および水温の影響	82
1. 材料と方法	83
1) 成長解析および目的変数	83
2) 説明変数	83
3) 重回帰分析	84
2. 結果	84
1) 成長の解析	84
2) 重回帰分析による変動要因の解析	84
3. 考察	85
第4章 放流魚の産卵回帰時の放流効果	87

1. 材料と方法	87
1) 漁獲量, 漁獲尾数および漁獲金額の推定	87
2) 標識放流	87
3) 標本調査	89
4) 放流魚の判定	90
5) 回収率, 回収重量, 回収金額および利益率の推定	90
6) 放流サイズと回収率の関係	91
7) 当歳時の回収率と産卵親魚時の回収率との関係	91
8) 成長式のあてはめ	91
9) 成熟度	91
2. 結果	91
1) 漁獲量, 漁獲尾数および漁獲金額	91
2) 標本調査	92
3) 回収率, 回収重量, 回収金額および利益率	92
4) 放流サイズと回収率の関係	93
5) 当歳時の回収率と産卵加入時の回収率との関係	93
6) 成長曲線	93
7) 成熟	95
3. 考察	95
1) 放流サイズと回収率および放流効果	95
2) 再捕魚の成長	96
3) 再捕魚の成熟と性比	96
4) 産卵回帰	96
第5章 総合考察とまとめ	97
謝辞	101
引用文献	101
Summary	107

第1章 緒言

トラフグ *Takifugu rubripes* は、日本における食用フグ類のなかではもっとも大型で、全長 80cm、体重 10kg 以上に達する大型種であり、フグ料理の最高級素材である（阿部・多部田 1994, 松浦 1997）。本種の分布域は津軽海峡以西の日本海各地から、太平洋側は茨城以西から瀬戸内海、豊後水道を含めて鹿児島まで、韓国西岸域、黄海、中国北部、東シナ海の揚子江沖合までとされ、日本海西部から東海・黄海では主に延縄漁業により漁獲される重要資源である。本種の生物学的特性については、東シナ海・黄海や瀬戸内海周辺の資源を中心に研究が進められ、その成果は藤田（1962）、多部田（1986, 1997）、松浦ら（1997）、伊藤（1999）によってまとめられている。産卵場は、背後や周辺に広い砂泥底の内湾や浅海をひかえた潮流の早い湾口や多島海に分布し、我が国においては八代海湾口、有明海湾口、福岡湾口、関門海峡、布刈瀬戸、備讃瀬戸などの瀬戸内海中東部、伊勢湾口、能登、秋田県天王町沖が知られている（藤田 1988）。

本研究の調査海域となった有明海は、福岡、熊本、長崎、佐賀の 4 県に囲まれ九州西部に南から深く入り込んだ面積 1,700km² の水面を有する内湾で、八代海、関門海峡、布刈瀬戸、備讃瀬戸と並び特に大きな産卵場と考えられている（多部田 1981）。有明海では 4 月上旬～5 月中旬に湾口域に親魚が来遊し産卵が行われ（藤田 1988）、再生産された仔稚魚は 9～12 月には全長 18～25cm の幼魚へと成長する（山口県他 1987）。有明海産天然当歳魚を用いた放流魚は、成長に伴い対馬沖合や東海・黄海で漁獲されていることから（松清・矢野 1984, 山口県他 1987）、有明海の産卵場は黄海や東シナ海の資源の補給源の一つとして考えられている（藤田 1988, 伊藤 1997）。

本種は有明海において、産卵親魚が湾口付近で 4～5 月に、9～12 月には当歳魚が主に釣りや延縄により漁獲される（藤田 1988, 松村 2005a）。産卵親魚の漁獲量を主要 3 漁協の合計でみると、1980 年代半ばは 10 トンを超えていたが、その後減少の一途をたど

り 1990 年代には 2 トン程度になった（天野・檜山 1997）。当歳魚の漁獲量は 1980 年代に 10 トン以上の高い水準を示していたが、その後は減少し、1990 年以降は資源の豊凶が大きいのが特徴である（山口県ほか 1991, 松村 2005a）。一方、有明海産資源の補給先である東シナ海、黄海、山口県沖の日本海等では、トラフグは 9～4 月に延縄漁業の対象として重要な資源であるが、フグ類主要水揚げ基地である下関唐戸市場の外海産トラフグ取扱量は、1989 年以降減少を続け、1998～2000 年は盛期（1975 年 1000 トン）の 10 分の 1 の 100 トン、2001 年以降は 100 トンを下回り、2004 年は過去最低の 73 トンになった（水産庁 2005）。このように何れの海域においても資源が減少していると考えられることから、早急な資源の回復が望まれている。

トラフグ資源の維持・増大を図るためには種苗放流が有効と考えられるが、このためには放流技術の確立が急務である。本研究では、先ずトラフグ種苗に対して有効な標識技術を開発し、これを用いた大量の標識放流を産卵場である有明海で実施し、追跡調査結果から最適放流方法や放流効果について検討した。

第2章 標識技術

種苗放流の効果を定量的に明らかにするためには、標識の技術開発が必要である。このためには標識の仔稚魚への影響、標識の永続性、標識単価等について総合的に評価する必要がある。ここでは内部標識である耳石標識と外部標識である胸鰭切除標識の 2 通りの標識方法について有効性を明らかにした（松村 2000, 2005c）。

第1節 耳石標識方法

放流魚の標識方法として、アンカータグや鰭切除等の外部標識方法（増村ほか 1974, 立石ほか 1981）に加え、近年蛍光物質を用いた耳石染色による内部標識方法も広く用いられるようになった。本方法は蛍光物質を溶解させた飼育水中に仔稚魚を一定時間収容することにより、耳石の形成過程で蛍光物質を

Table 1 Materials and processes used in the three experiments of marking by immersions in solution of ALC and TC

Stage	Initial materials			Marking treatment				Rearing method						
	Diameter or Total length (mm) (mean±SD)	No./lot	Marking chemical	Conc. (mg/L)	Duration (h)	WT (°C)	No. of lots	Container**	Test period (days)	Rearing temp. (°C)	No./lot	No. of lots	Container**	
Exp.1*1	eggs 8 DAF**	1.29±0.02	50	ALC	5-100	6-24	17.0	24	500mL	4	17.0	50	24	500mL
	eggs 8 DAF**	1.29±0.02	50	TC	50-1000	6-24	17.0	24	500mL	4	17.0	50	24	500mL
	larvae 1 DAH**	3.30±0.03	25	ALC	5-100	6-24	17.0	24	500mL	3	17.0	25	24	500mL
	larvae 1 DAH**	3.30±0.03	25	TC	50-1000	6-24	17.0	24	500mL	3	17.0	25	24	500mL
	juvenile	10.1±0.1	25	ALC	5-100	6-24	19.0-19.5	24	5L	3	19.0-19.5	25	24	30L
	juvenile	10.1±0.1	25	TC	50-1000	6-24	19.0-19.5	24	5L	3	19.0-19.5	25	24	30L
	juvenile	15.1±1.4	25	ALC	5-100	6-24	19.0-19.8	24	10L	3	19.0-19.8	25	24	30L
	juvenile	15.1±1.4	25	TC	50-1000	6-24	19.0-19.8	24	10L	3	19.0-19.8	25	24	30L
	juvenile	21.9±2.0	25	ALC	5-100	6-24	22.1-22.4	24	10L	3	22.0	25	24	30L
	juvenile	21.9±2.0	25	TC	50-1000	6-24	22.1-23.2	24	10L	3	22.0	25	24	30L
	juvenile	30.7±2.9	20	ALC	5-100	6-24	22.1-23.3	24	10L	3	23.0-23.6	20	24	30L
	juvenile	30.7±2.9	20	TC	50-1000	6-24	22.0-23.0	24	10L	3	23.1-23.5	20	24	30L
	juvenile	52.1±6.0	20	ALC	5-100	6-24	24.1-24.5	24	10L	3	24.5-25.0	20	24	30L
	juvenile	52.1±6.0	20	TC	50-1000	6-24	24.1-24.8	24	10L	3	24.5-25.1	20	24	30L
Exp.2**	larvae 1 DAH**	3.30±0.03	2,000	ALC	20	12	16.6-17.0	1	30L	90	17.0-24.5	4,000	1	1000L
	larvae 1 DAH**	3.30±0.03	2,000	con.*7	0	0	16.6-17.0	1	30L	90	17.0-24.5	4,000	1	1000L
	larvae 1 DAH**	3.30±0.03	2,000	TC	300	12	16.6-17.0	1	30L	90	17.0-24.5	4,000	1	1000L
	larvae 1 DAH**	3.30±0.03	2,000	con.*7	0	0	16.6-17.0	1	30L	90	17.0-24.5	4,000	1	1000L
	juvenile	10.1±1.4	500	ALC	50	18	18.6-19.0	1	30L	87	18.5-26.0	1,000	1	1000L
	juvenile	10.1±1.4	500	con.*7	0	0	18.6-19.0	1	30L	87	18.5-26.0	1,000	1	1000L
	juvenile	15.5±1.2	250	ALC	30	18	18.6-19.0	1	30L	87	18.5-26.0	1,000	1	1000L
	juvenile	15.5±1.2	250	con.*7	0	0	18.6-19.0	1	30L	87	18.5-26.0	1,000	1	1000L
	juvenile	15.5±1.2	250	TC	300	18	21.8	1	30L	81	20.0-26.5	500	1	1000L
	juvenile	15.5±1.2	250	con.*7	0	0	21.8	1	30L	81	20.0-26.5	500	1	1000L
	juvenile	23.1±2.3	150	ALC	20	18	20.5	1	30L	94	20.0-26.5	300	1	1000L
	juvenile	23.1±2.3	150	con.*7	0	0	20.5	1	30L	94	20.0-26.5	300	1	1000L
	juvenile	23.1±2.3	150	TC	200	18	20.5	1	30L	94	20.0-26.5	300	1	1000L
	juvenile	23.1±2.3	150	con.*7	0	0	20.5	1	30L	94	20.0-26.5	300	1	1000L
	juvenile	31.6±3.8	150	ALC	15	22	23.0-24.5	1	30L	115	22.6-27.0	300	1	1000L
	juvenile	31.6±3.8	150	con.*7	0	0	23.0-24.5	1	30L	115	22.6-27.0	300	1	1000L
	juvenile	31.6±3.8	150	TC	200	22	23.0-24.5	1	30L	115	22.6-27.0	300	1	1000L
	juvenile	31.6±3.8	150	con.*7	0	0	23.0-24.5	1	30L	115	22.6-27.0	300	1	1000L
Exp.3**	larvae 1 DAH**	3.20±0.03	9,000	ALC	20	12	16.7-17.0	1	10L	598	13.5-27.0	9,000	1	1000L-30kL
	larvae 1 DAH**	3.20±0.03	9,000	TC	200	12	16.7-17.0	1	10L	597	13.5-27.0	9,000	1	1000L-30kL
	juvenile	22.2±2.4	500	ALC	20	18	21	1	200L	549	13.5-27.0	400	1	1000L-50kL
	juvenile	22.2±2.4	500	TC	300	18	21	1	200L	549	13.5-27.0	400	1	1000L-50kL

*1 Exp.1 Optimum range of ALC and TC concentrations and treatment duration

*2 Exp.2 Effect of treatment on survival and growth

*3 Exp.3 Remaining period of mark

*4 DAF days after fertilization

*5 DAH days after hatching

*6 500 mL beaker, 5 L beaker, 10 L bucket, 30 L polycarbonate container, 200 L polycarbonate container, 1000 L polycarbonate container, < ~50 kL tank

*7 con. Control

耳石に沈着させる方法（以下、浸漬法）で、テトラサイクリン（以下、TC）やアリザリンコンプレクソン（以下、ALC）を用いてアユで開発され（Tsukamoto 1985, 1988）、その後マダイやヒラメ等の海産性の栽培対象種で幅広く試みられている（栗田ほか1987, 1989, 関根ほか1988, 今泉ほか1989, 1990, 工藤ほか1991, 岡本ほか1993）。またALCの浸漬法により鱗を標識部位とする方法（中村1994, 山崎2001）やALCを配合飼料に添加し、経口投与によって耳石を標識する方法も開発され（高橋1994）、市場調査や標識作業の効率化と経費の節減を可能としている。これら内部標識方法は魚体への影響や標識の脱落が小さいと考えられており、アンカータグ等の外部標識では装着不可能であった小型サイズの放流魚への標識が可能なることから、生残率や成長等研究機関が自らサンプリングを行う調査に適している（北田2001）。しかし、標識のための適正な処理条件については、断片的な成功例が報告される場合がほとんどであり、種毎の体系的な条件が把握されている例は少ない。

トラフグの放流効果を分析するための標識の開発を目的として、ALC並びにTCの浸漬とTCの経口投与による耳石標識方法について、各発育段階毎の標識処理条件、成長や生残への影響及び標識の有効期間を検討した。また、できるだけ多くの標識パターンを設定するために両蛍光物質を用いた複合標識を検討するとともに、これらの知見に基づいた事業規模での標識作業を行い、生残率や標識率等について実用性を検証した。

1. 材料及び方法

1) 浸漬法によるALC及びTCの処理濃度及び処理時間

実験概要をTable 1 (Exp. 1) に示した。この実験は、それぞれの蛍光物質について、受精卵、ふ化仔魚及び5段階の稚魚のサイズで実施した。供試した受精卵及び仔稚魚は長崎県水産試験場島原分場（現長崎県総合水産試験場）で採卵、ふ化及び種苗生産したものを用いた。それぞれのサイズは、種苗生産の各成長段階で無作為にサンプリングした30~50

個体について、測定（仔稚魚は麻酔後）されたものである。

①. 受精卵 実験には受精8日後（ふ化2日前）の受精卵（平均直径1.3 mm）を用いた。ALC（C19H15N08, 同仁化学研究所製）については6段階の処理濃度（5, 10, 20, 30, 50, 100 mg/L）と4段階の処理時間（6, 12, 18, 24 時間）、TC（C22H24N2O8・Hcl, 和光純薬工業製）については6段階の処理濃度（50, 100, 200, 300, 500, 1,000 mg/L）と4段階の処理時間（6, 12, 18, 24 時間）のそれぞれ計24の実験区を設けた。ALC処理液は予めALCを1規定の水酸化ナトリウム水溶液に溶解させ、1規定の塩酸水溶液を加えpHを8前後に調整した5%ALC処理液を作っておき、必要量を濾過海水に添加して濃度を調整した。TC処理液は予めTCを蒸留水に溶解させ10%TC処理液を作っておき、ALCと同様に必要量を濾過海水に添加して作製した。

標識処理終了後は濾過海水で1日1回換水し、実験開始4日後にふ化数からふ化率を算出し、無処理の対照区受精卵50個のふ化率と対比した。さらにふ化仔魚から扁平石をスライドガラス上に摘出しグリセリンを滴下後、蛍光顕微鏡で観察し標識の有無を確認した。評価は、各実験区から無作為に5尾ずつサンプリングし、サンプリング直後の仔魚の標識が5尾全て明瞭に識別できる実験区は可、それ以外の実験区を不可として取り扱った。

②. ふ化仔魚 平均全長3.3 mmのふ化1日後の仔魚を用いた。ALC, TC共に受精卵と同様の24の実験区を設けた。実験に用いた処理剤は受精卵と同様に作製した。標識処理終了後は濾過海水で1日1回換水し、3日間無給餌で飼育した後にサンプリングした。生残率はサンプリング時の生残数から求めた。標識の有無の判定は受精卵の実験と同様に行った。

③. 稚魚 平均全長10, 15, 22, 31, 52 mmの5段階のサイズで実施した。それぞれのサイズでALC, TC共に受精卵と同様の計24の実験区を設けた。実験に用いた処理液は受精卵と同様に作製し、各区とも処理液を入れた容器（Table 1）に稚魚を

20~25尾ずつ収容しガラス管で通気した。標識処理終了後に稚魚を30L容量ポリカーボネイト水槽に移し、濾過海水による流水(1日あたり4~5回転)とし、全長10, 15, 22mmはアルテミア幼生及び冷凍養成アルテミア、全長31, 52mmについては配合飼料及び冷凍アミを給餌して飼育し、3日後にサンプリングした。生残率はサンプリング時の生残数から求めた。標識の有無の判定は受精卵の実験と同様に行った。

2) 浸漬法によるALC及びTC標識が成長と生残に及ぼす影響

実験の概要をTable 1 (Exp. 2) に示した。この実験はそれぞれの蛍光物質について、ふ化仔魚と4段階の稚魚のサイズで実施した。

①. ふ化仔魚 ふ化仔魚(平均全長3.3mm)を用い、ふ化仔魚で有効と考えられた処理基準(ALC: 20mg/L・12時間, TC: 300mg/L・12時間)で、ALC標識とTC標識用に30L水槽に2,000尾ずつを収容して浸漬した。浸漬処理終了後、標識群にそれぞれ同一ふ化日の無標識仔魚2,000尾ずつを加えた計2群の各4,000尾を1,000Lポリエチレン水槽に収容し混合飼育した。飼育水については濾過海水による流水とし、成長に伴い換水率を1日2回転から10回転まで漸増し、エアストーン2個で通気を行った。餌料にはワムシ、アルテミア幼生、冷凍アミを給餌し90日間飼育した。標識後16, 31, 45, 58, 90日に毎回50尾ずつ計5回のサンプリングを行い、麻酔後に全長の測定と扁平石の取り出しを行った。蛍光顕微鏡により標識の有無を確認し、標識魚と対照魚の平均全長及び比率(各群の標識検出数/サンプル数×100)を比較した。

②. 稚魚 平均全長10, 16, 23, 32mmの4段階のサイズで実施した。それぞれのサイズで共通して有効と考えられた処理基準(ALC: 20mg/L・24時間, TC: 300mg/L・24時間)で10mmでは500尾ずつ、16mmでは250尾ずつ、23及び32mmでは150尾ずつの標識群をつくり、これらの群にそれぞれ同数の無標識群を加え1,000Lポリエチレン水槽に収容し混合飼育した。飼育はふ化仔魚と同様に行い、アル

テミア幼生、冷凍アミを給餌し81~115日間行った。全長10mmでは標識後16, 35, 47, 63, 87日、全長16mmでは標識後16, 32, 47, 67, 81日、全長23mmでは標識後16, 32, 43, 52, 94日、全長32mmでは標識後20, 37, 50, 64, 115日に毎回50尾ずつサンプリングを行い、ふ化仔魚と同様に標識の有無から標識群と無標識群の平均全長を比較した。稚魚の生残率については毎日へい死魚から扁平石を取り出し標識の有無を確認し、それぞれ収容尾数から差し引いて求めた。

3) 浸漬法によるALC及びTC標識の有効期間
実験の概要をTable 1 (Exp. 3) に示した。実験はふ化仔魚と平均全長22mmの稚魚で実施した。

①. ふ化仔魚 平均全長3.2mmのふ化仔魚を用い、ALCについては20mg/L・12時間、TCについては300mg/L・12時間の処理条件で9,000尾ずつ標識した。標識魚はそれぞれ1,000Lポリカーボネイト水槽に収容した。飼育水については濾過海水による流水とし、成長に伴い換水率の漸増(1日2~10回転)と、大型水槽(屋内円形15kL水槽, 屋内円形30kL水槽)への移槽を行った。餌料にはワムシ、アルテミア幼生、冷凍アミ、配合飼料を用いた。ALC標識については標識後15, 32, 46, 60, 92, 121, 151, 203, 299, 598日に、TC標識については標識後17, 31, 45, 59, 91, 120, 151, 202, 298, 597日に10~20尾サンプリングし、麻酔後に全長の測定と扁平石の取り出しを行い、標識の有無を確認した。

②. 稚魚 平均全長22mmの稚魚を用い、ALCについては20mg/L・18時間、TCについては300mg/L・18時間の処理条件で500尾ずつ標識した。標識魚はそれぞれ1,000Lポリカーボネイト水槽に収容した。飼育水管理はふ化仔魚と同様に行い、成長に伴い大型水槽(屋内15kL円形水槽, 屋内50kL円形水槽)に移槽した。標識後16, 35, 51, 63, 92, 112, 134, 164, 204, 260, 549日に10~20尾ずつサンプリングし、ふ化仔魚と同様に全長測定と標識の有無を確認した。餌料には冷凍養成アルテミア、冷凍アミ及び配合飼料を用いた。

また、これら標識魚はその後長崎県漁業公社で親

魚用として継続飼育され、1999年10月にふ化仔魚ALC標識魚は標識後1,996日、ふ化仔魚TC標識魚は標識後1,995日、22mm稚魚ALC並びにTC標識魚は標識後1,957日にサンプリングし、耳石標識の確認を行う機会を得たのでこれらも結果に加えた。

4) TC経口投与法による添加濃度及び投与期間実験概要をTable 2 (Exp. 1) に示した。この実験は平均全長39, 62, 80mmの3段階のサイズで実施した。稚魚は長崎県水産試験場島原分場で種苗生産したものをを用いた。TCは配合飼料に吸収させて投与し、それぞれの稚魚サイズで4段階の添加濃度(2.5, 12.5, 25, 50 mg/g)と4段階の投与期間(1, 3, 6, 9日)の計16の実験区を設けた。配合飼料へのTCの添加率は、まずテトラサイクリン塩酸塩25gに蒸留水を加え完全に溶解させて100mLにした水溶液を作製し、これを蒸留水で薄め配合飼料に吸収させて調整した。TC飼料は冷蔵庫に保管し1日で使い切った。配合飼料は市販のものを用い、稚魚のサイズに合わせて全長39mmでは1mm、全長62及び80mmでは1.5mmの粒径を用いた。実験には100Lポリカーボネイト水槽を用い、いずれのサイズも各区30尾の稚魚を収容した。飼育水は濾過海水を用い約20回転/日で換水した。餌は8~18時までほぼ2時間おきに、毎回飽食になるまで与えた。経口投与終了後は配合飼料給餌による飼育を6日間行い、生残率を算出した。さらに、各実験区から無作為に5尾ずつサンプリングし、耳石標識の状況を確認した。標識の有無の判定は浸漬法の稚魚と同様に行った。

5) TC経口投与法による耳石標識が成長及び生残に及ぼす影響

実験の概要をTable 2 (Exp. 2) に示した。平均全長59mmの稚魚110尾を1,000Lポリエチレン水槽に収容し、前述の経口投与法実験で有効と考えられた添加濃度(25 mg/g)で6日間経口投与により標識し、標識後にふ化日が同じである同サイズで無処理の110尾の計220尾を同じ水槽に収容し混合飼育した。濾過海水による流水とし、成長に伴い換水率を漸増(1日5~10回転)し、配合飼料、冷凍アミを

Table 2 Materials and processes used in the marking experiments by oral administration of TC

Stage	Initial materials			Marking treatment				Rearing method					
	Total length (mm) (mean±SD)	No./lot	Marking chemical	Conc. (mg/g)	Duration (days)	WT (°C)	No. of lots	Container*1	Test period (days)	Rearing temp. (°C)	No./lot	No. of lots	Container*1
Exp.1*1	juvenile 38.8±3.5	30	TC	2.5-50	1-9	19.0-19.5	16	100L	6	19.0-19.5	16	16	30L
	juvenile 61.9±5.7	30	TC	2.5-50	1-9	21.4-22.1	16	100L	6	22.0	16	16	30L
	juvenile 80.1±5.6	30	TC	2.5-50	1-9	21.4-22.1	16	100L	6	22.0	16	16	30L
Exp.2*2	juvenile 59.3±8.4	110	TC	25	6	19.5-20.0	1	1000L	90	18.5-26.0	900	1	1000L-30kL
		110	con.*5	0		19.5-20.0	1						
Exp.3*3	juvenile 77.2±7.7	200	TC	25	3	19.5-20.0	1	1000L	482	18.5-26.0	900	1	1000L-30kL

*1 Optimum range of TC concentrations and treatment days

*2 Exp.2 Effect of oral administration of TC on survival and growth

*3 Exp.3 Remaining period of mark

*4 30L polycarbonate container, 100L polycarbonate container, 1000L polycarbonate container, <30kL tank

*5 con. Control

給餌し90日間飼育した。標識後16, 32, 64, 90日に毎回20~25尾ずつサンプリングした。麻酔後に全長の測定と扁平石の取り出しを行い、蛍光顕微鏡により標識の有無を判定し両群の平均全長及び生残率を比較した。生残率については浸漬法の稚魚と同様にして求めた。

6) TC経口投与方法による耳石標識の有効期間実験の概要をTable 2 (Exp. 3)に示した。実験は25mg/gの添加濃度で3日間経口投与した平均全長77mmの稚魚200尾を1,000Lポリカーボネイト水槽に収容して行った。飼育は濾過海水による流水とし、成長に伴い換水率の漸増(1日5~10回転)と、大型水槽(屋内円形15kL水槽, 屋内円形30kL水槽)への移槽を行った。餌料には冷凍アミ, 配合飼料を用いた。標識後23, 40, 98, 138, 193, 482日に10~20尾ずつサンプリングし, 麻酔後に全長の測定と扁平石の取り出しを行い標識の有無を調べた。

7) 両蛍光物質による複合標識

ALCとTCによる多重の複合標識の可能性を検討した。まずふ化仔魚(平均全長3.0mm)でTC標識(処理基準:500mg/L・18時間)処理し, 日齢40日の平均全長30mmでALC標識(処理基準:20mg/L・12時間), さらに日齢46日の平均全長38mmでTC標識(処理基準:300mg/L・18時間), 日齢55日の平均全長48mmでALC標識(処理基準:15mg/L・12時間), 最後に日齢74日の平均全長73mmでTC標識(12.5mg/g添加濃度の3日間経口投与)を行い, 最終標識づけの1週間後に平均全長80mmでサンプリングし, 蛍光顕微鏡で標識を確認した。

8) 大量標識事例

これまでに得られた処理条件を参考にして1994~1995年は水産試験場島原分場, 1999~2002年は民間の種苗生産機関で大量標識づけを行い, 標識率及び生残率について有効性を検証すると共に標識単価についても検討した。ふ化仔魚のALC及びTCの

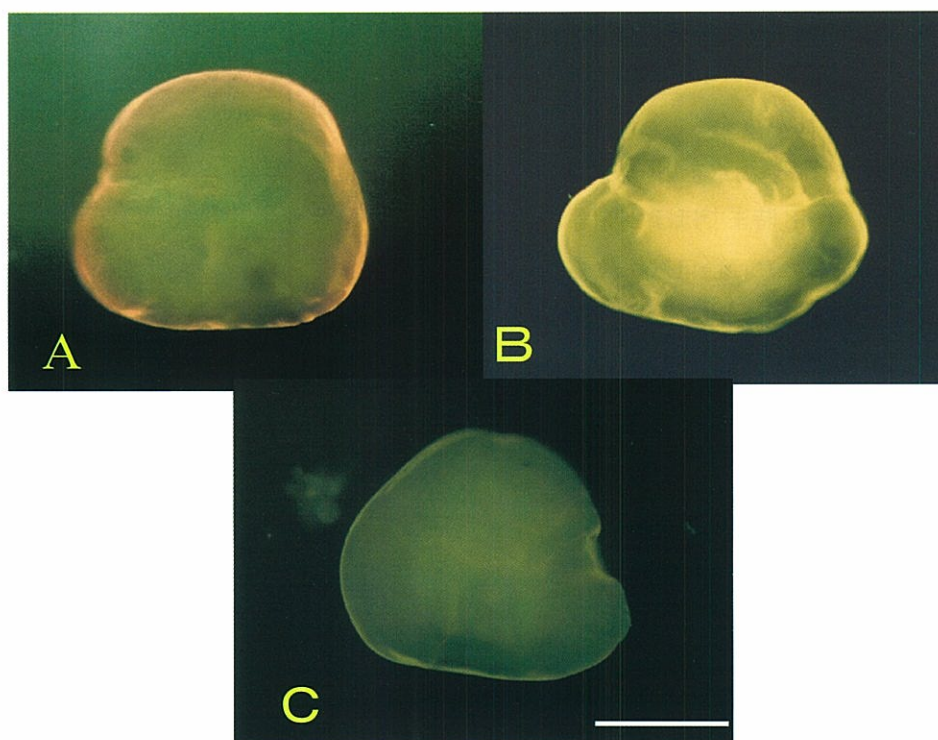


Fig.1 Comparison between fluorescent marks and control otoliths of 31mm juvenile under B-excited UV light. A; otolith after immersion in 20mg/L ALC solution for 18 hours, B; otolith after immersion in 300mg/L TC solution for 18 hours, C; control. Scale bar=200 μ m.

標識処理は500~1,000 Lの水槽をエアストーンで通気し、必要量のALCまたはTCを溶かした処理液を入れて行った。稚魚の標識処理は20~50 kLの飼育水槽に濾過海水を容量の15%程度入れ、エアストーンで通気を行うとともに、小型ポンプで汲み上げた飼育水を再び水槽中へ落下させることで飼育水に流れをおこし、処理液の飼育水への拡散と溶存酸素低下の防止に努めた。TCの経口投与による標識処理は種苗生産中の種苗に1~6日間の経口投与によって行った。それぞれの標識試験で30~100尾づつサンプリングを行い、標識の有無を判定した。さらにそれぞれの事例について、ALCは900円/g、TCは110円/gとして標識単価を算出した。

2. 結果

1) 浸漬法によるALC及びTCの有効処理条件
Fig.1に全長31mmの稚魚のALC標識処理(20 mg/L・18時間)、TC標識処理(300 mg/L・18時間)及び無処理の扁平石を示した。蛍光顕微鏡でB励起

フィルターを使用して観察するとALCは橙色に、TC標識は黄色の蛍光を発生し両蛍光物質による標識は識別が可能である。Fig.2にそれぞれの蛍光物質について、発育段階別に標識の識別が可能であり、受精卵については対照区のみ化率の90%以上、ふ化仔魚及び稚魚については生残率が90%以上の実験区を有効な処理条件(斜線部分)として示した。発育段階毎にみると有効処理条件はALC標識の受精卵及びふ化仔魚では17通りであった。しかし、全長10, 15及び22mmでは、低濃度の短時間処理において標識が不明瞭であったことと、高濃度の長時間処理において生残率が低下したことによって、9~12通りと少なかった。ところが、全長31mm及び52mmでは長時間処理の実験区において生残率が上昇したことや5~10 mg/Lの低濃度における標識が明瞭になったことで、有効な処理条件は受精卵及びふ化仔魚と同程度の18~19通りとなった。

TCでは、受精卵については500~1,000 mg/Lの

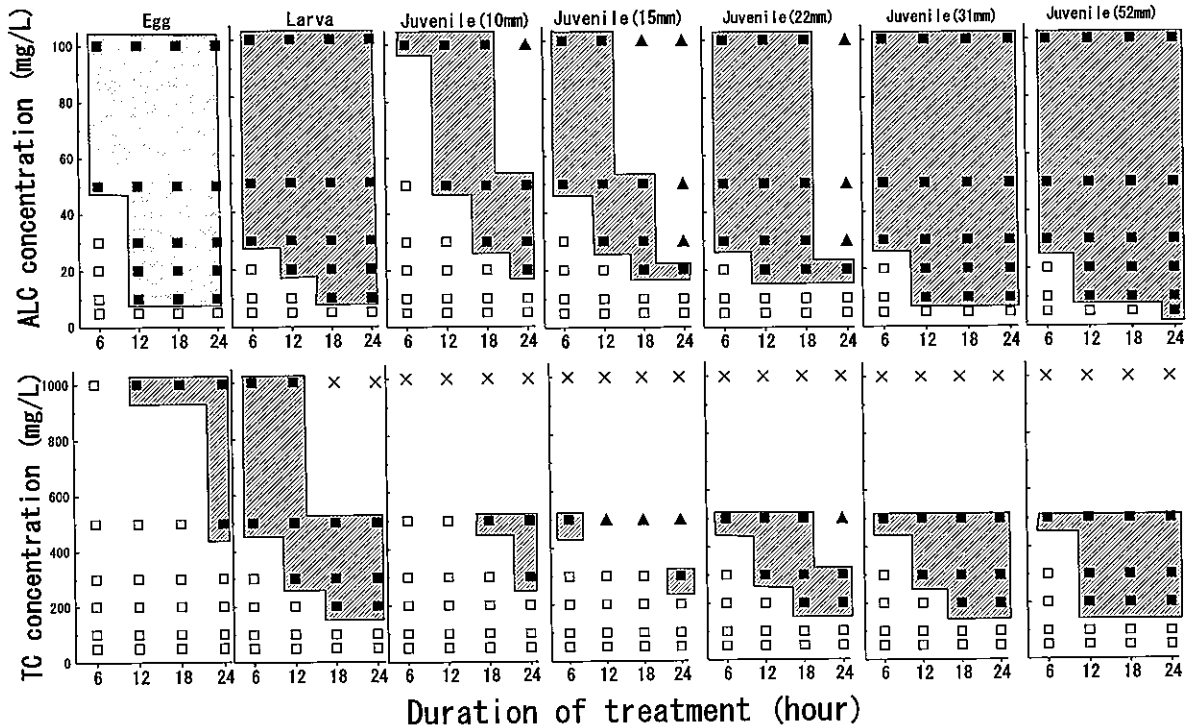


Fig.2 Optimum range of ALC and TC concentrations and treatment duration for marking eggs, larvae and juveniles of ocellate puffer. Square(□), hatching or survival rate $\geq 90\%$; triangle(△), $< 90\%$; cross(×), 0%. Closed symbols indicate all othlith (N=5) marks are visible and open symbols invisible at least one. Shaded areas indicate clearly marked and open areas unsuccessfully marked.

Table 3 Effect of ALC, TC marking on the survival and growth of larvae and juveniles

Total length (mm) marked (mean±SD)	Days after marking	Total length (mm) (mean±SD)		Composition*1 or Survival rate (%)	
		Marked	Control	Marked	Control
3.2±0.2 (ALC)	16	5.0 ± 1.0	5.0 ± 0.9	46.0	54.0
	31	12.3 ± 1.3	12.8 ± 0.8	54.0	46.0
	45	20.9 ± 2.0	21.2 ± 2.1	56.0	44.0
	58	31.2 ± 4.4	32.9 ± 3.3	46.0	54.0
	90	70.3 ± 4.2	71.8 ± 6.4	52.0	48.0
3.2±0.2 (TC)	16	5.2 ± 0.9	5.0 ± 0.9	50.0	50.0
	31	13.1 ± 1.2	12.9 ± 0.9	52.0	48.0
	45	22.0 ± 1.9	21.8 ± 2.0	52.0	48.0
	58	31.3 ± 4.0	33.0 ± 3.3	52.0	48.0
	90	69.6 ± 5.8	71.5 ± 6.0	52.0	48.0
10.1±1.4 (ALC)	16	23.5 ± 2.2	23.5 ± 2.2	72.4	68.0
	35	40.4 ± 4.3	42.2 ± 3.8	60.8	58.4
	47	56.6 ± 7.7	57.9 ± 6.7	59.6	57.6
	63	83.7 ± 5.8	81.2 ± 8.6	59.2	56.4
	87	101.8 ± 7.9	100.8 ± 8.3	58.4	55.6
10.1±1.4 (TC)	16	23.5 ± 2.2	23.5 ± 2.2	66.4	68.0
	35	41.5 ± 3.7	42.0 ± 3.9	57.2	57.2
	47	58.8 ± 5.6	58.9 ± 6.7	56.4	56.4
	63	80.5 ± 5.0	80.0 ± 6.6	56.4	55.2
	87	98.7 ± 10.2	100.2 ± 9.1	55.6	54.0
15.4±1.4 (ALC)	17	26.0 ± 3.0	23.5 ± 2.6	61.6	63.2
	32	45.6 ± 4.0	47.1 ± 4.3	59.2	56.8
	47	69.6 ± 5.8	66.0 ± 6.1	58.8	54.8
	67	89.6 ± 6.3	87.5 ± 5.5	56.8	53.6
	81	103.9 ± 8.7	104.0 ± 8.7	56.0	52.8
15.4±1.4 (TC)	17	25.2 ± 3.0	24.5 ± 2.6	63.6	63.2
	32	45.2 ± 6.5	46.7 ± 4.5	54.0	56.4
	47	73.4 ± 8.5	67.0 ± 6.5	53.6	54.8
	67	86.2 ± 5.8	87.7 ± 5.5	52.4	53.2
	81	101.0 ± 9.5	102.0 ± 8.0	52.0	52.4
23.1±2.3 (ALC)	16	39.5 ± 3.2	41.0 ± 3.4	84.0	84.0
	32	61.5 ± 4.9	61.9 ± 4.9	84.0	84.0
	43	71.5 ± 6.6	74.2 ± 5.6	84.0	84.0
	52	89.3 ± 6.9	86.5 ± 8.3	80.7	82.7
	94	120.9 ± 9.2	123.6 ± 9.9	77.3	75.3
23.1±2.3 (TC)	16	39.4 ± 3.1	41.1 ± 3.4	87.3	85.3
	32	62.8 ± 5.9	61.5 ± 4.4	87.3	84.0
	43	72.9 ± 6.9	74.0 ± 5.5	87.3	84.0
	52	83.9 ± 5.6	86.4 ± 8.2	84.7	82.0
	94	127.9 ± 9.0	123.4 ± 9.7	82.0	75.3
31.6±3.8 (ALC)	20	56.9 ± 5.4	54.3 ± 3.7	77.3	82.0
	37	75.2 ± 6.3	77.6 ± 7.4	76.0	79.3
	50	91.0 ± 5.9	93.0 ± 6.1	74.7	78.7
	64	107.4 ± 6.1	104.9 ± 6.2	74.7	78.7
	115	152.4 ± 13.0	148.1 ± 15.9	74.7	78.7
31.6±3.8 (TC)	20	56.4 ± 5.5	54.3 ± 3.7	80.7	82.0
	37	79.3 ± 4.7	77.9 ± 7.5	78.7	79.3
	50	90.6 ± 8.6	93.2 ± 6.2	78.0	76.7
	64	103.9 ± 8.9	105.5 ± 6.5	78.0	76.7
	115	151.4 ± 11.7	149.1 ± 15.8	78.0	76.7

*1 Values show percentage composition of marked and control fish for newly hatched larvae.

高濃度の4通りが有効であったが、ふ化仔魚では18時間以上では200 mg/Lの濃度でも標識が可能となり11通りとなった。しかし、全長10 mm及び15 mmでは有効条件は2~3通りと少なく、全長22 mm以上では200 mg/Lでの標識が可能となり8~10通りであった。また、全長10 mm以上では1,000 mg/Lにおいては、いずれの処理時間もへい死率は100%であった。

2) 浸漬法によるALC及びTC標識が成長及び生残率に与える影響と有効期間

いずれのサイズにおいても、実験期間を通してALC及びTC標識群と対照区との間で全長に有意差は認められなかった (t 検定, $p > 0.05$) (Table 3)。また、生残率についても同様に標識魚と対照区との間で有意差は認められなかった (z 検定, $p > 0.05$) (Table 3)。以上から、ここで用いた条件下での標識処理が、ふ化仔魚及び稚魚の成長や生残率に

悪影響を及ぼすことはないと考えられた。

ふ化仔魚のALC及びTC標識共に標識後1,995~1,996日までに11回のサンプリングにより各183尾の耳石を調べたが、耳石を研磨しなくても全ての個体から標識が確認でき、標識後5年5カ月後の最終のサンプリング(平均全長444~458 mm)でも標識は明瞭であった。また、稚魚期標識についても標識後1,957日まで合計12回のサンプリングを行ったが、各173尾の個体の耳石全てから両蛍光標識が確認された。(Fig. 3)

3) 経口投与方法によるTC標識の有効処理条件

Fig. 4に全長59 mmで経口投与方法によりTC標識(25 mg/g・6日間)した扁平石を示した。耳石は浸漬法と同様にTC投与方法の耳石の縁辺部分が染色され標識の識別が可能である。Fig. 5に、標識処理時のサイズ別に標識の識別が可能であり、さらに生残率が90%以上の実験区を有効処理条件(斜線部分)とし

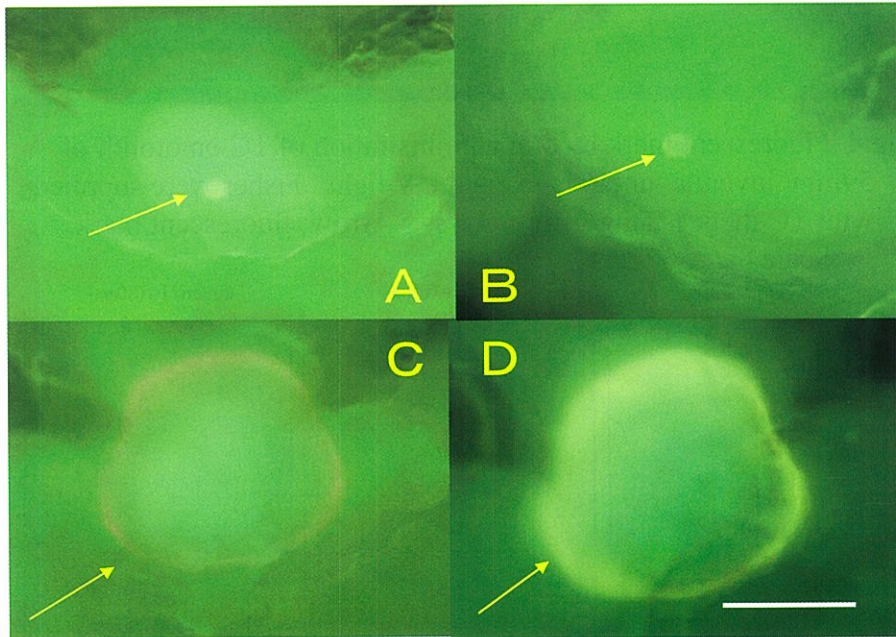


Fig.3 Fluorescent marks under B-excited UV light on otoliths of ocellate puffer reared for 1,995(A), 1,996(B) and 1,957(C and D) days of post-treatment. A; marks by immersion in ALC solution(20mg/L) for 12 hour in larva. B; marks by immersion in TC solution(300mg/L) for 12 hour in larva. C; marks by immersion in ALC solution(20mg/L) for 12 hour in 22mm juvenile. D; marks by immersion in TC solution(300mg/L) for 12 hour in 22mm juvenile. Arrows; fluorescent marks. Scale bar=200 μ m.

て示した。これによると、全長 39 mm では有効な処理条件が 5 通りであったが、全長 62 mm では短期間での処理が可能となり 7 通りと増加し、全長 80 mm ではさらに低い添加濃度において標識づけが可能となった。

4) 経口投与法による TC 標識が成長及び生残率に

与える影響と有効期間

実験期間を通して、全長及び生残率ともに TC 標識群と対照区との間に有意差はみられず (全長: t 検定, 生残率: z 検定, $p > 0.05$) (Table 4), 経口投与法においても標識処理後の稚魚の成長と生残に対する悪影響は認められなかった。また、標識の有

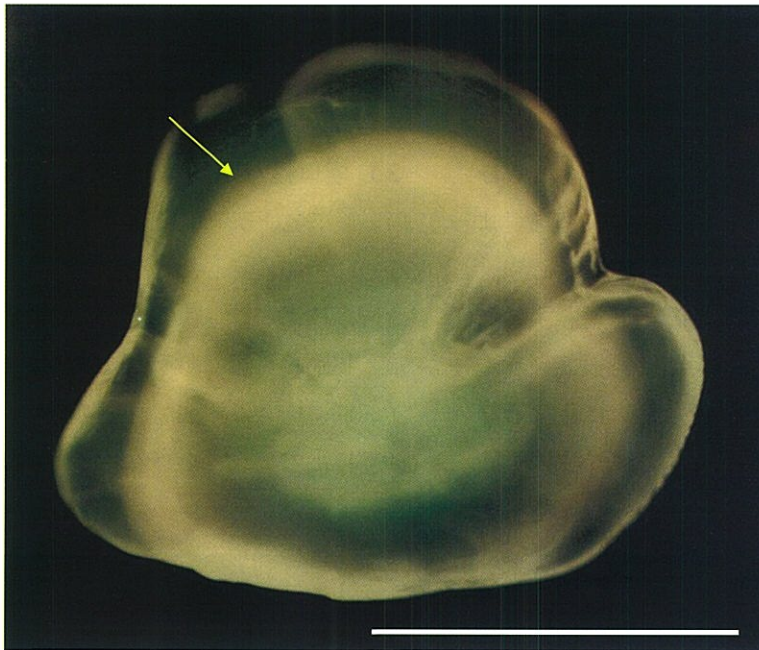


Fig.4 Fluorescent mark by oral administration of TC on otolith of 59mm juvenile under B-excited UV light. Fishes were supplied with TC diets (25mg/g) for 6 days. Arrow; fluorescent mark..

Scale bar=500 μ m.

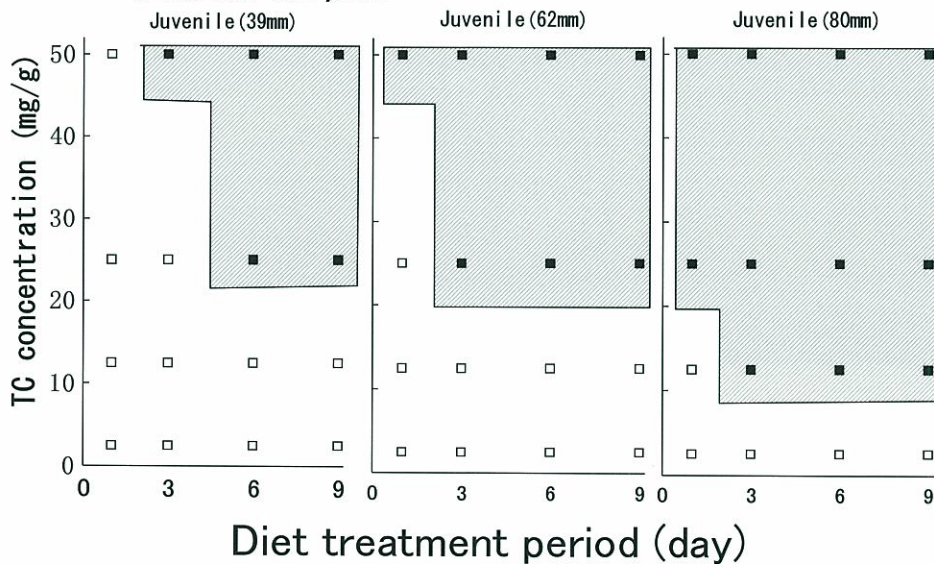


Fig.5 Optimum range of TC concentration and diet treatment period (day). Shaded areas indicate marked clearly and open areas unsuccessfully marked. For meaning of symbols refer to Fig.2.

効期間については、標識後 482 日までに 6 回のサンプリングを行ったが (N=120) 全ての個体で耳石標識は容易に確認できた。

5) 両蛍光物質による複合標識

ふ化仔魚から全長 74 mm まで TC 標識と ALC 標識を交互に行い 5 重標識した耳石の顕微鏡写真を Fig. 6 に示した。B 励起フィルターでは TC 標識の黄色と ALC 標識の橙色が明瞭に判別でき、両蛍光

物質による多重の複合標識が可能であった。

6) 大量標識事例

Table 5, 6 及び 7 に大量標識事例を示した。ALC の浸漬方法は 19 事例, TC は 3 事例, 経口投与による TC 標識は 10 事例実施し, 何れの方法でも標識処理時の生残率は 95~100% と高い値を示した。さらに標識率は何れの事例も 100% であった。単価は ALC 浸漬方法では 0.02~6.9 円/尾, TC 浸漬方法で

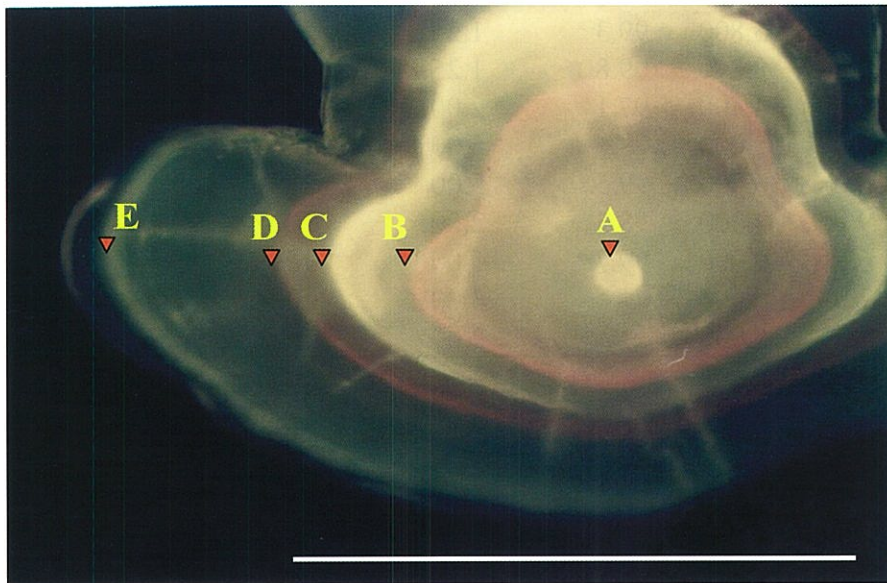


Fig.6 Five fluorescent marks by ALC and TC. A; mark by immersion in TC solution(500mg/L)for 18 hour in larvae, B; ALC solution(20mg/L)for 12 hour in 30mm juvenile, C; TC solution(300mg/L)for 18 hour in 38mm juvenile, D; ALC solution(15mg/L)for 12 hour in 48mm juvenile, E; mark by oral administration of TC diet (10mg/g) for 3 days in 73mm juvenile. Scale bar=500 μ m.

Table 5 Mass-marking by immersion in ALC solution

	Total length (mm) (mean \pm SD)	No. of inds.	Density (N/kL)	Survival rate (%)	Concentration (mg/L)	Treatment duration (h)	Marked rate (%)	Temperature ($^{\circ}$ C)	Marking cost	Marking date
1	18.8 \pm 1.9	109,000	15,571	95.4	14.4	12	100	20.5-23.9	0.8	June 2, 1994
2	31.4 \pm 3.4	23,900	4,345	99.8	11	11	100	21.5-24.0	2.3	June 15, 1994
3	16.6 \pm 2.1	69,500	23,167	92.8	14	11	100	21.3-23.2	0.5	June 23, 1994
4	23.7 \pm 3.3	37,700	10,771	97.6	14.4	13	100	23.5-24.2	1.2	June 29, 1994
5	50.3 \pm 6.4	72,400	3,148	99.3	7.5	12	100	22.9-25.2	2.1	June 30, 1994
6	60.8 \pm 7.1	11,762	1,960	99.9	5	12	100	26.2-28.4	2.3	July 8, 1994
7	63.6 \pm 6.7	32,800	2,343	99.4	10	10	100	27.0-30.1	3.8	July 19, 1994
8	3.3 \pm 0.05	231,000	462,000	100	25	18	100	17.2-18.0	0.05	May 9, 1995
9	3.1 \pm 0.05	699,000	728,125	100	20	23	100	17.2-18.0	0.02	May 11, 1995
10	20.0 \pm 2.1	60,000	13,333	97.6	22	12	100	20.4	1.5	June 13, 1995
11	31.4 \pm 4.9	18,900	4,021	98.4	11	12	100	21.0-23.1	2.5	June 21, 1995
12	38.4 \pm 6.8	8,400	2,400	98.1	10	12	100	22.4-23.4	3.8	July 3, 1995
13	55.1 \pm 8.1	6,890	1,723	98.6	10	11	100	24.5-25.5	5.2	July 10, 1995
14	28.6 \pm 3.7	11,370	3,790	98.6	11	12	100	24.5-25.0	2.6	July 11, 1995
15	53.3 \pm 5.5	11,100	1,586	98.6	5	18	100	23.9-24.3	2.8	July 24, 1995
16	74.4 \pm 5.9	8,900	1,271	97.9	7.5	18	100	23.6-24.0	5.3	July 24, 1995
17	73.5 \pm 8.3	4,420	982	99.3	7.5	20	100	24.5-25.0	6.9	July 24, 1995
18	3.0 \pm 0.1	200,000	400,000	100	30	6	100	18.0-19.0	0.1	Apr. 29, 2001
19	3.0 \pm 0.1	100,000	222,222	100	25	12	100	18.5	0.1	May 5, 2001

Table 6 Mass-marking by immersion in TC solution

	Total length (mm) (mean ± SD)	No. of inds.	Density (N/KL)	Survival rate (%)	Concentration (mg/L)	Treatment duration (h)	Marked rate (%)	Temperature (°C)	Marking cost	Marking date
1	3.3 ± 0.03	61,000	610,000	100	300	18	100	18.0-19.0	0.1	May 6, 1995
2	3.2 ± 0.04	75,880	505,867	100	400	20	100	18.0-19.0	0.1	May 25, 1995
3	32.9 ± 4.6	1,050	3,500	99	350	20	100	25.0-25.5	11	July 24, 1995

Table 7 Mass-marking by oral administration of TC

	Total length (mm) (mean±SD)	No. of inds.	Survival rate (%)	Concentration (mg/g)	Marked rate (%)	Marking cost	Marking date
1	50.5 ± 5.4	11,090	99	2.50	100	2.0	July 18-23, 1994
2	79.5 ± 7.3	5,800	99.3	1.25	100	4.7	Aug. 8-13, 1994
3	70.5 ± 6.6	8,890	99.8	1.25	100	2.8	July 16-19, 1995
4	60.1 ± 7.0	4,400	97.1	2.00	100	2.8	Aug. 5-8, 1995
5	55.0 ± 6.0	65,000	-	5.00	100	2.3	June 27, 2000
6	60.0 ± 6.6	36,000	99.5	5.00	100	3.1	July 4-5, 2001
7	90.0 ± 9.9	4,300	98.3	2.00	100	5.4	July 16, 2001
8	50.0 ± 6.5	40,000	99.7	5.00	100	1.7	June 20-21, 2002
9	66.7 ± 7.0	29,000	-	3.00	100	2.4	July 1-2, 2002
10	77.0 ± 8.3	16,000	-	2.00	100	3.3	July 9, 2002

は0.1~11円/尾, TC経口投与方法では1.7~5.4円/尾であった。標識処理時の全長(xcm)と単価(y円/尾)の関係は, ALCの浸漬法, TCの経口投与方法ともにべき乗回帰式で近似され, 以下の式で示された。

ALC浸漬方法

$$y=0.0114 \times x^{1.46} \quad (r=0.970, P<0.01)$$

TC経口投与方法

$$y=0.0031 \times x^{1.68} \quad (r=0.869, P<0.01)$$

これによるサイズ別単価の推定値はALC浸漬法では全長50mmで3.4円, 60mmで4.5円, 70mmでは5.6円であり, TC経口投与方法では50mmで2.2円, 60mmで3.0円, 70mmで3.9円となった。同じサイズでは, TC経口投与方法がALC浸漬方法の3分の2程度の単価であった。

3. 考察

浸漬法, 経口投与方法共にそれぞれ設定した全ての発育段階で標識が可能であった。また発育段階により有効な処理時間や処理濃度に差があることが判明し, 両方法共に稚魚ではサイズが大きいほど有効な処理条件の組み合わせが多くなるという共通の傾向

がみられた。標識可能な処理濃度はALC浸漬とTC浸漬で約20倍以上と大きく異なった。またALC浸漬方法のマダイ(栗田1987)の例と比較すると, トラフグでは10分の1程度の濃度で標識づけが可能であった。一方, 高橋(1994)はALC(添加量: 10mg/g)の経口投与によりヒラメの耳石標識が可能と報告している。トラフグに対してもTCと同様の方法で最高濃度50mg/gのALC経口投与を10日間実施したが, 明瞭な標識は得られなかった(松村未発表)。このように, 適正な標識条件は魚種により, また使用する標識剤により大きく異なる。この原因として蛍光物質の吸収効率が魚種や標識方法によって異なることが考えられるが, これらについては今後の課題である。

両方法とも有効な処理濃度では, 標識後の成長及び生残率に全く異常は認められず, 有効期間についても5年以上維持されることが飼育実験で確認された。著者らは有明海でトラフグの耳石標識放流を行い, その後の追跡調査で有明海に産卵回遊した親魚からこれら耳石標識魚を確認した。研磨等の処理無しに, 得られた耳石標識から標識回数, 種類, 標識径を用いて年度別に放流群が判別され, 2~7歳魚

(全長 402~580 mm)であることを確認した(山口県ほか 2002)。マダイでは、耳石標識を確認するためには、ふ化仔魚標識では 212 日以上、全長 10 mm での標識では 412 日以上になると研磨処理が必要であった(栗田 1987)。これに比べてトラフグでは無処理で長期にわたり耳石標識を確認できることが、本種における耳石標識方法の利点である。通常、耳石は稚魚の成長と共に肥厚するが、本種の扁平石は薄い形状をしており、耳石が成長しても厚味がほとんど増加しないためと推察された。大量標識においては標識単価を考慮し有効な処理濃度範囲の下限域で実施したが、高い生残率と 100%の標識率が得られ、大量規模での有効性が検証された。浸漬法の場合、収容密度により標識単価は異なる。今回実施した収容密度は、同サイズにおける飼育密度の 4 倍以上に相当する。これ以上の高密度では、嘔み合いの誘発(大上ほか 1982, 長尾ほか 1993)により生残率の低下や代謝の低下による標識剤の取り込みの悪化が懸念されることから、実施例は安全で標識可能な実用的収容密度と考えられる。これら実証例での標識単価は 0.02 円~11 円であった。この中で TC による稚魚(平均全長 33 mm)での浸漬法が 11 円と特に高かった。TC は薬価が ALC の 8 分の 1 程度であるが有効処理濃度が、同じサイズでは 20 倍から 30 倍であるため、単価は 3 倍以上となり実用的ではない。TC の経口投与法は ALC の浸漬法に比べてもより安価であることを考慮すると、ふ化仔魚では ALC と TC の浸漬法、稚魚では ALC の浸漬法と TC による経口投与法が標識単価を考慮した実用的な方法であろう。また経口投与法は標識作業が水槽に限られる浸漬法と異なり、海面生簀で飼育中のトラフグ種苗にも標識可能なことから、海面生簀での中間育成中に標識できるという利点がある。今後は、さらに粒子の小さい配合飼料へ TC を添加することにより、同法による標識サイズの小型化の検討も必要である。

耳石標識放流による放流効果調査では、耳石標識の有無による天然魚と人工種苗の判別に加え、標識の回数を変えて複数の放流群の判別を行う必要があ

る。今回得られた多重の複合標識方法により、標識群の組み合わせを多様化させることが可能となった。著者はこれらの方法を組み合わせて、有明海において 1994 年には 8 種類、1995 年には 9 種類の標識群を区別する等、放流サイズ別あるいは放流場所別の標識放流を行い、当歳魚の放流効果の結果から最適放流方法を検討した(松村 2005b)。

第 2 節 胸鰭切除標識方法

有明海は東シナ海におけるトラフグ資源の補給源と考えられ(藤田 1988, 伊藤 1997)、長崎県総合水産試験場が実施した有明海当歳魚の外部標識放流結果においても、1 歳魚以降は九州北西海域を中心とした外海域で再捕例がみられ、広域的に移動・回遊することが明らかになっている(山口県ほか 1999)。このように広範囲で受益が予想される有明海トラフグの栽培漁業を事業化するためには、外海域も含めて放流効果を成長段階別に明らかにすることが重要である。第 1 節で開発した耳石標識は小型サイズに装着可能であり、標識の保有期間が長く、ALC と TC を併用することで標識の組み合わせが豊富になるという利点がある反面、外部から標識の識別が不可能であるために、標本を大量に購入しなければならず、その経費がかかるという欠点があった。従って、成長に伴い検体費用がより高額となる 1 歳魚以上での効果を推定するためには、外見から識別可能な外部標識を開発し、より効率的な調査を行う必要がある。

トラフグの尾鰭は種苗生産中の共食いにより欠損し、成長に伴い鰭条が乱れることが知られている(岩本ほか 1997)。ここでは、トラフグ人工種苗の胸鰭をハサミで切除し、再生の過程で生じた鰭条の乱れや変形を標識に用い、その識別性や成長・生残への影響を飼育試験により検討した。また、2 万尾について胸鰭切除による標識放流を有明海で実施し、現場での作業性や市場調査での実用性について検討した。

1. 材料と方法

1) 標識の識別性と成長・生残への影響

標識の識別性や成長・生残への影響を明らかにす

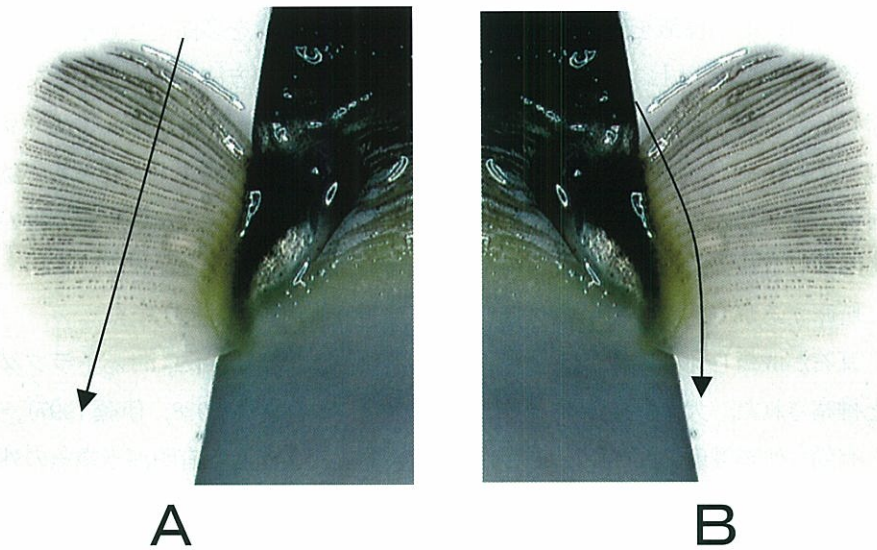


Fig.7 Clipping method of pectoral fin of juvenile puffer. A)Half-clipping of right pectoral fin, B)Whole-clipping of left pectoral fin. Arrows indicate the clipping directions.

るため、民間の種苗生産機関から購入したトラフグ人工種苗（平均全長 $68.5 \pm 6.5\text{mm}$ ）を用いて長崎県総合水産試験場の室内水槽で飼育試験を行った。胸鰭切除の方法として、右胸鰭の半分程度を直線的に切除する方法（Fig. 7 A）と、左胸鰭の根元付近をやや弧を描くように切除する方法（Fig. 7 B）の2通りを設定した。それぞれ60尾ずつ施し、半切除群と全切除群とした。これら2標識群の計120尾と無処理の対照群60尾を同一の飼育水槽に収容して飼育した。飼育試験は2000年4月7日に開始し、飼育開始後30日までは1.6KL角形水槽で、それ以降は12KL巡流式水槽で行った。飼育中は配合飼料を給餌し、へい死個体については胸鰭の形状から群の識別を行った。標識後15, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300日目に胸鰭の形状から全個体を3群のいずれかに識別して計数し、この値をへい死数を差し引いた各群毎の生残数と比較することにより標識の識別性を検討した。また、各群20~30個体の全長及び体重を測定し、3群間で成長を比較した。成長差の検定には一元配置による分散分析（川端1986）を用いた。

2) 標識の作業性と混獲率調査の実用性

2000年7月5日と6日に、右胸鰭の半分切除により2万尾の標識作業を長崎県内の民間種苗生産場で

実施し、胸鰭切除標識の作業性について検討した。これら胸鰭切除標識魚にさらにTCの経口投与による耳石標識を7月7日に同種苗生産場で行い、7月10日と11日に有明海に放流し、これら標識魚が当歳魚として漁獲される10月31日~12月15日の間に、島原半島の主要水揚げ漁協で標識魚の混獲率に関する調査を6回実施した。調査は、水揚げされた個体の中から無作為に抽出・買い取りを行い耳石標識の有無から標識魚の混獲率を算出する方法（以下耳石標識方法という）と、

揚げされた残りの個体の中から右胸鰭の形状により標識魚と判断された全個体を計数し、買い取る方法（以下胸鰭切除標識方法という）の2通りを同じ日に実施し、調査可能尾数、放流魚の混獲率の精度推定及び経費について両方法を比較した。混獲率の区間推定値を、次式により大きさNの母集団からnの標本をとった場合の母集団比率pの95%信頼区間（藤沢1987）で示した。

$$\bar{p} \pm 1.96 \sqrt{\frac{\bar{p}\bar{q}}{n} \cdot \frac{N-n}{N-1}} \quad \text{ここで } \bar{p} \text{ は混獲率, } \bar{q} = 1 - \bar{p}$$

2. 結果

1) 標識の識別性と成長・生残への影響

Fig. 8に両標識群とコントロール群の30日後及び

300 日後における胸鰭の形状を示した。これによると両標識群で胸鰭の再生状況が異なった。半切除群は 30 日後の形状に示すように全個体とも切除部分から一様に再生し、再生部分から腹側へ‘へ’の字状に折れ曲がるような鰭条の乱れを生じた。乱れ的位置(赤色矢印)は30 日後においては胸鰭の中ほどであったが、再生部分の伸長が著しいため、300 日後は胸鰭基部付近となるのが特徴であった (Fig. 8 B)。一方全切除群は半切除と同様に再生し鰭条の乱れが生じるパターン (Fig. 8 B)と、再生が行われず胸鰭がいびつに変形するパターン (Fig. 8 C)があり、両パターンの出現頻度はそれぞれ 22%と 78%であった。両標識群にみられる胸鰭の変形は飼育日数が 300 日経過しても明瞭で、対照群における正常な鰭との区別は容易に出来た。また、いずれの標識群とも各測定日において、胸鰭の形状から 3 群に識別して得られた群毎の出現尾数と、へい死数を差し引いた各群毎の生残数は一致した。Table 8 に標識後 15 ~300 日目の平均全長と平均体重を対照群、半切除

全切除群の 3 群別に示した。分散分析の結果、何れの測定日においても 5%の危険率で 2 標識群と対照群の 3 群間に有意な差は認められなかった。またへい死は飼育開始後 300 日までに各群で 2 尾ずつ認められたのみで 3 群とも同一の生残率であった。

2) 標識の作業能率と混獲率調査の実用性
 それぞれの方法で得られた放流魚は、耳石標識方法：12 尾、胸鰭切除標識方法：62 尾となり、混獲率は耳石標識方法：4.1%、胸鰭切除標識方法：3.7%となり耳石標識方法が若干高めに評価された。

推定された混獲率の 95%信頼区間は、耳石標識方法の 1.9~6.3%に対し、胸鰭切除標識方法は 2.8~4.6%と大幅に狭まり、精度の高い推定が出来た。調査の経費は、耳石標識方法の 175,800 円に対し、胸鰭切除標識方法では胸鰭標識魚と判断された 62 尾のみの購入であったため、2 割程度の 37,200 円であった。なお、胸鰭切除標識魚と判断された 62 尾中 4 尾については耳石標識が確認されなかった。これら 4 尾は放流魚由来と考えられる

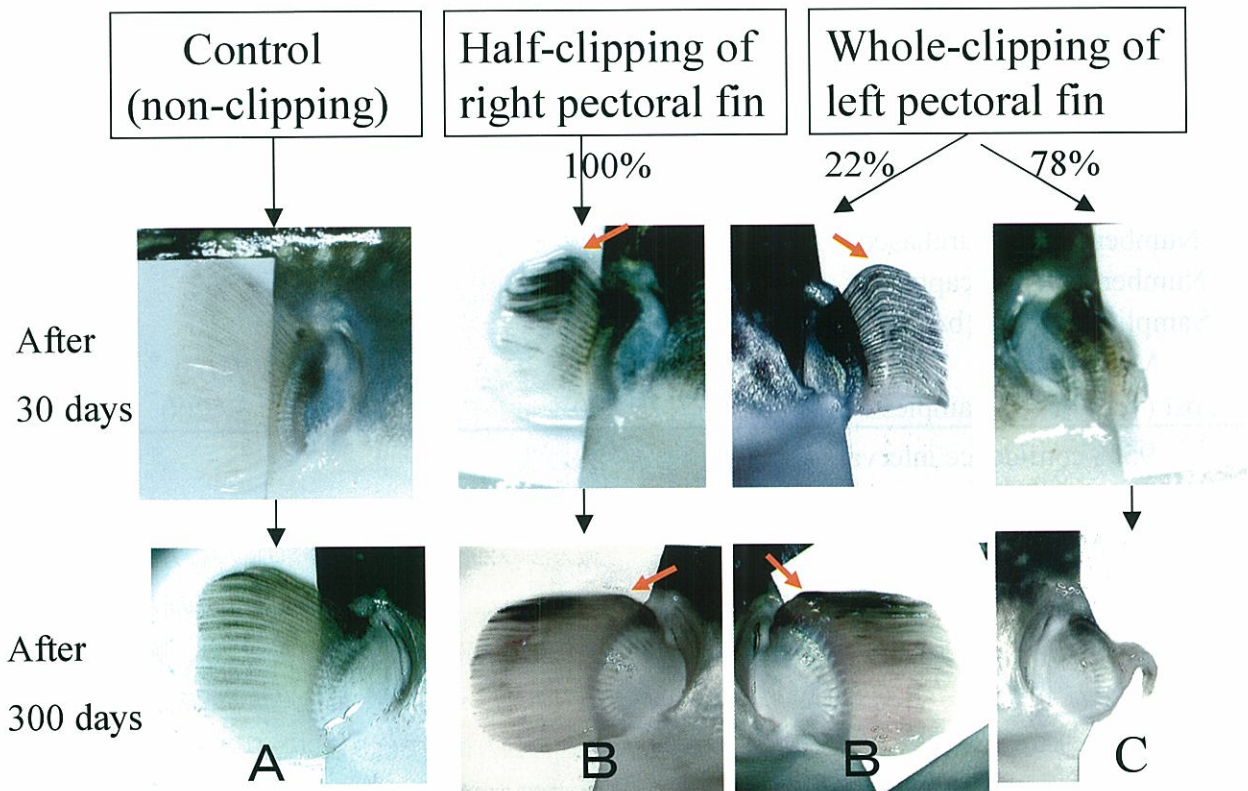


Fig.8 Results of the pectoral fin clipping experiment. A)Control(non-clipping), B)Regenerated pectoral fin, C)Unregenerated pectoral fin.

Table 8 Average length and weight of juvenile puffer at each time after fin-clipping

Day after marking	Total length (mm) ^{*1}				Body weight (g) ^{*1}			
	Control	Fin-clipped (half)		Fin-clipped (whole)	Control	Fin-clipped (half)		Fin-clipped (whole)
15	73.3 ± 3.5	72.7 ± 4.2	73.4 ± 3.8	10.0 ± 1.7	9.9 ± 1.9	10.2 ± 1.9		
30	82.1 ± 4.7	81.2 ± 4.3	80.8 ± 4.3	14.4 ± 3.0	14.2 ± 2.3	13.8 ± 2.6		
50	90.1 ± 5.2	89.7 ± 5.0	91.3 ± 5.4	18.4 ± 3.3	17.7 ± 3.6	19.1 ± 3.7		
75	110.5 ± 7.5	110.6 ± 5.9	109.8 ± 6.1	34.8 ± 6.7	33.3 ± 5.1	33.4 ± 5.9		
100	133.9 ± 9.4	128.8 ± 7.4	132.9 ± 9.5	60.8 ± 13.2	52.5 ± 7.8	58.6 ± 13.6		
150	188.9 ± 10.7	189.8 ± 10.1	188.3 ± 8.6	188.8 ± 35.6	192.7 ± 26.6	185.3 ± 21.9		
200	237.2 ± 13.7	236.9 ± 14.3	232.1 ± 11.0	356.5 ± 57.4	372.5 ± 69.3	346.0 ± 44.5		
250	270.6 ± 13.5	272.9 ± 13.8	273.8 ± 11.8	526.5 ± 94.8	533.3 ± 88.9	552.5 ± 88.3		
300	288.6 ± 15.2	287.3 ± 13.4	284.3 ± 11.0	672.4 ± 104.7	671.6 ± 133.7	631.8 ± 90.6		

^{*1} Mean±standard deviation

Table 9 Work efficiency for half-clipping of right pectoral fin of juvenile puffer

Date of clipping	Number of engaged persons	Time(hour) spent for clipping	Number of juvenile clipped	Work efficiency of clipping (number of juveniles clipped / person·hour)
July 5,2000	6	4.1	10,190	414
July 6,2000	6	3.2	9,900	516
Total or average	6	7.3	20,090	459

Table 10 Results of the survey on the sampling fraction, mark rate, and cost of fish samples during Oct.31 to Dec.15,2000 at the fish market around Ariake Sound

	Marking method	
	Tetracycline on otolith	Pectral fin-clipping
Number of fish landed (a)	17,076	17,076
Number of fish examined (b)	293	1,658
Number of fish purchased	293	62
Number of fish recaptured	12	62
Sampling fraction(b/a,%)	2	10
Mark rate(%)	4.1±2.2 ^{*1}	3.7±0.9 ^{*1}
Cost (yen) of fish samples	175,800	37,200

^{*1} 95% confidence interval

尾鰭に鰭条の乱れが認められた。

3. 考察

胸鰭半切除標識の作業能率を Table 9 に示した。7月5日と6日に6人の作業員で標識作業を実施した結果、1日目が4時間6分で10,190尾、2日目が3時間12分で9,900個体を処理できた。作業時間から算出した1人・1時間あたりの標識数は1日目：414尾、2日目：516尾となり、作業の馴れにより2日目の作業能率が向上した。Table 10に

市場調査結果について示した。調査尾数は耳石標識方法の293尾に対し、胸鰭切除標識方法は1,658尾であった。耳石標識方法では予算の関係上1回あたりの購入尾数に限度があったが、胸鰭切除標識方法では水揚げされる全尾数の調査が可能のため、今回の調査では5倍以上の調査尾数が得られた。期間中の水揚げ総尾数は17,076尾であったことから標本抽出率はそれぞれ耳石標識方法：1.7%、胸鰭カット標識方法：9.7%であった。

じた胸鰭の乱れや正常に再生されなかった胸鰭の変形から非切除群との識別性が高いことが明らかになった。標識の均一性という点からは、半切除群において鰭条の乱れかたが一様であったのに対して、全切除群では鰭が正常に再生されずに変形するパターンが主にみられ、一部については半切除群に類似した再生部分の鰭条の乱れのみのもも認められ、均一性を欠いた。全切除標識では胸鰭基部における切除位置の微妙なずれが再生状況に影響したと考えられる。識別性の点では半切除にみられる鰭条の乱れに比べ、全切除群の鰭の変形の方がより高い。調査員が市場調査を行う体制では半切除標識で対応可能であるが、漁業者や市場関係者からの再捕報告型の調査では識別性がより高い全切除標識の利用が有効であろう。

宮木ら (1999) は外部標識方法としてイラストマー標識を検討した。本方法はシリコン樹脂を色分けすることで組み合わせが豊富である反面、作業性(時間あたりの処理能力)が200~300個体程度と胸鰭切除方法に比べると低く、単価もシリコン樹脂代を含めるとやや割高になるという欠点がある。今回の調査では、4個体について胸鰭切除標識魚と判断されたが耳石標識は確認されなかった。TCによる耳石標識率は100%であること、有明海では今回の試験放流以外に25万尾の放流実績があったことから、これら4個体は今回の試験放流魚以外の放流魚と考えられた。胸鰭切除標識の組み合わせは左右2通りと少ないため、この標識方法を用いた放流群毎の識別(例えば他県との区別や放流年ごとの区別)は不可能である。従って、本方法は単独で用いるのではなく、今回の放流試験のように耳石標識方法と組み合わせることにより、複数の標識群を判別することが必要である。胸鰭切除による標識単価は1日1人で3,000尾処理できれば、作業労賃が2円/尾程度となり、これに耳石標識のコスト(松村2005c)を加えても6~9円/尾程度と安価でできる。また、市場調査では無作為にサンプルを抽出し、購入していた従来の耳石標識に比べ、調査精度が高まり、経費の削減が可能となった。本研究で行った有明海当歳魚の混獲

率調査において、これらの有効性が実証された。飼育300日後の全長は天然魚では満1歳魚以上に相当すること、飼育試験において200日以降は胸鰭の乱れ変化が無いことから、胸鰭切除標識の識別は1歳以降も可能と考えられる。

第3章 当歳魚の放流効果からみた 最適放流方法

栽培漁業を効果的に推進するためには放流技術の確立が必要である。本章では、まず放流効果を推定する上で重要となる有明海当歳魚の漁獲実態を明らかにし、サイズ別、海域別に放流した標識魚の再捕結果から、放流技術で重要な項目である放流サイズ、放流海域、種苗性及び放流時期(Yamashita et al. 1999)について検討した。

第1節 有明海における当歳魚の漁業実態

有明海は瀬戸内海(Kusakabe et al. 1962)、関門海峡域、不知火海、若狭湾(藤田1962)、伊勢湾口(神谷ほか)等と共に、我が国におけるトラフグ*Takifugu rubripes*の主要な産卵場として知られている。有明海では4月上旬~5月中旬に湾口域に親魚が来遊し産卵が行われ(藤田1983)、再生産された仔稚魚は9~12月には全長18~25cmの幼魚へと成長し、一本釣りや延縄漁業で漁獲される(山口県ほか1987)。放流効果を推定する上で有明海における当歳魚の漁獲量、漁獲金額および漁場利用等の漁業実態の把握は重要な基礎的知見となるが、その実態や漁獲量は十分把握されておらず、有明海全域における漁獲量や水揚げ金額、漁場の分布や季節的な推移など漁業実態は明らかでない。そこで、有明海におけるトラフグ当歳魚の漁業実態を全域的な調査により明らかにした(松村2005a)。

1. 材料と方法

有明海で漁獲されたトラフグ当歳魚が水揚げされる市場は、福岡県の福岡魚市場株式会社筑後中部魚市場(以下筑後中部魚市場と称する)、福岡魚市場株式会社大牟田魚市場(以下大牟田魚市場と称する)の2消費地市場、熊本県の熊本魚株式会社(以下熊

本魚市場と称する)の1消費地市場,長崎県の島原漁業協同組合(以下島原漁協と称する),布津町漁業協同組合(以下布津町漁協と称する),有家町漁業協同組合(以下有家町漁協と称する)の3漁業協同組合および株式会社池田水産魚市場(以下池田水産と称する),有限会社入千代商店魚市場(以下入千代商店と称する),川田水産魚市場(以下川田水産と称する)の3産地市場の計6市場3漁協である(Fig.9)。筑後中部魚市場には,9~12月に福岡県の一本釣り漁業者の他に佐賀県や熊本県の一本釣りの漁業者が水揚げする。大牟田魚市場には,9~12月に福岡県と熊本県の一本釣り漁業者が水揚げする他,佐賀県の本一本釣り漁業者が販売委託した運搬船が水揚げする。熊本魚市場では,9~10月に熊本県の本一本釣り漁業者が水揚げする。島

原漁協,池田水産,入千代商店および川田水産では,10月に島原市内の本一本釣り漁業者,11~12月に同市内の底びき網漁業者が水揚げする。布津町漁協および有家町漁協では,10~12月に各漁協の組合員の延縄漁業者が水揚げする(Table 11)。1991~1995年と1999~2002年に,これら全市場を対象に漁業実態調査を実施した。

1) 各市場の月別漁獲尾数,漁獲重量および漁獲金額

調査方法を Table 11 に示した。

①. 筑後中部魚市場および大牟田魚市場 市場において集計されている各月のトラフグの取扱額を1尾あたりの平均単価で除して月別漁獲尾数を求め,この値に月別の平均体重を乗じて漁獲重量を推定した。

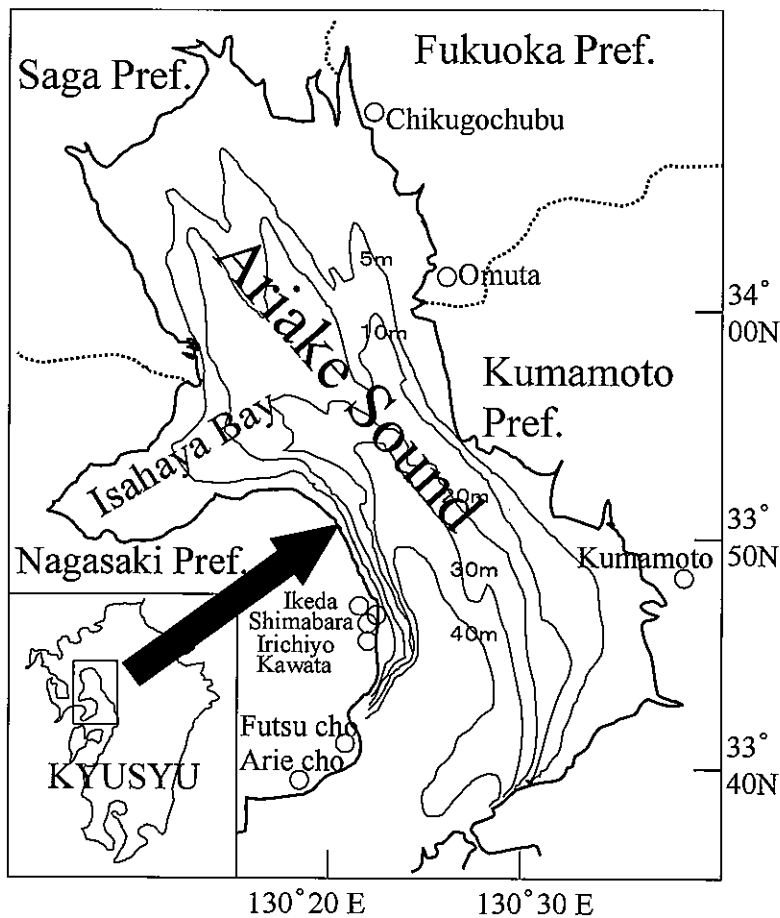


Fig.9 Map of the study area, Ariake Sound. Open circles indicate the location of fish markets used in this study.

Table 11 Outline of fish markets investigations

Fish market	Fishing season	Type of fisheries	Investigation method		
			Monthly catch in number	Monthly catch in weight	Monthly catch in sales
Chikugochubu	Sep.- Dec.	Angling	estimation	estimation	actual number
Omuta	Sep.- Dec.	Angling	estimation	estimation	actual number
Kumamoto	Sep.- Oct.	Angling	questionnaire	questionnaire	estimation
Shimabara	Oct. - Dec.	Angling, Bottom trawl	questionnaire	questionnaire	estimation
Ikeda	Oct. - Dec.	Angling, Bottom trawl	questionnaire	questionnaire	estimation
Irichiyo	Oct. - Dec.	Angling, Bottom trawl	questionnaire	questionnaire	estimation
Kawata	Oct. - Dec.	Angling, Bottom trawl	questionnaire	questionnaire	estimation
Futsu	Oct. - Dec.	Longline	estimation	questionnaire	estimation
Ariecho	Oct. - Dec.	Longline	estimation	questionnaire	estimation

なお、大牟田魚市場については地元産と佐賀県海域産に分かれることから産地ごとに算出し、これらを合計して求めた。

②. 布津町漁協および有家町漁協 漁協では、月別に水揚げ金額と水揚げ量の把握が可能であるが、この中には布津町漁協で僅かに、有家町漁協では漁獲の半数以上、八代海で漁獲されたトラフグ当歳魚が含まれている。漁協の職員に日別に有明海と八代海に海域を分けて水揚げ量の調査を依頼し、この結果を基に、海域毎に集計した有明海分の月別の漁獲重量を平均魚体重で除して月別漁獲尾数を求めた。月別の漁獲金額は、有明海における漁獲重量と八代海における漁獲重量で比例配分して有明海分の水揚げ金額を求めた。

③. その他の魚市場 魚市場職員に全水揚げ日について水揚げ尾数と水揚げ重量の調査を依頼し、月別の漁獲尾数と漁獲重量を求めた。月別の漁獲金額は、月別の漁獲尾数に1尾あたり平均単価を乗して求めた。なお、島原市内の1漁協と3魚市場については、取扱数量が少なく漁期や漁法が同じことから1つにまとめて扱った。

2) 平均単価および平均魚体重の経月変化前項で得られた各市場の月別漁獲尾数、漁獲重量および漁獲金額を各年の月別に全市場分を集計し、全市場の月別漁獲金額を月別漁獲尾数で除して平均単価を、全市場の月別漁獲重量を月別漁獲尾数で除して平均魚体重を求めた。

3) 各県の漁獲尾数、漁獲重量および漁獲金額の推定

当歳魚は福岡県、佐賀県、熊本県および長崎県の有明海4県の漁業者により漁獲される。そこで各県の漁獲尾数、漁獲重量および漁獲金額の比率を推定した。推定にあたっては各魚市場職員からの聞き取りを参考とし以下の通りに行った。筑後中部魚市場の漁獲尾数の内訳は福岡県を80%、佐賀県および熊本県をそれぞれ10%とした。大牟田魚市場の漁獲尾数は、地物の内訳は福岡県を90%、熊本県を10%とし、委託物は全て佐賀県の漁業者によるものとした。熊本魚市場の漁獲尾数は全て熊本県漁業者によるものとした。島原市の1漁協3市場、布津町漁協および有家町漁協における漁獲尾数は全て長崎県の漁業者によるものとして取り扱い、漁獲重量および漁獲金額についても同様な方法で推定した。

4) 漁場形成

1995年に上記の市場に水揚げする一本釣り漁業者8名(福岡県:4名、佐賀県:2名、熊本県:1名、長崎県:1名)と布津町漁協の延縄漁業者3名を対象として標本船調査を行った。調査方法は操業日、操業場所、漁獲尾数の記載を依頼し、得られたCPUE(漁獲尾数/隻・日)を緯度・経度2分毎に区分した区画に割り振り、半月毎に区分集計を行い平均値を求めた。延縄の漁場については複数の区画をまたぐため、漁獲尾数を区画数で除してCPUEを求めた。このようにして得られた平均CPUEの区画分布について漁法をまとめて取り扱い、これをもとに漁場形成の推移を調べた。さらに、同年に有明海で実施された9~12月の各月の浅海定線観測結果(佐賀県有明水産振興センター、福岡県水産海洋技術センター

有明海研究所, 熊本県水産研究センター) を基に水温分布図を作成し, 漁場形成と比較した。水温については, 全長 100mm を超す当歳魚は9月上旬から12月頃までの間を底層で過ごすと言われており (藤田 1962), 海底上 1m の値を用いた。

ここではこれらの異なる産卵場の漁獲変動と比較した。八代海の当歳魚の漁獲変動の指標として, 有家町漁協における延縄漁業の CPUE (kg/隻・日) を用いた。CPUE は月別の漁獲尾数, 漁獲重量および漁獲金額の項で得られた 1991~1995 年および 1999~2002 年

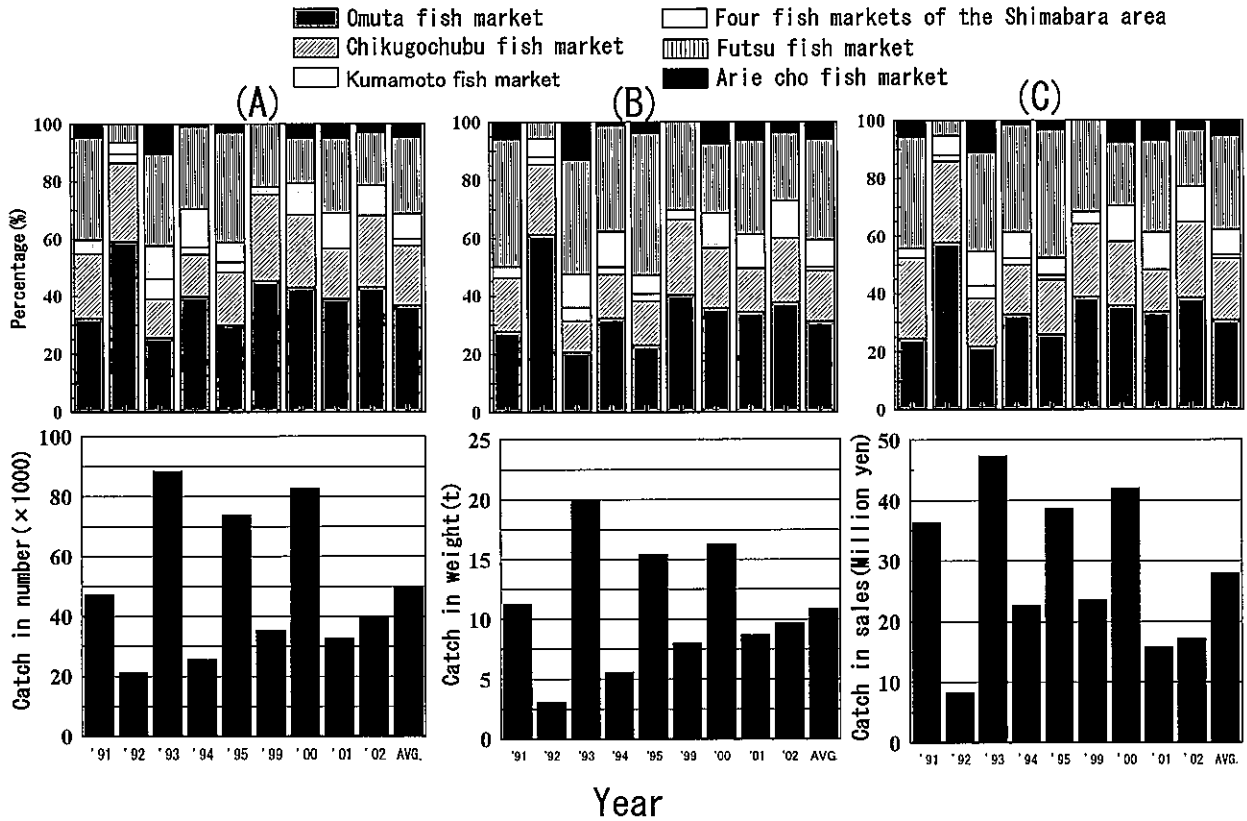


Fig.10 Annual changes in catch in number (A), catch in weight (B) and catch in sales (C) of young-of-the-year (YOY) ocellate puffer (bottom) and annual changes in composition of each value by fish markets (top). AVG:average

5) 有明海における漁獲変動と他海域との比較
 有明海当歳魚の漁獲変動の指標として, 漁獲重量が多い布津町漁協における延縄漁業の CPUE (kg/隻・日) を用いた。CPUE は月別の漁獲尾数, 漁獲重量および漁獲金額の項で得られた 1991~1995 年と 1999~2002 年の 10~12 月の漁獲重量の他に, 1996~1998 年に同様の調査で得られた漁獲重量も含め, 漁協の職員に調査を依頼して得られた 10~12 月の水揚げ隻数で除して年別に求めた。トラフグの産卵場は有明海の近隣では八代海や福岡湾湾口で確認されており, この海域においても再生産された当歳魚の漁獲がみられる (藤田 1983, 山口県ほか 1987, 浦田 1965)。

年の八代海分における 10~12 月の各年の漁獲重量を, 漁協の職員に調査を依頼して得られた 10~12 月の水揚げ隻数で除して求めた。福岡湾の資源量として, 福岡県水産海洋技術センターが調査した 1991~2000 年の当歳魚の現存資源量 (山口県ほか 2001) の推定値を用いた。

2. 結果

1) 漁獲尾数, 漁獲重量および漁獲金額の経年変化と各市場の割合

有明海における 1991~1995 年および 1999~2002 年の漁獲尾数は 21~88 千尾で最大値は最小値の 4 倍以上の値を示した。漁獲重量は 3.1~20.0 トンと

なり最大値は最小値の 6 倍以上の値を示した (Fig. 10)。各年の漁獲尾数および漁獲重量の市場別の割合をみると、大牟田魚市場では漁獲尾数 25~59%、漁獲重量 21~61%、筑後中部魚市場では漁獲尾数 13~28%、漁獲重量 11~25%、布津町漁協では漁獲尾数 5~36%、漁獲重量 6~44%を示し、何れも年変動が大きく、特に布津町漁協で最大値は最小値の 7 倍以上の値を示した (Fig. 10)。9 ヶ年の平均では、この 3 市場で全体の 83%を占めた。この中で特に不漁であった 1992 年は、布津町漁協および有家町漁協の延縄漁業は採算が合わず漁初期に操業を打ち切ったため漁獲がほとんどなく、大牟田魚市場と筑後中部魚市場が全体の 86%を占めた。トラフグ当歳魚の漁獲金額は 8~47 百万円となり漁獲重量と同様に 6 倍以上の差が認められた (Fig. 10)。主な魚市場の割合は大牟田魚市場 21~58%、筑後中部魚市場 16~28%、布津町漁協 5~45%となり漁獲重量と同様の傾向を示し、9 ヶ年の平均においても 3 市場で全体の 83%と大部分を占めた。

2) 平均単価および平均魚体重の経月変化 Fig. 11 に各年の 1 尾あたりの平均単価と平均魚体重の経月変化を示した。1 尾あたりの平均単価は 9 月 134~456 円、10 月 298~707 円、11 月 588~911

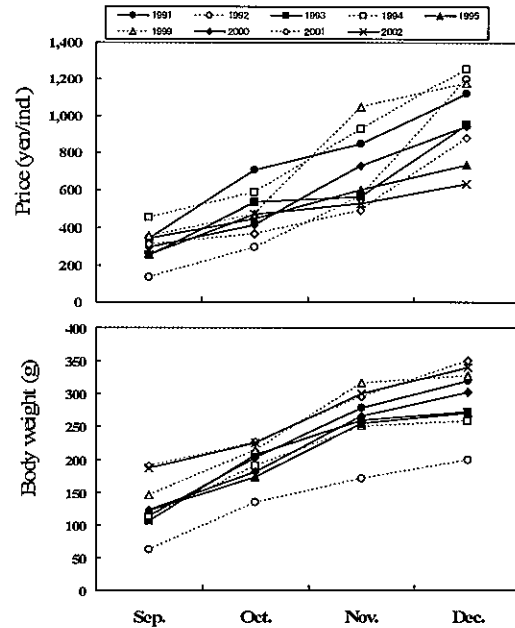


Fig.11 Monthly changes in price (yen/ ind.) and body weight of YOY ocellate puffer.

月 792~1,263 円であった。1.4~3.4 倍の年変動が認められたが何れの年もほぼ直線的に単価の上昇がみられた。平均魚体重は 9 月 62~190g、10 月 135~227g、11 月 171~316g、12 月 200~350 g であり、漁期中の成長による魚体重の増加がみられたが、年変動が大きく、特に 1992 年の成長が他の年より著しく小さいのが特徴的であった。

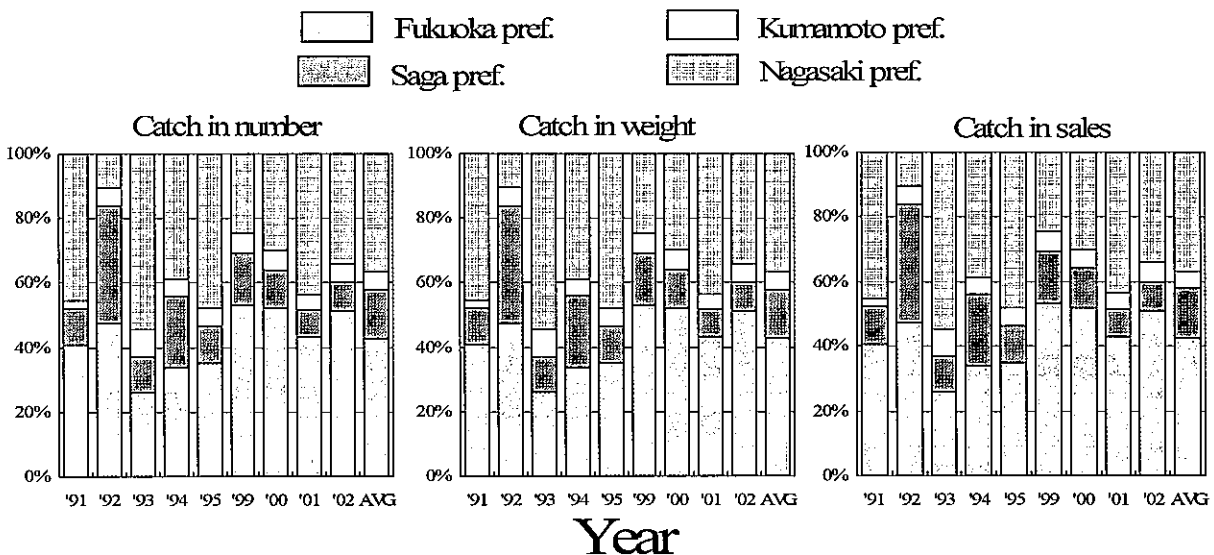


Fig.12 Annual changes in composition of catch in number, catch in weight and catch in sales of YOY ocellate puffer by prefecture.

3) 県別の漁獲尾数、漁獲重量および漁獲金額の割合

県別の漁獲尾数の割合は福岡県 26~53%, 佐賀県 10~37%, 熊本県 2~8%, 長崎県 11~55% となった (Fig. 12)。9ヶ年の平均では福岡県が 43% と最も高く、つぎに長崎県 37%, 佐賀県 15%, 熊本県 5% の順であった。漁獲重量は福岡県 20~47%, 佐賀県 7~40%, 熊本県 2~6%, 長崎県 15~64% を示し、漁獲尾数に比べ長崎県の比率が若干高まり、9カ年の平均においては、長崎県が 47% と最も高く、福岡県 35%, 佐賀県 14%, 熊本県 4% の順であった。漁獲金額の県別割合は漁獲重量と同様の傾向を示し、長崎県が最高値で、福岡県、佐賀県、熊本県がそれに次いだ。このように全般的に長崎県や福岡県の割合が高いが、漁獲が最も少なかった 1992 年は長崎県の割合が著しく低く、他県の割合が相対的に高くなった。

4) 漁獲尾数の経月変化

有明海における各月の市場別の水揚げ尾数を Fig. 13 に示した。9月~12月の漁期の中で、盛漁期は大牟田魚市場、筑後中部魚市場、熊本魚市場では 9~10月に、島原市 1 漁協 3 市場では 10月に、布津町、有家町漁協では 11月にみられた。市場別にみると 9月の初漁期は一本釣りで漁獲された当歳魚が大牟田魚市場、筑後中部魚市場および熊本魚市場で水揚げされる。10月には上記の市場に加えて、島原市内の 1 漁協および 3 市場においても一本釣りにより漁獲された当歳魚が水揚げされる。年によっては 10月下旬から布津町、有家町漁協で延縄による漁獲が開始され、11月には延縄による漁獲が急激に増加し 11月における漁獲重量の 80% 前後を占めた。また 11月には島原市内 1 漁協および 3 市場で底びき網で漁獲された当歳魚も水揚げされるようになり、各市場とも 12月に終漁となる。(Table 11)

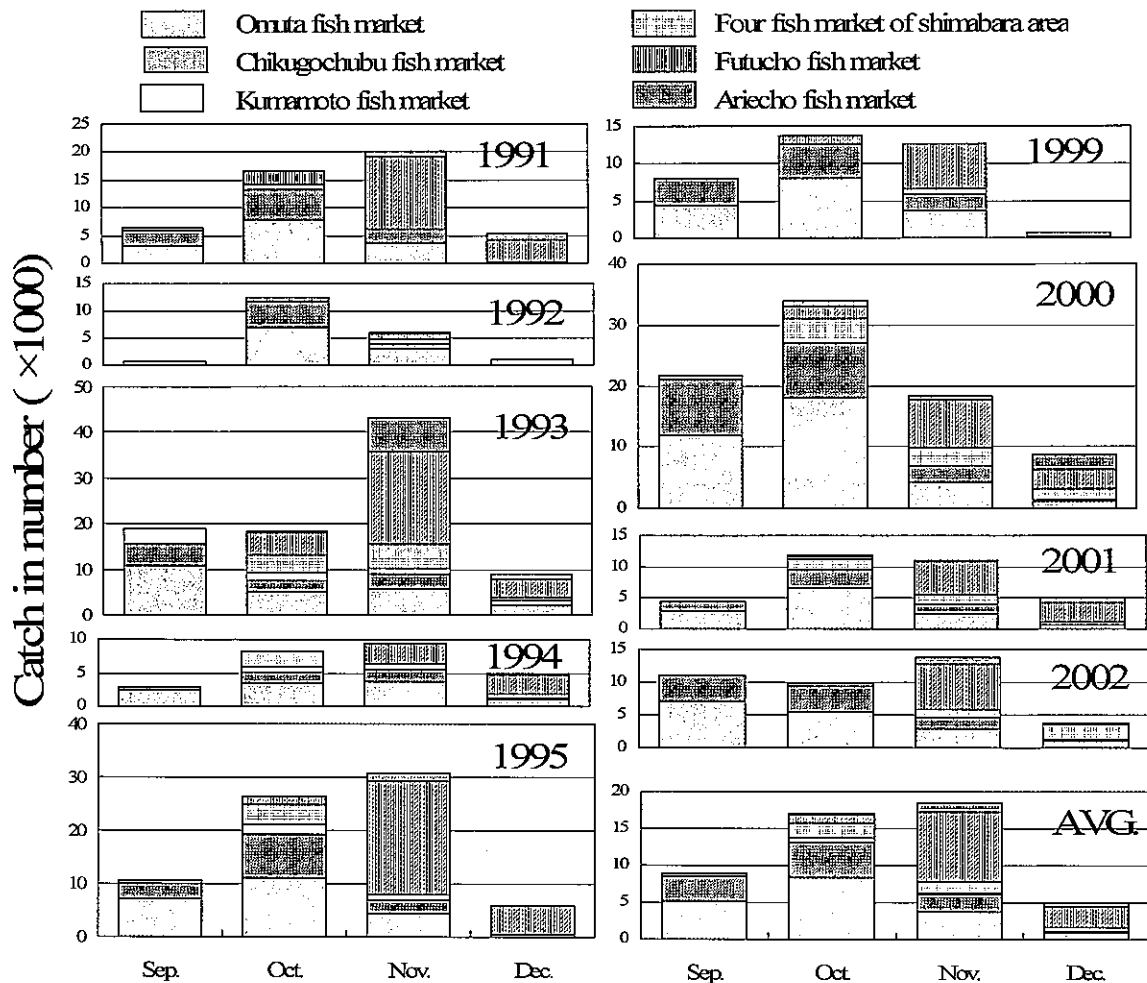


Fig.13 Monthly changes of catch in number of YOY ocellate puffer at fish markets.

5) 漁場形成 標本船調査によって得られた半月毎の平均 CPUE の分布と底層の水温分布を Fig. 14 に示した。9 月前半の初漁期には、柳川市～長洲にかけ

ての沿岸域で漁が始まり、いずれも CPUE (漁獲尾数/隻・日) は 40 以上の高い値を示した。後半にはこれらに加え、諫早湾や熊本市沿岸域にも高い CPUE の漁

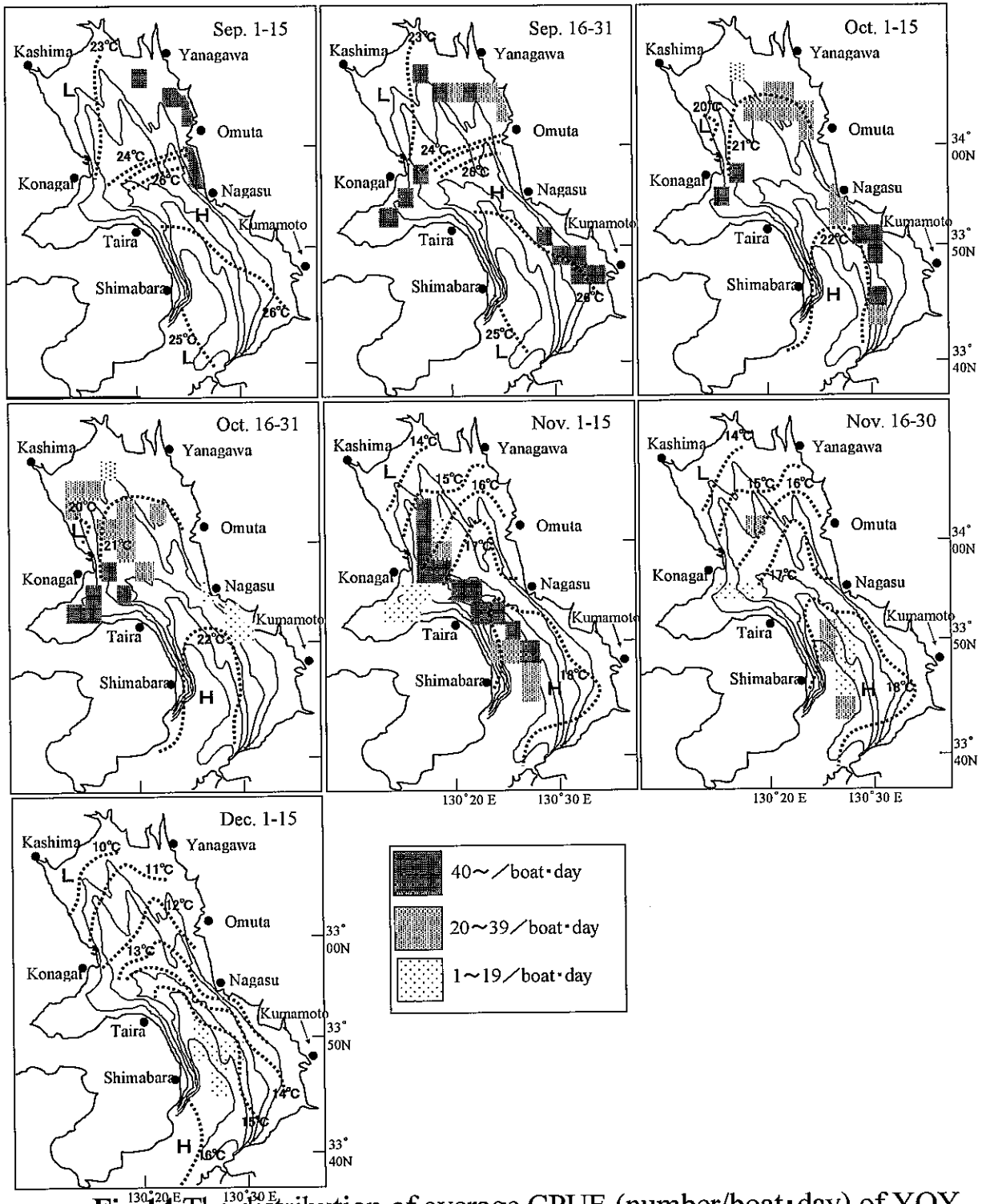


Fig.14 The distribution of average CPUE (number/boat·day) of YOY ocellate puffer by questionnaire on angling and longline fisheries and water temperature (°C) 1m above the bottom in Ariake Sound, from September to December 1995.

場がみられるようになった。9月には23~26℃の水温を有する水深10m以浅の沿岸域に漁場が形成された。10月前半には、漁場がやや沖合へと拡がるとともに、CPUE 20~39の区画が増加した。10月には20~22℃の水温帯に漁場が形成され、10月後半になると、漁場が湾奥西部域へ移動し、小長井沖合の10m以深にも漁場が形成された。11月前半には漁場が有明海の西側を南下し、諫早湾等のCPUEも1~19に低下した。一方、多比良~島原市沖合の水深20m以深の海域には、CPUE 20以上の漁場が形成された。11月後半には漁場は諫早湾と小長井沖合でそれぞれ1区画を残すのみとなり、主漁場は島原市沖合の水深20m以深であった。11月の漁場は、大部分が10m以深となり15~19℃の水温帯にみられた。12月前半には漁場が島原市沖合(CPUEが20未満)20m以深の15~16℃の水温帯に限られ、終漁期を迎えた。

6) 漁獲水準の変動

有明海における当歳魚の平均CPUEは年変動が著しく、1992年に最低値4.1、1998年に最大値26.1を示し、6倍以上の差が認められた。CPUEと漁獲尾数とは高い相関が認められ($n=12, r=0.78, P<0.01$),

資源量水準の年変動は漁獲尾数に反映されていた。有明海と他の産卵場との資源量水準の年変動を比較すると、1996および1997年において福岡湾と不整合がみられた以外は何れの海域ともよく符合した(Fig. 15)。各海域の相関係数は有明海と八代海で $r=0.73$ ($r=9, P<0.05$)、有明海と福岡湾で $r=0.66$ ($r=10, P<0.05$)、八代海と福岡湾で $r=0.76$ ($r=7, P<0.05$)を示し、何れも統計的に有意であった。

3. 考察

本調査により有明海では、トラフグ当歳魚は主に一本釣りと延縄によって9~12月に漁獲されること、および本海域における漁獲尾数、漁獲重量、漁獲金額とその県別割合が明らかになった。また、当歳魚の漁獲尾数やCPUEの著しい年変動は本種の加入量水準の変動が大きいことを示している。このような産卵場・生育場における当歳魚の加入量の大きな変動は、福岡湾(山口県ほか2001)、瀬戸内海(Tokai et al. 1995, 柴田・佐藤1995)および伊勢湾(中島1991, 山口県ほか2001)においてもみられ、トラフグ資源の一つの特徴と考えられる。漁獲された当歳魚は有明海湾口域で4~5月に産卵され(藤田

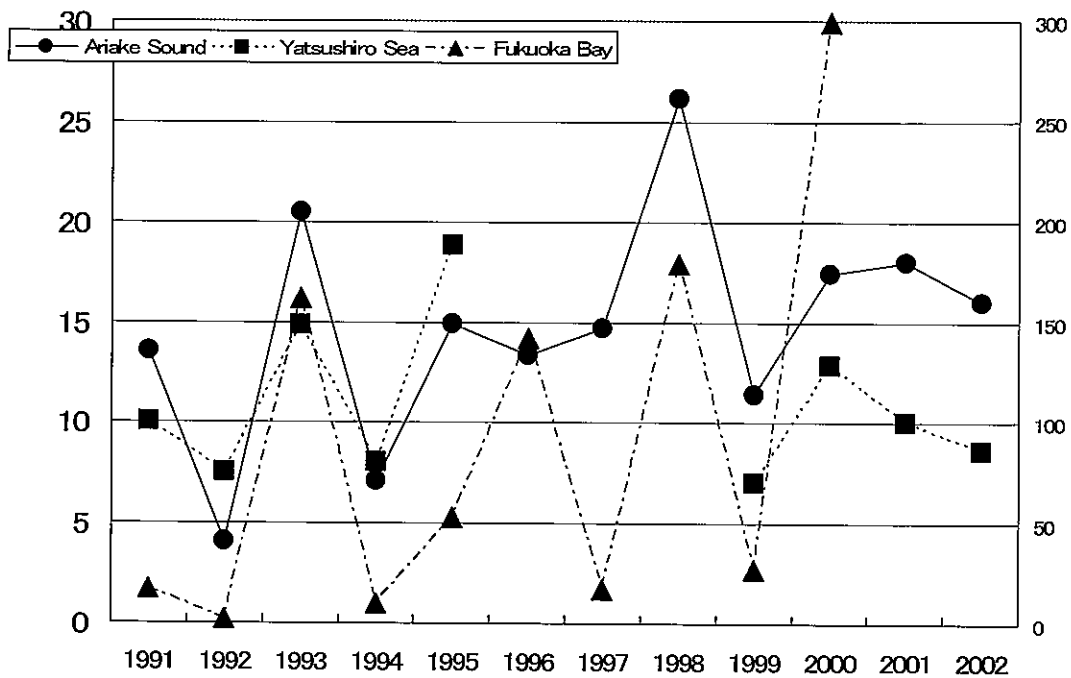


Fig.15 Annual fluctuations of CPUE in YOY ocellate puffer by longline in Ariake Sound, Yatsushiro Sea and standing biomass in Fukuoka Bay.

1983), 湾奥を主体とする干潟域等の浅海域で稚魚時期を過ごし(田北・Smonta 1991), その後漁獲加入したものと考えられる。標本船調査による漁場の分布から, 9月に水深5m前後の沿岸域に加入した当歳魚は, 成長に伴って徐々に水深20m以深の沖合へと移動し, さらに11~12月には島原半島に沿って南下するものと推定された。4県の一本釣り漁業者は, 河口域や干潟域から浅海域へ加入しその後やや沖合へ移動する当歳魚を, 長崎県の延縄業者は, 成長に伴いこれら浅海域から沖合へ移動し南下する魚群を漁獲対象としていたと考えられ, 何れの県も同一資源を利用しているものと推定された。福岡湾(日高ほか1988), 瀬戸内海(柴田ほか1997)および伊勢湾(藤田ほか2001)では, 稚魚は7~8月まで産卵場周辺の干潟域や汽水域等で育成した後, 沖に向かって移動し, えびこぎ網や小型底びき網等で漁獲される。これらの海域の, 当歳魚の成長に伴う移動様式は有明海湾奥部のそれとほぼ等しい

(田北・Smonta 1991)。本種の有明海湾奥部の干潟域や河口域から沿岸や沖合への移動は, 稚魚期における塩分の選択性や耐塩性の変化(韓ほか1995)や, 成長に伴う餌料生物の変化(田北・Smonta 1991)に対応したものと考えられている。トラフグ当歳魚は, 15~16°Cで摂餌が減少し, 16°Cを境に水温低下の遅い内海の沖合や湾口部へ移動する(藤田1983)。今回の結果でも, 魚体重が概ね250g以上となる11~12月の15°C以下の海域では漁場が形成されず, 海域の大部分が15°Cを下回る12月には終漁した。有明海では1~2月の水温が湾中央部で生息限界水温(11°C)(新田・板沢1980)を下回る9~10°Cまで下がる(井上1985)ことから, 当歳魚は低水温を避けるために湾外へ移動することが推察された。このことは, 有明海当歳魚は1月以降には五島灘や生月沖合の外海域に移動するとした, 標識魚の再捕結果(山口県ほか2001)からも裏付けられる。当歳魚の資源水準については, 有明海と九州の他の産卵場とで変動傾向が一致しているという興味深い結果を得た。一般に資源水準の変動要因としては, 親魚の来遊量と環境要因に影響された初期の生き残りが重要とさ

れている(Watanabe et al. 1995)。九州の異なる産卵場で再生産された当歳魚が類似した資源変動の傾向を示した原因の一つとして, これらの地域に広域的に影響する気象要因等が考えられる。特に当歳魚の加入量と, 産卵期~仔稚魚出現期(4~8月)の内海における気候や海況, および仔稚魚の生残との関係を明らかにすることは, 今後の重要な研究課題である。

第2節 当歳時の放流効果と最適放流方法

栽培漁業を効果的に推進するには, 経済的な効果やコスト面も考慮した適正な放流サイズや放流海域の選択が重要である(Yamashita et al. 1999)。このためには, 種苗生産および放流技術の確立とともに精度の高い放流効果の推定が不可欠である。放流効果調査においては, アンカータグに代表される外部標識を用いた種苗放流と再捕報告による追跡調査が盛んに行われてきたが, 近年ではこれに代わり, 水揚げ市場において水揚げの一部を標本抽出する市場調査が最も信頼できる方法として多くの魚種で行われている(北田2001)。また, 標識の脱落により再捕率に誤差が生じていた外部装着型の標識に代わり, 耳石標識法が様々な魚種で用いられている(Tsukamoto 1985, 1988, 桑田・塚本1987, 1989, 関根・今泉1988, 今泉1989, 工藤・笠原1991, 岡本ほか1993, 高橋1994)。トラフグにおいても耳石標識法は技術的に確立されており, ふ化仔魚から装着可能で標識の脱落が全くなく, 標識の組み合わせが豊富なことから, 放流効果を推定する上で最も効果的な方法と考えられる(松村2005c)。

有明海は全国でも有数のトラフグの産卵場および幼稚魚の育成場として知られており, 9~12月にはここで再生産された当歳魚が一本釣りや延縄により漁獲され重要な資源となってきた(松村2005a)。しかしながら漁獲の変動が大きいことから, 放流による漁獲の安定が望まれてきた。本節では1991~1995年と1999~2002年に有明海で実施した標識放流について, 放流サイズと放流海域の違いによる当歳魚の回収率や回収金額について推定した結果を基に, 放流サイズと放流海域について最適放流方法や各県

の受益割合の検討を行った (松村 2005b)。

1. 材料と方法

1) 標識放流

放流に用いた種苗は、1991～1995年は長崎県水産試験場島原分場 (現長崎県総合水産試験場) で人工的に生産した稚魚、1999～2002年は民間の種苗生産機関で人工的に生産された稚魚である。この他にふ化仔魚放流の放流効果の可能性を試みるため、1995年に長崎県水産試験場島原分場で、2002年に民間の

種苗生産機関でふ化した仔魚を放流試験に供した。標識放流の概要を Table 12 に示した。放流尾数は年あたり 36,000～353,950 尾、放流サイズは平均全長 3.3～100.2 mm にあり、9 カ年で放流サイズおよび放流海域毎に 35 放流群、合計 1,082,160 尾の標識放流を行った。トラフグの人工種苗では、高密度飼育や餌不足が原因で噛み合い行動により尾鰭が欠損することがある。今回用いた放流魚は、これら噛み合いを防止するために投餌量や投餌回数、飼育密度に

Table 12 Summary of the release-recapture studies of ocellate puffer seeds in Ariake Sound

Year of release	Date of release	Released lot number	Mean total length (mm) (mean±SD)	Number of seeds released	Degree of normality of the caudal fin	Release site*1	Marking method*2
1991	6 Jun.	1	19.9 ± 1.7	107,900	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	29 Jun.	2	30.4 ± 3.8	29,760	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	18 Jul.	3	52.8 ± 5.7	22,350	Normal or minimal loss	A	ALC(2)
1992	7 Jul.	1	51.6 ± 5.8	22,700	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	15 Jul.	2	62.3 ± 6.2	11,980	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	21 Jul.	3	70.4 ± 8.5	12,250	Normal or minimal loss	A	ALC(2)
1993	20 Jul.	1	69.1 ± 8.3	15,130	Normal or minimal loss	B	ALC(2)
	21 Jul.	2	69.6 ± 8.1	24,500	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	28 Jul.	3	66.5 ± 8.3	7,630	Half level loss*3	A	ALC(1)
1994	13 Jul.	1	68.8 ± 7.5	11,940	Normal or minimal loss	B	ALC(1)
	14 Jul.	2	68.7 ± 7.4	11,610	Normal or minimal loss	C	ALC(1)
	15 Jul.	3	43.7 ± 4.4	12,000	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	15 Jul.	4	67.7 ± 5.9	21,770	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	20 Jul.	5	65.5 ± 5.0	16,570	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	1 Aug.	6	65.3 ± 5.7	24,570	Half level loss*3	A	ALC(2)
	15 Aug.	7	82.4 ± 7.0	10,260	Normal or minimal loss	A	ALC(2),TC(1)
	22 Aug.	8	100.2 ± 6.2	5,350	Normal or minimal loss	A	ALC(2),TC(1)
1995	28 Apr.	1	3.3 ± 0.1	290,000	Normal	A	ALC(1)
	6 Jul.	2	39.4 ± 5.3	7,060	Normal or minimal loss	B	ALC(2)
	6 Jul.	3	50.8 ± 4.6	7,980	Normal or minimal loss	B	ALC(1)
	13 Jul.	4	30.7 ± 4.7	10,920	Normal or minimal loss	B	TC(1),ALC(1)
	21 Jul.	5	72.8 ± 9.2	8,710	Normal or minimal loss	B	TC(1)
	25 Jul.	6	78.8 ± 7.7	6,340	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	26 Jul.	7	78.6 ± 7.7	8,330	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	28 Jul.	8	77.6 ± 9.5	10,480	Normal or minimal loss	A	ALC(2)
	9 Aug.	9	82.9 ± 5.5	4,130	Normal or minimal loss	B	ALC(2)
1999	21 Jul.	1	62.3 ± 6.9	51,000	Half level loss*3	B	TC(1)
2000	1 Jul.	1	63 ± 5.9	8,700	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	10 Jul.	2	75.8 ± 6.8	18,300	Normal or minimal loss	D	TC(1)
	11 Jul.	3	75.2 ± 6.7	19,880	Normal or minimal loss	A	TC(2)
2001	10 Jul.	1	70.8 ± 5.9	36,000	Normal or minimal loss	D	ALC(1),TC(1)
2002	28 Apr.	1	3.2 ± 0.1	190,000	Normal	D	ALC(1)
	28 Jun.	2	57.4 ± 4.7	12,000	Normal or minimal loss	D	ALC(1),TC(1)
	4 Jul.	3	67.6 ± 5.9	14,000	Normal or minimal loss	D	ALC(1),TC(2)
	11 Jul.	4	79.3 ± 5.4	10,000	Normal or minimal loss	D	ALC(1),TC(3)

*1 A: Shimabara coast, B: Isahaya Bay, C and D: Innermost area of Ariake Sound

*2 ALC, Alizarin complexone; TC, Tetracycline and the number indicates the number of times marked

*3 Fin reduced in size by ca. 50%

細心の注意を払い生産されたもので、1993年第3回放流群(以下、放流群1993-3と称す)、放流群1994-6および放流群1999-1の3群を除いて尾鰭の欠損は皆無か軽微であった。放流群1993-3については計画的に投餌回数を通常の3分の1程度に減らし、放流群1994-6および1995-8は、飼育密度を通常より高めに設定して飼育し、飼育条件と尾鰭欠損との関係を調べた。その結果、放流群1995-8では尾鰭の欠損は皆無か軽微であったが、放流群1993-3と1994-6では全個体について尾鰭の半分程度が欠損していた。なお、民間から購入して放流した放流群1999-1も投餌回数が少なく、全個体で尾鰭が半分程度欠損していた。

放流魚は全数にALCおよびTCによる耳石標識が施され、標識の種類(ALC, TC)、標識の回数(リング

数)および標識径(リングの大きさ)によって放流海域や放流サイズ等放流群毎の判別が行えるようにした(松村2005c)。さらに2000年以降は放流魚の発見率を上げるために、耳石標識に胸鰭切除標識を加えた標識放流(放流群2002-1を除く)を行い、市場調査の効率化を図った(松村2005b)。放流は島原市地先(A)、諫早湾(B)、有明海湾奥(C)および有明海湾奥(Dライン)の計4海域で行った(Fig.16)。島原市地先では長崎県水産試験場島原分場または民間の種苗生産機関から種苗を放流海域まで活魚トラックで輸送し、海岸でトラックの活魚水槽からカラナインホースを用いて放流した。諫早湾、有明海湾奥および有明海湾奥ライン上では水産試験場島原分場または民間の種苗生産業者から活魚トラックで島原市内の漁港または多良港まで輸送した後、カラナ

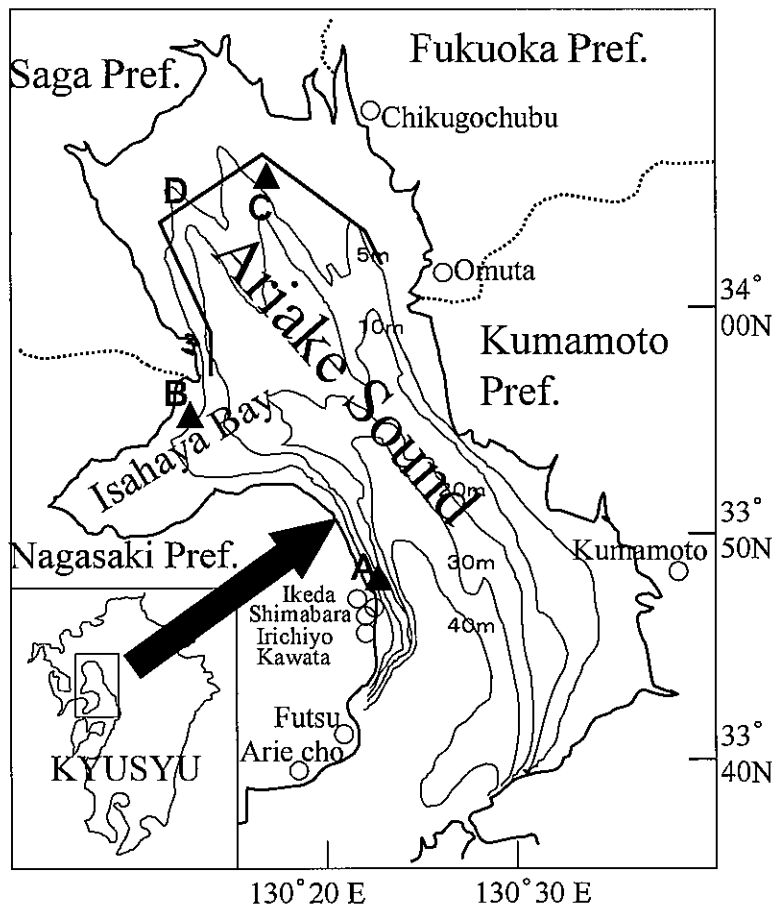


Fig.16 Map showing the study area, Ariake Sound. Solid triangles (A, B and C) and line (D) indicate the release sites. Open circles indicate locations of the fish markets surveyed.

インホースで漁船に積み替え、放流海域まで輸送後網ですくい船上から放流（Dラインは連続放流）した。

2) 市場調査

有明海では9～12月に当歳魚が漁獲され水揚げされる市場は、福岡県の2消費地市場（福岡魚市場株式会社筑後中部魚市場、福岡魚市場株式会社大牟田魚市場）、熊本県の1消費地市場（熊本魚株式会社）、長崎県の3漁業協同組合（島原漁業協同組合、布津町漁業協同組合、有家町漁業協同組合）および3産地市場（株式会社池田水産魚市場、有限会社入千代商店魚市場、川田水産魚市場）の6市場3漁業協同組合である（Fig. 16）。調査では全市場を対象に標本の抽出を行った。標本の抽出は、熊本県を除く全市場でトラフグを大量に購入する鮮魚店に頭部の標本収集を依頼して行った。さらに布津町漁業協同組合および有家町漁業協同組合で、1カ月に1～4回の頻度で1日の水揚げの中から30～60尾を無作為に購入し、箱単位で入札されるその他の市場では、1カ月に1～4回の頻度でその日の水揚げ船から1～2隻を無作為に抽出し、その漁船の全水揚げ物を購入し、これらも併せて解析に供した。これら標本を長崎県総合水産試験場に搬入し、全長、体長、体重および尾鰭の変形の有無について測定後、扁平石を取りだして蛍光顕微鏡下で耳石標識の有無を確認した。耳石標識が確認された魚については標識の種類、標識の回数および標識の大きさにより放流群を判別した。また、2000年以降においては布津町漁業協同組合および有家町漁業協同組合では胸鰭切除標識を指標とした市場調査（松村2001）を併せて実施した。週に1～2回の頻度で1日に水揚げされる74～100%について調査を行い、この中で胸鰭の切除痕がみられる放流魚を全数購入して、耳石標識の確認により放流群を判別した。

3) 回収尾数、回収率、回収金額および貢献率の推定

放流効果の推定にあたっては、6市場3漁業協同組合のうち、大牟田魚市場については地元産と委託物である佐賀県海域産の二つの群に識別した。漁場、

漁業種類および漁期が同じである島原市周辺の3市場と1漁業協同組合並びに布津町漁業協同組合と有家町漁業協同組合については、それぞれまとめて一つずつの市場とした。このように6市場3漁業協同組合を筑後中部魚市場、大牟田魚市場地元産、大牟田魚市場佐賀県産、熊本魚市場、長崎1（島原市3市場および1漁業協同組合）、長崎2（布津町漁業協同組合および有家町漁業協同組合）の6つの市場単位とした。これらの市場単位で得られた調査尾数と放流魚の尾数を1カ月毎に集計し、放流群毎に混獲率（ R_{ij} ）を推定した。なお、放流群2000-2および2000-3については、胸鰭の切除による標識を指標とした調査では標識率が50%であったため、検出された個体数を2倍にし混獲率を推定した。

これにより得られた各市場の月別放流群別の混獲率に、6市場単位に再集計した各市場の月別漁獲尾数（松村2005b）を乗じ、放流群毎に推定総回収尾数（ Y ）と回収率（ Ys ）を推定した。さらに各市場の月別放流群別の回収尾数に各市場の月別の1尾あたりの放流魚の平均単価を乗じて放流群毎の推定総回収金額（ E ）を算出し、これを放流尾数（ N ）で除して放流魚1尾あたりの回収金額（ Es ）を推定した。

$$R_{ij} = \frac{y_{ij}}{n_{ij}}$$

$$Y = \sum_i \sum_j R_{ij} X_{ij}$$

$$Ys = \frac{Y}{N} \times 100$$

$$E = \sum_i \sum_j R_{ij} X_{ij} C_{ij}$$

$$Es = \frac{E}{N}$$

R_{ij} : i 市場 j 月の混獲率

i : 6市場

j : 9～12月

y_{ij} : i 市場 j 月の放流魚の採集尾数

n_{ij} : i 市場 j 月の調査尾数

X_{ij} : i 市場 j 月の漁獲尾数

Y : 放流魚の推定総回収尾数

N : 放流尾数

Ys : 回収率 (%)

E ：放流魚の推定総回収金額

C_{ij} ： i 市場 j 月の放流魚平均単価

E_s ：放流魚1尾あたりの回収金額

年毎の水揚げ全体に占める推定された総回収尾数の割合（混獲率）は、市場調査における放流群の出現率（混獲率）との混同を避けるために貢献率（岩本1998）とした。ここでは年毎に全ての標識放流群の回収尾数と回収金額を集計し、それぞれについて貢献率を推定した。

4) 放流サイズと回収率および放流魚1尾あたり回収金額の関係

放流サイズと回収率並びに放流魚1尾あたりの回収金額との関係を調べた。解析にあたっては、諫早湾放流群（B）と有明海湾奥放流群（C, D）の3放流群は個々のデータが少なく、何れも天然稚魚の育成場とされている海域（田北・Smonta 1991）であることからまとめて取り扱い、これと島原地先放流群（A）の2群に分けて、放流サイズ（1 mm）と回収率（ Y_s ）並びに放流サイズ（1 mm）と放流魚1尾あたりの回収金額（ E_s ）の関係にガウス・ニュートン法によりロジスティック曲線を適用した。

$$Y_{s \text{ or } E_s} = \frac{m}{1 + a \cdot e^{-b \cdot l}}$$

a ：係数 b ：定数項

m ：推定最大回収率

なお、これらの関係を放流サイズの条件を統一して解析し比較するため、ふ化仔魚から83 mmまでの全長範囲の放流群を対象とし、際だって大型の島原地先放流群1994-8（全長100 mm）は除外した。また、飼育条件が悪かった3放流群と尾緒欠損が著しかった1999年放流群は回収率が低かったため同様に解析の対象から除外した。

5) 利益率の推定

放流適正サイズの決定には種苗の生産コストを考慮し、採算性の観点から利益を推定する必要がある。長崎県水産試験場島原分場では種苗生産に要した人件費、餌料費、施設の減価償却費および電力費により種々のサイズの1尾あたりの生産単価を試算して

いる。これらのデータをもとに種苗サイズ（1 mm）と単価（ A_l 円）の関係式をべき乗回帰式で近似させた結果、以下の式が得られた（Fig. 17）。

$$A_l = 0.0035411.76 \quad (r=0.95 \quad p<0.01)$$

島原地先放流群と諫早湾・有明海湾奥放流群について、各放流群毎にロジスティック曲線で推定された全長1 mmにおける1尾あたり回収金額（ E_{s1} ）を1

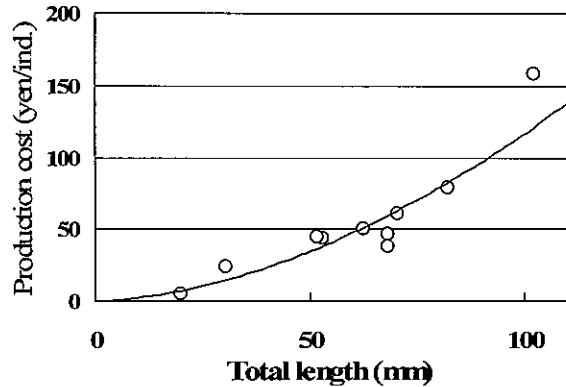


Fig.17 Relationship between total length (mm) and production cost (yen/seed) by fitting the exponential curve.

mmの種苗単価（ A_l 円）で除して、その全長での利益率（ P_l ）を求めた。

$$P_l = \frac{E_{s1}}{A_l}$$

6) 各県の受益割合の推定 放流魚の回収尾数および回収金額について県毎の受益割合を推定するため、35放流群のうち一定の効果（利益率1以上）を示した放流群（島原地先放流群：61 mm以上の11群、諫早湾放流群：54 mm以上の4群および有明海湾奥放流群：54 mm以上の6群）について各県の漁獲割合を推定し、放流海域毎に県別の割合を求めた。推定に当たっては漁獲実態（松村 2005a）を参考とし、筑後中部魚市場では放流魚の水揚げ尾数の受益割合は、福岡県を80%、佐賀県および熊本県を各10%とした。大牟田魚市場の地元産の内訳は福岡県を90%、熊本県を10%、佐賀県海域産の水揚げは全て佐賀県の漁業者によるものとした。熊本魚市場の水揚げは熊本県産とした。島原市内の3市場および1漁業協同組合、布津町漁業協同組合および有家町漁業協同組合

Table 13 Results of the survey on number of sample, sampling rate, number of fish marked and mark rate at fish markets in Ariake Sound

Year	Number of samples surveyed	Sampling rate (%)	Number of recaptured marked fish in each release lot									Total number of recaptured marked fish	Mark rate (%)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1991	1,506	3.2	11	16	91							118	7.8
1992	573	2.7	29	29	53							111	19.4
1993	2,172	2.5	98	54	12							164	7.6
1994	2,174	8.5	185	220	25	290	184	130	85	88		1,207	55.5
1995	2,862	3.9	1	12	45	4	107	48	62	56	36	371	13.0
1999	2,251	6.4	205									205	9.1
2000	5,724	6.9	62	210	169							441	7.7
2001	2,738	8.4	538									538	19.6
2002	4,550	11.5	1	240	353	274						868	19.1

2. 結果

1) 市場調査結果の概要

1991～1995年および1999～2002年の調査尾数は573～5,724尾、標本抽出率は2.5～11.5%であった (Table 13)。これらの標本から各調査年において111～1,207尾の放流魚が確認された。放流群毎にみると1～538尾の放流魚が検出された。再捕個体数の最小値はふ化仔魚放流群 (放流群1995-1および2002-1) の各1尾、最大値は有明海湾奥全長71mm放流群 (放流群2001-1) の538尾であった。年毎の混獲率は7.6～55.5%であり、1994年にとりわけ大きい値が認められた。

Table 14 Estimated number of recaptures, recapture rate and income from recapture in Ariake Sound

Year of release	Released lot number	Number of recaptures	Recapture rate (%)	Income of recapture (1000 yen)
1991	1	312	0.3	248
	2	483	1.6	317
	3	2,180	9.8	1,729
1992	1	1,154	5.1	477
	2	1,133	9.5	505
	3	2,064	16.8	1,022
1993	1	3,104	12.7	1,829
	2	2,751	18.2	1,707
	3	388	5.1	218
1994	1	2,116	17.8	1,611
	2	2,019	17.4	1,604
	3	293	2.4	272
	4	3,223	14.8	2,250
	5	1,984	12.0	1,490
	6	1,554	6.3	1,105
	7	1,068	10.4	914
1995	8	985	18.4	804
	1	16	0.01	7
	2	226	3.2	109
	3	918	11.5	449
	4	140	1.3	71
	5	1,891	21.7	941
	6	1,105	17.4	524
	7	1,364	16.4	701
	8	1,117	10.7	550
9	826	20.0	440	
1999	1	3,306	6.5	2,448
2000	1	869	10.0	286
	2	3,094	16.9	1,059
	3	2,182	11.0	821
2001	1	7,991	22.2	3,744
2002	1	19	0.01	9
	2	1,963	16.4	873
	3	2,731	19.5	1,251
	4	2,230	22.3	1,010

における水揚げは全て長崎県産として取り扱い、漁獲金額についても同様な方法で推定した。

Table 15 Estimated contribution rate of released ocellate puffer in Ariake Sound

Survey year	Catches	Marked fish	Total fish	Contribution rate (%)
1991	Number *1	2,975	47,257	6.3
	Value *2	2,295	36,274	6.3
1992	Number	4,351	21,168	20.6
	Value	2,005	8,165	24.6
1993	Number	6,243	88,291	7.1
	Value	3,755	47,277	7.9
1994	Number	13,242	25,566	51.8
	Value	10,050	22,713	44.2
1995	Number	7,602	73,786	10.3
	Value	3,793	38,661	9.8
1999	Number	2,089	35,259	5.9
	Value	1,461	23,547	6.2
2000	Number	6,145	82,630	7.4
	Value	2,166	42,022	5.2
2001	Number	7,991	32,621	24.5
	Value	3,744	15,740	23.8
2002	Number	6,943	39,500	17.6
	Value	3,143	17,137	18.3

*1 Individuals

*2 1000 yen

2) 回収尾数, 回収率, 回収金額および貢献率

各放流群の回収尾数は 16~7,991 尾, 回収率は 0.01~22.3%を示した。飼育条件が悪かった放流魚の回収率は, 放流群 1993-3 で 5.1%, 1994-6 で 6.3%, 1995-8 で 10.7%, 1999-1 で 6.5%であり, 同様のサイズの放流群に比べ半分程度の値であった。各放流群毎の回収金額は 7~3,744 千円を示した

(Table 14)。放流年毎の回収尾数は 2,089~13,242 尾, 回収金額は 1,461~10,050 千円であった。回収尾数の貢献率は 5.9~51.8%, 回収金額の貢献率は 5.2~44.2%を示し, とりわけ 1994 年の値が大きく, 全漁獲尾数および金額の半分程度を占めた (Table 15)。

3) 放流サイズと回収率および 1 尾あたり回収金額の関係

回収率は放流サイズが大きくなる程高くなり, その後平衡状態になる S 字状に分布した (Fig. 18)。各放流海域の放流サイズ (L mm) と回収率 (Y_s %) には以下の関係式が得られた。

$$\text{島原地先放流群} \quad Y_s = \frac{19.2}{1 + 661.4 \cdot e^{-0.104L}} \quad (r = 0.940, p < 0.01)$$

$$\text{諫早湾・湾奥放流群} \quad Y_s = \frac{24.5}{1 + 1069.3 \cdot e^{-0.119L}} \quad (r = 0.959, p < 0.01)$$

両放流海域とも全長 50 mm 以降回収率が急激に上昇した。また, 諫早湾・有明海湾奥放流群の方が島原地先放流群より高い傾向が認められ, 島原地先放

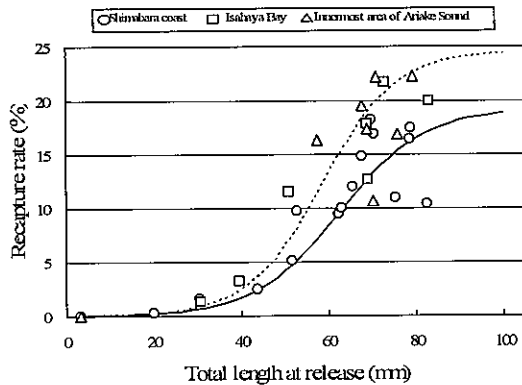


Fig. 18 Relationship between total length (mm) at release and recapture rate (%) by fitting the logistic curve. Open circles and solid line indicate fish released at Shimabara coast, open squares, triangles and dashed line at Isahaya Bay and the innermost area of Ariake Sound.

流群は同じサイズの諫早湾・有明海湾奥放流群の 65~75%の値であった。放流サイズ (L mm) と 1 尾あたりの回収金額 (ES) の各放流海域の関係式は次の通りである (Fig. 19)。

$$\text{島原地先放流群} \quad ES = \frac{113.7}{1 + 713.2 \cdot e^{-0.104L}} \quad (r = 0.895, p < 0.01)$$

$$\text{諫早湾・湾奥放流群} \quad ES = \frac{151.9}{1 + 1062.3 \cdot e^{-0.110L}} \quad (r = 0.912, p < 0.01)$$

回収率の関係と同様に, 1 尾あたり回収金額は放流サイズが大きくなる程高くなり, その後平衡状態になる S 字状に分布し, 島原地先放流群より諫早湾・有明海湾奥放流群の方が高い傾向がみられた。島原地先放流群は同じサイズの諫早湾・有明海湾奥放流群の 61~74%の値であった。

4) 放流適正サイズの推定

利益率はいずれの海域も放流サイズが大きくなる

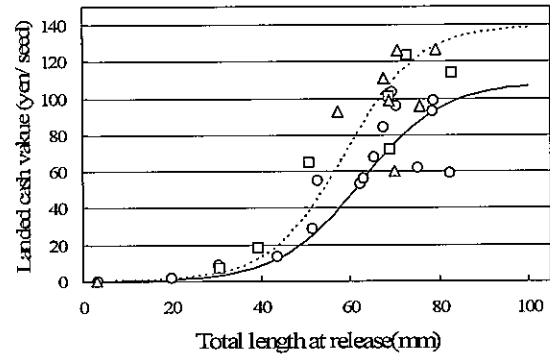


Fig. 19 Relationship between total length (mm) at release and estimated landed cash value per released seed by fitting the logistic curve. Open circles and solid line indicate fish released at Shimabara coast, open squares, triangles and broken line at Isahaya Bay and the innermost area of Ariake Sound.

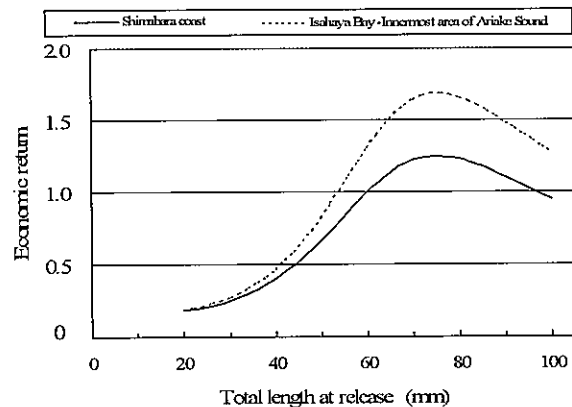


Fig. 20 Relationship between total length (mm) at release and estimated economic return rate. Solid line, released at Shimabara coast; dashed line, released at Isahaya Bay and the innermost area of Ariake Sound.

ほど高まり、全長 70 mm 台で最大となった後は徐々に低下する傾向がみられた (Fig. 20)。利益率 1 以上は、島原地先放流群では全長 61 mm 以上、諫早湾・有明海湾奥放流群では全長 54 mm 以上で得られた。最大値はいずれも全長 75 mm で認められ、島原地先放流群 1.2、諫早湾・有明海湾奥放流群 1.7 を示した。

5) 各県の受益割合の推定

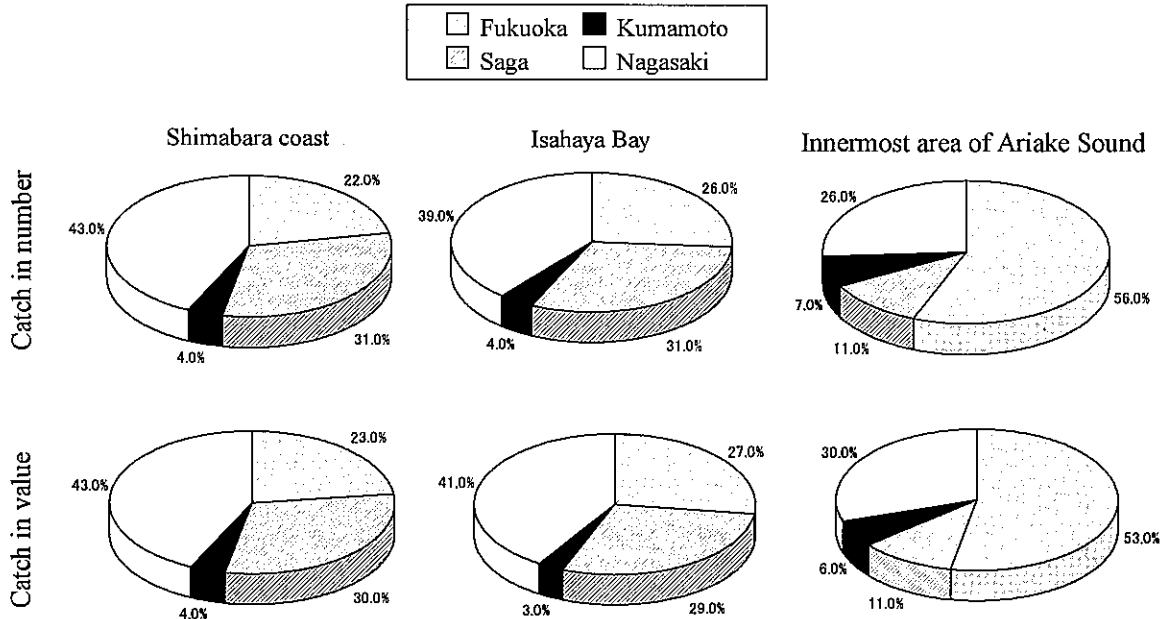


Fig.21 Composition of catches of released puffer in number and value by prefecture (Fukuoka, Saga, Kumamoto and Nagasaki). Averages of 9-year surveys.

回収尾数でみると、受益割合は島原地先放流群と諫早湾放流群はほぼ同じであり、福岡県 22~25%、佐賀県 31%、熊本県 4%、長崎県 41~43%であった (Fig. 21)。有明海の湾奥放流では、福岡県 56%、佐賀県 11%、熊本県 7%、長崎県 26%を示し、島原地先放流群および諫早湾放流群に比べ福岡県の受益割合が倍増し、佐賀県や長崎県の受益割合が大幅に減少したのが特徴的であった。回収金額についても、島原地先放流群と諫早湾放流群では、福岡県 23~27%、佐賀県 29~30%、熊本県 3~4%、長崎県 43%、有明海の湾奥放流群では、福岡県 56%、佐賀県 11%、熊本県 7%、長崎県 26%であり、回収尾数と同様の傾向を示した。

3. 考察

1) 種苗放流による漁獲の安定

有明海の 3 海域においてさまざまなサイズの標識放流を行った結果、放流魚は 9~12 月に当歳魚として水揚げされ、受益は 4 県に及ぶことが明らかになった。有明海のトラフグ当歳魚は漁獲の変動が大きいが特徴である。調査を行った 9 カ年の全漁獲尾数 (Table 15) の変動係数は 48%であり、これよ

り放流魚を除いた天然魚のみの変動係数 56%よりも低い。このことは、放流による加入量の増加により漁獲量の変動がやや安定したことを示唆している。特に、9 カ年の中で水揚げ尾数が 2 番目に低かった 1994 年には、放流魚の個体数の貢献率が 51.8%と著しく高かった。この年の放流数は、全長 65~100 mm の大型サイズで 10 万尾であったことから、放流強度指数 (種苗放流尾数/漁獲尾数; 北田 2001) (回収率が低い全長 50 mm 未満は除外した) は 4.0 となり 9 カ年で最も高く (その他の年は 0.5~2.2)、これが貢献率を引き上げたものと考えられる。この年の延縄漁業の CPUE は 7 kg/日・隻を示し、種苗放流が無ければこの値は半減したと考えられる (松村

2005a)。1992年は4 kg/日・隻で採算が合わず漁初期に操業をやめたことを考慮すると(松村 2005a)、1994年は放流魚の再捕という直接的な経済効果に留まらず、加入量の増加により漁業が成立し、漁業経営に十分に貢献した特徴的な年であったといえよう。

2) 放流サイズと回収率

放流海域毎に様々なサイズで標識放流を実施し、サイズ毎に回収率が推定された。ふ化仔魚放流は生産施設を必要とせず経費や手間のかからない手法としてその可能性を試みたものであるが、20~30万尾レベルの大量規模の放流にもかかわらず、推定回収尾数は僅かに16~19尾にとどまり、回収率は0.01%と極めて低かった。またふ化仔魚放流由来のトラフグから得られた収益は7,000~9,000円であり、仮に放流経費が親魚代相当(4 kgで20,000円程度)としても採算は合わないことが判明した。

トラフグの当歳魚における回収率は、福岡湾では2.4~4.7% (平均全長74~88 mm)、伊勢湾では7.0~12.6% (平均全長62~101 mm)と推定されており(山口県ほか 2002)、有明海の類似サイズで得られる回収率より若干低い。この差の原因として、種苗の質の他に成育場の環境条件や漁具の漁獲効率等の違いなどが考えられる。放流サイズと回収率の関係について、海産魚ではヒラメ(山下 1997, Yamashita et al. 1999)、マツカワ(蔵田ほか 2003)、ニシン(鈴木 2000)、サクラマス(北海道水産ふ化場 2000)で回帰式を用いて検討されている。山下(1997)はヒラメについて放流サイズと回収率の関係にロジスティック曲線を適用し、放流全長の増加に対する回収率の増加の割合は、全長60~110 mmの間で大きいという結果を得た。本研究では、全長50~70 mmで回収率の増加の割合が特に大きいという結果が得られた。放流魚の減耗要因には飢餓や被食が考えられるが(山下 1997)、全長50~70 mmにおける回収率の著しい上昇は、飢餓耐性や捕食者からの逃避能力など環境への適応力が全長50から70 mmへと成長する過程で急激に高まり、回収率が平衡状態になるそれ以上のサイズではこれら能力がある

程度完成されたことを示すものと考えられる。トラフグ種苗のサイズ毎の回収率と飢餓耐性や被食との関係を明らかにすることは今後の課題である。

3) 放流海域と回収率

島原地先放流群と諫早湾・有明海湾奥放流群では、後者の回収率がより高い傾向がみられた。この理由としては、放流魚の生残率や移動分散の違いが考えられる。有明海における天然稚魚の主要分布域は干潟域や河口域であり、これらの海域が本種の稚魚期の主要な成育場と考えられている(浦田 1965, 田北・Smonta 1991)。有明海における干潟域は、諫早湾や湾奥部の佐賀県および福岡県地先から湾中央部東岸の熊本県地先まで広大に広がっているが、島原半島東岸は干潟の発達に乏しい(鎌田 1967, 1980)。1994年の7~8月にこれらの干潟域周辺を漁場とするあんこう網、竹羽瀬および刺網により混獲されたトラフグ稚魚を調べたところ、放流魚1万尾あたりの再捕数は、稚魚成育場の近傍で放流した諫早湾放流群7.6尾、有明海湾奥放流群5.2尾に比べ、島原地先放流群では2.4尾であった(松村未発表)。このことは、島原地先放流群は他の放流群に比べ天然稚魚の成育場への加入が悪い可能性を示唆している。この原因としては、島原地先放流群は、放流海域あるいは放流海域から天然稚魚の成育場へ移動する過程において、好適な成育場が周辺に不十分なため餌料不足や被食等により生残率が低下したことが推察される。また、島原地先放流群は、放流場所周辺にとどまらずに有明海湾口や熊本地先に移動分散し、漁獲加入率が低下した可能性も考えられる。伊勢湾においても、天然稚魚の分布域で放流した種苗において、それ以外の海域で放流した種苗よりも再捕率が高いことが報告されている(阿知波 2004)。本種の放流適地については、今後放流魚の移動分散や餌料環境等の面から解明していく必要がある。

4) 経済効率と最適放流方法

栽培漁業を効果的に推進する上で、適正な放流サイズと適正な放流海域は事業の成否に係る重要な条件である(Yamashita et al. 1999)。利益率が最も高い放流サイズは何れの海域も全長75 mmであった。

また、利益率は諫早湾・有明海湾奥放流群において高かった。これらのことから、諫早湾や有明海湾奥域の全長 75 mm での放流が採算性を考慮した最適放流条件といえよう。特にこの条件で得られた利益率は、放流後 5 カ月以内という短期間にもかかわらず 1.7 を示し、代表的な栽培魚種であるヒラメ放流魚の当歳魚における回収金額（藤田 1993）から推定した利益率 0.2 に比べて著しく高かった。北田（2001）は放流種苗単価と水揚げ単価から損益分岐回収率を提唱し、生残率がよく、大きく成長し、単価が高いことが栽培適種の条件としている。放流魚は 2 カ月後の 9 月には 100g 以上で漁獲加入し、11 月以降には 300g 程度に急激に成長する（松村 2005a）。また、有明海ではトラフグ当歳魚の食文化を背景に高価格が形成され、漁獲実態（松村 2005a）から推定した年平均単価は 1,800~4,100 円/kg、400~900 円/尾を示し、当歳魚としては著しく高いのが特徴である。加えて、最適放流条件下では回収率が 20% 近くに達したことが、高い利益率につながったものと考えられる。適正放流サイズに関しては放流魚の生残率（Yamashita et al. 1994, 吉村 2003）、摂餌能力（浜中ほか 1990）、食害の実態（山元ほか 1982）およびエネルギーの蓄積状態（中川 1990）を指標として、一定以上の放流サイズの必要性が検討されている。今回の事例のように経済効果に基づく採算性から適正な放流サイズを評価した例は、Yamashita et al. (1999) や日本栽培漁業協会（1989）がヒラメについて行った事例のみである。本研究も含めこれらの研究では、一定のサイズで最も採算性が高くそれより大きいサイズでは低下するという共通の傾向が認められた。事業レベルで栽培漁業を展開する場合には、限られた種苗生産施設のスペースを最大に活用し、サイズ毎の生産能力から最大の再捕数が得られる放流サイズという視点（Yamashita et al. 1999）も考慮し、総合的に検討すべきであろう。

5) 種苗性

飼育条件が悪かった 4 放流群は何れも、正常に飼育された放流群に比べ回収率が低かった。トラフグ種苗の尾鰭欠損は噛み合い行動によって引き起こさ

れ、餌不足、高密度飼育、健苗性などが原因として報告されている（大上・鈴木 1982）。種苗性は放流サイズ、放流海域、放流時期等とともに、放流効果に大きく影響する放流技術である（Yamashita et al. 1999）。飼育方法と種苗性について、津村・山本（1993）はマダイ種苗に差が発現する要因として飼育密度を取り上げ、密度を変えて飼育したマダイ種苗の耐性試験、体成分、遊泳力、死亡率から種苗性を評価し、低密度飼育では高密度飼育よりも生理状態が良く、より高い機能的な発達がみられるとした。高密度飼育した放流群 1995-8 では、尾鰭の欠損は軽微であったにも関わらず回収率が低かったことを考慮すると、トラフグについては、尾鰭の欠損それ自体の影響のみでなく、飼育密度等の飼育条件の違いが生理・生化学的な差を生じ、このことによる自然環境への適応能力の低下が生残率の低下や回収率の低下に影響した可能性も考えられる。尾鰭欠損の度合は、飼育条件によって誘発されるストレスの強さを示すものと考えられることから（畑中 1997）、尾鰭欠損を種苗性の指標として用いることが出来るかもしれない。今後、放流魚の種苗性と飼育環境およびこれに伴う尾鰭欠損の度合いについて、行動生態、生理、生化学的な面から詳細に検討する必要がある。

第3節 人工種苗の漁獲サイズにおよぼす放流条件、資源量指数および水温の影響

放流種苗の成長速度は放流効果を決定する重要な要因の一つと考えられ（Yamashita et al. 1994, Yamashita et al. 1999）、放流魚の成長には環境条件、放流時期や放流サイズ等の放流条件および種苗の質などが大きな影響を及ぼす（塚本 1993）。従って、これらの諸要因と放流魚の成長との関係を解明することは、資源の培養と管理のための種苗放流計画（放流サイズ、放流時期など）を策定するうえできわめて重要である。本節では、有明海で実施した標識放流魚の再捕結果に基づき、当歳魚の漁獲加入時の全長に与える放流サイズ、放流時期、放流場所等の放流条件と資源量および水温の影響を分析した

(松村 2006)。

1. 材料と方法

1) 成長解析および目的変数

解析に用いたのは、1991～1995 年および 2000～2002 年の 7 月に有明海で放流された計 23 の放流群である (Table 16)。これら放流魚の漁獲時期である 9～12 月の市場調査 (松村 2005b) により得られた測定結果を用い、放流後の日数 (x) と全長の増加量 (y ; 再捕時の全長 - 放流時の平均全長) の関係を、放流群毎にべき乗回帰式で近似して求めた。さらに、これらの式により当歳魚の盛漁期にあたる 11 月 1 日時の全長増加量を推定し、これに放流時の平均全長を加えた全長 (以下推定全長という) を放流群毎に求め、目的変数 (Y) とした。

2) 説明変数

Table 16 Summary of the release-recapture studies of ocellate puffer seeds in Ariake Sound

Year of release	Released lot number	Date of release	Mean total length (mm) (mean±SD)	Quality of seeds released	Release site*1
1991	1	18 Jul.	52.8 ± 5.7	good	A
1992	1	7 Jul.	51.6 ± 5.8	good	A
	2	15 Jul.	62.3 ± 6.2	good	A
	3	21 Jul.	70.4 ± 8.5	good	A
1993	1	20 Jul.	69.1 ± 8.3	good	B
	2	21 Jul.	69.6 ± 8.1	good	A
	3	28 Jul.	66.5 ± 8.3	bad	A
1994	1	13 Jul.	68.8 ± 7.5	good	B
	2	14 Jul.	68.7 ± 7.4	good	C
	3	15 Jul.	43.7 ± 4.4	good	A
	4	15 Jul.	67.7 ± 5.9	good	A
	5	20 Jul.	65.5 ± 5.0	good	A
1995	1	6 Jul.	50.8 ± 4.6	good	B
	2	21 Jul.	72.8 ± 9.2	good	B
	3	25 Jul.	78.8 ± 7.7	good	A
	4	26 Jul.	78.6 ± 7.7	good	A
	5	28 Jul.	77.6 ± 9.5	bad	A
2000	1	1 Jul.	63.0 ± 5.9	good	A
	2	10 Jul.	75.8 ± 6.8	good	D
	3	11 Jul.	75.2 ± 6.7	good	A
2001	1	10 Jul.	70.8 ± 5.9	good	D
2002	1	4 Jul.	67.6 ± 5.9	good	D
	2	11 Jul.	79.3 ± 5.4	good	D

*1 A: Shimabara coast, B: Isahaya Bay, C and D: Innermost area of Ariake Sound; see Fig.22

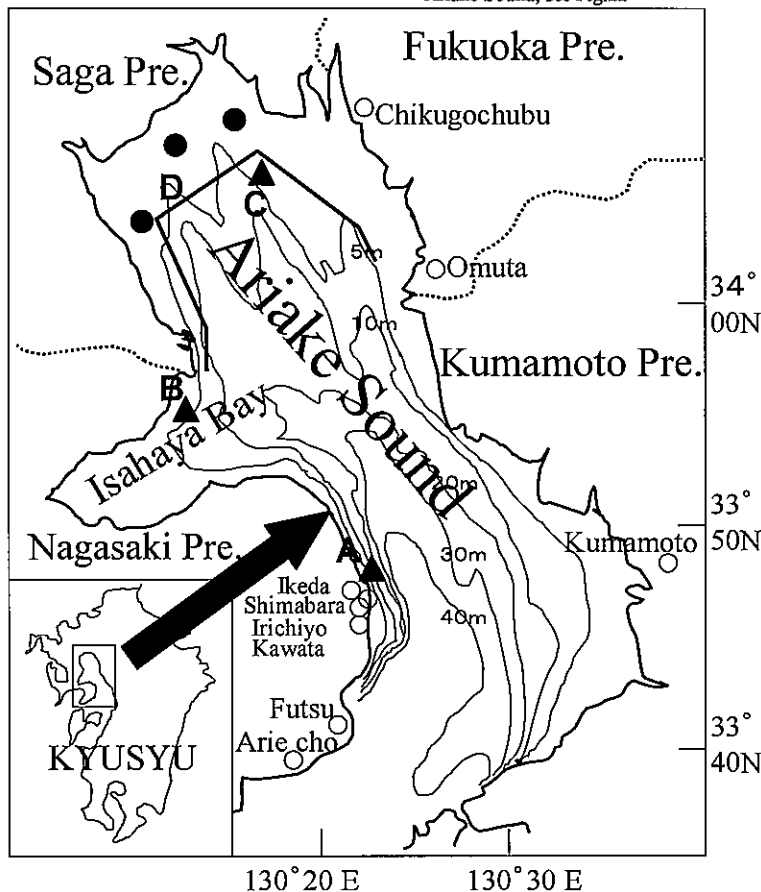


Fig.22 Map showing the study area, Ariake Sound. Solid triangles (A, B and C) and line (D) indicate the release sites. Open circles indicate locations of the fish markets surveyed. Solid circles indicate oceanographic stations where data on surface water temperature were taken.

漁獲サイズの変動に影響する要因として、以下を選定し説明変数とした。

各説明変数に用いた数値は以下の通りである。

- ①. 放流時期 (X_1) 放流時期は7月1日～7月28日であり、7月の放流日を説明変数とした。
- ②. 放流サイズ (X_2) 放流サイズは平均全長44～79mmであり、各群の放流時平均全長(mm)を説明変数として用いた。
- ③. 放流場所 (X_3) 放流場所は島原地先(A)、諫早湾(B)および有明海湾奥(C, D)の3海域であるが(Fig. 22), B, C, Dは個々のデータが少なくいずれも天然稚魚の成育場であることから(田北・Smonta 1991), 島原地先(A)放流群14群と諫早湾・有明海湾奥(B, C, D)放流群9群の2通りに分け、ダミー変数(奥野ほか1989)(島原地先放流群:1, 諫早湾および有明海湾奥放流群:0)を与えた。
- ④. 種苗性 (X_4) トラフグの人工種苗では、高密度飼育群や餌不足が原因で噛み合い行動により尾鰭が欠損した群では、回収率が大きく低下する(松村2005b)。これら種苗性の影響をみるため、通常の飼育群と高密度飼育群1993-3・尾鰭欠損群1995-5に分け、ダミー変数(通常飼育群:1, 高密度飼育群・尾鰭欠損群:0)を与えた。
- ⑤. 資源量 (X_5) 有明海当歳魚は資源量の変動が大きいのが特徴である(松村2005a)。これらの変動が漁獲サイズに与える影響をみるため、漁獲量が多い布津町漁協における延縄漁業のCPUE(kg/隻・日)(松村2005a)を資源量の指標として用いた。
- ⑥. 水温 ($X_6 \sim X_7$) 放流時～漁獲加入までの水温の影響をみるため、天然魚および放流魚の生息海域(松村2005a, 田北・Smonta 1991)近傍において月1回の頻度で佐賀県有明水産振興センターが実施している浅海定線観測3定点(Fig. 22)の7月～10月における表層水温の各月の平均値を用いた。なお、7月と8月($r=0.87, P<0.01$), 9月と10月($r=0.88, P<0.01$)には高い相関関係が認められることから、それぞれを説明変数として用いると多重共線性の問題が発生する(有馬ほか1988)。従って、ここでは説明変数間の相関を小さくするため、7月と8月、9

月と10月をそれぞれ平均し、7～8月の平均水温(X_6)と9～10月の平均水温(X_7)を用いて、説明変数間の相関を小さくした($r=0.21, P>0.05$)。

3) 重回帰分析

以上の $X_1 \sim X_7$ の要因を説明変数とし、11月1日時の推定全長を目的変数(Y)として重回帰分析を行った。最良重回帰式は、変数の打ち切り基準を $F=2.0$ として変数増減法(奥野ほか1989)により求めた。

2. 結果

1) 成長の解析

放流群23事例について、成長曲線と11月1日時の推定全長をTable 17に示した。推定全長は181～226mmとなり、最小値と最大値で40mm以上の差がみられた。

Table 17 Results of the analysis of growth equations and estimated total length (mm) on Nov.1 by using the release-recapture data of ocellate puffer seeds in Ariake Sound

Year of release	Released lot number	Growth equation			Estimated total length (mm) on Nov.1
		$y(\text{mm})=a \times x(\text{day})^b$	Data number	r	
1991	1	$y = 16.90 \times x^{0.468}$	72	0.78 ^{*1}	203
1992	1	$y = 6.73 \times x^{0.63}$	20	0.80 ^{*1}	187
	2	$y = 2.79 \times x^{0.821}$	24	0.82 ^{*1}	194
	3	$y = 4.10 \times x^{0.753}$	48	0.84 ^{*1}	193
1993	1	$y = 7.74 \times x^{0.613}$	35	0.85 ^{*1}	203
	2	$y = 5.31 \times x^{0.689}$	35	0.94 ^{*1}	199
	3	$y = 1.93 \times x^{0.932}$	4	0.99 ^{*1}	202
1994	1	$y = 7.71 \times x^{0.61}$	54	0.91 ^{*1}	205
	2	$y = 4.26 \times x^{0.746}$	48	0.91 ^{*1}	211
	3	$y = 20.00 \times x^{0.418}$	7	0.75 ^{*2}	186
	4	$y = 10.30 \times x^{0.528}$	81	0.92 ^{*1}	190
	5	$y = 6.95 \times x^{0.62}$	30	0.89 ^{*1}	189
1995	1	$y = 6.91 \times x^{0.651}$	15	0.74 ^{*1}	205
	2	$y = 11.10 \times x^{0.519}$	26	0.86 ^{*1}	196
	3	$y = 9.06 \times x^{0.552}$	15	0.70 ^{*1}	193
	4	$y = 4.83 \times x^{0.667}$	19	0.88 ^{*1}	181
	5	$y = 4.35 \times x^{0.698}$	25	0.80 ^{*1}	183
2000	1	$y = 1.69 \times x^{0.932}$	26	0.88 ^{*1}	213
	2	$y = 2.45 \times x^{0.851}$	35	0.96 ^{*1}	214
	3	$y = 5.03 \times x^{0.702}$	36	0.90 ^{*1}	214
2001	1	$y = 11.70 \times x^{0.541}$	186	0.87 ^{*1}	222
2002	1	$y = 6.47 \times x^{0.665}$	88	0.90 ^{*1}	224
	2	$y = 6.41 \times x^{0.663}$	58	0.89 ^{*1}	226

y : Amount of growth in total length (mm)

x : Days after release

r : Correlation coefficient

^{*1} Significant at 1% level

^{*2} Significant at 5% level

2) 重回帰分析による変動要因の解析

重回帰分析の結果、 X_4 を除く6つの説明変数が採択された。最良重回帰式は $Y = 1.14 X_1 + 0.49 X_2 - 6.03 X_3 + 0.54 X_5 - 2.60 X_6 + 1.87 X_7 + 211.7$, 重相関係数 r は0.93であった。分散分析の結果は $F(6, 16; 0.01) = 4.20 < 15.84$ となり1%の水準で有意であった(Table 18)。すなわち $X_1, X_2, X_3, X_5, X_6, X_7$ の説明変数の組み合わせは Y を説明するのに役立つ

おり、漁獲サイズ変動にはこれら6つの要因が関わっていることが示唆された。さらに t 検定によると

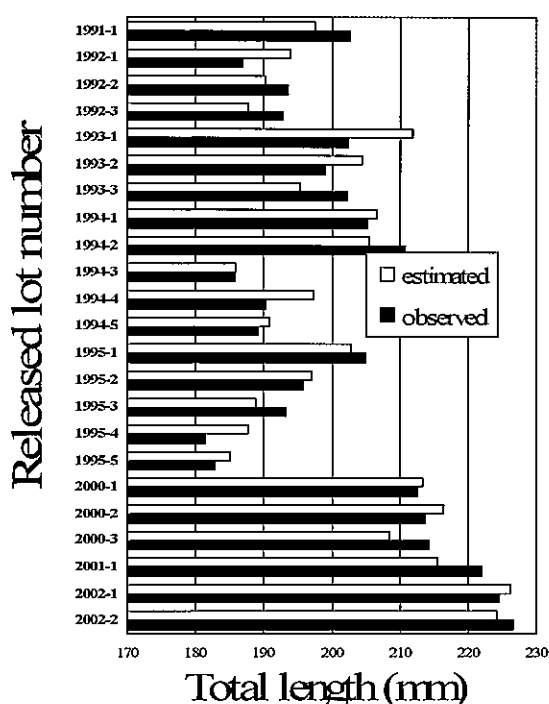


Fig.23 Comparison between the observed value (solid bar) and estimated one (open bar) by using the multiple regression for the total length of hatchery-produced ocellate puffer released in Ariake Sound.

X_1, X_2 が 1% の水準で、 X_6, X_7 が 5% の水準で有意であった。重回帰式からの計算値と成長式による推定全長を Fig. 23 に示した。放流群により 1~9mm の残差の違いはあるが、計算値は各放流群の全長の変動傾向をよく表していた。偏回帰係数の符号から漁獲サイズに対して、 X_2, X_5, X_7 は増加要因、 X_1, X_3, X_6 は減少要因であった。標準化偏回帰係数は X_1 : -0.65, X_2 : 0.36, X_3 : -0.23, X_4 : 0.23, X_6 : -0.28, X_7 : 0.27 となり、その大きさから $X_1, X_2, X_6, X_7, X_5, X_3$ の順に漁獲サイズの変動に寄与していると考えられた。

3. 考察

本研究において、放流条件として放流時期 (X_1)、放流サイズ (X_2) および放流場所 (X_3) が漁獲サイズの変動に関わっていることが判った。この中で標準化偏回帰係数から放流時期 (X_1) の影響が最も大きく、放流サイズ (X_2) がこれに次いだ。偏回帰係数は、放流時期が 1 日早くなれば 11 月 1 日の漁獲全長 1.1mm の増加に、放流サイズが 1mm 大きくなれば全長 0.5mm の増加に寄与することを意味する。当歳魚の漁期は 9~12 月であり、放流の 2~5 ヶ月後に漁獲加入する。放流時期が早ければ、放流から漁獲加

Table 18 The results of multiple regression of total length (mm) estimated on Nov. 1 on nine selected variables

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
Partial regression coefficient	-1.14	0.49	-6.03		0.54	-2.60	1.87
Standard partial regression coefficient	-0.65	0.36	-0.23		0.23	-0.28	0.27
t value	5.55 ^{*1}	2.95 ^{*1}	1.95		1.84	2.41 ^{*2}	2.66 ^{*2}
Constant term				211.7 ^{*1}			
Multiple correlation coefficient				0.93 ^{*1}			
F value				15.84 ^{*1}			
Minimum	1	43.7	1	1	4.1	24.9	21.1
Maximum	28	78.8	0	0	20.5	29.2	26.0
Mean	15.65	67.26	0.61	0.91	13.02	27.88	23.4

X_1 : Day of release in July

X_2 : Total length at release

X_3 : Release site

X_4 : Quality of seeds released

X_5 : CPUE (kg/boat·day)

X_6 : Average surface water temperature (°C) in July and August

X_7 : Average surface water temperature (°C) in September and October

^{*1}: Significant at 1% level

^{*2}: Significant at 5% level

入までの生育日数が増えることで、この間の成長量が漁獲加入時の全長に上乘せされたためと考えられる。放流場所 (X3) については、偏回帰係数から島原地先放流群が諫早湾および有明海湾奥放流群に比べ漁獲全長で6mm小さいことが判った。有明海における天然稚魚の主要分布域は干潟域や河口域であり、これらの海域が本種の稚魚期の主要な成育場と考えられている(浦田1965, 田北・Smonta 1991)。また、島原地先放流群と諫早湾・有明海湾奥放流群では、後者の回収率がより高い傾向がみられた。この理由として島原地先放流群は、好適な成育場が周辺に不十分なため餌料不足等により生残率が低下したことが推察されている(松村2005b)。また、飼育実験により、稚魚では塩分が低い方が餌料転換効率や成長率が高いという結果が報告されている(韓ほか1995)。有明海の夏期における低塩分域は河川水の影響を直接受ける湾奥に認められる(井上1985)。従って、放流海域のこれら餌料環境や海洋環境の差が、成長率の差となって漁獲加入時の全長に影響したものと考えられる。

種苗性 (X4) は、漁獲サイズの変動に関係しなかった。種苗性が低いと考えられた放流群の回収率は、放流群1993-3で5.1%、1995-5で10.7%であり、同様のサイズの放流群に比べ半分程度であった(松村2005b)。この二つの放流群では、たとえば尾鰭欠損がほとんどない正常な個体だけが生き残って回収されたため、通常の飼育群との間で成長に差が出なかったことが考えられる。

採択された6要因の中で放流条件に関連する放流時期 (X1)、放流サイズ (X2)、放流場所 (X3) の3要因で重回帰分析を行うと、重回帰式は $Y = 1.04X1 + 0.483X2 - 9.32X3 + 190.95$ となり、重相関係数 ($r = 0.81, p < 0.01$) は十分高い値を示した。このことから3要因により、漁獲加入時の全長の変動の主要な部分が決定されていることが伺われる。有明海の当歳魚漁獲において最も効率の高い放流条件は、全長75mmの種苗を諫早湾や湾奥域に放流することであった(松村2005b)。上記3要因の重回帰モデルによると、漁獲加入時の全長が最も大きくなる7月1

日に、この条件で放流した場合、11月1日の全長は226mmと推定された。同じ放流サイズで同一海域において7月31日に放流した場合は、全長195mmと推定された。両者の全長差は31mmとなり、この差は体重においては約80gの差に相当する。回収率が同じ値でも、経済効果は再捕重量に比例することから、放流時期は漁獲加入時の体重を決める重要な放流条件として考慮する必要がある。

漁獲サイズに対して、7~8月の平均水温(24.9~29.2°C)は負、9~10月の平均水温(21.1~26.0°C)は正の影響を示した。トラフグ未成魚、成魚の生息適水温として16~23°C、生息上限水温として28°Cが報告されている(新田ほか1980)。水温と成長速度との関係は、一般的に最適水温をはさんで高温側にゆがんだドーム型になることから(Yamashita et al. 2001)、7~8月の水温は成長最適水温よりも高温側に、9~10月の水温は最適水温付近にあったことが推察される。有明海の湾奥部では適水温帯は放流前の5~6月にも存在しており(井上1985)、すでに述べたとおり放流時期が早いほうがより経済効果の高い漁獲サイズに成長することを考慮すると、現状よりも早い5,6月の放流についても今後検討する価値がある。

資源量 (X5) は、影響度は低いが増加要因として採択された。一般的に資源量は成長に大きな影響を与え、資源量と成長速度は逆比例するとされている(久保ほか1986)。このような密度依存型の例としてマダイ当歳魚(畔田ほか1980, 高場1998)、サワラ(岸田1990)、マイワシ(和田1988)の研究事例があり、トラフグにおいても瀬戸内海(高場・加藤1994)や遠州灘(鯖江ほか1998)で同様な現象が報告されている。一方、Bailey et al. (1996) はスケトウダラの年毎の初期成長率と海洋環境、プランクトン豊度を比較した結果から、仔稚魚期においてプランクトンの豊度が高い年には強勢な年級が形成され、しかも稚魚の成長が良い可能性を示している。また、上田(2000)およびUeta et al. (1999) はアオリイカの各年級群の成長様式から、幼期に高水温、高塩分の年には年級群の豊度と成長速度が共に

高い傾向を報告している。有明海においては、1991～2002年のトラフグ当歳魚のCPUE（松村2005a）と市場調査で得られた平均魚体重には正の相関（ $r=0.71$, $p<0.01$ ）がみられ、CPUEが最も低かった1992年に平均魚体重は最小値（187g）を、CPUEが最も高かった1998年に平均魚体重は最大値（370g）を示した（松村、未発表データ）。このように有明海トラフグ当歳魚の成長においても密度独立型の傾向がみられたが、今後この成長をもたらす環境について水温の他に塩分や餌料環境面から総合的な解析が必要である。

放流計画を策定する上で、環境収容力にみあった放流量の決定は重要である（加藤1989, Yamashita et al. 1999 加藤1989）。有明海は東シナ海トラフグ資源の補給源と考えられ（藤田1962）、有明海における種苗放流の効果は、有明海で漁獲される当歳魚にとどまらず、玄界灘や五島灘で漁獲される1～3歳魚に広域に及ぶ（山口県ほか2001, 2002, 2003, 2004）。東シナ海等外海産トラフグの漁獲量が1,000トンを超えていた1984～1988年（林1997）には、有明海の代表的な漁協において当歳魚が20トン以上漁獲されていた（山口県ほか1991）。近年の当歳魚漁獲量は0.1～8tであることから（松村2005a）、補給源としての機能が低下している可能性が考えられる。外海域の資源を増加させるには、有明海において大規模な放流が有効と考えられるが、一方で資源の成長や生残をささえる環境収容力について、物理環境と成育場の生産力、放流魚と天然資源の競合（Watanabe et al. 1983, 1986）などの観点から解明していくことが重要である（北田2001）。

第4章 放流魚の産卵回帰時の放流効果

トラフグは産卵場周辺海域を仔稚魚および幼魚の育成場とし（浦田1965, 日高ほか1988, 田北・Smonta 1991, 佐藤1997）、成長に伴い外海へ移動し広域的に回遊する資源と考えられ、東シナ海などの外海域の資源には有明海、福岡湾、瀬戸内海等複数の産卵場が補給源として関わっているとされている（伊藤

1997）。本種については、成魚を用いた標識放流の結果から産卵場に回帰することが推察されている（伊藤ほか1998, 1999, 佐藤ほか1999）。仮に放流した稚魚が、外海域への回遊後にサケ・マス類のように産卵場へ回帰することが明らかになれば、全生活史を通じた資源計画（北田2001）が可能となり、資源の維持増大の手段として種苗放流の意義は大きいと考えられる。

本章では1996～2005年にかけて、有明海で漁獲された産卵親魚を調査し、その結果を基に回帰時の放流効果や成長・成熟について検討した（松村2006）。

1. 材料と方法

1) 漁獲量、漁獲尾数および漁獲金額の推定

有明海では4月上旬～5月上旬に湾口付近に漁場が形成され（藤田1983）、長崎県と熊本県の漁業者が主に釣りにより産卵親魚を漁獲する。水揚げされる漁業協同組合（以下漁協という）は、長崎県の4漁協（布津町漁協、有家町漁協、西有家町漁協、島原半島南部漁協）と熊本県の1漁協（天草漁協）の計5漁協である（Fig. 24）。漁獲量と漁獲金額については各漁協で月別にまとめられている水揚げ量と水揚げ金額を用い、1996～2005年について年別に集計した。漁獲尾数については、西有家町漁協では仕切り書から全水揚げ尾数の把握が可能であった。その他の漁協については、年別の水揚げ量を西有家町漁協の年別の平均魚体重で除して水揚げ尾数を推定した。なお、全水揚げ量の90%以上を占める有家町漁協、西有家町漁協および天草漁協の3漁協で2004年に実施した水揚げ物の測定結果では、各漁協間で平均全長に差は認められなかった（一元配置分散分析、 $p>0.05$, 松村未発表）ことから、各漁協において水揚げされた平均魚体重には差が無いものと考えられる。

2) 標識放流

解析の対象となった放流種苗はTable 19に示した43放流群、合計1,313,450尾である。1991～1996年の放流種苗は長崎県水産試験場島原分場（現長崎

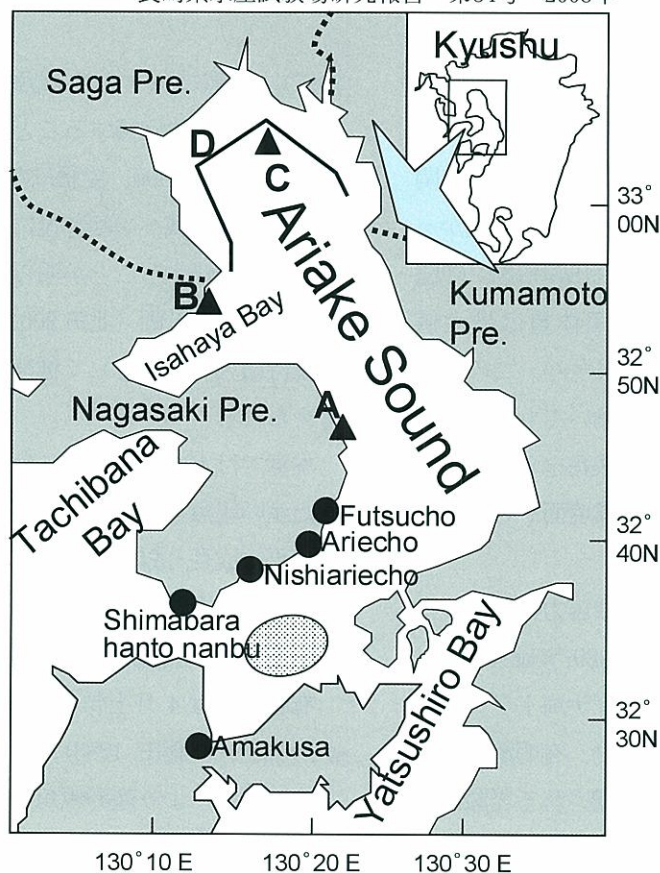


Fig.24 Map showing the study area, Ariake Sound. Solid triangles (A, B and C) and line (D) indicate the release sites. Solid circles indicate locations of the fish markets surveyed and dotted area indicates the fishing ground for adult ocellate puffer.

県総合水産試験場), 1997 年は長崎県総合水産試験場で種苗生産した稚魚, 1998~2003 年は民間の種苗生産機関で種苗生産された稚魚であった。この他に1995年に長崎県水産試験場島原分場で, 2002年に民間の種苗生産機関でふ化した仔魚も放流試験に供した。放流尾数は年あたり 27,350~353,950 尾, 放流サイズは平均全長 3~100 mm の範囲にあった。トラフグの人工種苗では, 高密度飼育や餌不足が原因で噛み合い行動により尾鰭が欠損することがある。今回用いた放流魚は, これら噛み合いを防止するために投餌量や投餌回数, 飼育密度に細心の注意を払い生産されたもので, 1993 年第 3 回放流群 (以下, 放流群 1993-3 と称す), 放流群 1994-6 および放流群 1999-1 の 3 群を除いて尾鰭の欠損は皆無か軽微であ

った。この中で, 放流群 1993-3 については計画的に投餌回数を通常の 3 分の 1 程度に減らし, 放流群 1994-6 および 1995-8 は, 飼育密度を通常より高めに設定して飼育し, 飼育条件と尾鰭欠損との関係を調べた。その結果, 放流群 1995-8 では尾鰭の欠損は皆無か軽微であったが, 放流群 1993-3 と 1994-6 では全個体について尾鰭の半分程度が欠損していた。なお, 民間から購入して放流した放流群 1999-1 も投餌回数が少なく, 全個体で尾鰭が半分程度欠損していた。放流魚は全数にアリザリンコンプレクソンかテトラサイクリンまたは両者による耳石標識を行い, 標識の種類や回数並びに標識径で放流年, 放流場所, 放流サイズ別の放流群毎に判別が行えるようにした (松村 2005c)。放流は島原市地先 (A), 諫早湾 (B), 有明海湾奥 (C) 及び有明海湾奥 (D ライン) の計 4 カ所で行った (Fig. 24)。島原市地先での放流は長崎県水

産試験場島原分場または民間の種苗生産機関から種
苗を放流場所まで活魚トラックで輸送し、海岸でト
ラックの活魚水槽からホースを用いて放流した。諫
早湾、有明海湾奥及び有明海湾奥ライン上での放流
は水産試験場島原分場または民間の種苗生産業者か
ら活魚トラックで島原市内の漁港または多以良港ま

で輸送した後、ホースで漁船に積み替え、放流場所
まで輸送後網ですくい船上から放流した。

3) 標本調査

トラフグは極めて高価なために、当歳魚を除いて
多数の標本を購入することは困難である。そこで
1996年から2005年に長崎県の4漁協からトラフグ

Table 19 Summary of the release recapture studies of ocellate puffer seeds in Ariake Sound

Year of release	Date of release	Released lot number	Total length (mm) (mean±SD)	Number of seeds released	Degree of normality of the caudal fin	Release site* ¹	Marking method* ²
1991	6 Jun.	1	19.9 ± 1.7	107,900	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	29 Jun.	2	30.4 ± 3.8	29,760	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	18 Jul.	3	52.8 ± 5.7	22,350	Normal or minimal loss	A	ALC(2)
1992	7 Jul.	1	51.6 ± 5.8	22,700	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	15 Jul.	2	62.3 ± 6.2	11,980	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	21 Jul.	3	70.4 ± 8.5	12,250	Normal or minimal loss	A	ALC(2)
1993	20 Jul.	1	69.1 ± 8.3	15,130	Normal or minimal loss	B	ALC(2)
	21 Jul.	2	69.6 ± 8.1	24,500	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	28 Jul.	3	66.5 ± 8.3	7,630	Half level loss* ³	A	ALC(1)
1994	13 Jul.	1	68.8 ± 7.5	11,940	Normal or minimal loss	B	ALC(1)
	14 Jul.	2	68.7 ± 7.4	11,610	Normal or minimal loss	C	ALC(1)
	15 Jul.	3	43.7 ± 4.4	12,000	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	15 Jul.	4	67.7 ± 5.9	21,770	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	20 Jul.	5	65.5 ± 5.0	16,570	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	1 Aug.	6	65.3 ± 5.7	24,570	Half level loss* ³	A	ALC(2)
	15 Aug.	7	82.4 ± 7.0	10,260	Normal or minimal loss	A	ALC(2),TC(1)
	22 Aug.	8	100.2 ± 6.2	5,350	Normal or minimal loss	A	ALC(2),TC(1)
1995	28 Apr.	1	3.3 ± 0.1	290,000	Normal	A	ALC(1)
	6 Jul.	2	39.4 ± 5.3	7,060	Normal or minimal loss	B	ALC(2)
	6 Jul.	3	50.8 ± 4.6	7,980	Normal or minimal loss	B	ALC(1)
	13 Jul.	4	30.7 ± 4.7	10,920	Normal or minimal loss	B	TC(1),ALC(1)
	21 Jul.	5	72.8 ± 9.2	8,710	Normal or minimal loss	B	TC(1)
	25 Jul.	6	78.8 ± 7.7	6,340	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	26 Jul.	7	78.6 ± 7.7	8,330	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	28 Jul.	8	77.6 ± 9.5	10,480	Normal or minimal loss	A	ALC(2)
	9 Aug.	9	82.9 ± 5.5	4,130	Normal or minimal loss	B	ALC(2)
	1996	16 Jul.	1	69.7 ± 5.9	24,000	Normal or minimal loss	B
16 Jul.		2	69.4 ± 6.4	28,000	Normal or minimal loss	B	ALC(3)
17 Jul.		3	69.0 ± 7.4	26,000	Normal or minimal loss	B	ALC(4)
1997	21 Jul.	1	42.8 ± 8.1	76,000	Normal or minimal loss	A	ALC(1),TC(1)
1998	19 Jul.	1	43.5 ± 3.5	50,000	Normal or minimal loss	A	TC(1)
1999	21 Jul.	1	62.3 ± 6.9	51,000	Half level loss* ³	B	TC(1)
2000	1 Jul.	1	63.0 ± 5.9	8,700	Normal or minimal loss	A	ALC(1)
	10 Jul.	2	75.8 ± 6.8	18,300	Normal or minimal loss	D	TC(1)
	11 Jul.	3	75.2 ± 6.7	19,880	Normal or minimal loss	A	TC(2)
2001	10 Jul.	1	70.8 ± 5.9	36,000	Normal or minimal loss	D	ALC(1),TC(1)
2002	28 Apr.	1	3.2 ± 0.1	190,000	Normal	D	ALC(1)
	28 Jun.	2	57.4 ± 4.7	12,000	Normal or minimal loss	D	ALC(1),TC(1)
	4 Jul.	3	67.6 ± 5.9	14,000	Normal or minimal loss	D	ALC(1),TC(2)
	11 Jul.	4	79.3 ± 5.4	10,000	Normal or minimal loss	D	ALC(1),TC(3)
2003	4 Jul.	1	71.7 ± 5.2	12,000	Normal or minimal loss	B	ALC(2),TC(1)
	14 Jul.	2	82.0 ± 6.7	7,350	Normal or minimal loss	B	ALC(1),TC(1)
	17 Jul.	3	90.6 ± 7.2	8,000	Normal or minimal loss	D	ALC(1),TC(2)

*¹ A: Shimabara coast, B: Isahaya Bay, C and D: Innermost area of Ariake Sound (refer to Fig.1)

*² ALC, Alizarin complexone; TC, Tetracycline and the number indicates the number of marked ring

*³ Fin reduced in size by ca. 50%

を購入する3鮮魚店および1料理店に頭部の標本提供と提供標本全個体について全長、体重、雌雄の記載を依頼した。さらに2001年以降はこれに生殖腺重量の項目を加えた。本研究で使用した標本は全てこの4カ所から提供されたものである。漁獲量が全体の約30%を占め、代表的な漁協と考えられる西有家町漁協では、水揚げされた親魚を1kg未満、1~1.5kg未満、1.5~2kg未満、2~3kg未満、3kg以上の体重別に分け、それぞれ重量別に入札するため1尾毎の体重組成の把握が可能である。鮮魚店、料理店から提供された標本の代表性を調べるために、全標本の体重を上記の体重区分に割り振り、調査年別に分析標本と西有家町漁協に水揚げされたトラフグ全個体の体重分布を χ^2 検定により比較した。

4) 放流魚の判定 これら標本を長崎県総合水産試験場に搬入後、扁平石を取りだして蛍光顕微鏡下で耳石標識の有無を確認した。有明海での耳石標識放流は長崎県のみであるが、1991年以降に福岡県が福岡湾で、1992年以降に山口県が仙崎湾や瀬戸内海等沿岸域で耳石標識放流を実施しており、これら有明海以外の放流群の有明海への産卵加入も否定できない。得られた1992~1995年の有明海標識魚の一部については他県の標識群との区別が困難である。1996年以降は、ふ化仔魚時の標識やアリザリンコンプレクソンとテトラサイクリンによる多重標識を組み合わせることで、有明海放流魚を他県の放流魚と区別することが可能となった。その結果1996年以降の山口県放流群と福岡県放流群は検出されなかったことから、1995年以前の再捕魚についても全て長崎県放流群とみなして取り扱った。耳石標識については標識の種類、標識の回数および標識径の大きさ(松村2005c)により、放流群を特定した。

5) 回収率、回収重量、回収金額および利益率の推定

効果の推定については、個々の放流群毎に以下の通り行った。調査年別の放流魚の混獲率(R_i)に、調査年別の全漁獲尾数(X_i)を乗じて調査年別の回収尾数(Y_i)を推定し、この値を集計し、推定総回収尾数(Y)と回収率(Y_s)を推定した。さらに調査年別

の回収尾数(Y_i)に調査年別放流魚の平均体重(w_i)を乗じて調査年別の放流魚の推定回収重量(W_i)を推定し、この値を集計して推定総回収重量(W)を求めた。さらに、調査年別の放流魚の推定回収重量(W_i)に調査年別の平均体重あたりの単価(C_i)を乗じて調査年別の回収金額(E_i)を推定し、この値を集計して総回収金額(ES)を求めた。利益率(P)については、放流尾数(N)に平均全長から推定される種苗単価(松村2005b)(AI 円)を乗じて放流経費を求め、総回収金額(ES)をこの経費で除して求めた。

$$R_i = \frac{y_i}{n_i}$$

$$Y_i = R_i X_i$$

$$Y = \sum_i Y_i$$

$$Y_s = \frac{Y}{N} \times 100$$

$$W_i = w_i \times Y_i$$

$$W = \sum_i W_i$$

$$E_i = Y_i C_i W_i$$

$$ES = \sum_i E_i$$

$$P = \frac{ES}{N} AI$$

R_i : i 調査年の混獲率

i : 1996~2005年

y_i : i 調査年の放流魚尾数

n_i : i 調査年の調査尾数

X_i : i 調査年の全漁獲尾数

Y_i : i 調査年の放流魚の推定回収尾数

Y : 放流魚の推定総回収尾数

N : 放流尾数

Y_s : 放流魚の回収率(%)

w_i : i 調査年の放流魚の平均体重(kg)

W_i : i 調査年の放流魚の推定回収重量(kg)

W : 放流魚の推定総回収重量(kg)

E_i : i 調査年の放流魚の推定回収金額(円)

C_i : i 調査年の平均単価(円/kg)

ES : 放流魚の推定総回収金額(円)

P : 利益率

AI：1mmの種苗単価（円）

6) 放流サイズと回収率の関係

解析にあたっては、加入年齢の条件を統一するため2歳から8歳の高齢魚までの加入が調査出来た1994～1997年の4カ年の放流群を対象とし、第三章と同様に天然稚魚の育成場とされている諫早湾放流群(B)と有明海湾奥放流群(C, D)の3放流群をまとめて取り扱い、これと島原地先放流群(A)の2群に分けた。さらに、これらの関係を条件を統一して比較するため、4カ年の21放流群のうち、島原地先放流群で際だって放流サイズの異なる放流群1995-1(全長3mm)及び1994-8(全長100mm)と飼育条件が悪かった放流群1994-6及び1995-8は除外して、放流サイズ(1mm)と回収率(YS)の関係について直線回帰分析を行った。

7) 当歳時の回収率と産卵親魚時の回収率との関係

解析には、産卵加入年齢である2歳から8歳の高齢魚までの加入が調査出来た放流群のうち、当歳時

8) 成長式のあてはめ

各再捕個体の全長データを満年齢時とし、これをもとに雌雄別に成長曲線を求めた。成長式には von Bertalanffy の成長曲線を用い、MS-Excel のソルバーによる非線形最小二乗法(五利江2001)を用いてパラメータを推定した。

9) 成熟度

成熟度を調べるため、放流魚とそれ以外の標本(以下天然魚という)について生殖腺体指数(GSI)を求めた。さらにこの値を分散の不等性を解消するため逆正弦変換し、それぞれの平均値を求めてその差を検定した(t検定)。

$$GSI = 100 \times GW / BW \quad GW: \text{生殖腺重量}(g) \\ BW: \text{体重}(g)$$

2. 結果

1) 漁獲量、漁獲尾数および漁獲金額

有明海におけるトラフグ産卵親魚の漁獲量、漁獲尾数および漁獲金額の経年変化を Fig. 25 に示した。

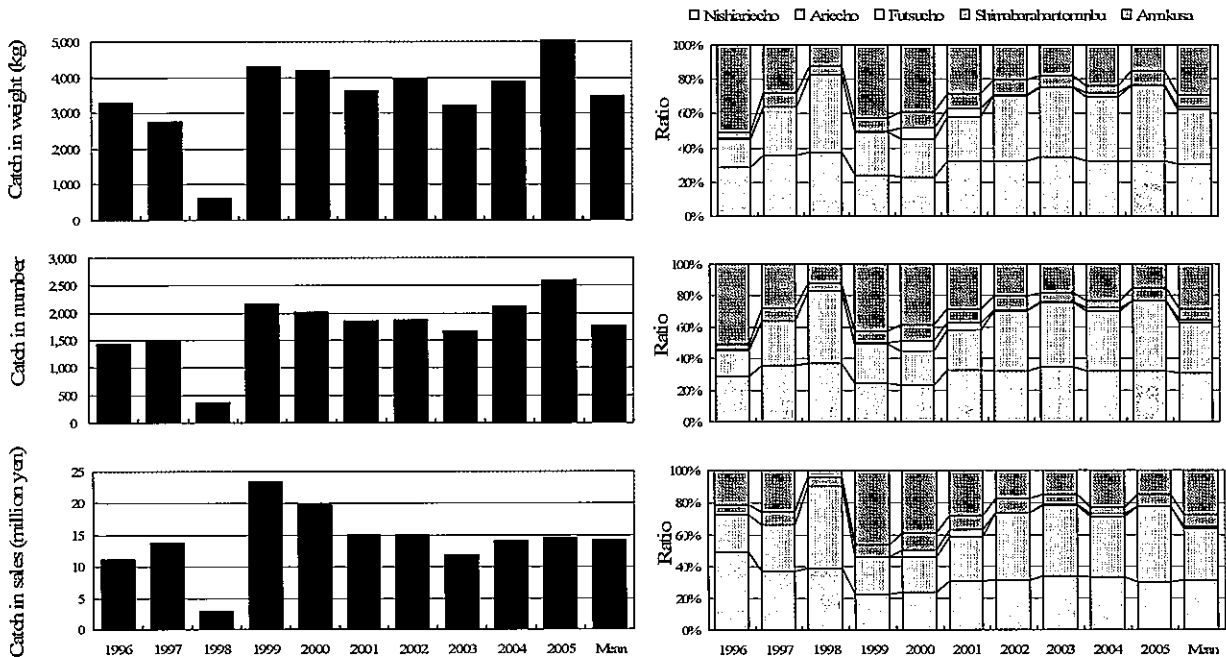


Fig.25 Annual changes in catch in number, catch in weight (kg) and catch in sales (million yen) of adult ocellate puffer (left) and annual changes in composition of each value by fishmarkets (right).

の回収率が推定されている1994及び1995年の計17放流群(松村2005b)を対象とし、当歳時の回収率と産卵加入時の回収率の関係について直線回帰分析を行った。

各年の漁獲重量は605～5,045kg(年平均3,482kg)、漁獲尾数は371～2,600尾(年平均1,756尾)、漁獲金額は2.9～23.4百万円(年平均14.1百万円)と推定され、1998年以降は漁獲量、漁獲尾数ともに安定

して推移した。各年の漁獲量および漁獲尾数の代表漁協の割合をみると、西有家町漁協では漁獲量、漁獲尾数ともに23~37%、漁獲金額23~49%、有家町漁協では漁獲量、漁獲尾数ともに17~45%、漁獲金額22~51%を示し、10ヶ年の平均では漁獲量、漁獲尾数、漁獲金額共にこの2漁協で全体の60%以上を占めた。

2) 標本調査

1996~2005年の調査尾数は68~243尾、標本抽出率は5.4~18.3%であった。全ての調査で標本と代表漁協全個体の体重分布とに差は認められず ($p > 0.05$)、標本は水揚げ物の体重組成を反映していると考えられた。標本の全長組成は各年とも若干異なるが、概ね全長44cmを主体に全長42~46cmをモードにもつ組成であった (Fig. 26)。各調査年において1~18尾 (混獲率1.5~7.7%)、合計で85尾の放流魚が確認された。年齢別にみると3歳が34尾と最も多

く、次いで2歳 (17尾)、4歳 (10尾) の順となり、最高齢は8歳であった (Table 20)。放流魚は全長35~61cm、体重0.92~4.46kgであり、76尾が雄であった。標本の全長組成は各年とも若干異なるが、概ね全長44cmを主体に全長42~46cmをモードにもつ組成であった。

3) 回収率, 回収重量, 回収金額および利益率

放流魚85尾は1991年~2003年に放流した43群のうち32群に該当した。各放流群の標本数は0~8尾となり、この値から推定された回収尾数は0~98尾、回収率は0~0.41%であった。各放流群の回収重量は0~235.9kg、回収金額は0~1,172千円を示し、回収金額を種苗の単価 (松村 2005b) から求めた種苗経費で除した利益率は0~0.83であった (Table 21)。

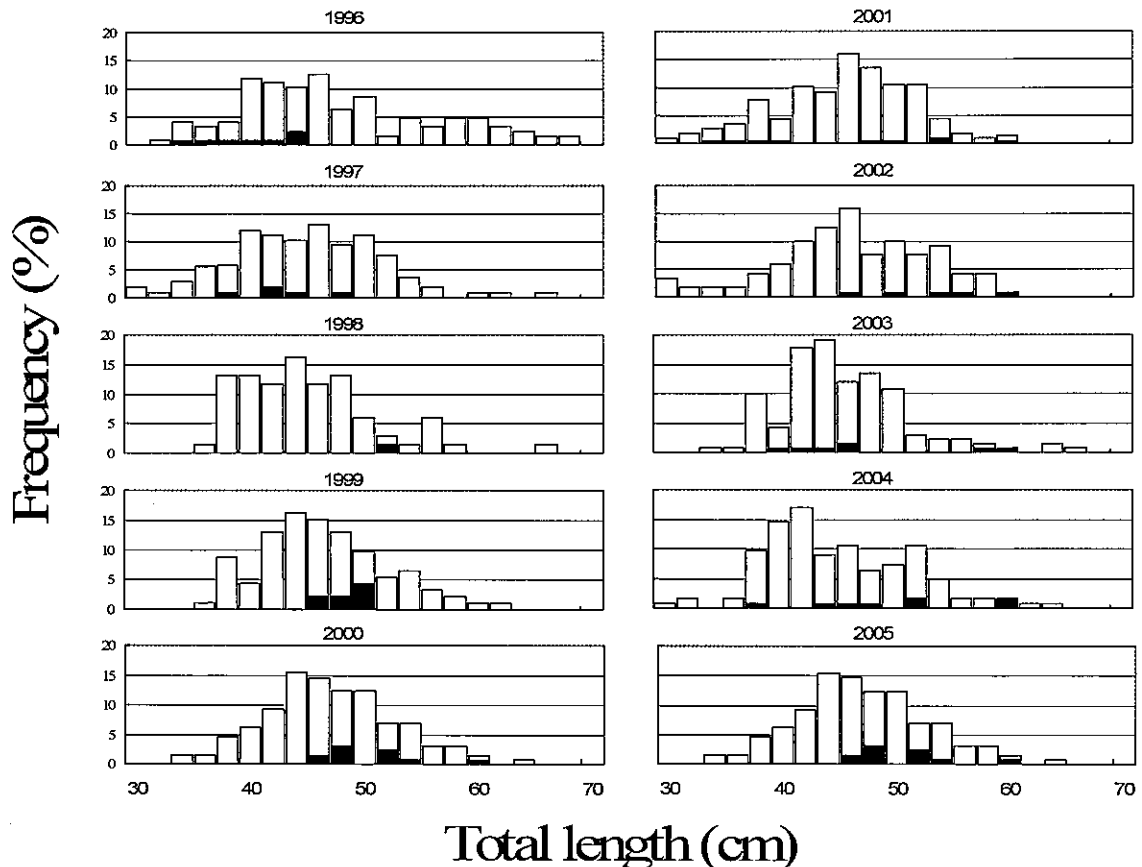


Fig.26 Frequency distributions of total length of the sample and marked puffer obtained by the survey in each year. White sections of the bars indicate wild puffer and black sections of the bars indicate marked puffer.

Table 20 Results of the survey on number of samples, sampling rate, number of fish marked for each age and mark rate in Ariake Sound

Year	Number of samples surveyed	Sampling rate (%) *1	Number of recaptured marked fish for each age						Total number of recaptured marked fish	Mark rate (%)		
			2	3	4	5	6	7			8	
1996	162	11.3	4	4	1				9	5.6		
1997	133	8.9	1	5	1				7	5.3		
1998	68	18.3						1	1	1.5		
1999	117	5.4		7		1	1		9	7.7		
2000	188	9.4		4	2	2	3	2	13	6.9		
2001	225	12.2	4		1	1		2	1	9	4.0	
2002	113	5.9		1	1			1	2	5	4.4	
2003	167	10.8		5					1	1	7	4.2
2004	168	7.9	1	2	2				2	7	4.2	
2005	243	9.2	7	6	2	3				18	7.4	
Total	1,584	9.0	17	34	10	7	6	7	4	85	5.4	

*1 Number of samples / catch in number × 100

4) 放流サイズと回収率の関係

回収率は放流サイズが大きくなる程高くなる傾向を示し (Fig. 27), 各放流群の放流時の平均全長 (1 mm) と回収率 (Y %) には以下の関係式が得られた。

島原地先放流群

$$Y = 0.0052 \times X - 0.1884 \quad (r = 0.81, p < 0.05)$$

諫早湾・湾奥放流群

$$Y = 0.0057 \times X - 0.2048 \quad (r = 0.71, p < 0.05)$$

これら 2 式は共分散分析の結果, 有意差は認められなかった ($p > 0.05$) が, 諫早湾・有明海湾奥放流群の方が島原地先放流群より若干高い傾向が認められ, 島原地先放流群は同じサイズの諫早湾・有明海湾奥

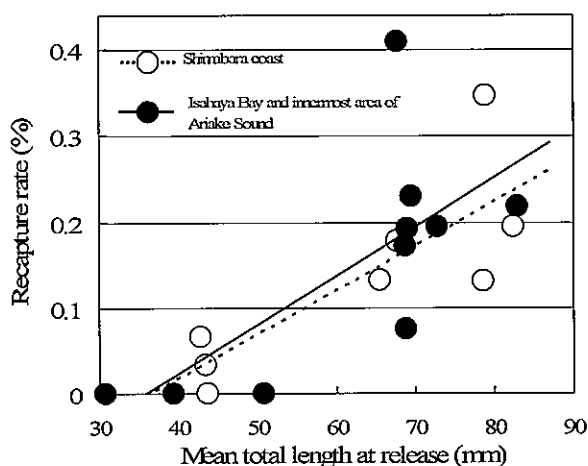


Fig.27 Relationship between mean total length (mm) at release and recapture rate (%). Open circles and dashed line indicate fish released at Shimabara coast, solid circles and solid line at Isahaya Bay and the innermost area of Ariake Sound.

放流群の 90% 程度の値であった。

5) 当歳時の回収率と産卵加入時の回収率との関係
当歳時の回収率 (Y_{young} %) と産卵加入時の回収率 (Y_{adult} %) には以下の関係式が得られた (Fig. 28)。

$$Y_{\text{adult}} = 0.0108 \times Y_{\text{young}} - 0.0062 \quad (r = 0.75, p < 0.01)$$

この式によると産卵加入時の回収率は当歳時の回収率の概ね 100 分の 1 の値であった。

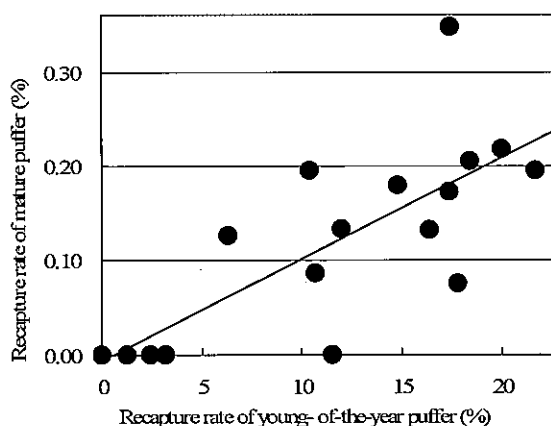


Fig.28 Relationship between recapture rate (%) of young-of-the-year and recapture rate (%) of mature puffer from age 2 years old to age 8 years old.

6) 成長曲線 各再捕個体の年齢と全長のデータをもとに von Bertalanffy の成長曲線を当てはめた結果, 放流魚の t 歳における全長 L_t は次式で示された (Fig. 29)。

$$\text{雄} : L_t = 63.3 \{1 - \exp[-0.245(t + 1.92)]\}$$

Table 21 Estimated number of samples, number of recaptures, recapture rate, catch in weight, catch in sales and economic efficiency

Year of release	Released lot number	Number of sample	Number of recaptures	Recapture rate (%)	Catch in weight (kg)	Catch in sales (1000 yen)	Economic efficiency
1991	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
1992	1	1	6	0.03	13.7	65	0.08
	2	0	0	0.00	0.0	0	0
	3	1	5	0.04	8.8	41	0.05
1993	1	2	18	0.12	30.3	96	0.10
	2	8	85	0.35	240.2	1,095	0.72
	3	0	0	0.00	0.0	0	0
1994	1	1	9	0.08	10.1	32	0.04
	2	2	20	0.17	40.2	174	0.25
	3	0	0	0	0	0	0.00
	4	3	39	0.18	76.1	383	0.30
	5	2	22	0.13	50.0	240	0.26
	6	3	31	0.13	71.3	328	0.24
	7	2	20	0.19	29.7	130	0.15
	8	1	11	0.21	30.2	142	0.23
1995	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	5	1	17	0.20	66.3	251	0.43
	6	2	22	0.35	37.0	178	0.36
	7	1	11	0.13	22.5	106	0.17
	8	1	9	0.09	36.2	133	0.17
	9	1	9	0.22	36.2	133	0.38
1996	1	5	98	0.41	235.9	1,172	0.83
	2	6	64	0.23	207.5	884	0.51
	3	3	50	0.19	121.6	604	0.38
1997	1	5	51	0.07	107.1	494	0.25
1998	1	1	17	0.03	50.9	193	0.14
1999	1	5	50	0.10	98.8	393	0.15
2000	1	3	31	0.36	65.4	239	0.53
	2	4	43	0.23	106.6	345	0.26
	3	3	29	0.15	59.1	194	0.14
2001	1	4	47	0.13	90.3	299	0.13
2002	1	0	0	0.00	0.0	0	0.00
	2	2	21	0.18	34.8	100	0.19
	3	3	34	0.24	47.0	144	0.17
	4	2	21	0.21	30.8	88	0.11
2003	1	3	32	0.27	42.6	122	0.16
	2	2	21	0.29	26.1	75	0.12
	3	2	21	0.26	28.8	83	0.11

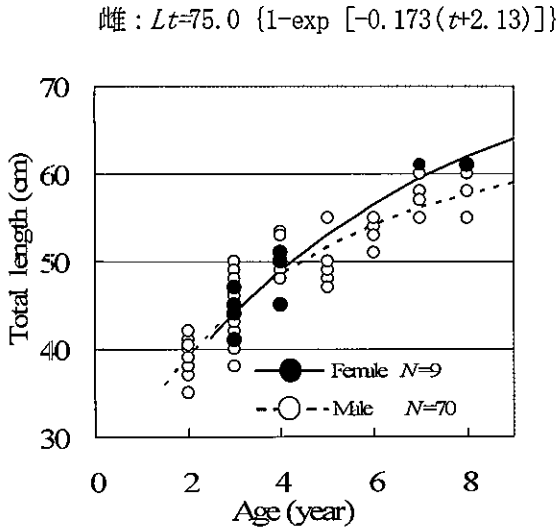


Fig.29 Von Bertalanffy growth curves fitted to length-at-age data of male (open circles) and female (solid circles). *N* is the total number of marked fish examined.

全長 (cm) と体重 (kg) との間には

雄: $BW=3.95 \times 10^{-5} TL^{2.82}$ ($r=0.93$, $p<0.01$)

雌: $BW=5.30 \times 10^{-5} TL^{2.74}$ ($r=0.92$, $p<0.01$)

の関係があり、成長式および全長—体重関係式から求めた満年齢時の計算全長と計算体重は Table 22 に示すとおりであった。これによると、3~4 歳時は雌雄共に同様な大きさであるが、それ以降は雌は雄よりも 1.4~4.2cm 大きかった。

7) 成熟 GSI は、放流魚において雄 11.8 ± 6.8 ($n=33$), 雌 13.5 ± 8.1 ($n=8$), 天然魚において雄 13.1 ± 6.7 ($n=431$), 雌 13.8 ± 6.8 ($n=61$) となり、*t* 検定により比較した結果、雌雄共に放流魚と天然魚で差はみられなかった ($p>0.05$)。

Table 22 Total length (TL, cm) and body weight (BW, kg) at each age calculated from the von Bertalanffy growth equations and the length-weight relations of released ocellate puffer

Age (year)	Male		Female	
	TL (cm)	BW (kg)	TL (cm)	BW (kg)
2	39.1	1.22		
3	44.4	1.74	44.1	1.70
4	48.5	2.24	49.0	2.27
5	51.7	2.69	53.1	2.83
6	54.3	3.07	56.6	3.37
7	56.2	3.40	59.5	3.86
8	57.8	3.67	62.0	4.32

3. 考察

1) 放流サイズと回収率および放流効果

有明海では放流サイズと当歳時の回収率の関係において、放流時全長 50~70 mm の間に回収率が著しく上昇した。これは、飢餓耐性や捕食者からの逃避能力など環境への適応力が、この成長段階で急激に高まったためと考えられる (松村 2005b)。本章の親魚について得られた回帰式により全長 50mm と全長 70mm で回収率を推定すると、その比は島原地先放流群で 2.5, 諫早湾・有明海湾奥放流群で 2.4 倍となり、同サイズの当歳時における回収率の比 3.0~3.2 に近い値であった。また、当歳時の回収率と産卵親魚時の回収率には明瞭な関係が認められ、当歳魚の回収率から親魚の回収率を予測することが可能と考えられる。これらのことは、放流サイズの差による当歳時の生き残りの程度が、産卵加入時までの生残率に大きく反映した結果と考えることが出来よう。回収率と利益率は、放流群 1996-1 が最も高く 0.41% と 0.83 が得られた。この群は放流適海域である諫早湾において放流適サイズ (松村 2005b) に近い平均全長 70mm で放流されたもので、8 歳の高齢魚まで再捕が認められた。松村 (2005b) が報告した放流サイズと当歳時の利益率の関係からこの放流群の利益率は 1.6 と推定され、両者を合計した利益率は 2.4 となる。放流効果はこれらの放流魚の再捕による直接効果に加えて、再生産への間接的な効果も考えられる。トラフグの卵巣内卵数は体重にほぼ直線的に比例する (Kusakabe et al. 1962)。仮に親魚全漁獲量に対するこの放流群の重量割合が同じ率で再生産に寄与し、当歳魚の漁獲量と漁獲金額 (山口県ほか 2003, 2004, 松村 2005a) に反映すれば、放流群 1996-1 が 3~8 歳で漁獲加入した 1999~2004 年の当歳魚漁獲に対する放流魚の間接効果の利益率 (*P*) は次式で表される。

$$P = \frac{\sum_i \frac{w_i Y_i}{Cw_i} Cs_i}{NA}$$

P: 利益率

i: 1996~2004 年

w_i : i 調査年の放流群 1996-1 の平均体重 (kg)

Y_i : i 調査年の放流群 1996-1 の推定回収尾数

Cw_i : i 調査年の親魚の全漁獲重量 (kg)

Cs_i : i 調査年の当歳魚の漁獲金額 (円)

N : 放流群 1996-1 の放流尾数

A : 放流群 1996-1 の種苗単価 (円)

これにより推定された利益率は 0.9 となり、先に推定した放流魚の再捕 (当歳魚+産卵親魚) による直接効果の利益率 2.4 を加えると、合計で 3 以上という高い経済効果が有明海で得られたと考えられる。

2) 再捕魚の成長

トラフグ放流種苗の成長については断片的な知見 (山口県ほか 1988, 佐藤 1996) があるに過ぎず、8 歳という高齢魚までを解析した例は本研究が初めてである。トラフグ天然魚の年齢と成長 (尾串 1980, 檜山 1981, 国行・伊東 1982, 小谷ほか 1987, 岩政 1987, 1988, 内田 1991) については、体長組成や年齢形質から検討されているが、有明海産について検討された例は無い。有明海産トラフグの回遊海域と考えられる東シナ海および黄海の漁獲物を用いて、雌雄別に 5 歳までの標本を解析した尾串の結果 (1987) と比較すると、雄では 2~3 歳時で本研究結果が 0.6~1.4cm 大きく、4 歳時で同等、5 歳時では尾串の結果が 0.7cm 大きかった。雌では全年齢を通して尾串の結果の方が 1.4~2.5cm 大きかった。東シナ海は複数の産卵場から資源が補給されているため、この比較結果が有明海産天然魚と放流魚の差を示すものかについては今後さらに検討する必要がある。一方で放流魚は噛み合いにより尾鰭が欠損し、天然魚に比べて尾鰭が若干短い個体もあることから (山口県ほか 1993)、体重による成長の比較検討も必要であろう。

3) 再捕魚の成熟と性比

GSI については雌雄共に放流魚と天然魚との間に差は認められなかった。トラフグは産卵期に GSI が雄で最大 32 前後、雌で最大 33 前後に達する (松浦 1993) とされており、今回放流魚から得られた GSI においても最大値は雄 27、雌 30 と高い値を示した。さらに著者は、有明海に漁獲加入した胸鰭切除標識

2 歳魚から精子の活性を確認している (山口県ほか 2002)。以上から放流魚は天然魚と同程度に成熟していると考えられた。本研究において有明海で再捕された放流魚は 2~8 歳であった。トラフグは 3 歳で成熟するが、雄の一部は 2 歳から成熟することが報告されている (藤田 1962)。本調査で再捕された 2 歳魚の 17 尾は全て雄であり、3 歳魚で 34 尾と最も多く採集され、雌は 3 歳から再捕され始めた。これらの結果は成熟開始年齢とよく一致している。放流魚は成熟していることから、有明海で再捕されたトラフグは産卵により漁獲加入してきた個体であることが推察された。また、放流魚 85 尾のうち、雌はわずかに 9 尾で性比は 10.6% となり、天然魚の性比 9.3% と差が無かった (χ^2 検定, $p > 0.05$)。藤田 (1962) は、釣りは産卵床に集まる魚群を漁獲する漁法で、雌は放卵後に速やかに産卵床を離れるが、雄は放精後も滞留し次の産卵行動に備えるため、漁獲物の性比は雄に偏る (性比 : 5.7~11.8%) としており、この知見とも一致した。

4) 産卵回帰

トラフグについては、瀬戸内海 (佐藤ほか 1999)、若狭湾 (伊藤ほか 1998)、伊勢湾口 (中島ほか 2005) の産卵場で成魚の標識放流が実施され、その後の他海域での再捕結果と放流翌年の放流場所付近での再捕結果から、産卵回帰の可能性が強く示唆されている。人工放流稚魚の産卵回帰性を証明するためには、これらの結果のように放流魚が産卵場である有明海から回遊場所と考えられる東シナ海等外海域に索餌回遊し、その後成熟して再び有明海に産卵回遊することが条件となる。2000 年以降の放流群については、放流魚が年内にかけて当歳魚として漁獲された後は、1 月以降には五島灘や北松海域等の外海域を索餌回遊し、その後は 1~3 歳時に対馬海域や玄界灘等において広範囲に再捕されている (山口県ほか 2001, 2002, 2003, 2004, 松村 2005a)。さらに、水産総合研究センターの延縄調査結果では、玄界灘において有明海放流魚に加え、福岡湾放流魚や瀬戸内海放流魚が混在していることが判明している (山口県ほか 2001, 2003)。有明海放流魚は 1 歳以降も一部は有明

海に滞留し、その後産卵加入した可能性も考えられるが、有明海では1歳魚の漁獲の実態はほとんど無く、当歳魚に混じってわずかに水揚げされた1歳魚から標識魚は得られてないことから（長崎県2000）この可能性は低い。これらの成長に伴う再捕場所や放流魚の成長・成熟の知見を総合的に考慮すると、放流魚は一旦外海域に索餌回遊した後、成熟年齢になり、再び有明海に産卵回遊したと考えられ、人工放流魚の産卵回帰の可能性は高いと推察された。外海域で有明海放流魚と混在した福岡湾や瀬戸内海放流魚が有明海に産卵加入していない実態は、これらの放流群が選択性を持って、それぞれの放流場所である福岡湾や瀬戸内海の産卵場に回帰している可能性を間接的に示すものと考えられた。トラフグの産卵回帰性を証明するためには、特定の産卵場由来の天然の幼稚魚を用いて標識放流試験を行う必要があるが、有明海放流魚の当歳魚での漁獲加入や1~3歳魚の外海での漁獲加入からみた移動を考慮すると、放流魚は天然魚と同様な行動様式を持つものと推定される。放流魚の産卵回帰性は人工種苗特有のものではなく、天然稚魚の行動様式に裏付けられた結果とみることができるかもしれない。伊藤(1999)は、産卵場は完全に独立したのではなく、東シナ海・黄海のトラフグ資源は産卵場毎に存在する地域的な小集団が相互に部分的な遺伝子の交流を行うことによって、全体として1つのメタ個体群を形成しているとしている。本研究では福岡湾や瀬戸内海における放流魚の有明海への産卵加入はみられなかったが、有明海放流魚のその他産卵場への加入の実態については不明である。今後、東シナ海や黄海等の外海域トラフグ資源の補給源と考えられる八代海、福岡湾および瀬戸内海の複数の産卵場において、同時に人工種苗の標識放流を行い、成熟以降の各産卵場への加入の実態を広域的に把握することで、産卵場の独立性（遺伝子交流の程度）も含めた産卵回帰性について詳細に検討する必要がある。サケ科魚類は、稚幼魚が生まれた川の何らかの要因を記録して降河し、親魚が繁殖のため記録した要因を頼りに高精度で母川を選択して遡上する母川回帰性を有しており、海

洋における回遊行動および母川を識別する嗅覚機能を中心にそのメカニズムが研究されてきた（上田1985, 1987, 1996, 1998, Ueda2002, 田口1987, 佐藤2002）。産卵回帰が確認されている海産魚類にはトラフグの他にニシン（大河内・千村2001）、ハタハタ（北海道2000）、マダラ（夏目・藤沢1998）があるが何れも回帰のメカニズムに関する知見は乏しく、行動生理学や神経生理学から、そのメカニズムの解明が待たれる。

第5章 総合考察とまとめ

本研究ではトラフグについて標識の技術を確立し、産卵場の一つである有明海において長期にわたり標識放流を実施し、効果の推定とこれに基づいた放流技術を考察した。本章ではそれらの結果を整理し、放流技術がトラフグ資源回復への重要な課題に対して新しい展望を与えることを述べる。

標識技術

放流効果を定量的に評価するための標識の条件として、標識が脱落・消失しないこと、標識装着による生物への影響がないことが必要である（日裁協2000）。第2章では、放流効果を推定するためのトラフグ人工仔稚魚に有効な標識方法として耳石標識方法と胸鰭切除標識方法について、飼育試験による魚体への影響調査や標識の残存性を評価した。耳石標識方法はALCとTCの浸漬法により卵~稚魚期の何れのサイズにおいても装着可能であり、サイズ毎に適正な処理基準が明らかになった。また、TCは経口投与により稚魚サイズで標識付けが可能なが明らかになり、これら両剤を複合させた標識の組み合わせによりたくさんの放流群の識別が可能であるという利点が得られた。さらに外部から標識の確認ができず購入費用がかかるという耳石標識の欠点を補う方法として胸鰭切除方法について検討し、魚体への影響や残存性から本手法の有効性を確認した。2000年以降はこの2通りの標識を用いて山口県、福岡県と共同で標識放流試験を実施した。右胸鰭切除標識を3県の共通標識として、福岡魚市場と南風泊

市場で胸鰭切除標識魚を検出し、耳石標識の組み合わせで県毎の放流群を判別した。この調査により1～3歳時の外海域における放流県別年齢別の効果が評価されている(山口県ほか2000, 2001, 2002, 2003, 2004)。また、この方法は有明海で2004年から実施されている50万尾の長崎県営の放流実証事業にも用いられ、全数について胸鰭切除標識とALC耳石標識が装着されている(長崎県2005a)。第5次栽培漁業基本計画(長崎県2005b)では、漁協や協議会が放流を行う際は、放流効果の検証や評価が行えるように、事業主体による効果の把握が求められている。胸鰭切除標識は漁業者による視認が可能であり、これに組み合わせが豊富な耳石標識を加えた複合標識方法は、事業主体による栽培事業において有効な方法と考えられる。

最適放流方法

栽培漁業を効果的に推進するためには、経済的な効果、コストを考慮した放流サイズ、放流海域の選択等最適放流手法の確立が重要である。第3章では、まず効果を推定するための重要な基礎知見となる、有明海における当歳魚の漁業実態を全域的に調査した。有明海当歳魚は主に一本釣りと延縄によって9～12月に漁獲され、その数は21-88千尾と年変動が大きいことが明らかになった。このような当歳魚の加入量の大きな変動は福岡湾(山口県ほか2001)、瀬戸内海(柴田・佐藤1995, Tokai et al. 1995)および伊勢湾(中島1991, 山口県ほか2001)においてもみられ、トラフグ資源の一つの特徴と考えられた。また、有明海の資源変動の傾向は近隣の産卵場である福岡湾や八代海と同様であることから、その変動要因として広域的に影響する気象要因との関わりが示唆された。有明海当歳魚の成長に伴う分布・移動が明らかになり、県別の漁獲実態の比率も明らかになった。

1991～2002年には有明海で放流サイズおよび放流海域別に35放流群、合計1,082千尾を標識放流し、有明海6市場3漁協の全市場で標識率調査を行った結果、当歳魚の回収率や経済効果が明らかになった。放流サイズと回収率には、放流海域毎にロジスティ

ック曲線で表される関係が認められた。これらの関係に基づき、放流海域については天然稚魚の生息海域である諫早湾や湾奥部の方が非生息海域である島原市地先より回収率が33～53%高いこと、放流サイズについては、サイズ別の種苗単価を考慮すると全長70mm台で利益率が最も高いことが明らかになった。また、放流海域によって県別の受益割合が大きく異なることが明らかになった。最適放流サイズで稚魚育成場に放流した場合、当歳魚の回収率20%、利益率1.7が得られ、ヒラメ等の栽培魚種に比べて経済効果がとりわけ高いことが明らかになった。さらに放流魚の漁獲加入サイズの変動には、放流サイズ、放流時期、水温が影響しており、特に、放流当歳魚を大型で漁獲するためには、7月のより早期の放流が効果的であることが明らかになった。

有明海のトラフグ当歳魚の漁獲については、年変動が大きいことが特徴である。水揚げ尾数が低かった1994年には、放流魚の個体数貢献率が51.8%と著しく高く、この年の放流が、放流魚の再捕という直接的な経済効果に留まらず、加入量の増加により漁業を成立させ、漁業経営に対しても貢献したことを示した。

放流効果が十分得られていない原因の一つとして種苗の質の問題があげられている(北島1993)。本研究では、種苗同士の噛み合い行動により尾鰭が尾欠損した種苗は、同サイズの尾鰭正常魚に比べて回収率が半分程度に減少することが明らかになり、欠損の度合いが種苗性の指標となることが示唆された。

人工種苗の用途は養殖用と放流用に分けられ、トラフグの場合前者が全体の80%以上と大部分を占める(水産庁ほか2005)。養殖用に生産された種苗の選別後や売れ残りの種苗が放流用種苗として用いられる場合も多く、放流種苗の実態調査(山口県ほか2001, 2002)により、多くの放流種苗が尾鰭欠損の状態にあることが明らかになった。栽培漁業において、放流数量実績から放流効果へ評価の質的な転換が求められている現在、放流を目的とした質の高い健全種苗の安定確保は重要な課題と考えられる。

産卵回帰と放流効果

第4章では、有明海において1996～2005年の産卵期に漁獲された親魚を調査し、3歳を主体とした2～8歳の有明海放流魚を確認した。回収率は当歳魚と同様に放流サイズが大きくなる程高くなる傾向を示し、当歳時の回収率と同様に、天然稚魚の生息海域である諫早湾や湾奥部の方が非生息海域である島原市地先より若干高かった。von Bertalanffyによる標識魚の成長は、雄は $L_t = 63.3 \{1 - \exp[-0.245(t+1.92)]\}$ 、雌は $L_t = 75.0 \{1 - \exp[-0.173(t+2.13)]\}$ で表された。天然魚のGSIとの比較結果から、漁獲された放流魚は成熟していたと判断された。有明海に放流された人工種苗は年内にかけて湾内にとどまり、1月以降には五島灘や北松海域等の外海域に索餌回遊し、1～3歳時に対馬海域や玄界灘に分布域を広げることから、産卵加入した標識魚は有明海に産卵回帰したものと考えられた。放流効果は放流魚の再捕による直接効果だけではなく、標識魚の再生産に対する間接効果についても評価することができ、両者で利益率1.7の経済効果が得られることが明らかになった。

今後のトラフグ栽培漁業の展開方向

栽培を目的としたトラフグの放流は1965年に山口県によって周防灘で始められ、その後栽培漁業の高まりとともに放流数は増え(藤田1988, 岩本・藤本1997), 2003年には全国15都道府県で1,977千尾が放流されている。この値は魚類での放流数量で7番目であり、トラフグが全国レベルで重要な栽培魚種になっていることを示している(水産庁ほか2005)。長崎県では1978年に放流が始まり、その後徐々に数量が増加し、2004年では634千尾の種苗が放流され、全国でも山口県に次ぐ放流県となっている(日裁協1995, 水産庁ほか2006)。しかし、長崎県ではこれまで放流適地が不明であったために、放流は漁協等の事業主体の地先である有明海島原半島周辺、橘湾や五島灘などのトラフグ稚魚の非生息海域で行われてきた(山口県ほか2000, 2001)。近年の調査では、これら非生息海域である橘湾や外海域で放流した種苗の3歳までの回収率は0.1～0.6%と推定され、同サイズの有明海湾奥海域放流魚の25%

と比較して極めて低いことが明らかになっている(長崎県沿振基金2005)。また、前述したように放流実態調査で明らかになった尾鳍欠損による種苗性の問題も重要である。本研究結果に基づいて、最適放流方法として、全長75mmの尾鳍欠損の無い健全な種苗を、諫早湾や有明海湾奥域に7月のより早期に行うことを提案した。現在長崎県で行われている放流事業をより効果的に行うためには、外海域等稚魚の非生息海域で実施されている種苗放流を、有明海の適地で行うと共に種苗の質の向上を図る必要がある。

有明海における種苗放流の効果は、有明海で漁獲される当歳魚にとどまらず、玄界灘や五島灘で漁獲される1～3歳魚や有明海に産卵回帰した2～8歳まで、広域かつ長期に及ぶ(山口県ほか2002, 2003, 2004, 松村2006)。2001年以降の放流群について、長崎県、福岡県、山口県の3県で放流群ごとに耳石標識を変えて放流し、玄界灘、五島灘などの外海域で漁獲される当歳以降の放流魚の調査を共同で実施している。その結果、2001年に有明海湾奥部で放流した平均全長72mmの群(Table 12)において、1歳～3歳までの回収率として2.09%が報告された(山口県ほか2002, 2003, 2004)。また、当歳時の有明海での回収率としては最大22.2%(Table 14)、有明海への産卵回帰群(2～8歳)の回収率として最大0.41%(Table 21)が得られた。そこで、最適放流条件での放流により、各漁獲段階での最大回収率が得られると仮定すると、長崎県の事業放流規模50万尾を放流した場合、当歳魚が有明海沿岸4県により12,264kg、1歳～3歳魚が外海域で外海4県により12,264kg、産卵回帰魚を2県により4,915kg漁獲できることになる(Table 23)。これらを合計した累積回収率は24.7%、再捕重量45,762kg、再捕金額は161,181千円となり、種苗の単価から求めた利益率は5.12となった。これらの再捕重量は、有明海当歳魚では2000～2004年の平均漁獲量14.2トンの201%、有明海産卵親魚では2000～2004年の平均漁獲量3.7トンの133%、外海域では2000～2004年の平均漁獲

Table 23 Estimated number of recaptures, recapture rate, recapture weight, income of recapture and economic return rate, when half million hatchery juvenile are released under the best release strategy

Age	Number of recaptures	Recapture rate (%)	Recapture weight (kg)	Income of recapture	Economic return rate	Area where marked fish were	Prefecture which receives profit
0	111,000	22.20	28,583	52,931	1.66	Ariake Sound	Nagasaki, Saga, Kumamoto, Fukuoka
0-3	10,450	2.09	12,264	83,833	2.63	Gotonada, Genkainada	Nagasaki, Saga, Fukuoka, Yamaguchi
3-8	2,050	0.41	4,915	24,417	0.83	Ariake Sound	Nagasaki, Kumamoto
	123,500	24.70	45,762	161,181	5.12		

量 89 トンの 14%に相当する。このことから、最適放流による漁獲量の増加効果は高いと考えられ、全生活史を通じた資源増大の手段として放流の役割が大きいことが示された。さらに利益率が高いことから、種苗放流が漁業者自らの費用負担による事業として成立する可能性が示唆された。有明海における種苗放流の受益県は、長崎県の他に山口県、福岡県、佐賀県、熊本県の計 5 県に及ぶことが明らかになった。このように複数県に効果が及ぶ栽培種については、受益金額に応じた費用負担で共同の放流事業を推進していくことが重要である。これにより、有明海を補給源としたトラフグ資源の広域的かつ効果的な栽培事業の展開が可能になると考えられる。

謝 辞

本研究の指導、助言を賜り、論文のご校閲を頂いた京都大学フィールド科学教育研究センター舞鶴水産実験所の山下 洋教授、論文のご校閲を頂いた京都大学フィールド科学教育研究センター田中 克教授並びに京都大学フィールド科学教育研究センター舞鶴水産実験所の益田玲爾助教授に深厚なる謝意を表す。

本研究にご理解頂き、良い研究環境を与えて下さった前長崎県総合水産試験場 小坂安廣場長に厚くお礼申し上げます。長崎県総合水産試験場 前迫 進 元漁業資源部長、宮木廉夫魚類科長には産卵標識魚のデータ収集に助力頂きました。また、胸鰭切除標識作業と標本の耳石採取では長崎県総合水産試験場栽培漁業科の渡邊庄一専門研究員、鈴木洋行主任研究員、村瀬慎司主任研究員、森川晃元研究員、光永直樹元主任研究員と栽培漁業科の歴代の補助職員並びに元有明海水産振興協議会委託職員の高木将愛、北野聡両氏に多大なご協力を頂きました。ここに心からお礼申し上げます。漁業協同組合および市場関係者には、漁獲統計に関する貴重な情報を頂いた。特に島原漁業協同組合、布津町漁業協同組合、有家町漁業協同組合、西有家町漁業協同組合の各組合長、職員各位、並びに漁業者には標識放流の協力や漁獲に関する詳細な情報を頂いた。これらの各位に感謝の意を表す。

本研究は水産庁の補助事業である放流技術開発事業並びに資源添加率向上技術開発事業の一環として行われたものであり、本事業の関係各位に厚くお礼申し上げます。

引用文献

阿知波英明：伊勢湾、三河湾で標識放流したトラフグ人工種苗の分布・移動。日水誌，70，304-312(2004)。

天野千絵，檜山節久：東シナ海，黄海，日本海。

「トラフグの漁業と資源管理」(多部田修編) 恒星社厚生閣，東京，1997，pp. 53-67。

有馬 哲，石村貞夫：「多変量解析のはなし」東京図書，東京，1988，pp.1-320。

K. M. Bailey, A. L. Brown, M. M. Yoklavich, K. L. Mier : Interannual variability in growth of larval and juvenile walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the western Gulf of Alaska, 1983-91, Fisheries Oceanography, 5, 137-147(1996)。

五利江重昭：MS-Excel を用いた成長式のパラメータ推定。水産増殖，49，519-527(2001)。

浜中雄一，榮 健次，竹野功麿，今泉 均：内湾域におけるヒラメの放流技術開発－I ヒラメの小型種苗の摂餌能力と放流サイズ・場所について。栽培技研，18，101-106(1990)。

畔田正格，池本麗子，東 幹夫：志々伎湾における底性生活期マダイ当歳魚の分布と成長。西海水研研報，54，259-278(1980)。

畑中宏之：トラフグ稚魚の成長と尾鰭の形状に及ぼす飼育水槽の色，照度および飼育密度の影響。日水誌，63，734-738(1997)。

林 小八：現状と展望。「トラフグの漁業と資源管理」(多部田修編) 恒星社 厚生閣，東京，1997，pp. 9-15。

日高 健，高橋 実，伊藤正博：トラフグの資源生態に関する研究 I。福岡水試研報，14，1-11(1988)。

檜山節久：山口県内海域におけるトラフグ資源の管理について。山口内海水試研報，8，40-50(1981)。

北海道水産ふ化場：平成12年市場調査，放流サイズと回収率の関係。平成12年度北海道立水産ふ化場事業成績書，北海道，北海道，63-64(2000)。

北海道：北海道立函館水産試験場事業報告書，北海道，函館，63-77(2000)。

藤沢偉作：「楽しく学べる統計教室」現代数学社，

- 京都, 1987, pp. 153-155.
- 藤田弘一, 中西尚文, 津本欣吾: 熊野灘におけるトラフグの生態と栽培漁業への展開. 水産海洋研究, 65, 154-174(2001).
- 藤田矢郎: 日本産主要フグ類の生活史と養殖に関する研究. 長崎水試論文集第2集, 長崎水試, 長崎, 1962, pp. 1-121.
- 藤田矢郎: フグ類の形態の発達と生活史「日本近海のフグ類」水産研究叢書 日本水産資源保護協会, 東京, 1983, pp. 50-90.
- 藤田恒雄, 水野拓治, 根本芳春: 福島県におけるヒラメ人工種苗の放流効果について. 栽培技研, 22, 67-73(1993).
- 今泉 均: 耳石染色による標識法の開発. 平成元年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, 324-328(1989).
- 今泉 均: 耳石染色による標識法の開発. 平成2年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, 375-376(1990).
- 井上尚文: 有明海 II 物理. 「日本全国沿岸海洋誌」(日本海洋学会 沿岸海洋研究部会編) 東海大学出版会, 東京, 1985, pp. 831-845.
- 伊藤正木: 移動と回遊からみた系群. 「トラフグの漁業と資源管理」(多部田 修編) 恒星社厚生閣, 東京, 1997, pp. 28-40.
- 伊藤正木, 小嶋喜久雄, 田川 勝: 若狭湾で実施した標識法流実験から推定したトラフグ成魚の回遊. 日水誌, 64, 435-439(1998).
- 伊藤正木, 安井 港, 津久井文夫, 多部田 修: 標識放流結果から推定した遠州灘におけるトラフグ成魚の移動・回遊. 日水誌, 65, 175-181(1999).
- 伊藤正木: 我が国周辺海域におけるトラフグの分布と親魚の標識放流による移動, 回遊に関する研究. 博士論文, 長崎大学, 長崎, 1999, pp. 1-105.
- 岩政陽夫: 黄海・東シナ海産トラフグの成長と成熟に関する一考察. 山口外海水試研報, 23, 30-35(1988).
- 岩本明雄, 大河内裕之, 津崎龍雄, 福永辰広, 北田 修: 魚市場の全数調査に基づく宮古湾のヒラメ種苗放流効果の推定. 日水誌, 64, 830-840(1998).
- 岩本明雄, 藤本宏: [種苗生産技術の現状]「トラフグの漁業と資源管理」(多部田 修編) 恒星社厚生閣, 東京, 1997, pp. 97-109.
- 鎌田泰彦: 有明海の堆積物. 長崎大学教育学部自然科学研究報告, 18, 71-82(1967).
- 鎌田泰彦: 有明海の沿岸地質・海底地形と低質. 月刊海洋, 12, 88-96(1980).
- 神谷直明, 辻ヶ堂諦, 岡田一宏: 伊勢湾口安乗沖におけるトラフグの産卵場. 栽培技研, 20, 109-115(1992).
- 韓 慶男, 荘 恒源, 松井誠一, 古市政幸, 北島 力: トラフグ幼稚魚の成長, 生残, および飼料効率に及ぼす飼育水塩分の影響. 日水誌, 61, 21-26 (1995).
- 加藤史彦: 生態系モデルによる志々伎湾の環境収容力の推定「種苗放流」. 月刊海洋, 5, 276-283(1989).
- 川端幸蔵: 「応用統計ハンドブック」養賢堂, 東京, 1986, pp. 54-59.
- 岸田 達: 瀬戸内海中西部域におけるサワラの成長と個体群密度の関係. 南西水研研報, 23, 35-41(1990).
- 北田修一: 「栽培漁業と統計モデル分析」共立出版, 東京, 2001, pp. 1-335.
- 北島 力: 「放流魚の健苗性と育成技術」(北島力編) 恒星社厚生閣, 東京, 1993, pp. 3-4.
- 工藤 智, 笠原 昇: アリザリンコンプレクソンによるシシヤモ卵の耳石標識. 北海道水産試験場孵化場研報, 45, 77-80(1991).
- 久保伊津男, 吉原友吉: 「水産資源学」共立出版, 東京, 1986, pp. 1-482.
- Kusakabe D., Murakami Y, and Onbe T: Fecundity and spawning of a puffer Fugu rubripes in the central waters of the Inland sea of japan. J. Fac. Fish. Husb., Hiroshima

- Univ., 4, 47-79(1962).
- 国行一正, 伊東 弘: 瀬戸内海中西部海域のトラフグについて. 漁業資源研究会西日本底魚部会会議報告, 10, 25-35(1982).
- 蔵田 護, 門間春博, 川間田憲治: オホーツク海におけるマツカワ放流効果. 北水試だより, 51, 6-14(2003).
- 栗田博, 塚本勝巳: アリザリンコンプレクソンによるマダイ稚仔魚の耳石標識 - I. 栽培技研, 16, 93-107(1987).
- 栗田博, 塚本勝巳: アリザリンコンプレクソンによるマダイ稚仔魚の耳石標識 - II. 栽培技研, 17, 115-128(1989).
- 増村和彦, 佐藤正明: マダイの標識方法について. 栽培技研, 3, 1-7 (1974).
- 松清恵一, 矢野実: 有明海産トラフグ幼魚の標識放流結果について. 長崎水試 研報, 10, 103-105(1984).
- 松村靖治: 有明海におけるトラフグ当歳魚 *Takifugu rubripes* の漁業実態. 日水誌, 71, 797-804(2005a).
- 松村靖治: 有明海におけるトラフグ人工種苗の当歳時における放流効果と最適放流方法. 日水誌, 71, 805-814(2005b).
- 松村靖治: トラフグ *Takifugu rubripes* 人工種苗における胸鰭切除標識の有効性. 長崎水試研報, 27, 17-22(2001).
- 松村靖治: アリザリン・コンプレクソン並びにテトラサイクリンによるトラフグ *Takifugu rubripes* 卵および仔稚魚の耳石標識. 日水誌, 71, 307-317(2005c).
- 松村靖治: 有明海におけるトラフグ *Takifugu rubripes* 人工種苗の漁獲サイズにおよぼす放流条件, 資源量指数および水温の影響. 日水誌, (印刷中).
- 松村靖治: 有明海におけるトラフグ *Takifugu rubripes* 人工種苗放流魚の産卵回帰時の放流効果. 日水誌, 72, 1029-1038(2006).
- 松浦修平: ホルモン処理によるトラフグ天然親魚の成熟促進. 魚類学雑誌, 40, 128-129(1993).
- 宮木廉夫, 新山洋, 安元進, 池田義弘, 多部田修: トラフグ幼魚のイラストマ - 蛍光標識. 長崎水試研報, 23, 27-29(1999).
- 長尾成人, 山田 智, 菅沼光則: トラフグ稚仔魚期の共食い防止に関する研究. 愛知水試研報, 1, 49-54(1993).
- 長崎県: 平成 11 年度長崎県総合水産試験場事業報告, 長崎県, 長崎, 27(2000).
- 長崎県: 平成 16 年度長崎県総合水産試験場事業報告, 長崎県, 長崎, 57(2005a).
- 長崎県: 水産動物の種苗の生産及び放流並びに水産動物の育成(栽培漁業)に関する基本計画(第 5 次栽培漁業基本計画), 長崎県, 長崎, 1-18(2005b).
- 長崎県沿岸漁業振興基金: 平成 16 長崎県沿岸漁業振興基金関連調査実績報告書, 長崎県沿岸漁業振興基金, 1-6(2005).
- 中川平介: 瀬戸内海におけるマダイ至適放流サイズについて. 水産増殖, 38, 385(1990).
- 中島博司: 熊野灘, 遠州灘海域のトラフグ資源について. 水産海洋研究, 55, 246-251(1991).
- 夏目雅史, 藤沢千秋: 木古内湾のマダラ成魚の移動回遊. 水産海洋研究, 62, 157-159(1992).
- 新田忠雄, 板沢靖男: 水産生物適水温図, 日本水産資源保護協会, 東京, 1980, pp. 26.
- 尾串好隆: トラフグの成長について. 第 28 回西海区水研ブロック底魚会議議事録, 8-9(1980).
- 尾串好隆: 黄海・東シナ海産トラフグの年齢と成長. 山口外海水試研報, 22, 33-36(1987).
- 岡本 昭, 安元 進, 蛭子亮制, 森川 晃: カサゴ稚魚に対するアリザリンコンプレクソンによる標識の有効性. 長崎水試研報, 20, 25-29(1993).
- 大河内裕之, 千村昌之: 宮古湾に放流した人工

- 生産ニシンの生態と産卵回帰. 月刊海洋, 33, 252-258 (2001).
- 奥野忠一, 久米 均, 芳賀敏郎, 吉澤 正: 「多変量解析法」 日科技連出版社, 東京, 1989, pp. 1-430.
- 大上皓久, 鈴木雄策: トラフグ稚魚の歩留まりと共食いにおよぼす飼育条件の検討. 静岡水試研報, 16, 79-85 (1982).
- 小谷正幸, 山口義昭, 伊東 弘, 松井誠一: 九大農学芸誌, 41, 195-200 (1987).
- 鯖江秀亮, 大沢 博, 福嶋万寿夫, 長尾成人: 伊勢湾・遠州灘におけるトラフグの資源動向についてII年級群別の資源尾数および成長と密度の関係. 愛知水試研報, 5, 25-33 (1998).
- 佐藤良三, 鈴木伸洋, 柴田玲奈, 山本正直: トラフグ *Takifugu rubripes* 親魚の瀬戸内海・布刈瀬戸の産卵場への回帰性. 日水誌, 65, 689-694 (1999).
- 佐藤良三, 東海 正, 柴田玲奈, 小川泰樹, 阪地英男: 布刈瀬戸周辺海域からのトラフグ当歳魚の移動. 南西水研研報, 29, 27-38 (1996).
- 佐藤良三: 集団遺伝学的手法による系群解析. 「トラフグの漁業と資源管理」(多部田修編) 恒星社厚生閣, 東京, 1997, pp. 41-52.
- 佐藤真彦: サケの母川回帰と嗅覚記憶. 「魚類のニューロサイエンス」(植松一眞, 岡 良隆, 伊藤博信編) 恒星社厚生閣, 東京, 2002, pp. 211-244.
- 関根信太郎, 今泉 均: 耳石染色による標識法の開発. 昭和63年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, 1988, pp. 373-377.
- 柴田玲奈, 佐藤良三: 架橋予定水域およびその周辺域におけるトラフグの資源生態調査. 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告書, 日本水産資源保護協会, 東京, 195-207 (1995).
- 柴田玲奈, 佐藤良三, 東海 正: 瀬戸内海とその周辺海域. 「トラフグの漁業と資源管理」(多部田修編) 恒星社厚生閣, 東京, 1997, pp. 68-83.
- 水産庁: 平成17年度トラフグ日本海・東シナ海系群の資源評価, 水産庁, 東京, 1-24 (2005).
- 水産庁・(独) 水産総合研究センター・(社) 全国豊かな海づくり推進協会: 平成15年度栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績 (全国), (社) 全国豊かな海づくり推進協会, 東京, 2005, pp. 56-59.
- 鈴木重則: 道東海域における地域性ニシンの放流効果評価技術の開発. 平成12年度日本栽培漁業協会事業年報, 日本栽培漁業協会, 東京, 2000, pp. 31-33.
- (社) 日本栽培漁業協会: 宮古湾におけるヒラメ種苗放流効果調査, 14, 日本栽培漁業協会, 東京, 1989, pp. 35.
- (社) 日本栽培漁業協会: 栽培漁業種苗生産・放流統計, 14, 日本栽培漁業協会, 東京, 1995, pp. 32-33.
- 多部田 修: トラフグの分布と生態. 日本水産資源保護協会月報, 262, 11-21 (1986).
- 田川 勝, 伊藤正木: 標識放流からみた黄海・東シナ海におけるトラフグの回遊生態. 西海水研研報, 74, 73-83 (1996).
- 田口喜三郎: 太平洋産サケ・マス資源とその漁業. 恒星社厚生閣, 東京, 1966, pp. 399.
- 高場 稔: 瀬戸内海中部海域におけるマダイ0歳魚の成長と水温および分布密度との関係. 日水誌, 64, 39-47 (1998).
- 高場 稔, 加藤友久: 広島県海域におけるトラフグ幼魚の分布と成長. 広島水試研報, 18, 1-7 (1994).
- 高橋庸一: アリザリンコンプレクソンの経口投与によるヒラメ稚魚の耳石染色. 日水誌, 60, 611-615 (1994).
- 田北 徹, Sumanta Intong: 有明海におけるトラフグとシマフグの幼期の生態. 日水誌, 57, 1883-1889 (1991).
- 立石 賢, 田代征秋, 北島 力, 岩本 浩: マダイ小型種苗の腹鰭切除による標識. 長崎水試研報, 7, 1-6 (1981).
- Tokai T, Sato R, Ito H, and Kitahara T:

- Short-term forecasting of landings of ocellate puffer *Takifugu rubripes* migrating around spawning area in the inland sea of Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 61, 428-433(1995).
- Tsukamoto K : Mass-marking of ayu eggs and larvae by tetracycline-tagging of otoliths. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 51, 903-911(1985).
- Tsukamoto K : Otolith tagging of ayu embryo with fluorescent substances. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54, 1289-1295(1988).
- 塚本勝巳：種苗の質「放流魚の健苗性と育成技術」(北島力編) 恒星社厚生閣, 東京, 1993, pp.102-113.
- 津村誠一, 山本義久：飼育方法と健苗性「放流魚の健苗性と育成技術」(北島力編) 恒星社厚生閣, 東京, 1993, pp.84-93.
- 上田一夫：母川回遊。「回遊魚の生物学」(森沢正昭, 会田勝美, 平野哲也編) 学会出版センター, 東京, 1987, pp.172-180.
- 上田一夫：シロサケにおける母川水の嗅認識機構—電気生理学的解析。漁政叢書, 日本水産資源保護協会, 東京, 1985, 15, pp.113-124.
- 上田 宏, 庄司隆行, 帰山雅秀：総説 サケ科魚類の母川回帰機構。日本味と匂学会誌, 5, 109-118(1998).
- Ueda H, Shoji T : Physiological mechanisms of homing migration in salmon. *Fish. Sci*, 68 Sup. I, 53-56(2002).
- 上田 宏, 帰山雅秀, 栗原堅三, 山内皓平：サケ科魚類の母川回帰機構: 視覚と嗅覚の役割。日水誌, 62, 138-139(1996).
- 上田幸男：徳島県産アオリイカの資源生物学的研究。徳島水試研報, 1, 1-80 (2000).
- Ueta Y, Tokai T and Segawa S : Relationship between year-class abundance of the Oval Squid *Sepioteuthis lessoniana* and environmental factors off Tokushima Prefecture, Japan. *Fisheries Science*, 65, 424-431(1999).
- 浦田勝喜：不知火海・有明海のトラフグ幼魚の分布と推定漁獲量。昭和39年度熊本水試業務報告, 熊本県, 熊本, 245-249(1965).
- 内田和秀, 伊藤正博, 日高 健：トラフグの資源生態に関する研究II—標識放流からみた筑前海産トラフグの分布と移動。福岡県水試研報, 16, 7-14 (1996).
- 内田秀和：トラフグの資源生態に関する研究III。福岡水試研報, 17, 11-18(1991).
- 和田時夫：道東海域におけるまき網対象マイワシ資源の来遊動態に関する研究。北水研研報, 52, 1-138(1988).
- Watanabe, S : Population growth models within a constant restocking operation. *J. Tokyo Univ. Fish*, 70, 59-69(1983).
- Watanabe, S : Effects of restocking on a two-species competition system when one species has a minimum density for population growth. *Res. Popul. Ecol*, 28, 117-133(1986).
- Watanabe Y, Zenitani H, Kimura R : Population decline of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to recruitment failures. *Can J. Fish. Aquat. Sci*, 52, 1609-1616(1995).
- 山口県, 福岡県, 長崎県：昭和61年度トラフグ放流技術開発報告書, 福岡県, 福岡, 63-78(1987).
- 山口県, 福岡県, 長崎県：昭和62年度トラフグ放流技術開発報告書, 長崎県, 長崎, 長崎, 1-26(1988).
- 山口県, 福岡県, 長崎県：平成2年度トラフグ放流技術開発報告書, 長崎県, 長崎, 長崎, 1-18(1991).
- 山口県, 福岡県, 長崎県：昭和60年～平成元年度トラフグ放流技術開発事業 総括報告書, 福岡県, 福岡, 1-43(1991).
- 山口県, 福岡県, 長崎県：平成4年度放流技術

- 開発事業報告書トラフグ, 長 1-22 (1992).
- 山口県, 福岡県, 長崎県:平成4年度トラフグ放流技術開発報告書, 福岡県, 福岡, 長 1-22(1993).
- 山口県, 福岡県, 長崎県:平成6年度放流技術開発事業報告書トラフグ, 長 1-22 (1994).
- 山口県, 福岡県, 長崎県:平成7~11年度放流技術開発事業報告書トラフグ, 長 1-22(1999).
- 山口県, 福岡県, 長崎県, 三重県, 愛知県, 静岡県, 秋田県:回帰型回遊性種 (トラフグ). 平成12年度資源増大技術開発事業報告書, 長崎県, 長崎, 福岡 1-10(2001).
- 山口県, 福岡県, 長崎県, 三重県, 愛知県, 静岡県, 秋田県:回帰型回遊性種 (トラフグ). 平成13年度資源増大技術開発事業報告書, 福岡県, 福岡, 長 1-13, 三重 1-13(2001).
- 山口県, 福岡県, 長崎県, 三重県, 愛知県, 静岡県, 秋田県:回帰性回遊性種 (トラフグ). 平成14年度資源増大技術開発事業報告書, 山口県, 山口, 福岡 1-11, 三重 1-13, 愛知 1-12(2002).
- 山口県, 福岡県, 長崎県, 三重県, 愛知県, 静岡県, 秋田県:回帰性回遊性種 (トラフグ). 平成15年度資源増大技術開発事業報告書, 福岡県, 福岡, 長 1-13(2003).
- 山口県, 福岡県, 長崎県, 三重県, 愛知県, 静岡県, 秋田県:回帰性回遊性種 (トラフグ). 平成16年度資源増大技術開発事業報告書, 福岡県, 福岡, 長 1-13(2004).
- 山本宣征, 岩佐秀一, 立石 賢, 池田義弘, 森 勇:クロダイ種苗の放流サイズと食害. 長崎水試研報, 8, 13-20(1982).
- 山下 洋:放流技術と生態「ヒラメの生物学と資源培養」(南卓志, 田中 克 編) 恒星社厚生閣, 東京, 1997, pp.107-116.
- Yamashita Y, Yamada H: Release strategy for Japanese flounder fry in stock enhancement programs. In: Howell B, Moksness E, Svasand T (eds). Stock Enhancement and Sea Ratching. Blackwell Science, Oxford, 1999, pp.191-204.
- Yamashita Y, Nagahora S, Yamada H and Kitagawa D: Effects of release size on survival and growth of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in coastal waters off Iwate Prefecture, northeastern Japan. Mar. Ecol. Prog. Ser, 105, 191-204(1994).
- Yamashita Y, Tanaka M, Miller J: Ecophysiology of juvenile flatfish in nursery grounds: Journal of Sea Research, 45, 205-218(2001).
- 吉村圭三: 稚内沿岸におけるニシンの放流試験について. 北水試だより, 61, 1-5(2003).

Summary

Ariake Sound is one of the spawning grounds for the ocellate puffer, *Takifugu rubripes*, and the replenishment source of the resource to the East China Sea. In these sea areas, ocellate puffer have been traditionally caught by angling and longlines but recently these catches have sharply decreased. Therefore it is necessary to enhance the resources by stocking of artificially produced seed. The first step of this study was to establish effective marking methods by ALC or TC and pectoral fin-clipping for juveniles. The second step was to evaluate the stocking effectiveness of hatchery-produced ocellate puffer for young-of-the-year (YOY) and spawning adult and to establish the optimal release strategy by mass mark-recapture experiments in the Ariake Sound.

Effective conditions for alizarin complexone (ALC) and tetracycline (TC) staining for the otoliths were examined in ocellate puffer eggs, larvae and juveniles to establish optimal methods by immersing in ALC or TC solution or by TC oral administration. To determine the optimum ALC or TC immersion conditions, eggs, larvae and juveniles were immersed in various combinations of ALC (5-100 mg/L) and TC (50-1000 mg/L) concentrations and treatment durations (6-24 h). To determine the optimum conditions for oral administration, juveniles were reared using artificial diets with various concentrations of TC (2.5-50 mg/g) and treatment periods (1-9 days). For both methods, optimum conditions were judged by the presence of fluorescent marks on otoliths under B-excited UV light and high survival rates (>90%) during the treatment. As a result, 9-19 combinations of concentration and duration of ALC and 2-11 combinations (TC) were found to be effective for immersion, and 5-11 combinations for oral administration depending on the fish stage. Fluorescent marks of ALC and TC were detected after more than 5 years and the treatments had no effect on the post-treatment survival and growth. These results suggest that these methods can be applied to surveys of stocking effectiveness by mark-recapture studies.

Merits of the pectoral fin-clipping marking method for ocellate puffer, *Takifugu rubripes* were examined. Three groups of fishes were reared together in a tank for 300 days: (1) 60 juveniles were marked with the half-clipped right pectoral fin, (2) 60 juveniles marked with the whole-clipped left pectoral fin, and (3) 60 juveniles without fin-clipping (control). After 300 days, the half- and whole-clipped pectoral fins were irregularly regenerated or unregenerated, and could be easily distinguished from the non-clipped ones. Growth and survival rates did not differ statistically among the three groups. The mark-recapture experiment with this method in the Ariake Sound during Oct. 31 to Dec. 15, 2000 revealed that it produced a more accurate estimation for the mark rate and lower costs than the otolith-marking with tetracycline. Thus, the pectoral fin-clipping marking method is considered to be a suitable technique for ocellate puffer.

To estimate the amount of catches in number, weight and cash value of YOY in Ariake Sound from September to December, an investigation on the basis of catch statistics at the landing markets from 1991 to 1995 and from 1999 to 2002 was conducted. Annual catches ranged from 21,000 to 88,000 in number; from 3.1 to 20.0 tons in weight and from 8 to 47 million yen in sales. The majority of the catches was brought in by angling fishery and longline fishery. Catch information obtained by a questionnaire to fishermen during the fishing season in 1995 showed that YOY are distributed in inshore regions of less than

10m depth in September, at 5-20 m depth in October by migration to offshore, and inshore off Shimabara city from November to December by migration to the south. Annual change of CPUE of YOY in Ariake Sound showed a wide fluctuation from 4 to 26 kg boat·day and the same tendency to those in Yatsushiro Sea and Fukuoka Bay.

The stocking effectiveness of hatchery-produced ocellate puffer by sampling surveys at fish markets in Ariake Sound where YOY puffer are landed was evaluated. The recapture rate of released seeds (3-100 mm in total length) for each annual release in the areas, Shimabara coast; Isahaya Bay; and the innermost area of Ariake Sound was estimated at between 0.01 and 22.2%, and was found to increase with increasing release size and showed a tendency that the recapture rate released at Isahaya Bay and innermost area are higher than those of at Shimabara coast. The contribution rates of the released puffer to the total landings in number were estimated to range between 6 and 52%. Stocking effectiveness was shown in Fukuoka, Saga, Kumamoto and Nagasaki prefectures and the ratios of landings number and value differed among the release sites. It was suggested that 75 mm in total length is the optimal size for release and Isahaya Bay and innermost area in Ariake Sound are the best sites for release in view of the ratio of landing cash value to the cost of seed.

To examine the effects of release time, release size, release site, quality of fry, CPUE of Young-of-the-Year and water temperature of the habitat on the growth of hatchery-produced ocellate puffer *Takifugu rubripes* released in Ariake Sound, the effects of six factors on the fluctuations of the total length at recapture on November 1 (Y) of 23 release groups of seeds released as part of mark-recapture experiments from 1991 to 1995 and from 2000 to 2002 were examined by multiple regression analysis. The factors were as follows the date of release in July (X_1), total length at release (X_2), release site (X_3), CPUE (X_5) and average surface water temperature of the habitat in July and August (X_6) and in September and October (X_7). The relationship of total length to these factors was follows:

$$Y = -1.14X_1 + 0.49X_2 - 6.03X_3 + 0.54X_5 - 2.60X_7 + 1.87X_9 + 211.69$$

The regression was significant at the 1% level. The calculated values of the total length follow the trend of fluctuations of the observed values. Thus, it is concluded to release hatchery-produced ocellate puffer early in July and at a large size in the areas, Isahaya Bay and the innermost area of Ariake Sound is necessary to maximize the total length at recruitment.

The stock effectiveness of hatchery-produced ocellate puffer by sampling survey in Ariake Sound where mature puffer are landed was evaluated. In 1,584 samples, 85 marked puffer were observed, and were judged to be from age 2 to 8 years old (mainly 3 years old) from marked otolith by alizarin complexone and/or tetracycline. The recapture rate of released seeds (3-100 mm in total length) estimated at 0 - 0.41%, and corresponded to release size. The von Bertalanffy growth equations were fitted as $L_t = 63.3 \{1 - \exp[-0.245(t+0.192)]\}$ for male, and $L_t = 75.0 \{1 - \exp[-0.130(t+2.13)]\}$ for female, where t is age (year) and L_t is total length (cm) at the age. All recaptured puffers had been matured similar to wild puffer as judged from GSI. These results suggested that hatchery-produced ocellate puffer returned to Ariake Sound by homing ability to the same natal spawning ground.

Thus, otolith marking by alizarin complexone and tetracycline and pectoral fin-clipping marking were established. By using these marking methods, the stocking effectiveness of hatchery-produced ocellate

puffer for YOY, spawning adult and optimal release strategy in Ariake were evaluated. These stocking techniques will be expected to be useful to enhance the resources for ocellate puffer in the Ariake Sound and outer sea areas such as the East China Sea etc.