鹿児島湾におけるヒラメ人工種苗の放流効果

厚 地 伸,^{1a*} 増 田 育 司²

(2004年3月18日受付, 2004年6月24日受理)

¹鹿児島県水産試験場, ²鹿児島大学水産学部Effectiveness of the releases of hatchery-produced stock of Japanese flounder
Paralichthys olivaceus in Kagoshima Bay, southern JapanSHIN ATSUCHI^{1*} AND YASUJI MASUDA²¹Kagoshima Prefecture Fisheries Experimental Station, Kagoshima 892-0836 and ²Faculty of Fisheries,
Kagoshima University, Kagoshima 890-0056, Japan

The Fish stock enhancement program of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in Kagoshima Bay started in 1984 and in recent years about 300 thousand juveniles have been released per year. To clarify the effectiveness of the releases in Kagoshima Bay, a continuous survey on the commercial catch in Kagoshima Fish Market was conducted from 1989 to 2002 and revealed that the ratio of released fish in the landings amounted to 18.9–49.2% in number. Using the age-weight-key estimated by sex based on the samples collected from Kagoshima waters, the catches in number for weight classes in Kagoshima Fish Market from 1989 to 2002 were transformed to those for the age classes. Estimates of recapture rate during 7 years after the release ranged from 1.51 to 3.52% and economic efficiencies were estimated to be from 0.97 to 1.17. Cohort analyses showed the recent decrease in recruitment and spawning biomass. Further studies on the stock management of *P. olivaceus* in Kagoshima Bay are needed.

キーワード：ヒラメ, 鹿児島湾, 人工種苗, 放流効果, 資源管理

ヒラメ *Paralichthys olivaceus* は千島列島から南シナ海に至る広い海域に分布し, 我が国周辺では, 北海道の太平洋沿岸を除くほぼ全域に生息している。¹⁾ 本種は, 刺網, 小型底曳網, 一本釣, 定置網などの沿岸漁業における高価で重要な漁業対象資源であり, 栽培漁業対象種の中でも最も重要な魚種の一つとして位置づけられる。放流効果調査についても多くの海域で実施され, 福島県沿岸^{2,3)} や岩手県宮古湾⁴⁾ においてはその高い放流効果が認められている。分布のほぼ南限にあたる鹿児島湾においても, 1984年から種苗放流が開始され, その個体数は年々増加し, 現在では毎年約30万個体が放流されている。さらに, 本湾におけるヒラメの放流効果を明らかにするために, 1989年以降, 鹿児島湾内で漁獲されるヒラメの約90%が水揚げされる鹿児島市中央卸売市場魚類市場で週1–3回の頻度で市場調査が実施されてい

る。⁵⁾ 本研究では, この市場における水揚量調査ならびに購入した標本の魚体測定および年齢査定調査から, 年級群毎に放流魚の回収状況を明らかにし, 鹿児島湾における人工種苗の放流効果を検討した。また, コホート解析により鹿児島湾産ヒラメの資源量を推定し, 産卵親魚量並びに天然および放流個体の加入状況を検討した。得られた知見を以下に報告する。

材料および方法

漁獲量および放流個体数の経年変化 鹿児島湾内のヒラメの漁獲量は, 1974年から2002年までの「図説鹿児島県漁業の動き」⁵⁾ から集計し, 放流個体数は, 1984年から2002年に各漁協から県の水産振興課に報告された種苗放流実績を使用した。

種苗放流の概要 鹿児島湾では Fig. 1 に示す18カ所

* Tel : 81-993-53-3111. Fax : 81-993-53-3230. Email : a-shin@po3.synapse.ne.jp

^a 現所属：鹿児島県加世田農林水産事務所 (Kaseda Agriculture Forestry and Fisheries Administration Office of Kagoshima Prefecture, Kaseda, Kagoshima 897-0031, Japan)

Fig. 1 Release sites of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in Kagoshima Bay, southern Kyushu, Japan. The star mark shows the location of Kagoshima Fish Market.

で放流が実施されている。2002年についてみると、パイロット事業では、鹿児島県栽培漁業協会垂水事業場で生産された人工種苗を17カ所で1万尾ずつ放流しており、平均放流サイズの範囲は全長86~105mm、放流時期は6~7月となっている。また、漁協単独事業では、民間機関で生産された人工種苗を9カ所で0.1~2.5万尾放流しており、平均放流サイズの範囲は全長70~150mm、放流時期は2~10月の広い時期に渡っている。

放流種苗の体色異常率調査 放流種苗の無眼側の体色異常の有無（黒化部位の有無）を生産ラウンド毎に約100個体調査し、その体色異常率（%）から各生産ラウンド全体の体色異常魚の数を求めた。全ラウンドの体色異常魚の数を合計して放流年毎の体色異常魚の総数とした。（体色異常魚の総数/放流総数）×100により放流年

毎の体色異常率を算出した。

市場調査 Fig. 1に示す鹿児島市中央卸売市場魚類市場において、1989年1月から2002年12月の14年間にわたって週1~3回の頻度で市場調査を実施した。各調査日に水揚げされた湾内産の全てのヒラメについて、無眼側の体側に色素異常がみられる個体を放流魚、そうでないものを天然魚と判別し、100gの単位で測定された重量（BW）を記録した。小型個体で数個体がまとめて秤量されている場合は、その総重量と総個体数、および各個体の天然・放流の識別結果を記録した。

魚体測定および年齢査定 1997年1月から2002年10月にかけて、鹿児島市中央卸売市場魚類市場とその他県内の12漁協（北さつま、川内市、羽島、市来町、江口、笠沙、野間池、喜入町、指宿市岩本、志布志、東串良、高山町）に水揚げされたヒラメ1089個体を購入し、氷蔵して研究室に持ち帰った。そして、前述の基準に従って放流魚と天然魚の判別を行い、全長（TL）を1mm、体重（BW）を10gの単位で測定した。生殖腺を摘出後、肉眼により性の判別を行い（ただし、未熟で肉眼による判別が困難な場合は、後日、ホルマリン固定標本の一部を2枚のスライドグラスに挟み込み、生物顕微鏡で精細胞か卵細胞の有無を確認した）、生殖腺重量（GW）を秤量し、生殖腺体指数〔 $GSI = 100 \times GW / (BW - GW)$ 〕を算出した。耳石を摘出後、厚地他⁶⁾に従って横断薄層切片を作製し、誕生月を2月と仮定して、各個体の採集月および輪紋数（不透明帯の内縁数）とその形成状況（形成前か形成後か）に応じて、個体毎に年齢を推定した。

年齢別漁獲尾数および漁獲重量の推定 上記の市場調査、魚体測定および年齢査定結果を基に、以下の手順で鹿児島湾産ヒラメの年別、年齢別漁獲尾数を推定した。

- ① 市場調査結果から、年別、天然・放流別、体重階級別に調査尾数を集計し、湾内の年間総漁獲量と湾内の年間総調査重量の比を乗ずることで、鹿児島湾産ヒラメの年別、天然・放流別、体重階級別の漁獲尾数を求めた。体重階級は、0以上~0.3kg未満（以下同様）、0.3~0.6kg、0.6~0.9kg、0.9~1.2kg、1.2~1.5kg、1.5~2.0kg、2.0~2.5kg、2.5~3.0kg、3.0~4.0kg、4.0~5.0kg、5.0kg以上の11階級とした。
- ② ヒラメは雌雄の成長が著しく異なるので、⁷⁻¹¹⁾購入標本の魚体測定結果から体重階級毎の雌雄割合を求め、①で得られた漁獲尾数を雌雄別に振り分けた。
- ③ 購入標本の年齢査定結果をもとに、体重階級群を年齢群に振り分けるための年齢-体重相関（age-weight-key）を雌雄別に作成し、②で得られた結果を0歳から7歳以上までに年齢分解し、天然・放

流別に雌雄別年齢別の年間漁獲尾数を求めた。この際 2000 年以降の放流群については、体色異常率を考慮し算出した。さらに、魚体測定と年齢査定の結果から得られた年齢別の平均体重を乗ずることで、天然・放流別に雌雄別年齢別の年間漁獲重量を算出した。なお以降の解析では 7 歳以上の個体は全て 7+ 歳として一つの階級にまとめた。

なお、年齢-体重相関 (age-weight-key) 作成には、本来鹿児島湾で漁獲された個体だけを使用するのが理想的であるが、湾内の標本数だけでは個体数が少なかったため、今回は外海域も含めて鹿児島県海域全体で漁獲された個体を使用した。

放流魚の混獲率 年別に雌雄を込みにした天然・放流別の総漁獲尾数および総漁獲重量を算出し、得られた結果から放流個体の年別混獲率(尾数割合および重量割合)を求めた。

回収率の推定 放流魚の雌雄別の年別年齢別漁獲尾数から、放流年毎に(年級群毎に)総回収尾数を求め、放流尾数に対する回収率を算出した。

回収金額の推定

- ① 放流魚の雌雄別の年別年齢別漁獲重量から、放流年毎に(年級群毎に)総回収重量を求め、放流年から回収最終年までのヒラメ平均単価を乗ずることで、放流年毎の回収金額を求めた。
- ② 鹿児島県栽培漁業協会では、全長 75 mm の種苗単価を施設償却費および人件費を含めて 1 尾 100 円で生産しているため、これに各年の放流数を乗ずることで、パイロット事業分の種苗生産経費を求めた。また、漁協単独事業分の種苗経費については、1 尾 60 円で計算した。
- ③ 回収金額を放流年に要した種苗生産経費で割り、鹿児島湾におけるヒラメ放流事業の経済回収率を求めた。

資源量の推定 上記で求めた年別年齢別漁獲尾数を基に、「平成 14 年ヒラメ日本海西・東シナ海系群の資源評価」¹²⁾を参照し、Pope の近似式¹³⁾を用いてコホート解析を行い、天然・放流別、雌雄別に年別年齢別資源尾数を求めた。

資源尾数の算出にあたっては、2002 年の 1~7+ 歳については次の(1)式を用いた。

$$N_{t,a} = \frac{C_{t,a} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{1 - \exp(-F_{t,a})} \quad (1)$$

ここで、 N は資源尾数、 C は漁獲尾数、 M は自然死亡係数、 F は漁獲係数を表し、添字の t は年(この場合 2002 年)、 a は年齢(1~7+)を示す。

1989~2001 年の 6 歳と 7+ 歳の資源尾数の算出には(2)式と(3)式をそれぞれ用いた。

$$N_{t,6} = \frac{C_{t,6}}{C_{t,7+} + C_{t,6}} N_{t+1,7+} \exp(M) + C_{t,6} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (2)$$

$$N_{t,7} = \frac{C_{t,7+}}{C_{t,6}} N_{t,6} \quad (3)$$

1989~2001 年の 1~5 歳の資源尾数は次の(4)式より求めた。

$$N_{t,a} = N_{t+1,a+1} \exp(M) + C_{t,a} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (4)$$

漁獲係数 (F) については、2002 年の 1~6 歳の F は 1999~2001 年の過去の 3 年における各年齢の F の平均値を用い、1989~2002 年の 7+ 歳の F は同一年の 1 歳若い年齢(6 歳)の F と同じとし、1989~2001 年の 1~6 歳の F は次の(5)式を用いて計算した。

$$F_{t,a} = -\ln \left\{ 1 - \frac{C_{t,a} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{N_{t,a}} \right\} \quad (5)$$

なお、2002 年の最高年齢の F ($F_{2002,7+}$) は平松¹⁴⁾に従って、 $F_{2002,6}$ と同じ値になるまで繰り返し計算を行うことによって求めた。

自然死亡係数 M は年齢によらず一定とし、鹿児島湾産ヒラメの寿命を約 12 年(厚地他, 未発表資料)として田内・田中の方法¹⁵⁾で求めた 0.208 を用いた。また、鹿児島県においては、0 歳魚にあたる全長 25 cm 以下の捕獲が禁止されているので、0 歳魚を除く 1 歳以上の尾数を解析に用いた。

コホート解析から得られた結果をもとに、放流個体の添加効率¹⁶⁾(年間総放流尾数に対する翌年 1 歳の放流個体の資源尾数の割合)を算出した。さらに、竹野ら¹⁶⁾に従って、産卵期の 1 月から 3 月において、雄で GSI が 0.8 以上、雌で GSI が 2 以上の個体を成熟個体とみなし、年齢査定結果と照らし合わせて雌雄別年齢別の成熟割合を求め、これと、資源尾数に年齢別の平均体重を乗じて求めた年齢別資源重量から産卵親魚重量を求め、天然個体の再生産成功率(産卵親魚 1 kg あたりの翌年 1 歳の天然個体の資源尾数)を算出した。

結 果

漁獲量および放流個体数の経年変化 鹿児島湾におけるヒラメの漁獲量および放流個体数の経年変化を Fig. 2 に示した。漁獲量は、1989 年以前は 5~10 トンで推移したが、1990 年以降は急激に増加し、1997 年には過去最高の 33 トンとなった。しかし、それ以降は減少し、2002 年は 14 トンとなった。一方、人工種苗放流は 1984 年に開始され、放流個体数は年々増加し 1989 年には 20 万個体を上回り、1992 年には過去最高の 42 万個体が放流された。以降の放流個体数は減少したものの、近年では 30 万個体前後の放流が実施されている。

Fig. 2 Annual changes in the commercial catch and the number of the released juveniles of Japanese flounder *P. olivaceus* in Kagoshima Bay.

Table 1 Percentage of sex and results of statistical tests by weight class (kg) in the samples collected from the 12 fishermen's cooperative and one fish market in Kagoshima Prefecture, Japan. The number of specimens belonging to each weight class is shown in parentheses

weight class (kg)	Percentage of sex (%)		χ^2 value
	Male	Female	
0 ≤	50.6(40)	49.4(39)	0.01(NS)
0.3 ≤	53.1(104)	46.9(92)	0.73(NS)
0.6 ≤	66.9(228)	33.1(113)	38.78(**)
0.9 ≤	60.7(71)	39.3(46)	5.34(*)
1.2 ≤	48.9(46)	51.1(48)	0.04(NS)
1.5 ≤	33.8(27)	66.3(53)	8.45(**)
2.0 ≤	16.7(6)	83.3(30)	16.00(**)
2.5 ≤	14.8(4)	85.2(23)	13.37(**)
3.0 ≤	4.3(2)	95.7(44)	38.35(**)
4.0 ≤	0(0)	100(37)	37.00(**)
5.0 ≤	0(0)	100(36)	36.00(**)
total	48.5(528)	51.5(561)	1.00(NS)

NS : not significant

(*) : significant at 5% level

(**) : significant at 1% level

放流種苗の体色異常率 放流種苗の無眼側の体色異常率は、1999年までは100%であったが、2000年は80.7%、2001年は73.7%、2002年は89.2%と、近年は70~80%代で推移した。

体重階級別雌雄割合 魚体測定結果から得られた体重階級別雌雄割合をTable 1に示した。0以上~0.6 kg未満までは雌雄の割合に有意差はみられなかったが ($p >$

0.05), 0.6~0.9 kg ($p < 0.01$) および 0.9~1.2 kg ($0.01 < p < 0.05$) では雄が有意に多かった。1.2~1.5 kgでは有意差はみられなかったが、1.5 kg以上では逆に雌が有意に多くなり ($p < 0.01$)、4.0 kg以上は全て雌であった。なお、全体では雌雄の割合に有意差はみられなかった ($p > 0.05$)。

年齢-体重相関 (age-weight-key) 雌雄別に作成した年齢-体重相関 (age-weight-key) をTable 2に示した。雄は体重0以上~0.3 kg未満では0歳と1歳が占め、0.3~0.6 kgでは1~2歳、0.6~0.9 kgでは1~3歳、0.9~1.5 kgでは1~4歳の割合が高く、1.5~2.0 kgでは3~7+歳、2.0~3.0 kgでは5~7+歳、3 kg以上では7+歳が占めた。このように、0.9~2.0 kgの階級では、幅広い年齢層の個体が存在することが特徴的であった。一方、雌は、0以上~0.3 kg未満は0歳と1歳が占め、0.3~0.6 kgでは1歳、0.6~1.2 kgでは1~2歳、1.2~2.0 kgでは1~3歳、2.0~2.5 kgでは2~4歳、2.5~3.0 kgでは3~4歳、3.0~4.0 kgでは4~5歳、4.0~5.0 kgは5~7+歳、5.0 kg以上では6~7+歳の割合が高かった。

年齢別平均体重 魚体測定と年齢査定結果から得られた年齢別雌雄別の平均体重と標準偏差をTable 3に示した。平均体重は、1歳以降になると次第に雌が雄を上回り始め、4歳以降では雄の倍以上の体重となった。標準偏差については、雌雄ともに高齢になるほど大きくなり、特に雌では5歳以上で1 kg以上であった。

年齢別漁獲割合 市場調査、魚体測定、および年齢査定結果を基に、2002年1月から12月における鹿児島湾産ヒラメの年齢別漁獲割合 (尾数%) を天然・放流別

Table 2 Age-weight-key of Japanese flounder *P. olivaceus* in the coastal waters of Kagoshima Prefecture, Japan

		Male							
Weight class (kg)	Number of specimens	Age							
		0	1	2	3	4	5	6	7+
0 ≤	39	66.7	33.3						
0.3 ≤	95	4.2	74.7	17.9	2.1	1.1			
0.6 ≤	117		30.8	42.7	17.1	8.5	0.9		
0.9 ≤	106		17.0	24.5	31.1	22.6	4.7		
1.2 ≤	33		12.1	15.2	30.3	21.2	6.1	6.1	9.1
1.5 ≤	22				36.4	13.6	9.1	13.6	27.3
2.0 ≤	6						16.7	33.3	50.0
2.5 ≤	4						25.0		75.0
3.0 ≤	2								100.0
4.0 ≤	0								
5.0 ≤	0								

		Female							
Weight class (kg)	Number of specimens	Age							
		0	1	2	3	4	5	6	7+
0 ≤	33	84.8	15.2						
0.3 ≤	84	4.8	92.9	2.4					
0.6 ≤	67	1.5	76.1	22.4					
0.9 ≤	73		56.2	38.4	5.5				
1.2 ≤	42		33.3	35.7	31.0				
1.5 ≤	47		14.9	31.9	36.2	8.5	6.4	2.1	
2.0 ≤	27		3.7	18.5	33.3	33.3	3.7	3.7	3.7
2.5 ≤	15				26.7	60.0	6.7		6.7
3.0 ≤	31				9.7	41.9	29.0	9.7	9.7
4.0 ≤	30					6.7	20.0	16.7	56.7
5.0 ≤	33				3.0	3.0	6.1	24.2	63.6

Table 3 Average body weight $\pm$ SD by age and by sex in the samples collected from the coastal waters of Kagoshima Prefecture, Japan

Age	Average body weight (kg)	
	Male	Female
0	0.20 $\pm$ 0.08	0.23 $\pm$ 0.12
1	0.60 $\pm$ 0.25	0.75 $\pm$ 0.35
2	0.81 $\pm$ 0.20	1.20 $\pm$ 0.38
3	1.05 $\pm$ 0.30	1.92 $\pm$ 0.74
4	1.06 $\pm$ 0.25	3.01 $\pm$ 0.90
5	1.43 $\pm$ 0.54	3.66 $\pm$ 1.03
6	1.76 $\pm$ 0.37	4.67 $\pm$ 1.32
7+	2.06 $\pm$ 0.59	5.23 $\pm$ 1.46

に求め、Fig. 3 に示した。これをみると天然・放流魚ともに0歳魚の漁獲は極めて少ないが、1歳魚の漁獲は最も多く、鹿児島湾での漁獲開始年齢は1歳とみなされた。また、漁獲の主体は1~4歳であった。

放流魚の年別混獲率 本湾における1989年から2002年における放流魚の混獲率をTable 4に示した。尾数割合で18.9~49.2%，重量割合で15.5~47.1%で推移した。また、尾数割合の中央値は24.65%，重量割合の中央値は22.6%であり、尾数割合では最近2年間で上回り、重量割合では近年中央値前後で安定した値を示した。

回収率の推定 市場調査、魚体測定、並びに年齢査定結果から、1989年から1995年に放流されたヒラメの8年間に渡る推定回収個体数および回収率をTable 5に示した。これをみると、本湾における放流後8年間での回収率は、1.51~3.52%で推移した。

回収金額の推定 1993年から1995年の3カ年に放流されたヒラメの推定回収重量、回収金額、および経済回収率をTable 6に示した。これをみると、本湾における放流後8年間での経済回収率はそれぞれ1.17, 0.97, 1.05となり、平均では1.06と1を上回った。

資源尾数の推移 Table 7にコホート解析により得ら

れた年別年齢別の資源尾数を示した。天然魚の資源尾数をみると、雄は1989年から1998年にかけては22,899～33,909尾の間で推移したが、1999年以降は減少傾向にあり、2002年は9,264尾であった。雌は1989年から1998年にかけては28,231～36,604尾の間で推移したが、1999年以降は減少傾向にあり、2002年は14,677

尾であった。一方、放流魚の資源尾数をみると、雄は1989年から1996年にかけては9,537～14,309尾の間で推移したが、1997年以降は減少傾向にあり、2002年は3,974尾であった。雌は1991年から1997年にかけては10,105～14,866尾の間で推移したが、1998年以降は減少傾向にあり、2002年は4,643尾であった。このように、天然の雌雄、放流の雌雄ともに、近年はその資源尾数に減少傾向が認められた。

放流魚の加入動向 前述のように、鹿児島湾における

Fig. 3 Age composition of the wild fish (upper) and released fish (lower) in the landings at Kagoshima Fish Market in 2002.

Table 4 Ratio (%) of released fish in the commercial landings at Kagoshima Fish Market from 1989 to 2002

Year	ratio (%) of released fish in the commercial landings	
	in number	in wight
1989	26.9	15.9
1990	23.9	15.5
1991	46.5	43.5
1992	19.6	17.4
1993	23.2	20.3
1994	35.4	27.7
1995	47.6	41.1
1996	49.2	47.1
1997	20.9	24.9
1998	18.9	22.7
1999	21.4	22.2
2000	22.0	22.5
2001	25.4	21.9
2002	27.1	23.8

Table 5 Recapture number and rate of the released fish by release year of 1989 to 1995

Release year		1989		1990		1991		1992		1993		1994		1995	
Number of released juveniles ($\times 1000$)		248		226		396		424		327		337		231	
Sex		Male Female		Male Female		Male Female		Male Female		Male Female		Male Female		Male Female	
Recapture year and recapture number of released fish	1989	36	42												
	1990	704	864	131	161										
	1991	1,357	710	2,009	2,556	94	113								
	1992	455	305	741	469	1,313	1,642	126	151						
	1993	216	99	363	216	539	360	712	952	48	61				
	1994	70	63	357	177	596	294	933	554	1,279	1,645	163	203		
	1995	62	49	94	82	474	208	783	390	1,185	737	1,507	2,014	100	126
	1996	241	162	108	89	125	193	557	543	940	714	1,314	972	1,522	2,147
	1997			198	197	77	99	78	210	250	600	419	556	473	512
	1998					125	189	56	95	49	161	201	328	338	365
	1999							113	138	49	66	53	110	216	276
	2000									96	148	40	68	35	125
	2001											65	114	28	52
	2002													61	88
Cumulative recapture number of released fish	Subtotal	3,141	2,294	4,001	3,947	3,343	3,098	3,358	3,033	3,896	4,132	3,762	4,365	2,773	3,691
	Total	5,435		7,948		6,441		6,391		8,028		8,127		6,464	
Recapture rate		2.19%		3.52%		1.63%		1.51%		2.46%		2.41%		2.80%	

Table 6 Recapture weight and economic return rate of the released fish by release year of 1993 to 1995

Release year		1993		1994		1995	
Number of released juveniles (×1000)		327		337		231	
Cost of seeding production (×1000 yen)		23,620		25,060		17,860	
Sex		Male		Female		Male	
Recapture year and recapture weight (kg) of released fish	1993	9.8		14.0			
	1994	771.1	1,240.7	33.3	46.5		
	1995	959.2	885.3	908.5	1,519.0	20.4	28.9
	1996	987.5	1,369.4	1,063.6	1,167.6	917.6	1,619.3
	1997	264.2	1,804.6	440.2	1,066.4	382.9	615.0
	1998	69.9	590.0	212.5	986.5	355.1	700.0
	1999	86.0	308.0	75.6	403.1	228.3	830.1
	2000	197.6	774.3	70.2	317.4	50.0	458.0
	2001			133.8	596.4	49.1	242.7
	2002					125.6	460.4
Cumulative recapture weight(kg) of released fish	Subtotal	3,345.4	6,986.2	2,937.7	6,102.8	2,128.9	4,954.5
	Total	10,332		9,041		7,083	
Average unit price (yen/kg)		2,672		2,687		2,652	
Amount of recaptured fish (×1000 yen)		27,602		24,293		18,784	
Economic efficiency		1.17		0.97		1.05	

ヒラメの漁獲開始年齢は1歳とみなされた。そこで放流魚の加入状態を検討するために、1989年から2002年における放流尾数の経年変化ならびにコホート解析結果から得られた放流1歳個体の資源尾数の経年変化をFig. 4に示した。これをみると、本湾における放流尾数は毎年30万尾前後で比較的安定しているが、放流1歳魚の資源尾数は1994年の1.22万尾をピークに以降は減少し、2002年は3.4千尾となった。Fig. 5に放流魚の添加効率(=翌年1歳の放流個体の資源尾数/放流尾数)の経年変化を示した。これをみると、添加効率は1989年から1995年までは、0.024~0.051で推移したが、1996年以降は低下し、2001年は0.011となった。

年齢別成熟割合 本研究での年齢査定結果と竹野ら¹⁷⁾の成熟基準から得られた雌雄別の年齢別成熟割合は、雄は0歳で0%, 1歳で27%, 2歳で73%, 3歳で78%, 4歳で87.5%, 5歳以上で100%であった。雌は0歳で0%, 1歳で33%, 2歳で73%, 3歳で82%, 4歳以上で100%であった。

天然魚の加入動向 コホート解析から得られた資源尾数に年齢別平均体重と年齢別成熟割合を乗じて算出された1989年から2002年の産卵親魚重量と天然1歳個体の資源尾数の経年変化をFig. 6に、天然魚の再生産成功率(=翌年1歳の天然個体の資源尾数/ある年の産卵親魚重量)の経年変化をFig. 7にそれぞれ示した。Fig. 6の産卵親魚重量についてみると、1997年までは85.8~103.4トンで安定して推移したが、以降は減少し、

2002年は56.1トンとなった。一方、天然1歳魚の資源尾数は1989年から1997年までは、1.78~2.83万尾で推移したが、以降は減少し、2002年は7.2千尾となった。Fig. 7に示す再生産成功率は、1989年から1996年までは0.21~0.29で推移したが、1997年以降は低下し、2001年は0.13となった。

漁獲係数(F値)の経年変化 コホート解析から推定した鹿児島湾産ヒラメの漁獲係数F値(年齢平均値)の経年変化をFig. 8に示した。F値は1989年~1997年にかけて増減を繰り返しながら0.19から0.31まで増加したが、1998年以降は0.27~0.29の値で安定した。

考 察

鹿児島湾におけるヒラメ人工種苗の放流効果調査は、1989年から鹿児島市中央卸売市場において週1~3回の頻度で実施され、その日に水揚げされた全数について個体毎の体重と天然・放流の識別がなされ、これらの資料を用いてヒラメ総漁獲量に占める放流魚の割合が推定されてきた。今回、ヒラメ耳石の横断薄層切片を用いた年齢査定により、市場調査で得られた体重組成を年齢組成に変換することが可能となり、放流個体の回収状況や経済的側面からみた放流効果を放流群毎に検討することができた。これは、長年に渡る質の高い市場調査が継続されてきたことにより始めて試算されるものであり、放流効果の把握や適切な資源管理方策の策定のためには、このような市場調査や漁獲動向の把握等の地道なモニタリ

Table 7 Estimated stock size (in number) of Japanese flounder *P. olivaceus* by age (Age 1–7+) and by year (1989–2002) through cohort analysis A, wild stock of male; B, wild stock of female; C, released stock of male; D, released stock of female

A : Wild stock (Male)

Age	Year													
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1	8,887	11,006	12,399	13,380	9,766	9,894	10,396	11,231	10,524	7,384	5,151	4,090	3,511	3,046
2	5,210	6,590	7,703	8,193	6,734	6,301	6,716	7,442	7,914	6,131	4,318	3,141	2,813	2,192
3	3,171	3,820	4,372	5,000	4,289	4,070	3,850	4,418	4,961	4,319	3,149	2,209	1,965	1,559
4	1,663	2,276	2,320	2,782	2,428	2,326	2,215	2,282	2,675	2,292	1,859	1,247	1,090	870
5	1,211	1,175	1,382	1,428	1,278	1,273	1,229	1,284	1,299	1,101	839	695	573	438
6	797	933	840	1,022	956	882	882	884	916	811	669	490	441	355
7+	1,960	2,055	2,058	2,105	1,990	1,949	1,857	1,931	1,930	1,682	1,470	1,210	975	803
Total	22,899	27,856	31,073	33,909	27,442	26,695	27,145	29,473	30,219	23,719	17,456	13,083	11,367	9,264

B : Wild stock (Female)

Age	Year													
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1	8,943	10,559	12,442	14,934	11,661	11,564	11,462	12,587	13,804	10,793	8,004	6,081	4,965	4,165
2	5,977	6,413	6,821	7,697	7,005	7,063	7,359	7,774	8,412	7,688	6,026	4,607	3,947	2,908
3	4,098	4,491	4,325	4,783	4,566	4,454	4,568	5,107	5,342	5,009	4,543	3,484	2,907	2,379
4	2,868	2,944	2,882	2,993	2,741	2,799	2,711	3,099	3,416	3,024	2,909	2,600	1,994	1,645
5	1,851	1,914	1,762	1,882	1,679	1,675	1,586	1,785	1,997	1,812	1,722	1,573	1,311	1,039
6	1,335	1,316	1,279	1,276	1,129	1,159	1,058	1,113	1,242	1,215	1,177	1,064	921	768
7+	3,160	3,080	2,643	2,895	2,336	2,369	2,306	2,320	2,391	2,283	2,325	2,292	2,078	1,772
Total	28,231	30,716	32,154	36,460	31,117	31,083	31,050	33,786	36,604	31,825	26,705	21,701	18,122	14,677

C : Released stock (Male)

Age	Year													
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1	4,127	5,197	5,880	5,221	5,362	5,777	5,127	3,771	2,298	1,928	1,586	1,450	1,788	1,570
2	2,422	2,926	3,587	2,966	3,057	3,713	3,539	2,806	1,691	1,405	1,231	981	1,035	1,070
3	1,175	1,720	1,992	1,690	1,741	1,997	2,175	1,807	1,095	947	815	643	636	546
4	622	832	1,160	903	963	1,087	1,085	1,061	620	512	465	340	338	301
5	410	434	531	509	497	587	561	454	360	278	235	183	165	149
6	260	321	324	348	370	366	414	371	256	222	182	143	117	106
7+	521	613	701	695	709	782	808	828	659	495	420	343	272	232
Total	9,537	12,043	14,175	12,332	12,699	14,309	13,710	11,097	6,979	5,788	4,932	4,083	4,351	3,974

D : Released stock (Female)

Age	Year													
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
1	3,029	3,935	5,648	4,828	5,089	6,454	6,105	5,096	3,117	2,464	1,988	1,591	2,086	1,860
2	1,503	1,947	2,417	2,284	2,442	3,275	3,760	3,143	2,204	1,825	1,461	1,100	1,020	1,140
3	942	1,112	1,354	1,323	1,432	1,659	2,161	2,390	1,677	1,329	1,123	834	663	606
4	460	718	782	795	800	969	1,082	1,404	1,297	861	750	615	433	367
5	389	348	521	428	507	561	627	692	651	513	404	361	263	207
6	157	304	256	339	283	372	399	436	388	339	272	229	180	145
7+	336	380	532	452	566	611	732	793	772	675	568	498	395	318
Total	6,816	8,744	11,510	10,449	11,119	13,901	14,866	13,953	10,105	8,006	6,566	5,228	5,042	4,643

Fig. 4 Annual changes in the number of released juveniles and in the stock size (in number) of one-year-old released fish of Japanese flounder *P. olivaceus* in Kagoshima Bay.

Fig. 5 Annual changes in the survival rate of released juveniles (SRRJ) of Japanese flounder *P. olivaceus* in Kagoshima Bay. $SRRJ = (\text{number of released fish which survive in the following year}) / (\text{number of released juveniles})$.

ングが重要であると考えられる。

漁獲に占める放流魚の混獲割合については、鹿児島湾において、尾数割合で 18.9~49.2% (Table 4) と高く、福島県海域の 23.1~31.4%,³⁾ 宮古湾の 16.5~52.7%⁴⁾ に匹敵する値であり、放流事業の重要性が明らかとなった。次に、回収率については、鹿児島湾における放流後 8 年間での回収率は 1.51~3.52% (Table 5) であり、福島県海域の 16.3~30.9%,³⁾ 宮古湾の 5.9~23.3%⁴⁾ を

下回っている。このように回収率が両海域と比較して低いのは、福島県海域が 0~1 歳での、宮古湾が 2 歳までの若齢時での回収が大半を占め回収率が高くなっているのに対し、鹿児島湾では Fig. 3 に示すとおり、若齢魚以外に生残率がより低くなる高齢時での漁獲も多く、このことが回収率の低下につながっていると思われる。なお、若齢魚の漁獲が少ない原因としては、漁業調整委員会指示により、全長 25 mm 未満 (約 1 歳未満) の採捕

Fig. 6 Annual changes in the spawning biomass (tons) and in the stock size (in number) of one-year-old wild fish of Japanese flounder *P. olivaceus* in Kagoshima Bay.

Fig. 7 Annual changes in the recruits per spawning biomass (*RPSB*) of Japanese flounder *P. olivaceus* in Kagoshima Bay. *RPSB* = (number of wild fish which recruit in one-year-old)/(spawning biomass (kg)).

が禁止されていること、また、鹿児島湾では、ヒラメを主対象とした漁業としては、冬季の刺網漁業しかなく、他海域と比較して漁獲圧が低いこと等が考えられる。このように鹿児島湾では、尾数からみた回収率は低かったが、重量の大きい高齢魚まで漁獲しており、結果として、経済回収率は0.97～1.17 (Table 6) で平均では1を上回った。ただし、福島県海域の2～3,³⁾ 宮古湾0.46

～1.96⁴⁾と比較すると低く、今後は当海域での回収方法を検討する必要があるだろう。

栽培漁業は、過去においては、有用水産物について種苗生産、放流、育成管理などの人為的手段を施して資源を積極的に培養しつつ、最も合理的に漁獲する漁業と認識されていた。この考え方では、放流魚の回収率を上げたり、漁獲量を増大させることに目標が傾けられ、対象

Fig. 8 Annual changes in the fishing mortality coefficient (F) estimated by cohort analysis for Japanese flounder *P. olivaceus* in Kagoshima Bay.

生物の資源状態を悪化させるような乱獲に陥る恐れもあった。しかしながら、近年、対象種の漁獲量の安定や資源回復を目的とした資源管理の一手法として栽培漁業を評価する方向へと移行しつつある。北田¹⁸⁾は栽培漁業の持つ計画性を強調して、天然資源および放流資源を含めた包括的な資源管理を「資源計画」と呼ぶことを提案している。鹿児島湾のヒラメを例にとると、Fig. 2 に示したように、放流による資源の上乗せ効果により 1990 年から 1997 年にかけて漁獲量が増加する場合もあるが、天然資源の動向によっては 1997 年以降のように放流を継続していても漁獲量が減少してしまう場合もある。つまり、栽培漁業の効果とは、ただ単に漁獲量を増加させることだけではなく、天然資源の減少等により悪化した資源を下から支えるという重要な役割を持つことも認識すべきと考える。栽培対象種の資源管理を考える場合、ただ闇雲に放流するだけではなく、天然および放流資源の資源状況を適切に評価した上で、計画的に実施すべきと思われる。

今回のコホート解析では、自然死亡係数 M は田内・田中の方法¹⁵⁾で求めた 0.208 を用いたが、 M の値を 0.1 と 0.3 で試算したところ、 $M=0.208$ を用いた時の資源尾数に対して、1989～1995 年までの 7 年間の資源尾数は -44%～87% の変動幅と大きかったが、1996～2002 年までの近年 7 年間の資源尾数は -24～36% の範囲内であった。今後は M の妥当性についてさらに検討する必要がある。

コホート解析の結果から求めた人工放流種苗の添加効率 (= 翌年 1 歳の放流個体の資源尾数/ある年の放流尾数) は 1989 年から 1995 年までは平均 0.035 であったが、1996 年以降は平均 0.013 と低下していた (Fig. 5)。さらに、産卵親魚量に対する天然魚の加入状態を示す再生産成功率 (= 翌年 1 歳の天然個体の資源尾数/ある年の産卵親魚重量) も 1997 年以降は低下傾向を示し (Fig. 7)、栽培資源および天然資源ともに近年の加入率の低下が著しいことがわかった。放流ならびに天然魚の加入の失敗の原因としては、幼魚期の生息環境の悪化や羅病の増大等も考えられるが、今のところ原因は不明である。また、Table 7 や Fig. 6 にみられるように、資源量や産卵親魚量自身も近年はかなりの減少が認められる。その原因としては前述の加入率の低下以外に、漁獲係数 (F) の増加も考えられるが、1998 年以降の F 値は 0.27～0.29 の間で大きな変化がなく (Fig. 8)、近年の資源減少の原因とは考えにくい。加入率の低下や産卵親魚量の減少の原因解明のためには、さらなる適切な資源診断が必要であり、そのためには漁獲動向調査や市場調査、生物生態調査、水質調査等の継続したモニタリングが重要となる。今後もこれらのデータを積み重ね、加入量あたり漁獲量解析 (YPR 解析)¹⁹⁾ および加入量あたりの産卵親魚量解析 (SPR 解析)^{19,20)} 等により成長ならびに加入乱獲回避のための詳細な資源解析をおこない、栽培漁業を含めた形での適切な資源管理方策を構築する必要がある。

最後に今後の問題点について述べる。本研究では、鹿兒島湾は半閉鎖的な海域であるために、外海との出入りはないと仮定して放流効果を試算したが、外海との移動・交流も考えられるので、今後は放流魚のミトコンドリア DNA 解析なども検討していく必要がある。さらに推定値の精度についても評価する必要がある。本研究では、鹿兒島湾における放流ヒラメの水揚げ尾数を推定するにあたっては、鹿兒島市中央卸売市場での調査日における放流ヒラメの総水揚げ尾数を、調査日の総水揚げ量と農林統計による同湾の年間水揚げ量の比で引き延ばす、いわゆる比推定法を用いた。比推定法による放流魚の水揚げ尾数や分散の推定、推定値の精度評価については、北田¹⁶⁾により紹介されている。しかしながら、今回は放流魚の水揚げ尾数を推定するにあたっては、この農林統計との比以外に、体重階級別の雌雄割合ならびに年齢-体重相関による放流魚の年級分離も行っており、推定値の誤差はより複雑かつ大きなものになると予想される。Kitada *et al.*²⁾は、推定値の精度評価が可能な二段サンプリング法による放流魚の水揚げ尾数や分散の推定法を開発し、福島県産ヒラメについて適用している。鹿兒島湾産ヒラメについても、今後は年齢-体重相関による年級群の分離を考慮した推定値の精度評価や層別サンプリングの導入を検討する必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、鹿兒島市中央卸売市場において長年に渡り市場調査を継続していただいている川上市正氏と下山正三氏ならびに、標本採集にご理解とご協力をいただいた鹿兒島県内の各漁業協同組合の組合員ならびに職員の方々に厚くお礼申し上げる。また、コホート解析計算モデルについてご指導いただいた独立行政法人西海区水産研究所檜山義明室長、吉村拓室長、大下誠二氏に感謝の意を表す。なお本研究は、水産庁補助事業（地域展開促進事業）および鹿兒島県単独事業（豊かな海づくりパイロット事業）により行われた。

文 献

- 1) 南 卓志. 1. 生活史特性. 「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; 9-

- 24.
- 2) Kitada S, Taga Y, Kishina H. Effectiveness of a stock enhancement program evaluated by a two-stage sampling survey of commercial landings. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1992; **49**: 1573-1582.
- 3) 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 1993; **22**: 67-73.
- 4) 岩本明雄, 大河内裕之, 津崎龍雄, 福永辰広, 北田修一. 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. 日水誌 1998; **64**: 830-840.
- 5) 九州農政局鹿兒島県統計情報事務所. 図説鹿兒島県漁業の動き, 鹿兒島農林統計協会, 鹿兒島. 1974-2002.
- 6) 厚地 伸, 増田育司, 赤毛 宏, 伊折克生. 耳石横断薄片切片を用いた鹿兒島県近海産ヒラメの年齢と成長. 日水誌 2004; **70**: 714-721.
- 7) 北川大二, 石戸芳男, 桜井泰憲, 福永辰広. 三陸北部におけるヒラメの年齢, 成長, 成熟. 東北水研研報 1994; **56**: 69-76.
- 8) 田代征秋, 一丸俊雄. 長崎県近海産におけるヒラメの漁業生物学的特性. 長崎水試研報 1995; **21**: 37-49.
- 9) 河野光久. 山口県沿岸海域におけるヒラメの資源生物学的研究. 山口県外海水試研報 1997; **26**: 27-40.
- 10) 前原 務. 愛媛県瀬戸内海におけるヒラメの年齢および成長. 愛媛県水試研報 1992; **5**: 13-29.
- 11) 竹野功璽, 濱中雄一, 宮嶋俊明. 京都府沿岸におけるヒラメ資源構造に関する研究—Ⅳ—ヒラメの年齢と成長—. 京都府海洋セ研報 1999; **21**: 34-40.
- 12) 鈴木健吾, 吉村 拓. 平成 14 年ヒラメ日本海西・東シナ海系群の資源評価. 「我が国周辺水域の漁業資源評価」水産庁増殖推進部, 独立行政法人水産総合研究センター, 東京. 2002; 500-510.
- 13) Pope J. G. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Int. Comm. Northwest Atl. Fish. Res. Bull.* 1972; **9**: 65-74.
- 14) 平松一彦. 3. VPA (Virtual Population Analysis). 「平成 12 年度資源評価体制確立推進事業報告書—資源解析手法教科書—」社団法人日本水産資源保護協会, 東京. 2001; 104-128.
- 15) 田中昌一. 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報 1960; **28**: 1-200.
- 16) 北田修一. 栽培漁業と統計モデル分析. 共立出版, 東京. 2001; 7-18, 171-206.
- 17) 竹野功璽, 濱中雄一, 木下泉, 宮嶋俊明. 若狭湾西部海域におけるヒラメの成熟. 日水誌 1999; **65**: 1023-1029.
- 18) 北田修一. 栽培漁業と資源管理. アクアネット 1999; **4**: 48-51.
- 19) 松宮義晴. 水産資源管理概論. 水産研究叢書社団法人日本水産資源保護協会, 東京. 1996; **46**: 50-75.
- 20) 松宮義晴. 加入乱獲回避のための水産資源の管理各論. 水産海洋研究 1997; **61**: 168-178.