



種苗放流をめぐる諸問題

## マダイ養殖魚の 再生産の影響

横川 浩治  
よこがわ こうじ

編集部

受理：1996年8月3日  
筆者：香川県水産試験場 主任研究員

最近、小割生簀内で養殖されているマダイから発生した当歳魚が天然資源の増大に関与していると言われている地域がある。今回はその仮説を検証するために集団遺伝学的な研究を行った。

### 1. はじめに

マダイは、わが国では代表的な栽培漁業対象種であり、長年にわたって全国各地で積極的な種苗放流が継続的に実施されてきた。

ところで、瀬戸内海東部海域では近年のマダイ天然親魚の資源量は以前と比較して著しく減少しているにもかかわらず、新規加入魚の資源水準は依然として低下しておらず、毎年数百万尾の当歳魚の発生がみられている<sup>[1]</sup>。一方伊勢湾においては、近年マダイの資源量は急激な増加を示し、愛知県における1991年、1992年の漁獲量は10年前の約10倍の水準となっている<sup>[2]</sup>。

このような現象の原因として、まず種苗放流の効果が考えられるが、一説には養殖マダイからの再生産が天然資源の増大に関与している可能性も指摘されている<sup>[2, 3]</sup>。特に伊勢湾では、三重県におけるマダイ養殖尾数と当歳魚の資源尾数の間に高い正の相関が認められ、三重県の養殖場で産出されたマダイの卵稚仔が潮流により伊勢湾内へ輸送されて生育しているのではないかという仮説が考えられている<sup>[2]</sup>。

今回は、瀬戸内海東部海域におけるこのような現象を検証するために、アイソザイム系遺伝子を指標に用いて当該海域のマダイ集団の遺伝的特徴を調べ、集団遺伝学的な検討を行なってその原因の解明を試みた。

今回調べたマダイ集団は、1993年から1995年にかけて香川県周辺の瀬戸内海東部海域から得られた12の天然集団と養殖用種苗を含む3人工集団の計15集団である。材料の由来の詳細については表1に示した通りで、採集場所は図1に示した通りである。

香川県では、例年200万尾近いマダイが小割養殖されており、養殖場は高松以東の播磨灘海域の沿岸に集中し、特に引田地区（図1）ではおよそ

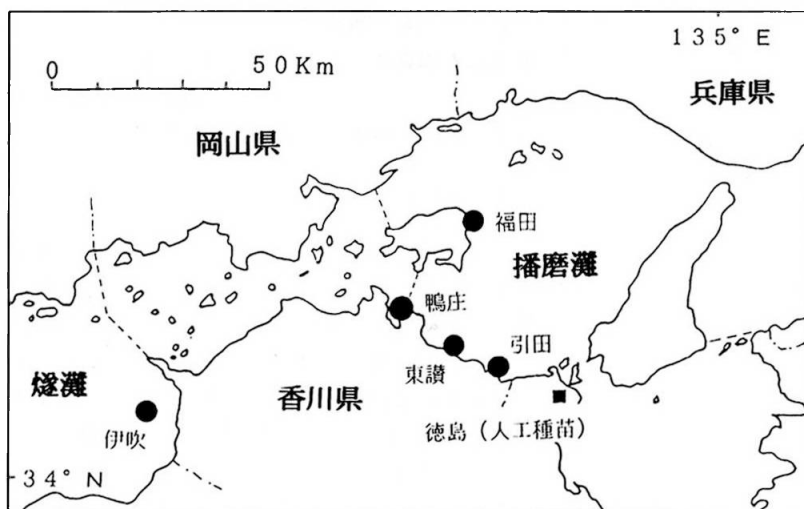


図1 材料に用いたマダイ集団の採集場所。

No	採集場所	採集時期	漁法	個体数	年齢	備考
(天然集団)						
①	福田	93年 5月19日	定置網	96	1-9	
②	福田	93年11月 9日	底曳網	93	0	
③	引田	93年10月12日	底曳網	132	0	
④	伊吹	93年12月12日	底曳網	133	0	
⑤	福田	94年 5月16日	定置網	194	1-7	
⑥	東讃	94年 5月9～14日	定置網	37	1-8	
⑦	鴨庄	94年 7月28日	地曳網	26	0	着底直後の小型魚
⑧	引田	94年11月12日	底曳網	104	0	
⑨	伊吹	94年12月16日	定置網	138	0	
⑩	福田	95年1月9日	定置網	89	0	
⑪	福田	95年 5月8日	定置網	120	1-7	
⑫	引田	95年11月3～4日	底曳網	<b>151</b>	0	
(養殖集団)						
⑬	引田	94年 6月15日		16	?	宮崎県の業者から購入
⑭	引田	95年 5月17日		30	?	宮崎県の業者から購入
(人工種苗)						
⑮	徳島	94年 8月31日		20	0	徳島県栽培漁業センター生産

表1 調べたマダイ集団の由来とデータ。

30万尾が放養されている。一方、県中部から西部にかけてはマダイ養殖経営体数は極端に少なく、特に庄内半島以西の燧灘海域ではほとんど養殖されていない。そこで、マダイ養殖の影響のない海域からの対照標本として、燧灘西部の伊吹島周辺

(図1)で漁獲された集団(集団④, ⑨)も調べた(表1)。なお、福田地区で1995年1月に得られた当歳集団(集団⑩)については、1994年の発生群なので以下の解析では福田(当歳)94と表記して取り扱った。

表2 調べた集団の主要な遺伝子座における Hardy-Weinberg の法則への適合性検定結果.

①福田 (親魚) 93, ②福田 (当歳) 93, ③引田 (当歳) 93, ④伊吹 (当歳) 93, ⑤福田 (親魚) 94, ⑥東讃 (親魚) 94, ⑦鴨庄 (当歳) 94, ⑧引田 (当歳) 94, ⑨伊吹 (当歳) 94, ⑩福田 (当歳) 94, ⑪福田 (親魚) 95, ⑫引田 (当歳) 95, ⑬引田 (養殖) 94, ⑭引田 (養殖) 95, ⑮徳島 (人工) 94

遺伝子座	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
ADH*										**	*				**
EST*	***										*	*			***
LDH-2*						*									
MEP-1*	**	**	**				***								
PGDH*			**												

\*5%水準で有意, \*\*1%水準で有意, \*\*\*0.1%水準で有意.

アイソザイム分析実験の方法は Taniguchi and Sugama<sup>4)</sup>に全面的に従い, エステラーゼの場合は水平式薄層ポリアクリルアミドゲル泳動法, その他の酵素は水平式デンプンゲル泳動法による。

## 2. Hardy-Weinberg の遺伝平衡への適合性

各集団の多型的遺伝子座について, まず Hardy-Weinberg の法則への適合性を調べた. Hardy-Weinberg の法則とは, あるメンデル集団 (遺伝的に均一な集団) において他集団との混合や近交などが無い限り遺伝子頻度は代々不変であるというもので, 表現型の頻度の観察値 (実測値) と期待値とのずれを  $\chi^2$  検定によって調べることで, 集団内の遺伝的均衡, 不均衡の状態を知ることができる. つまり,  $\chi^2$  値が有意水準に達する遺伝子座があれば, 他の集団との混合, ビン首効果などの影響の可能性が考えられるわけである。

今回調べた集団の主要な遺伝子座についての  $\chi^2$  検定の結果は表2に示した通りであり, 瀬戸内海東部海域産の集団の多くで1以上の遺伝子座において観察値と期待値との有意差が認められた。

これは, 瀬戸内海東部海域産のマダイ集団の多くは単一のメンデル集団ではない (遺伝的に均質なわけではない) ことを示しており, この原因としては, 近交, 自然状態による遺伝的浮動 (ビン首効果) など集団内で生じた内的要因, あるいは Hardy-Weinberg の遺伝平衡を乱すほどの量の別系統群の混合といった外的要因などが考えられる。

一方, 養殖マダイの遺伝的な影響がほとんどないと考えられる伊吹の集団 (集団④, ⑨) では  $\chi^2$  値が有意水準に達した遺伝子座は全くなく (表2), この海域では瀬戸内海東部海域とは対照的に遺伝的不均衡は生じていないものと考えられた。

## 3. 集団間の遺伝子頻度の差

遺伝子頻度の統計的な差を調べるために2集団ごとに総当たりで  $\chi^2$  検定を行ない, 5%の有意水準に達した遺伝子座数の一覧を表3 (斜線上) に示した。

まず, 養殖集団や人工種苗と天然集団との間で有意水準に達した遺伝子座数が特に多かったが, これは人工生産により生じる遺伝的浮動に起因するところが大きいものと考えられる. 特に養殖集団 (集団⑬, ⑭) と天然集団との間で顕著であり, 養殖用種苗を生産する際に用いる親魚数が相当に少ないことによるものと推定される. また, 一部の種苗生産業者では意図的に選抜育種を行ない, 遺伝的多様性が著しく減少した種苗を供給していること<sup>15)</sup>も, 養殖用種苗が天然集団と著しくかけ離れた遺伝子組成となる原因の一つであると思われる. 一方, 徳島県栽培漁業センターの生産による放流種苗 (集団⑮) でも, 養殖マダイほど著しくはないものの, 遺伝子頻度が他の天然集団とかなり相違していた (表3)。

また, 大部分の天然集団間でもいくつかの遺伝子頻度に有意差が認められたことが特徴的であっ

表3 それぞれの集団間で遺伝子頻度の $\chi^2$ 検定により有意差のみられた遺伝子座数(斜線上)および集団間の遺伝的距離(斜線下)。

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
①福田(親魚)93		3	4	3	7	4	6	4	6	4	7	6	3	5	4
②福田(当歳)93	0.00188		2	2	5	5	3	3	5	3	7	6	5	4	5
③引田(当歳)93	0.00203	0.00096		3	5	2	2	4	3	4	5	4	4	5	4
④伊吹(当歳)93	0.00138	0.00090	0.00141		3	2	3	2	0	1	3	1	3	5	4
⑤福田(親魚)94	0.00132	0.00125	0.00094	0.00072		5	4	2	2	4	3	3	3	5	3
⑥東讃(親魚)94	0.00243	0.00235	0.00202	0.00116	0.00155		3	3	1	3	2	2	4	8	4
⑦鴨庄(当歳)94	0.00787	0.00435	0.00425	0.00401	0.00385	0.00507		4	4	3	4	4	5	5	2
⑧引田(当歳)94	0.00263	0.00099	0.00117	0.00077	0.00058	0.00185	0.00279		2	3	4	3	4	5	5
⑨伊吹(当歳)94	0.00146	0.00092	0.00134	0.00044	0.00054	0.00144	0.00381	0.00076		3	3	4	4	6	3
⑩福田(当歳)94	0.00171	0.00202	0.00255	0.00093	0.00125	0.00165	0.00498	0.00175	0.00103		3	3	4	4	4
⑪福田(親魚)95	0.00340	0.00240	0.00106	0.00164	0.00102	0.00194	0.00366	0.00144	0.00129	0.00263		4	6	7	5
⑫引田(当歳)95	0.00117	0.00147	0.00129	0.00045	0.00053	0.00096	0.00387	0.00097	0.00070	0.00092	0.00158		3	6	4
⑬引田(養殖)94	0.01916	0.01571	0.01261	0.01547	0.01348	0.01799	0.03773	0.01271	0.01703	0.02023	0.01310	0.01477		5	5
⑭引田(養殖)95	0.03078	0.02322	0.02248	0.02315	0.02414	0.02213	0.02295	0.02219	0.02209	0.02333	0.02088	0.02357	0.04582		10
⑮徳島(人工)94	0.01404	0.01030	0.00833	0.01001	0.00915	0.01000	0.00822	0.00865	0.01021	0.01165	0.00755	0.00943	0.01974	0.01508	

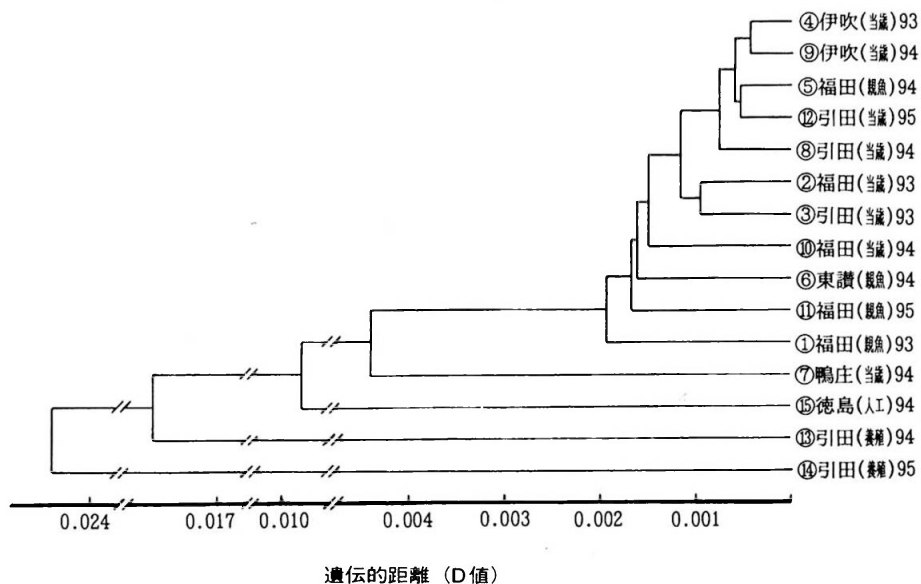


図2 調べた全集団の遺伝的分岐図。

た(表3)。Taniguchi and Sugama<sup>[4]</sup>も全国各地のマダイ集団の遺伝子頻度の差について同様の計算を行なったが、彼らのデータから日本産の9集団間において有意差がみられた遺伝子座数の平均値を試算すると1.75となる。一方、今回調べた集団のうち人工集団(集団⑬~⑮)を除いて同様の計算

を行なったところ、その平均値は3.48となり、Taniguchi and Sugama<sup>[4]</sup>による全国的な水準のほぼ2倍の値となった。

この事実や、後述する遺伝的距離の解析結果(図4)からもわかるように、瀬戸内海東部海域のマダイ集団の遺伝構造はすべてのものが均質では

なく、地域や発生年ごとに少しずつ遺伝的組成が異なるものと考えられた。

#### 4. 集団間の遺伝的距離

今回調べたすべての集団間の Nei<sup>6)</sup>の遺伝的距離(D値)を計算し(表3, 斜線下), UPGMA法により全集団間の遺伝的分岐図を作成した(図2)。

まず、引田の養殖魚(集団⑬, ⑭)と徳島の人工種苗(集団⑮)が他の集団と遺伝的に大きく離れていたが、これは前述のように種苗生産による遺伝的浮動に起因する遺伝子組成の攪乱であると推定され、これらの集団が他の集団と遺伝的に大きく相違するのは当然予想されることであろう。特に、遺伝子組成の著しく相違する養殖集団(集団⑬, ⑭)は亜種以上の水準で他の集団と相違しており、これらを親魚として発生したマダイが天然集団と混合した場合、天然集団の遺伝子組成は大きく乱されることが予想される。

次に、鴨庄で地曳網によって採集された集団(集団⑦)が他の集団と大きく離れていたことが注目される。鴨庄地区は、香川県志度湾の沿岸に面しており(図1)、志度湾には庵治、牟礼、志度、鴨庄の4漁協の大規模な養殖場があり、1994年におけるこれら4漁協のマダイの総養殖尾数は50万尾を越え、養殖がさかんな引田地区の2倍近い数量である。

今回調べた鴨庄の集団は全長30~80mm程度の着底直後のマダイである。もしこのマダイの多くが志度湾内で養殖されているマダイに由来するものであると仮定すれば、前述のように養殖マダイは天然集団とは遺伝的に著しく相違することから(表3, 図2)、この鴨庄の集団が他の天然群と遺伝的に大きく相違することに合理的な説明が与えられることになる。

今回調べた全集団間で最も遺伝的距離が小さかったのは1993年の伊吹の当歳集団(集団④)と1994年の伊吹の当歳集団(集団⑨)との間の0.00044である(表3, 図2)。この2集団間では、遺伝子頻度の差の検定結果でも、有意差のみられた遺伝子座数が調べた全集団間中で唯一0であり

(表3)、遺伝的にかなり近いことが示されている。前述のようにこの燧灘海域はマダイ養殖の影響がほとんどなく、代々天然親魚によって再生産が行なわれているためにこのような結果となったものと考えられる。

それに対して瀬戸内海東部海域では、1993年の福田産の親魚集団(集団①)と同じ年の福田産の当歳集団(集団②)、および1994年のそれら(集団⑤, ⑩)が遠く離れたクラスターに含まれたり、1993, 1994, 1995年の引田産の当歳魚の3集団(集団③, ⑧, ⑫)がそれぞれ全く別のクラスターに含まれるなど、常識的に考えて不自然な現象が多々みられる。これらの事実からも、瀬戸内海東部海域では毎年マダイの天然資源に対して遺伝的な攪乱が生じている可能性が強く示唆される。

Taniguchi and Sugama<sup>4)</sup>によって調べられた全国各地のマダイ集団の遺伝的類縁関係によると、大部分の集団間の遺伝的距離が0.001内外であるのに対して、瀬戸内海東部海域の集団ではこれほど狭い海域内でありながら全国の水準を大きく超える遺伝的相違が認められる(図2)。このことも前述の遺伝的攪乱の可能性を支持する材料となろう。

#### 5. 遺伝的不均衡が生じる要因

以上の遺伝的解析結果から、瀬戸内海東部海域のマダイ集団の多くは遺伝的均衡が崩れており、何らかの原因によって遺伝的に攪乱されていることが示唆された。この遺伝的不均衡が生じる原因について、以下のようないくつかの仮説が考えられる。

**仮説1** ; 瀬戸内海東部海域には遺伝的にかなり分化したマダイ小集団が多く存在し、複数の小集団を混獲したサンプルを単一の集団として扱ったために遺伝的不均衡が検出された。

**仮説2** ; 近交、自然状態による遺伝的浮動(ビン首効果)など、集団内で生じた内的要因によって遺伝的均衡が崩れている。

**仮説3** ; 放流種苗が天然群と混合することにより天然群の遺伝的均衡が崩れている。

**仮説4** ; 養殖マダイからの再生産魚が天然群と混

合することにより天然群の遺伝的均衡が崩れている。

まず仮説1については、前述のように極めて近い海域の集団間の遺伝子頻度が大きく相違する事実から、この可能性は考え得る。

しかしこの仮説では、小集団独自の遺伝的特性が保持されるためには、小集団ごとにある地域の地先海域で生活史を完結する必要がある。マダイは広域回遊魚と言われ、瀬戸内海ではごく一部越冬する地付群があるとも言われてはいるが、多くのものは外海と内海を広く回遊しているものと思われる。

またこの仮説に従えば、遺伝的特性が保持されるためには産卵場が小集団ごとに独立している必要があり、地先ごとに集団独自の産卵場がなければならない。しかるに、瀬戸内海東部海域では産卵場の数はかなり限られており、地先ごとに多くの産卵場があるという事例は知られていない。以上のようなことから、瀬戸内海東部海域に多くの独立した地付群があるとは考えにくい。

仮説2については、環境条件等の変化により、特に集団の資源水準が著しく低下した場合などにはこのような現象が起こり得る。しかしながら、瀬戸内海東部海域においてはマダイ親魚の資源水準が近年急激に低下したという事実はなく、毎年新規加入群の資源水準もかなり安定している。また、Taniguchi and Sugama<sup>[4]</sup>によって調べられた全国各地の天然マダイ集団の遺伝的解析結果にこのような現象が全くみられないことから、瀬戸内海東部海域だけにこのような現象が特異的に生じるという可能性は極めて低いものと考えられる。

仮説3については、瀬戸内海東部海域では和歌山、兵庫、徳島の3県によって毎年マダイの種苗放流が行なわれており、3県の合計で毎年百数十万尾の人工種苗が放流されている<sup>[7]</sup>。

しかし、放流種苗の遺伝的分析結果をみる限りにおいては、天然集団との遺伝子頻度の差はそれほど著しいものではなく、種苗放流によって天然集団の遺伝資源が攪乱されるほどの影響をおよぼす可能性は低いものと考えられる。

さらに、瀬戸内海東部海域における放流種苗の天然群に対する混合率（添加効率）は高くても3%に満たず<sup>[7]</sup>、この程度の割合で天然群と混合したとしても、図3の引田産の当歳群にみられるような遺伝子頻度の相違や、前述のような遺伝的不均衡をもたらすとは考え難い。

仮説4については、前述のさまざまな遺伝的に不自然な現象について、この仮説を適用すると合理的な説明が見つかる場合が非常に多い。多くの養殖業者からの情報から、養殖マダイが小割生簀内で産卵行動を行なっていることは事実であると思われる。しかし、養殖場で産出された卵が正常に孵化、成長しているという確証は現在のところ得られておらず、直接的な証明はできないものの、前述のような間接的な証拠の数々からこの可能性はかなり高いことが示唆される。

この仮説について確証を得るためには、養殖場で産出された卵稚仔の追跡調査、遺伝的マーカーとしてより感度の高いミトコンドリアDNA分析等、今後さらに多面的な調査研究が必要である。

## 参考文献

- [1] 上田幸男・島本信夫：資源生態と漁業実態。回遊性魚類共同放流実験調査事業総括報告書、第Ⅱ期、瀬戸内海東部マダイ班、52-58 (1988)。
- [2] 富山 実：伊勢湾口域のマダイ資源増大に養殖マダイが関与している可能性。平成6年度日本水産学会春季大会講演要旨集、199 (1994)。
- [3] 和歌山県・大阪府・兵庫県・岡山県・香川県・徳島県：昭和63年度広域資源培養管理推進事業報告書、60pp (1989)。
- [4] Taniguchi, N. and K. Sugama : Genetic variation and population structure of red sea bream in the coastal waters of Japan and the East China Sea. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**, 1069-1077 (1990)。
- [5] 谷口順彦・松本聖治・小松章博・山中弘雄：同一条件で飼育された由来の異なるマダイ5系統の質および量の形質に見られた差異。日本誌, **61**, 717-726 (1995)。
- [6] Nei, M. : Genetic distance between populations. *Amer. Nat.*, **106**, 283-292 (1972)。
- [7] 和歌山県・大阪府・兵庫県・岡山県・香川県・徳島県：全国栽培資源調査データ集 (昭和62～平成2年度), 90pp (1991)。