

## マダイの友ヶ島水道周辺海域における漁獲群と放流用人工 種苗のアイソザイムによる集団解析

誌名	水産増殖 = The aquiculture
ISSN	03714217
巻/号	421
掲載ページ	p. 85-91
発行年月	1994年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## マダイの友ヶ島水道周辺海域における漁獲群と放流用人工種苗のアイソザイムによる集団解析

田 畑 和 男  
(兵庫県立水産試験場)

Populations Genetic Analysis of Madai, *Pagrus major* Caught at the Circumferential Sea of the Tomogashima Channel and Artificial Produced Seed

Kazuo TABATA

### Abstract

The madai, *Pagrus major* populations caught at the Tomogashima Channel of Seto Inland Sea were uniform, as their  $F_{st}$  values were extremely small, and there were no differences in allele frequencies among three samples.

The average heterozygosity ( $H_e$ ) in the artificial populations produced at the mariculture center decreased to 84 % in respect to the average value of the caught populations. The *Est-E* allele frequencies were uniform within artificial group and between released and caught groups. The *Est-E* allele frequencies were not uniform within released group, but was uniform between released and caught groups. *Est-F* and *Adh-B* were uniform within released group, but not uniform between released and caught groups.

A counterplan that prevent the genetic change of the artificially produced seed from the point of both views of preserving gene resources and avoiding the increase of the inbreeding degree that will originate in decline of genetic variation, as allele frequencies in native madai populations may be affected by the artificially produced madai for release might be considered.

マダイ, *Pagrus major* のアイソザイムによる集団解析は全国的もしくは東中国海を含めた規模でおこなわれており<sup>1-3)</sup>, これらの報告によれば遺伝的には東中国海の系群は明らかに日本沿岸の系群とは区別されるが, 日本沿岸海域のマダイ個体群は同じ系群とみなされるとしている。しかし, 鹿児島湾や東京湾のマダイは日本沿岸海域全体で見ると異質の傾向が認められ,

これはおもに湾部に放流されたマダイが天然群に資源添加されるなかで, 地付きの天然群の遺伝子頻度に影響を与えたものと推定されている<sup>3)</sup>。

標識放流調査などの結果から資源学的にはいくつかのマダイの系群が想定されている。瀬戸内海については, 東部海域では瀬戸内海東部群と紀伊水道外域群とに区分されており<sup>4)</sup>, 中西部海域では豊後水道からの

受領日: 1993(H 5)年10月4日

索引語: マダイ/アイソザイム/マダイ漁獲群/人工生産マダイ

連絡先: 〒674 兵庫県明石市二見町南二見22-2 兵庫県立水産試験場 田畑和男

Address: K. TABATA, Hyogo Prefectural Fisheries Experimental Station, 22-2 Minami-Futami, Akashi, Hyogo 674, Japan

入り込み群と内海固有群とから構成される混合一系群が想定されている<sup>5)</sup>。また、瀬戸内海東部海域における種苗放流は1984年以降には100万尾を越えている<sup>6)</sup>ところから、ある程度の閉鎖的環境である本海域においても、マダイの遺伝的組成の変化に興味もたれるところである。

本研究においては、瀬戸内海東部群の中心に位置する友ヶ島水道周辺海域の漁獲群と人工的に生産された放流群についてアイソザイム解析を行って、当該海域におけるマダイ個体群の集団遺伝学的構造を把握するとともに、遺伝的变化の兆候がみられるかどうかについて明らかにしようとした。

### 材料および方法

漁獲群の供試魚は、1990年の5月23日、6月14

日および7月18日に淡路島の東由良町漁業協同組合(兵庫県洲本市由良)により小型底びき網で漁獲されたものの一部である。供試魚の採集年月日、供試個体数、全長および体重をTable 1に示した。測定結果から、これらは1989年春生まれの1+年魚であるとおもわれる。Fig. 1に東由良町漁協の位置と漁獲海域を示した。放流群の供試魚は兵庫県栽培漁業センターで1990年に生産された3ロットである(Table 1)。

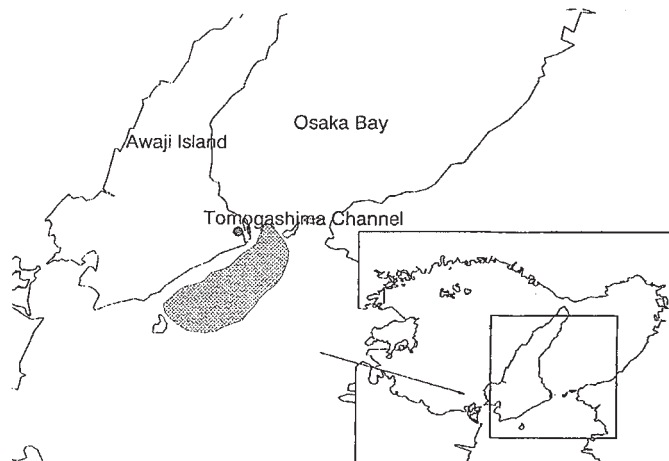
水平式デンブengel電気泳動法(ゲル濃度12%, 通電量:ゲル断面1cm<sup>2</sup>あたり3mA, 通電時間:260分)によって肝臓および筋肉組織からアイソザイムを検出した。エステラーゼについてはPAGE(ポリアクリルアミドゲル電気泳動, ゲルの大きさ:長さ90×幅135×高さ1mm, 通電量:15mA, 通電時間:90分)<sup>1)</sup>によって検出を行った。供試した酵素, 検出さ

**Table 1.** Sample date, size, length and body weight of madai, *Pagrus major* used in population analysis

Sampling date	Sample size	Total length (mm)*		Body weight (g)	
		Folk length (mm)**		Ave.	SD
Native populations (caught)					
23th, May, 1990	80	143.9+/-10.79**		101.2+/-23.67	
14th, Jun., 1990	80	153.1+/-12.78*		83.7+/-24.63	
18th, Jul., 1990	70	153.1+/-9.17*		92.1+/-16.54	
Artificial populations (released)					
3rd, Sep., 1990 (1990-A)	79	103.8+/-5.61**		23.6+/-7.10	
"/ (1990-B)	80	98.9+/-7.52**		21.7+/-6.03	
"/ (1990-C)	80	83.9+/-9.27**		13.3+/-3.97	

Native populations were caught at the Tomogashima Channel.

Artificial populations were produced by parent population at the mariculture center of Hyogo Prefecture.



**Fig. 1.** Map showing the location (black point) and fishing area (grided area) of the fisheries cooperative association from where madai, *Pagrus major* had been caught.

れた遺伝子座, 供試組織および使用緩衝液を Table 2 に示した。

結 果

アイソザイムの検出と対立遺伝子頻度 Fig. 2 に, 多型的であった遺伝子座 (主対立遺伝子の頻度 $\leq 0.95$ ) のアイソザイムのパターンを示した。6-Pgd は 3 対立

**Table 2.** Enzymes, tissues and buffer solution used and loci detected in madai, *Pagrus major* population

Enzyme	Locus	Tissue	Buffer sol.
AAT	<i>Aat</i>	Muscle	T-C (pH 7.0)
ADH	<i>Adh</i>	Liver	T-C (pH 7.0)
$\alpha$ -GPD	<i><math>\alpha</math>-Gpd</i>	Muscle	T-C (pH 7.0)
EST	<i>Est</i>	Liver	TBE (pH 8.45)
IDH	<i>Idh</i>	Liver	T-C (pH 7.0)
LDH	<i>Ldh</i>	Muscle	T-C (pH 7.0)
MDH	<i>Mdh</i>	Muscle	T-C (pH 7.0)
PGM	<i>Pgm</i>	Liver	T-C (pH 7.0)
6-PGD	<i>6-Pgd</i>	Liver	T-C (pH 7.0)

T-C, Tris-Citric acid.  
TBE, Tris-Boric-EDTA.

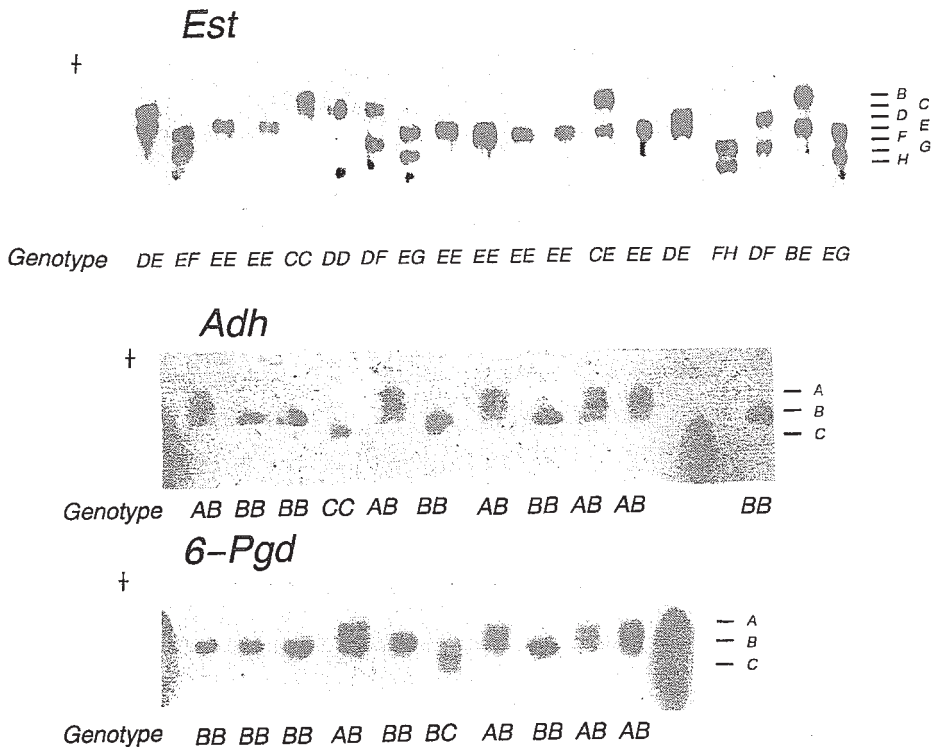
遺伝子が推定された。*Adh* は 3 対立遺伝子が, また, *Est* では 7 対立遺伝子が推定された。

多型に満たない変異がみられた遺伝子座は *Idh*, *Mdh*,  $\alpha$ -*Gpd*, *Aat-1* の 4 遺伝子座であり, 単型遺伝子座は *Pgm*, *Ldh* の 2 遺伝子座であった。

Table 3 に検出された対立遺伝子の遺伝子頻度を示した。漁獲群の主対立遺伝子の遺伝子頻度については, 6-Pgd の B 対立遺伝子が 0.788~0.813, Adh の B 対立遺伝子が 0.447~0.550, Est の E 対立遺伝子が 0.556~0.581 であった。いっぽう, 放流群の遺伝子頻度については, 6-Pgd の B 対立遺伝子が 0.782~0.863, Adh の B 対立遺伝子が 0.591~0.632, Est の E 対立遺伝子が 0.563~0.690 であった。

遺伝的変異性 漁獲群および放流群の遺伝的変異性を Table 4 に示した。漁獲群については遺伝子頻度から求めた平均ヘテロ接合体率  $H_e$  の値は 0.1829~0.2276 で, 平均 0.1982 であった。 $H_o/H_e$  (平均ヘテロ接合体率の観察値/期待値) は平均 0.880 とすべて 1 以下であり, ホモ過剰であった。

放流群については遺伝子頻度から求めた平均ヘテロ接合体率  $H_e$  は 0.1570~0.1797 で, 平均値 0.1671 で



**Fig. 2.** Electrophoretic patterns of *Adh*, *6-Pgd*, and *Est* detected in madai, *Pagrus major*.

**Table 3.** Allele frequencies of native populations of madai, *Pagrus major* caught at the Tomogashima Channel and populations produced at the mariculture center of Hyogo Prefecture

Locus	Allele	Caught			Artificial seed released		
		May, 1990	Jun.	Jul.	1990-A	1990-B	1990-C
<i>Aat</i>	A	0.008	0.013		0.000	0.000	0.000
	B	0.983	0.969		0.981	0.987	0.950
	C	0.008	0.019		0.019	0.013	0.050
<i>Adh</i>	A	0.303	0.225	0.271	0.208	0.197	0.182
	B	0.447	0.550	0.536	0.617	0.632	0.591
	C	0.250	0.225	0.193	0.175	0.171	0.227
$\alpha$ - <i>Gpd</i>	A	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.006
	B	0.994	0.994	0.993	1.000	1.000	1.000
	C	0.006	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000
<i>Est</i>	C	0.069	0.019	0.030	0.013	0.025	0.050
	D	0.106	0.125	0.119	0.127	0.156	0.206
	E	0.556	0.581	0.545	0.690	0.581	0.563
	F	0.188	0.244	0.254	0.139	0.188	0.131
<i>Idh</i>	X	0.081	0.031	0.052	0.032	0.050	0.050
	A	0.000	0.032		0.013	0.006	0.031
	B	0.994	0.968		0.988	0.994	0.969
<i>Ldh</i>	C	0.006	0.000		0.000	0.000	0.000
	B	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	A	0.000	0.000	0.007	0.006	0.000	0.006
<i>Mdh</i>	B	1.000	1.000	0.986	0.988	1.000	0.994
	C	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000
	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Pgm</i>	B	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>6-Pgd</i>	A	0.175	0.200	0.179	0.135	0.113	0.106
	B	0.813	0.788	0.800	0.782	0.863	0.850
	C	0.013	0.013	0.021	0.083	0.025	0.044

**Table 4.** Variability in native populations of madai, *Pagrus major* caught at the Tomogashima Channel and populations produced at the mariculture center of Hyogo Prefecture

	Caught			Artificial seed released		
	May, 1990	Jun.	Jul.	1990-A	1990-B	1990-C
No. of polymorphic loci	3	3	3	3	3	3
No. of locus investigated	9	9	7	9	9	9
Rate of polymorphic loci	0.33	0.33	0.43	0.33	0.33	0.33
Ho	0.159	0.163	0.202	0.160	0.147	0.157
He	0.183	0.184	0.228	0.165	0.157	0.180
Ho/He	0.869	0.883	0.887	0.973	0.938	0.876

Ho, heterozygosity assumed by observed value.

He, heterozygosity assumed by expected value.

あった。これは漁獲群の平均値の84%に相当し、変異の減少が観察された。Ho/Heはすべて1以下で平均0.929であり、漁獲群のばあいと同様にホモ過剰であった。

遺伝的分化 各月の漁獲群について遺伝子頻度の均

一性の検定 ( $\chi^2$ ) をおこなった (Table 5)。主対立遺伝子については、*6-Pgd* (B対立遺伝子) における  $\chi^2$  値は0.313で、 $0.900 > P > 0.750$  ( $df=2$ ) とこれより大きな値をうる確率は小さく均一性は高かった。*Adh* (B対立遺伝子) の  $\chi^2$  値は3.779で、 $0.250 >$

**Table 5.**  $\chi^2$  tests of allele frequencies among native populations of madai, *Pagrus major* caught at the Tomogashima Channel and populations produced at the mariculture center of Hyogo Prefecture

	(Locus)	<i>Adh</i>			<i>6-Pgd</i>			<i>Est</i>				Level of $\chi^2$		
	(Allele)	A	B	C	A	B	C	C	D	E	F	X	*	**
All caught + all artificial seed released		9.117	13.549*	4.495	9.239	5.856	18.023**	10.813	8.673	8.946	12.839*	5.669	11.07	15.09
All of caught population		2.446	3.779	1.375	0.383	0.313	0.518	5.732	0.286	0.424	2.225	3.873	5.99	9.21
1990, May - June		2.425	3.284	0.269	0.328	0.313	0.000	4.781*	0.275	0.204	1.497	3.767	3.84	6.63
June - July		0.866	0.061	0.465	0.223	0.071	0.363	0.387	0.021	0.395	0.039	0.821	〃	〃
July - May		0.346	2.276	1.375	0.007	0.075	0.363	2.279	0.127	0.039	1.878	0.968	〃	〃
All of artificial seed released		0.312	0.544	0.884	0.674	4.219	5.838	4.055	3.780	6.314*	2.288	0.848	5.99	9.21
1990 A - B		0.050	0.064	0.007	0.357	3.506	5.280*	0.654	0.576	4.048*	1.354	0.683	3.84	6.63
B - C		0.120	0.532	1.515	0.032	0.102	0.847	1.385	1.348	0.115	1.889	0.000	〃	〃
C - A		0.304	0.187	1.133	0.601	2.434	2.088	3.640	3.633	5.508*	0.043	0.683	〃	〃

\* , statistically significant ( $p < 0.05$ ).\*\* , statistically significant ( $p < 0.01$ ).

$P > 0.100$  ( $df=2$ ) となり一応均一であった。*Est* (*E* 対立遺伝子) の  $\chi^2$  値は 0.424 で  $0.900 > P > 0.750$  ( $df=2$ ) と均一性は高かった。

放流群についての遺伝子頻度の均一性の検定結果も Table 5 に示している。*6-Pgd* (*B* 対立遺伝子) における  $\chi^2$  値は 4.219 で、 $0.250 > P > 0.100$  ( $df=2$ ) と一応均一であった。*Adh* (*B* 対立遺伝子) の  $\chi^2$  値は 0.544 で、 $0.900 > P > 0.750$  ( $df=2$ ) となり均一性は高かった。*Est* (*E* 対立遺伝子) の  $\chi^2$  値は 6.314 で  $0.050 > P > 0.025$  ( $df=2$ ) となり均一ではなかった。

さらに、放流群と漁獲群全体でみると *6-Pgd* (*B* 対立遺伝子) における  $\chi^2$  値は 5.856 で、 $0.500 > P > 0.250$  ( $df=5$ ) と均一であった。*Adh* (*B* 対立遺伝子) の  $\chi^2$  値は 13.549 で、 $0.025 > P > 0.010$  ( $df=5$ ) となり均一ではなかった。*Est* (*E* 対立遺伝子) の  $\chi^2$  値は 8.946 で  $0.250 > P > 0.100$  ( $df=5$ ) と均一であった。主対立遺伝子以外の対立遺伝子については、*6-Pgd* では *C* 対立遺伝子の  $\chi^2$  値は 18.023 で  $0.005 > P$  となり、均一度は極めて低かった。また、*Est* の *F* 対立遺伝子では 12.839 で  $0.025 > P > 0.010$  と均一ではなかった。

固定指数 *Fst* を求めて Table 6 に示した。特定の遺伝子座で対立遺伝子が集団間でどれほど分化しているかを示す係数である *Fst* は、放流群が漁獲群の 2.39 倍にもなった。

### 考 察

遺伝的変異性の減少は有効親魚数に依存しているため、人工種苗の遺伝的変異性の減少が観察されるばあ

**Table 6.** Fixation index (*Fst*) of native populations of madai, *Pagrus major* caught at the Tomogashima Channel and populations produced at the mariculture center of Hyogo Prefecture

Locus	<i>Adh</i>	<i>6-Pgd</i>	<i>Est</i>	Total
Caught	0.0124	0.0010	0.0014	0.0049
Artificial seed released	0.0018	0.0134	0.0199	0.0117
Ratio (released/caught)				2.39

いが多い<sup>7)</sup>。兵庫県における栽培漁業対象魚種であるマコガレイ, *Limanda yokohamae* 放流群の漁獲群に対する平均ヘテロ接合体率も 62% であった<sup>8)</sup>。今回のマダイのばあいは 84% であり、マコガレイのばあいに比較して減少度合いは少なかった。これは、マコガレイの種苗生産が少ない親魚でおこなわれているのに対して、マダイの種苗生産は大型池に放養されている多数の親魚 (1990 年度のばあいは 256 尾、雌雄比不明) から産出される卵をもとにおこなわれている<sup>9)</sup> 違いによるものであろう。すなわち、親魚数の大きな差が平均ヘテロ接合体率の減少度合いの差となって現れたものとみられる。しかし、なおも平均ヘテロ接合体率の減少がみられたことは遺伝子資源の保全および変異の減退に伴って起こる近交度の上昇を防止するといった観点<sup>7)</sup> からは問題である。変異の減退を防ぐためには長期的事業においては有効親魚数を理論的に 500 尾とすることが必要であるといわれていることから<sup>7)</sup>、さらに親魚数を増加させるための工夫が必要であらう。また、親魚の由来、とくに同系にかたよっていないかをみなおす必要があるほか、谷口<sup>7)</sup> もすでに指摘しているように、卵の収容を同時期に行うことをさげ、で

きるだけ多くの親魚からの卵を種苗生産に使用する体制をとるなどの技術上の改善が必要であると考えられる。

マダイの漁獲群については、5月から7月の各月におけるサンプル間およびサンプル全体内の主対立遺伝子についての均一性の検定結果から、それぞれの漁獲群は同じ集団とみなされることが示唆された。また、Fst 値が極めて小さい数値 (0.0049) を示していることから、この結果の正当性が裏づけられる。いいかえると、友ヶ島水道周辺海域におけるマダイ個体群は遺伝子組成の異なる小集団の集合体ではないといえる。

今回の調査海域と同じ海域で漁獲された群の *Est* の遺伝子頻度が今回の調査 (1990 年) の 14 年前の 1976 年に谷口・田島<sup>1)</sup>によって調べられている。これらの両年の結果について、均一性の検定を行ったところ、*Est-E*、*Est-F*、および *Est-D* では均一性は高いと判断された。マダイの種苗放流は兵庫県のばあいでは 1969 年から試験的にはじめられたが、1980 年から 1985 年には東部瀬戸内海海域の各県栽培漁業センターの事業開始とともに種苗放流数は上昇し、当該海域全体では 1984 年に年 100 万尾を越えている<sup>6)</sup>。種苗放流が事業化される前後の遺伝子頻度に違いがみられなかったことは、現在においても遺伝子資源が保全されていることを意味しているものと思われる。しかし、放流種苗と漁獲群を込みにしたばあい、*Est* については不均一性がみられていることや Fst 値の放流群/漁獲群の比が約 2.4 と大きいことから、放流群の各年の遺伝子頻度のばらつきと、高い Fst 値が予想され、これが漁獲群の遺伝子頻度に影響を及ぼすことが十分考えられる。事実、鹿児島湾や神奈川県東京湾ではこのような可能性が指摘されている<sup>3)</sup>。瀬戸内海東部群を対象としておこなわれた調査結果では、瀬戸内海東部群の 0 才魚の加入尾数 (天然群) は約 900 万尾と推定されている<sup>10)</sup>。いっぽう、毎年添加される人工生産の放流個体数は 100~150 万尾<sup>11)</sup>であることから、放流群の生残率が仮に天然群のそれと同じであれば、資源添加の強度はかなり大きいものとなる。しかし、有標識率 (漁獲群中に占める標識放流魚の率) の実測値は期待値の約 1/5 であったことから、放流魚の生残率は天然魚に比べて大幅に低いという可能性、あるいは、人工生産放流群と天然群とが均一に混合していないために起こるサンプルデータの偏りの可能性が指摘されている<sup>11)</sup>。このような理由から、放流群の遺伝子頻度のばらつきにもかかわらず、友ヶ島水道周辺海域におけるマダイの 14 年を隔てた *Est* の両年の遺伝

子頻度が均一のまま保たれたのかもしれない。この海域では、今後とも資源生態学上の知見を加えながら、集団遺伝学的知見についても、さらに検討していく必要があると思われる。

## 謝 辞

マダイのサンプルを提供していただいた兵庫県但馬水産事務所試験研究室副室長・武田雷介氏、兵庫県栽培漁業センター主任・永山博敏氏に深謝する。また、本報をまとめるにあたって有益なご教示をいただいた兵庫水試主任研究員・島本信夫氏と校閲の労を賜った高知大学農学部教授・谷口順彦博士に深謝する。

## 要 約

瀬戸内海東部群に属する友ヶ島水道周辺海域で漁獲されたマダイは、3 回の漁獲集団間の遺伝子頻度が均一であったことと Fst 値が極めて小さかったことから、遺伝的に均一な集団からなることが推定された。

放流群は、多くの親魚から生産されているにもかかわらず変異の減少が観察され、放流群の平均ヘテロ接合体率は漁獲群に対して平均 84% であった。放流群の *Est* の主対立遺伝子である *Est-E* は放流群間では不均一だが、漁獲群を含めると均一であった。また、*Est-F* と *Adh-B* は放流群間では均一であったが、漁獲群を含めると不均一となった。これらのことから、人工生産放流群は天然群の遺伝子組成に影響をおよぼす可能性があるため、遺伝子資源の保全および変異の減退に伴って起こる近交度の上昇回避の観点から、放流用人工種苗の遺伝的変化を防止する対策が必要となる。

## 文 献

- 1) 谷口順彦・田島健司 (1978): マダイの肝臓エステラーゼにみられる遺伝変異について。日水誌, 44(6), 619-622.
- 2) 谷口順彦・岡田容典 (1980): マダイの生化学的多型に関する遺伝学的研究。日水誌, 46(4), 437-443.
- 3) Taniguchi, N. and K. Sugama (1990): Genetic variation and population structure of red sea bream in the coastal waters of Japan and the East China sea. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56(7), 1069-1077.
- 4) 阪本俊雄・土井長之・岩井昌三・石岡清英 (1981): 瀬戸内海東部海域におけるマダイの生物情報と

- 資源解析. 東海水研報, (105), 59-113.
- 5) 瀬戸内海西ブロック栽培資源調査部会 (1988): 資源培養管理対策推進事業・栽培資源調査全体計画書 (マダイ). 瀬戸内海西ブロック, 宇和島, 75 pp.
- 6) 和歌山県水産増殖試験場・和歌山水試・徳島県栽培漁業センター・徳島水試・兵庫県栽培漁業センター・兵庫水試 (1985): 昭和59年度回遊性魚類共同放流実験調査事業報告書. 瀬戸内海東部マダイ班, 明石, 100 pp.
- 7) 谷口順彦 (1986): 種苗生産における遺伝学的諸問題. マダいの資源培養技術 (田中克・松宮義晴編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 37-58.
- 8) 田畑和男 (1992): マコガレイの兵庫県瀬戸内海域における漁獲群と人工生産群のアイソザイムによる集団解析. 水産育種, (17), 71-80.
- 9) 末原裕幸・永山博敏・楽 敦司・川村芳浩・小野山 弘・政井良隆・吉岡力男・憶 秀隆・石飛博敏 (1993): マダイ種苗生産事業. 平成2・3年度兵庫栽培漁センター事報, 4-8.
- 10) 島本信夫 (1987): 瀬戸内海東部群マダいの資源評価. 資源評価のための数値解析 (嶋津靖彦編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 88-101.
- 11) 和歌山県・大阪府・兵庫県・岡山県・香川県・徳島県 (1991): 平成2年度広域資源培養管理対策推進事業報告書. 瀬戸内海東部ブロック, 和歌山, pp. 79-166.