

瀬戸内海東部海域におけるマダイの資源変動および
栽培漁業に関する研究 *¹

島 本 信 夫 *²

Study on Population Dynamics and Stock Enhancement of Red Sea
Bream, *Pagrus major*, in Eastern Waters of the Inland Sea of Japan

Nobuo SHIMAMOTO

キーワード：マダイ，生態，漁業，資源変動，栽培漁業

*1 本論文は東京水産大学に提出した審査学位論文である。

*2 兵庫県但馬水産事務所試験研究室 (Hyogo Prefectural Tajima Fisheries
Experimental Station, kasumi 669-6541)

目 次

第1章 序論	45
第2章 生態	46
2-1 生活圏・分布・回遊	46
2-2 成長・成熟	49
2-3 食性	54
第3章 漁業	58
3-1 漁業実態	58
3-2 年齢別漁獲尾数の推定	64
第4章 資源の変動	73
4-1 資源量の推定	73
4-2 資源診断と資源管理	79
第5章 種苗放流とその効果	89
5-1 種苗放流事業の歴史	89
5-2 放流効果の推定	92
第6章 論議	98
要 約	102
謝 辞	105
文 献	106
Summary	111

第1章 序論

瀬戸内海は本州、四国、九州に囲まれた我が国最大の内海で、面積約22,000km²、海岸線延長距離約6,000km、容積約8,000億トン、平均水深約37m、700有余に及ぶ島々を持ち、紀伊水道、豊後水道、関門海峡によって外海と接している。この半閉鎖性海域には豊富な栄養塩と高い生物生産に支えられて多種多様な漁業資源が生息し、古くから沿岸漁業が発達してきた。瀬戸内海漁業はきめ細かい小回りのきく多種多様な漁業が相互に入り会って操業し、漁業資源を高度に利用しているのが特徴で、その利害関係は複雑多岐にわたり、我が国沿岸漁業の縮図といわれている。瀬戸内海の面積は我が国200海里水域の約0.5%にすぎないが、漁業生産量は我が国沿岸・沖合

漁業全体の5.1%、生産金額の12.7%（1996年、養殖業を除く）を占めている。沿岸には古くから都市が発達し、戦後の経済発展にともない沿岸域の埋立や富栄養化が進み、漁場環境は急速に荒廃した。一方、瀬戸内海漁業は戦後の経済発展とともに漁船の近代化が進み、漁獲能率を著しく向上させた。その結果、需要の強いマダイやサワラなど高級魚の資源状況を悪化させながらも、イワシ類やイカナゴなど栄養段階の低いプランクトン食種を大量に漁獲することによって漁獲量の量的拡大を実現してきた。しかしながら、戦後一貫して増加してきた漁獲量は1987年を境に減少に転じ、現在もなおこの傾向は続いている（Fig. 1.1.）。

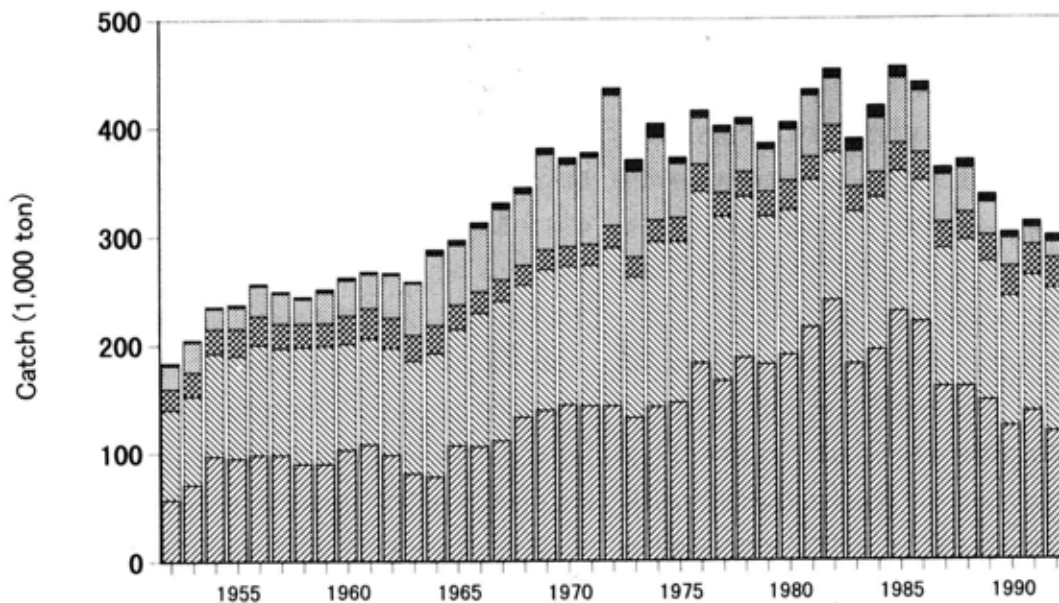







Fig. 1.1. Annual fluctuation of catches of 3 categories of fish (by market price) and shells and algae in the Inland Sea from 1952 to 1992. (after Nagai, 1996)

-  : cheaper fish, including Japanese pilchard, Japanese anchovy, whitebait and Pacific sand lance
-  : moderate fish, including Japanese horse mackerel, mackerels, conger eels, ribbon fish and sea cucumbers
-  : expensive fish, including red sea bream, spotted Spanish mackerel and Japanese flounder
-  : shells
-  : algae

マダイ *Pagrus major* は南シナ海から朝鮮半島にかけての大陸沿岸域とそれに連なる大陸棚および台湾と沖縄を除く日本周辺の沿岸域に広く分布している重要な漁業資源で、日本人には慶事に欠かせない魚として古くから親しまれている。瀬戸内海は東シナ海と並ぶマダイの主産地で、1996年には約4,100トン（全国の25%）、83億円（同32%）を生産している（養殖業を除く）。瀬戸内海では、戦後沿岸域の工業化・都市化にともなう生息環境の荒廃に加えて、漁船の近代化にともなう漁獲能率の向上により、マダイの漁獲量は大きな変動を示すとともに、最近では漁獲物の年齢組成が極端に若齢に偏った組成を示すなど、乱獲特有の現象が顕著である。一方、マダイは他の海産魚種に比べて研究の歴史は古く、近年では栽培漁業の対象種として先駆的に開発が進められた。マダイの放流事業の取り組みは古く、1965年に瀬戸内海栽培漁業センター（伯方島）ではじめて種苗生産試験に取り組み、以来種苗生産技術は飛躍的に発展した。瀬戸内海東部海域では府県を越えて回遊するマダイは共通の資源との認識のもとに、関係府県共同で種苗放流事業の推進に取り組みできた。その歴史は1973年に開始された魚類放流技術開発調査事業に端を発し、以来曲折を経ながら現在へと引き継がれている。この間栽培漁業の制度や

実施体制の整備が進み、1983年以降毎年100万尾以上の人工種苗が継続的に放流されるようになった。これと並行して標識放流試験、資源生態調査、資源評価および放流効果の実証的な推定が継続的に行われた。このような長年にわたる種苗放流事業は貴重な生物情報と資源培養技術をもたらすとともに、漁業者の資源保全意識を醸成し、斬新な資源対策として漁業界に明るい展望をもたらしてきた。しかしながら、全国に先駆けて取り組まれてきた瀬戸内海東部海域におけるマダイの放流事業は技術的にも制度的にも未熟で、現時点では経済事業として成立する段階には到達していない。

1994年国連海洋法条約の発効にともない、1997年我が国200海里水域において許容漁獲量（TAC）の設定による新しい漁業管理制度がスタートした。本格的な200海里時代の到来を迎え、全国各地で科学的かつ現実的な資源管理対策が模索されている。本研究では、瀬戸内海東部海域におけるマダイの基本的な生態、漁業の変遷、資源の変動および放流効果を明らかにし、瀬戸内海東部海域におけるマダイ資源の保全と持続的利用のために望ましい資源管理方策と種苗放流の在り方について議論する。

第2章 生態

マダイに関する生態研究の歴史は古く1920年代に始まる。近年では種苗放流事業の全国的な展開にともない各地から多くの生態情報が得られている。本章では瀬戸内海東部海域で漁獲されているマダイの生活圏、分布および回遊の実態を明らかにし、続いて分布の拠点的な海域である紀淡海峡周辺のマダイを材料として成長、成熟、食性などの基本的な生態を明らかにする。

2-1 生活圏・分布・回遊

方法

1970年代にマダイは栽培漁業の対象種として開発され、種苗生産技術の開発にともない毎年大量の人工種苗が放

流されるようになった。瀬戸内海東部海域では1974年和歌山、徳島、兵庫の3県による広域共同調査体制が発足し、以来標識放流魚の再捕情報に基づく生活圏や回遊経路に関する実証的な情報が蓄積されてきた。瀬戸内海東部マダイ班¹⁾は、1978年以降に得られた再捕情報に基づき瀬戸内海東部海域におけるマダイの生活圏および回遊経路をとりまとめた。ここではその後得られた再捕情報を加えて整理し、瀬戸内海東部海域におけるマダイの分布特性をとりまとめた。なお、標識方法は1978～1984年は主にアンカータグやスパゲティタグ等の体外標識の装着、1985年以降は主に鰭抜去であった。また、再捕情報は1984年までは漁業者からの再捕報告、1985年以降は研究者が市場調査あるいは買い取り調査によって収集した。

結果

1978～1987年の10年間に得られた再捕情報を放流海域ごとに区分し、Table 2.1.に示した。播磨灘、紀伊水道および紀伊水道外域で実施した134回、約242万尾の標識放流から38,134尾の再捕情報が得られた。なお、成魚（4歳以上）の再捕報告はきわめて少なかった。

Table 2.1. Tagging experiment statistics of red sea bream at two stages in eastern areas (Area) of the Inland Sea from 1978 to 1987.

Area	Age	Releasing Frequency	Number of Tagged Fish		Recapture Rate (%)
			Released	Recaptured	
Harima Nada	0	34	500,533	13,793	2.8
	1≤	8	3,168	393	12.4
Kii Suido	0	43	1,700,791	20,352	1.2
	1≤	27	13,914	1,684	12.1
Outer Kii Suido	0	22	201,475	1,912	0.9
Total	0	99	2,402,799	36,057	1.5
	1≤	35	17,082	2,077	12.2
Grand Total		134	2,419,881	38,134	1.6

毎年8月以降全長50～110mmのサイズで放流された0歳魚は、多くが放流直後から放流海域周辺で再捕された。その後徐々に生活圏を広げ、11月頃水温の低下にともない備讃瀬戸や播磨灘の四国沿岸のもの多くは鳴門海峡に移動し、一部はさらに紀伊水道北部の沼島周辺に移動した。一方、備讃瀬戸や播磨灘の本州沿岸のもの多くは明石海峡に移動し、一部は明石海峡周辺の深場で越冬するが、多くは大阪湾へ移動し淡路島東岸をさらに紀淡海峡へ南下し、一部は沼島周辺へ、一部はさらに紀伊半島を南下した。大阪湾の泉南沖では12月までその大半はほとんど移動せず、多くは紀淡海峡に南下して越冬した。紀伊水道の淡路島南岸、湯浅湾、橋湾などではあまり大きな移動はみられず、周辺の岩礁性の岩場で越冬した。このように0歳魚は放流直後からかなり広い範囲を移動分散し、11月以降の水温低下にともなう越冬回遊もまた広い範囲で大規模にみられた。

未成魚（1～3歳）は放流海域周辺で滞留するものと近くの越冬海域に移動するものがみられ、越冬場に近い海域に放流されたものほど移動は小さかった。播磨灘北西部の家島の放流群は放流海域周辺で滞留するものと明石海峡へ移動するものがみられた。明石海峡の放流群は、放流海域周辺で滞留するものと紀淡海峡へ移動するものがみられた。鳴門海峡の放流群は放流海域周辺で滞留す

るものと沼島周辺へ移動するものがみられた。紀淡海峡への放流群は大部分は放流海域周辺で滞留し、一部は大阪湾、紀伊水道へ移動した。紀伊水道北部の沼島や紀伊水道中央部での放流群の多くは沼島周辺で滞留し、一部は鳴門海峡や紀淡海峡へ移動した。紀伊水道南部の湯浅湾や伊島の放流群は、ほとんどが放流海域周辺で滞留した。このように未成魚の放流群には0歳魚のようなダイナミックな移動分散はみられず、多くは放流海域周辺で滞留した。

考察

瀬戸内海東部海域で漁獲対象となっているマダイの生活圏については、古くから漁業者の間で「入り込み説」が信じられていた。入り込み説は春の産卵群の漁期が水温上昇の早い太平洋から順次水温上昇の遅い瀬戸内海の奥部に移ってくることから、あたかも産卵群が太平洋から瀬戸内海に移動してくるよう考えられたものである。梶山³⁾は漁況分析などを根拠に入り込み説を否定し、終生瀬戸内海を生活圏とする「非入り込み説」を主張した。その後、田内・三善³⁾は西日本各地の漁獲統計資料の分析から、大阪湾で漁獲されるマダイは紀伊水道から内湾へ入り込むこと、海老名⁴⁾は鱗相などから紀伊水道外域と瀬戸内海産（明石、鳴門、由良）のものは別の系統群であるとした。その後も川瀬⁵⁾は成長情報を分析し、瀬戸内海東部のマダイは瀬戸内海中西部とは別のグループで、紀伊水道およびその隣接海域におけるマダイの系統はひとつであるとした。阪本・矢野⁶⁾は漁況分析などから紀伊水道と紀伊水道外域で漁獲されるマダイは別の系統群であるとし、非入り込み説を支持した。このように1920年代以降の研究によって太平洋からの入り込み説は否定され、今日では紀伊水道を含む瀬戸内海東部海域を終生の生活圏とする非入り込み説が妥当とされている。しかしながらこの時代までの系統群に関する研究は、漁況、鱗相、成長などの間接的な情報に基づいて瀬戸内海東部海域内外におけるマダイの回遊を検討したもので、生活圏の具体的な確定や回遊経路の実証は後の標識放流試験に待たざるを得なかった。

1974年に瀬戸内海東部海域におけるマダイの広域共同調査体制が発足し、以来種苗生産技術の開発にともない毎年多くの人工種苗が標識放流されるようになった。放

流尾数は年を追って増え、発足当初は数万尾であったが1983年以降は100万尾を越え、標識放流尾数も1977年以降10万尾を超えるようになった。これにともない再捕報告も年を経るごとに増え、放流-再捕情報に基づく移動回遊に関する情報が累積的に蓄積されていった。

阪本⁷⁻⁹⁾、阪本ほか¹⁰⁾は紀伊水道内外における生活圏を把握するための調査を精力的に行った。まず和歌山県友ヶ島および湯浅湾で1歳以上の天然未成魚群3,455尾の標識放流を行い、一部は紀伊水道東部から明石周辺に移動するが、未成魚期の群移動は大きなものではないこと⁷⁾、紀淡海峡、紀伊水道、紀伊水道外域および熊野灘の4海域で漁獲されたマダイの外部形態を測定したところ内海群と外海群で有意差の認められる形質のあること¹⁰⁾、紀伊水道外域の和歌山県白浜沖で1歳以上の天然群994尾の標識放流を行いそのほとんどが放流海域周辺で再捕され紀伊水道への移動は皆無であったこと⁸⁾、1984年冬季に起こった異常低水温により紀伊水道北部で越冬中のマダイが和歌山県側の紀伊水道南部に大量に南下したこと⁹⁾を報告し、紀伊水道における分布、回遊の実態を明らかにした。

瀬戸内海東部マダイ班¹¹⁾は1978~1987年に実施した標識放流試験から3万尾以上に及ぶ再捕情報を総括し、瀬戸内海東部海域におけるマダイの生活圏を紀伊水道、大

阪湾、播磨灘および備讃瀬戸の範囲とした。このグループは「瀬戸内海東部群マダイ」と呼ばれ、紀伊水道外域および備後灘・燧灘以西に生息するグループとは別のものとされた。これにより瀬戸内海東部海域におけるマダイの生活圏は放流-再捕情報に基づき実証されたが、放流群のごく一部には隣接する紀伊水道外域や燧灘に移動する例もみられ、隣接海域との交流については今後の調査が待たれる。

系統群の生活圏を規定する要因のひとつとして、水塊分布が移動分散に大きな影響を与えていることが考えられる。瀬戸内海東部群マダイの生活圏は、南に紀伊水道外域、西に備後灘・燧灘と接している。紀伊水道外域は黒潮流域に位置し、備後灘・燧灘は瀬戸内海に流入する豊後水道系水の東端に位置している。¹¹⁾このことから瀬戸内海東部群マダイは、紀伊水道を通過して瀬戸内海に流入する黒潮支流と備讃瀬戸を分水嶺とする東部瀬戸内海の内湾水との混合域を生活圏とする系統群といえる。

分布・回遊については、梶山¹²⁾、田中¹³⁾、吉田・鍋島¹⁴⁾、松田・坂口¹⁵⁾、阪本ほか¹⁰⁾、瀬戸内海東部マダイ班¹¹⁾によって報告されている。1970年代以前は主に漁況分析、1980年代以降のものは主に放流-再捕情報に基づいて検討されたものである。これら既往の知見を要約し、瀬戸内海東部群マダイの生活圏および分布・回遊を Fig. 2.1に示した。

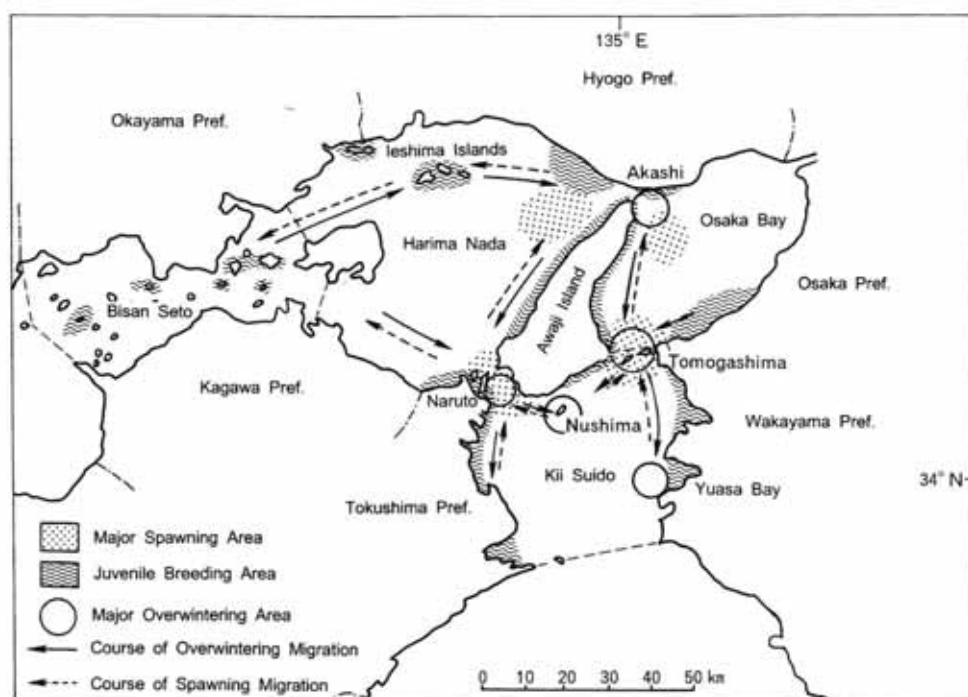


Fig. 2.1. Habitat and migration of the eastern stock of red sea bream in the Inland Sea.

春季浮遊分離卵として産み出されたマダイは、6月頃尾叉長30mm前後の稚魚に成長すると、産卵場周辺の水深10m以浅の砂質帯の海底に群生するようになる。瀬戸内海東部海域で稚魚が特に濃密に生息する海域は、泉南沖、湯浅湾、淡路島周辺、明石市二見沖、家島諸島周辺、備讃瀬戸島嶼部周辺などである。8月中旬以降尾叉長80~90mmに成長して幼魚後期になると、成長の早い個体から順次沖合へと移動し生活圏を拡大する。夏から秋の水温の高い季節には瀬全域に広く分布し、活発な索餌活動を行う。11月頃水溫の低下とともに越冬回遊を開始するが、越冬にともなう回遊経路についてはすでに述べたとおりである。一部は瀬内の岩礁性の深場で越冬するが、多くは冬季の水溫が10℃を維持する紀伊水道に移動し越冬場に集合する。0歳魚は沿岸域の広い範囲で発生し、成長にともない分布を沖合へ広げるため、越冬回遊は海域全域に及ぶ。主な越冬場は水深30m以深の潮通しの良い岩礁域に形成され、近年では淡路島周辺の3つの海峡域（明石、鳴門、紀淡）、沼島、湯浅湾沖など相対的に水溫の高い紀伊水道北部を中心に形成される。

越冬場で越冬した未成魚（1~3歳）は春の水溫上昇とともに索餌のため活動範囲を広げる。未成魚の回遊経路については、先に述べたとおり越冬海域周辺で滞留することが多く、0歳魚のようなダイナミックな移動は行わない。

成魚（4歳以上）は春季水溫が上昇し14℃前後になると産卵のため大規模な回遊を開始する。産卵場は主に淡路島を囲む3つの海峡域周辺の瀬や礁のほか、播磨瀬の家島諸島周辺、備讃瀬戸の島嶼部周辺など広い範囲に形成される。資源量水準の高かった戦前は、越冬を終えた大量の産卵群が紀淡海峡、鳴門海峡あるいは明石海峡を経由して播磨瀬からさらに備讃瀬戸へ入り込み、春漁として活況を呈していた。多々良¹⁹⁾は、その当時備讃瀬戸の番の州などは瀬戸内海を代表する一大産卵場であり幼稚魚の一大生息場であったが、1960年代以降海砂利採取などによる急激な人為的環境変化によるアマモ場の壊滅的な減少により、産卵場並びに幼稚魚生育場としての機能は著しく損なわれ、戦前のような大規模な回遊はみられなくなったと報告している。しかしながら、1990年代になると播磨瀬北西部や備讃瀬戸では産卵親魚の漁獲量に回復の兆しが見え始め、今後の動向が注目される。

2-2 成長・成熟

材料と方法

材料は紀淡海峡に面した洲本市由良地区（Fig. 2.2）において、1981年5月から1982年6月に小型底びき網、一本釣および刺網で漁獲された1,178個体を標本として用いた。標本の雌雄、年齢、漁法をTable 2.2.に示した。

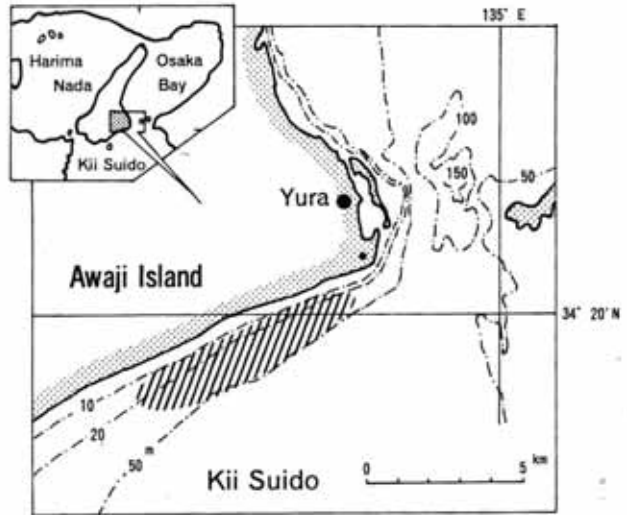


Fig. 2.2. Sampling area (hatched area) of red sea bream.

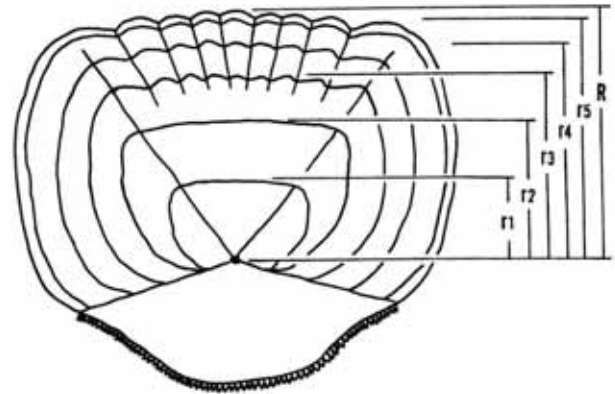


Fig. 2.3. Schema of scale reading for age determination of red sea bream.

年齢査定のため、胸鰭付根後方の鱗を10枚程度採取した。採取した鱗を5%水酸化カリウム溶液に1昼夜程度浸漬した後、焦点のはっきりした標準的な6枚の鱗を選び、標本として用いた。鱗を万能投影機で10倍に拡大し、鱗長（R）と輪紋長（ r_n ）を計測した。鱗長はFig. 2.3.に示すように焦点から被覆部外縁までの距離とし、

Table 2.2. Number, sex, age, and fishing gear of specimens for 8 months from 1981 to 1982, for growth and maturity analysis.

Month	Number	Sex			Ages								Fishing Gear		
		Male	Female	Unknown	0	1	2	3	4	5	6	≥7	a) SS	b) PL	c) GN
May 1981	260	43	36	181	0	173	29	47	5	5	0	1	207	53	-
Jul	180	39	39	102	0	100	40	21	10	3	2	4	125	55	-
Sep	58	22	24	12	0	22	22	10	1	2	1	0	11	47	-
Nov	148	46	39	63	65	80	2	1	0	0	0	0	72	76	-
Jan 1982	26	8	10	8	6	10	1	1	1	1	4	2	9	17	-
Apr	127	38	57	32	37	61	9	7	8	4	1	0	127	-	-
May	356	14	21	321	0	323	13	11	5	2	1	1	350	-	6
Jun	23	14	9	0	0	0	11	7	3	2	0	0	-	-	23
Total	1,178	224	235	719	108	769	127	105	33	19	9	8	901	248	29

a) Small-scale Danish Seine
 b) Pole and Line
 c) Gill Net

同時に同一直線上の焦点から各輪紋までの距離を輪紋長とした。輪紋は三尾¹⁾、村上・岡田²⁾、猪子ほか³⁾の規定に従い、隆起線の乱れが外縁とはほぼ平行に同心円上に連続するものを輪紋と判定し、最も内側のものから順次第1輪 (r_1)、第2輪 (r_2)・・・とし、第6輪まで計測した。このようにして得られた6枚の鱗の鱗長および輪紋長の算術平均を各個体の測定値とした。輪紋の形成時期を知るため、輪紋の観察された547個体について鱗の縁辺成長率 (EG) を次式によって求めた。

$$EG = \frac{R - r_1}{r_1 - r_{1-1}} \times 100$$

ただし、Rは鱗長 (mm)、 r_1 は最外輪紋長 (mm)である。

標本のうち性別を判別できた個体について、次式により生殖腺熟度指数 (GI) を求めた。

$$GI = \frac{GW}{BW - GW} \times 10^3$$

ただし、GWは生殖腺重量 (g)、BWは体重 (g)である。また産卵期 (5~6月)における3歳魚の雌の卵巣中央部の卵巣卵を万能投影機で40倍に拡大し、無作為に約200粒の卵径を測定した。

結果

1. 輪紋形成時期と満年齢時の尾叉長

鱗の縁辺成長率 (EG) の月別頻度分布をFig. 2.4.に示した。鱗は春以降11月頃まで成長するがその後成長は停

滞し、翌年4月に輪紋が新しく形成された個体が現れ、5月にはすべての個体で新しい輪紋が形成され再び成長

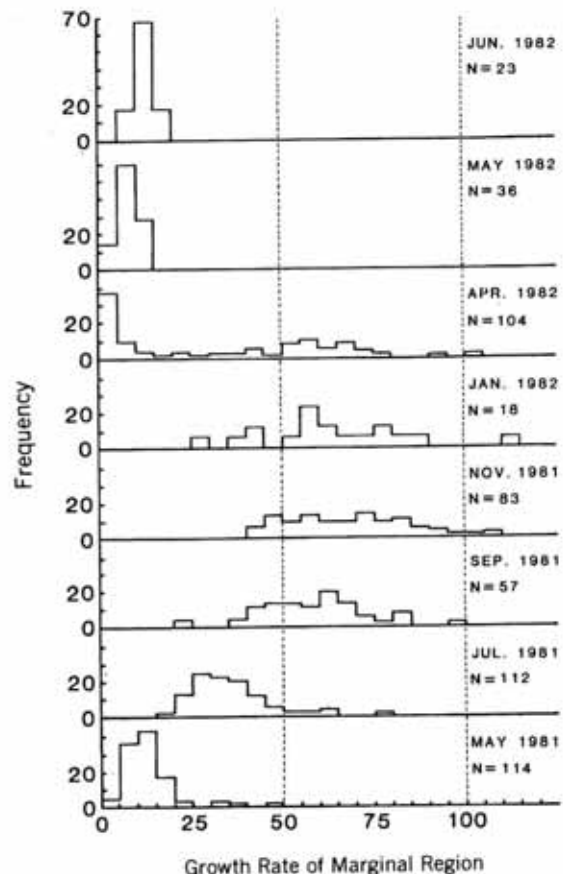


Fig. 2.4. Monthly distribution of the marginal rate (%) of scales due to irregular sampling from May 1981 to June 1982. N: sample size

を開始した。したがって輪紋は年1回4~5月頃形成され、年輪と認められた。なお9月以降漁獲対象となる尾叉長10cm前後の0歳魚には輪紋は認められず、その後の連続採集により翌年の4月頃第1輪が形成されることが観察された。このことから輪紋数と満年齢は一致した。

2. 成長

測定結果から尾叉長 (L : cm) に対する体重 (W : g) の相対成長式を求め、

$$W = 0.03045 \cdot L^{2.96} \quad (n = 859)$$

を得た。後述するように産卵盛期が5月であることから、5月時の標本の平均尾叉長から年齢を t とし定差式²⁰⁾を求め、

$$L(t+1) = 10.5457 + 0.8553 L(t) \quad (r = 0.999)$$

を得た。これから Bertalanffy²⁰⁾の成長式を求め、

$$L(t) = 72.90(1 - \exp(-0.1563(t+0.4412)))$$

を得た。先に求めた相対成長式から、体重の成長式は

$$W(t) = 7864(1 - \exp(-0.1563(t+0.4412)))^{2.96}$$

を得た。満年齢時 (5月) の計算尾叉長および体重を Table 2.3. に示した。

Table 2.3. Fork length (FL) and body weight (BW) estimated from the growth equation of red sea bream in eastern waters of the Inland Sea.

Age	FL(cm)	BW(g)
1	14.7	75
2	23.1	279
3	30.3	614
4	36.5	1,051
5	41.8	1,555
6	46.3	2,094
7	50.1	2,643
8	53.4	3,180
9	56.2	3,692
10	58.6	4,171
11	60.7	4,612
12	62.5	5,012
13	64.0	5,372
14	65.3	5,693
15	66.4	5,977

3. 成熟と産卵

生殖腺成熟度指数 (GI) の雌雄別月別頻度分布を Fig. 2.5. に示した。

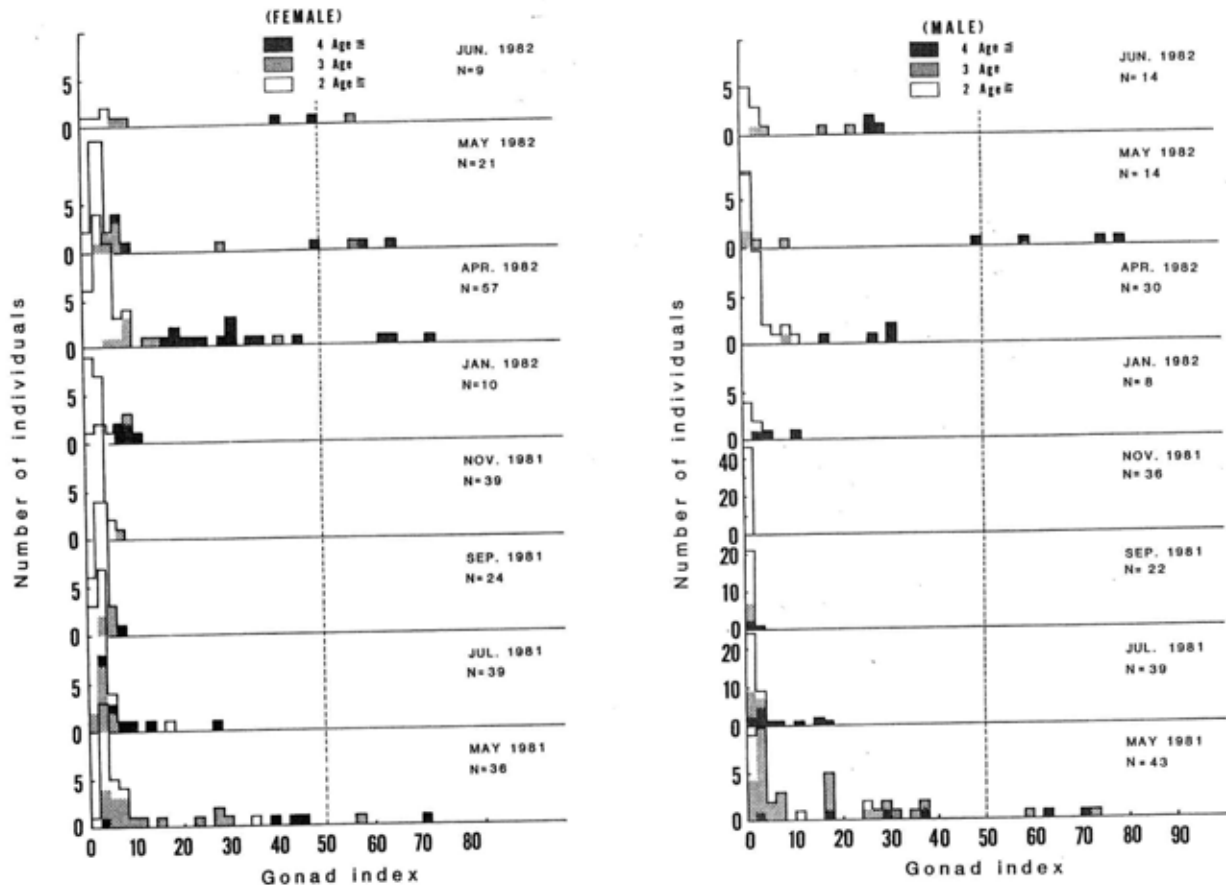


Fig. 2.5. Distribution of the gonad index by sex and age during the period from May 1981 to June 1982

雌雄とも年齢によってGIの季節変化に顕著な差がみられた。雌雄とも4～6月以外はGIは15以下の値で推移したが、4月になると3歳の一部と4歳以上のほとんどの個体でGIの急激な増加がみられたのに対し、2歳以下ではごく一部の個体を除き季節によるGIの変化は認められなかった。

GIの変化と成熟過程の関係をみるため、3歳魚の標本の一部について測定した卵巣卵径の頻度分布をFig.2.6.に示した。Fig. 2.6.には卵巣の成熟段階と卵巣卵径の関係²²⁾に従い、卵径のモードが成熟段階にあるもの(A)、発育期にあるもの(B)および未熟期のもの(C)の例を示した。AおよびBに示したGIの高い個体では、3歳魚でも成熟段階と判断される卵径0.6mm以上の卵²²⁾が出現し、卵径1mm前後の透明な完熟卵も認められた。なお6月の標本では弛緩した卵巣をもつ個体が認められたが、これらはすでに産卵が終了した状態と思われた。以上から、当海域におけるマダイの産卵期は4～6月、産卵盛期は5月と推定された。

成熟開始年齢を調べるため、産卵盛期に当たる5月時の標本について、尾叉長とGIの関係をFig. 2.7.に示した。

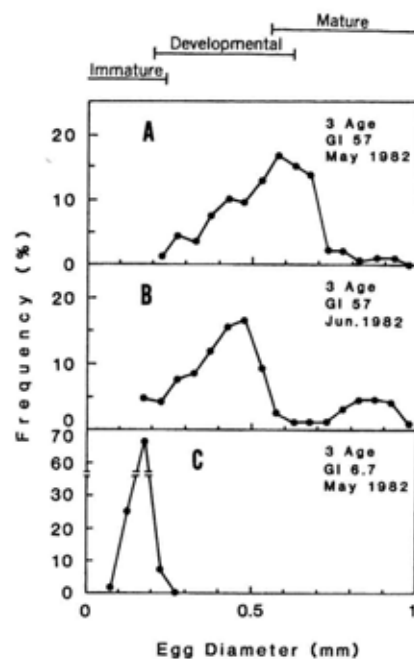


Fig. 2.6. Frequency distribution (%) of ovarian egg diameter in Age 3 fish, sampled in May (A,C) and June (B), 1982. Scales above the figure indicate egg developmental stage. GI: gonad index

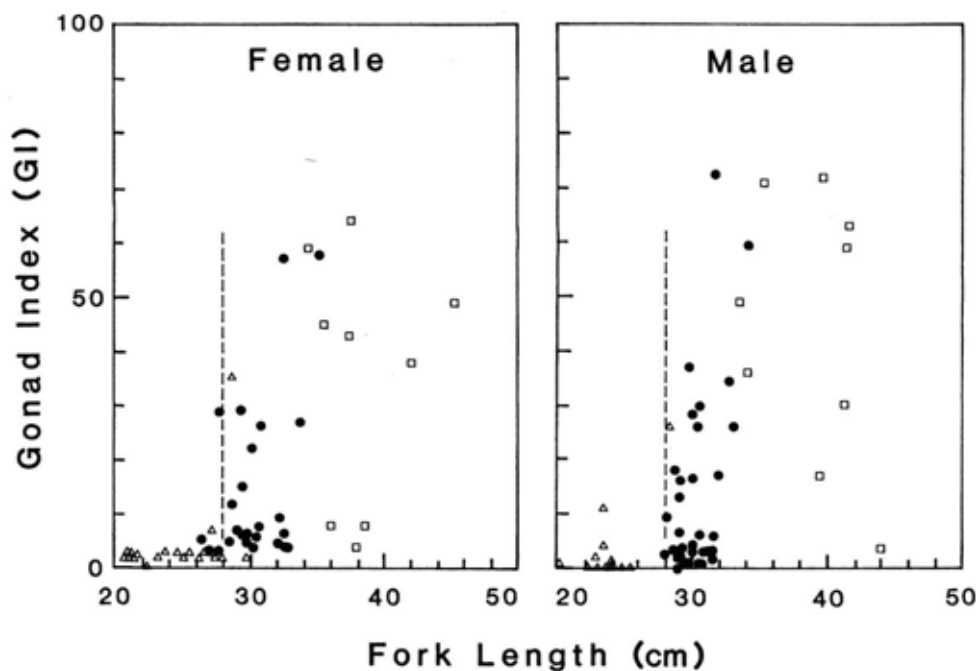


Fig. 2.7. Relationship between fork length and gonad index by sex and by age. Vertical broken lines indicate the size at first maturity. Age (symbols): \triangle , Age 2; \bullet , Age 3; \square , Age 4

雌雄とも尾叉長28cm（体重500g）を超える頃からGIが15を超える個体が認められ、2歳でも28cmを超える雌雄各1個体に成熟が認められた。GIが15以上を成熟の目安とすると、3歳では雌の30%、雄の40%程度に成熟が認められる一方、28cmを超えても未成熟な段階のものも多かった。4歳以上では大部分が高いGIを示した。なお4歳以上の一部にはGIの低い個体も認められたが、卵巣の状況からこれらはすでに産卵を終えた個体と考えられた。また雌の比率は51.2%、95%信頼区間は0.47～0.56と推定され、性比に有意差は認められず1:1と判断された。

考 察

マダイの年齢と成長に関する研究は多く、年齢形質として鱗がよく用いられている。鱗が年齢形質として優れており、輪紋数と年齢が一致することについては、多くの研究者による報告がある。^{1,10,17,18,24-30)} 輪紋について、三尾³¹⁾は隆起線の密度変化が鱗の構造の変化を表すことを、猪子ほか³²⁾は走査電子顕微鏡による観察から、冬季に成長を停止していた鱗が春に成長を開始するときに生じる隆起線の乱れを輪紋と規定し、輪紋は隆起線の成長休止および成長再開の表示であることを報告している。今回の調査でも輪紋は年1回4～5月頃形成され、その後再び隆起線の形成が開始されることが認められた。今回得られた成長式を1960年以降に得られた本邦産のものと比較し、Fig. 2.8.に示した。瀬戸内海東部群マダイは成長の早いグループといえる。

産卵期については全国各地で調べられ、水温と光に密接な関係があるとされている。³²⁻³⁴⁾ 一般に水温の上昇の早い海域ほど産卵期が早い傾向がみられ、九州沿岸や瀬戸内海では14～15℃になると産卵が始まり、21～23℃で終了するとされている。³⁵⁾ 兵庫水試が実施した海洋観測結果によると、調査海域周辺の50m深水温（1976～1997年平均）は3月10.7℃、4月13.1℃、5月16.2℃、6月18.8℃、7月20.9℃であった。生殖腺の熟度から産卵期を4～6月としたが、水温の関係からも既往知見とよく一致した。

成熟と成長について、松浦³⁶⁾はマダイは年齢に関係なくある大きさに達すると成熟を開始するとし、北島³⁷⁾は

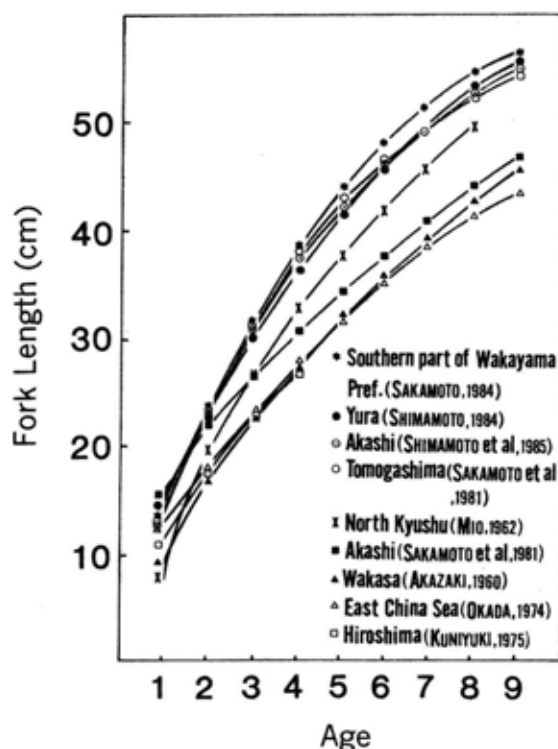


Fig. 2.8. Growth curves of red sea bream estimated from several waters of western Japan.

マダイの成熟は年齢より体長に密接に関係することを報告している。紀淡海峡周辺海域では雌雄とも尾叉長28cm、体重500gを越える頃から成熟が開始され、そのなかには雌雄各1個体ずつ2歳魚も含まれていた。しかし3歳魚の多くは尾叉長28cmを超えるにもかかわらず、未成熟な個体の方が多く出現した。一方、明石海峡周辺海域では尾叉長24cmを超える頃から成熟がみられ、3歳の雌の成熟率は約70%と紀淡海峡周辺海域より早熟の傾向がみられた。³⁸⁾これは同じサイズでも、成熟した個体の多くが産卵のため紀伊水道から明石方面に回遊し、未成熟な個体はそのまま紀伊水道に留まった結果と考えられる。北島・伏見³⁹⁾は、養成マダイ2年魚の産卵に関して、水槽内で自然産卵された卵のふ化率が低かったことを報告している。古賀⁴⁰⁾は親魚の大きさと産卵数との関係を調べ、産卵数は親魚の体重が1kgを越えるあたりから増大することを報告している。瀬戸内海東部海域で体重1kgに達するのはほぼ全数が成熟する満4歳時であり、3歳時には雌の成熟率は紀淡海峡周辺で約30%、明石海峡周辺では約70%であった。このことから瀬戸内海東部海域におけるマダイの成熟は2歳のごく一部にみ

られるものの、個体群としての実質的な再生産は3歳の約半数程度および4歳以上によって行われているものと考えられる。

2-3 食性

材料と方法

標本の採集は紀淡海峡に面した洲本市由良地区で実施した (Fig. 2.2.)。採集海域は水深10~50m, 海底地形の複雑な礫混じりの粗砂から砂泥の海域である。0歳魚の採集は1981年6~9月および1985年9月~1986年2月に小型底びき網(板びき網)を日没前後に数回曳網して行った。採集に用いた漁網の魚捕部の目合は、1981年は16.8mm, 1985~1986年は27.5mmであった。得られた0歳魚は速やかに10%ホルマリン水溶液で固定した。胃内容物の分析には採集した2,535個体から任意抽出した391個体(15%)を用いた。また越冬期の標本数を確保するため近隣の福良地区(1986年1月, 26個体)および沼島地区(1986年2月, 28個体)の漁獲物についても調べた。

1歳以上のマダイについては1981年5月~1982年5月および1988年6月と11月に小型底びき網および一本釣の漁船から購入した303個体のうち、消化の進んでいない

108個体の胃内容物を分析した。標本は入手後速やかに胃部を摘出し、10%ホルマリン水溶液で固定した。なお、標本の年齢組成は鱗の輪紋による年齢査定により、1歳が38個体、2歳が17個体、3歳が18個体、4歳以上が35個体と推定された。

成長と肥満度の季節変化を調べるため、1985年発生群を1985年9月以降14ヶ月間毎月小型底びき網で採集し、得られた1,141個体の肥満度(体重/尾叉長³)を求めた。また環境中の餌料生物の生息状況を調べるため、マダイの着底初期に当たる1988年6月9日夕刻に稚魚ネット(口径1m, 網目GG54(0.328mm))を用いて表層と海底上1m層を約2ノットで10分間の水平曳きを行い、採集したマクロプランクトンの同定と計数を行った。さらに1986年5月~1987年4月に毎月1回、日没前後に餌料曳網(釣り餌用のエビ類を採集する小規模な底びき網)を用いて、底生生活期以降の主餌料であるエビ類の採集を行い、種の同定と計数を行った。

結果

1. 胃充満度と空胃率の季節変化

0歳魚: 調査に用いた0歳魚の採集データおよび測定結果をTable 2.4.に示した。

Table 2.4. Sampling date, number (No), fork length (FL) and body weight (BW) for stomach content examination for red sea bream in 2 age groups of Age 0 (Age 0) and 1 or over (Age 1+). In column Age 0: FL and BW shown by mean and standard deviation. In column Age 1+: FL and BW shown by range.

Age 0				Age 1+				
Date	No	FL (mm)	BW(g)	Date	No	FL(mm)	BW(g)	Age
Jun 19, '81	30	31.5 ± 3.9	1.0 ± 0.3	May 27, '81	33	264 - 542	392 - 3,445	2 - 7
Jul 17	90	48.5 ± 8.3	3.1 ± 1.8	Jul 22-28	23	295 - 595	557 - 3,816	2 - 7
Aug 28	42	95.6 ± 11.8	23.3 ± 9.0	Sep 10	14	259 - 483	428 - 2,394	2 - 6
Sep 18	30	95.3 ± 23.4	25.0 ± 16.3	Jan 22, '82	10	320 - 646	649 - 4,760	2 - 7
Sep 6-30, '85	76	95.5 ± 12.4	23.2 ± 9.1	Apr 19	20	252 - 500	376 - 2,510	1 - 6
Oct 1-4	7	107.6 ± 12.4	33.0 ± 13.7	May 26	8	327 - 564	709 - 3,438	3 - 7
Nov 14	38	129.6 ± 12.9	61.0 ± 17.8	Jun 10, '88	159	117 - 405	39 - 1,423	1 - 4
Dec 16	33	140.4 ± 12.9	71.1 ± 20.0	Nov 11	36	185 - 348	135 - 898	1 - 3
Jan 16, '86	26	124.8 ± 15.6	48.8 ± 17.5					
Feb 13	19	136.4 ± 15.4	59.4 ± 19.0					

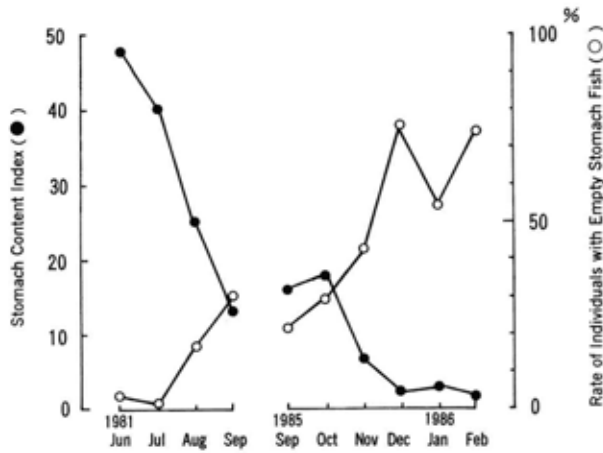


Fig. 2.9. Monthly change of stomach content index (closed circle) and rate (%) of individuals with empty stomach fish (open circle) during the period from July to September, 1981, and from September, 1985 to February, 1986.

最小個体は尾叉長23mmの底生生活に移りつつある稚魚であった。胃充満度指数（胃内容物重量 / (体重 - 胃内容物重量) × 1000）および空胃率（空胃個体数 / 調査個体数 × 100）の季節変化をFig. 2.9.に示した。胃充満度指数は6月以降月を追うごとに減少し、空胃率は逆に増加して冬季には75%程度に達した。

摂餌の対象は腔腸動物から脊椎動物まで8動物門にわたった。主な動物群は橈脚類、端脚類、エビ類などの甲殻類のほか多毛類、尾虫類、魚類などであった。餌料生物の出現状況をTable 2.5.に示した。成長や季節の推移とともに0歳魚の食性は次のように変化した。

Table 2.5. Stomach contents on Age 0 red sea bream at 3 stations; Yura, Fukura and Nushima. Sample size, fish with stomach contents (Predators) and individuals of prey animals (Prey) were recorded. Percentage in parentheses include the superior taxon's rate.

Items	Yura										Fukura	Nushima
	1981 Jun	Jul	Aug	Sep	1985 Sep	Oct	Nov	Dec	1986 Jan	Feb	1986 Jan	1986 Feb
Coelenterata					3.2							
Annelida												
Polychaeta	0.1	3.4	1.2	23.2	5.4	10.5	16.6	11.3	27.8		30.8	0.3
Echiuroidea					0.5			0.8				
Mollusca		0.1	0.4									
Arthropoda												
Copepoda	89.2	3.3										
<i>Acartia omorii</i>	(85.1)											
Cirripedia							4.8	1.6	27.8	60.0	38.5	
Amphipoda	0.3	5.1	2.4	8.9	2.7		68.3	81.5	16.7	20.0	7.7	
Natantia	0.1	3.4	62.8	48.2	78.9	84.3	2.8				7.7	2.5
<i>Leptochela gracilis</i>	(0.1)	(0.5)	(57.2)	(39.3)	(60.5)	(15.8)						
Anomura	0.1			1.8	1.6		0.7	2.4				
Brachyura		1.2	3.2	3.6	1.1		2.8		5.6			
Decapod larvae	8.6	13.7			0.5		0.7					92.1
Others	1.2	6.8	9.6	8.9	3.2		0.7	1.6		20.0	7.7	0.3
Chaetognatha												
<i>Sagitta</i> sp.		2.4										4.7
Echinodermata		0.1	2.0		1.6		2.1	0.8	22.2			
Protochordata												
<i>Oikopleura</i> sp.		56.5										
Pisces												
Osteichthyes	0.1	1.1	0.4	5.4	1.1	5.3	0.7				7.7	
Eggs and larvae	0.3	2.9	18.0									
Sample size	30	90	42	30	76	7	38	33	26	19	26	28
Predators	29	89	35	21	60	5	22	8	12	5	10	12
Prey	1,771	761	250	56	185	19	145	124	18	5	13	317

6月は浮遊性橈脚類の *Acartia omorii*, 7月は *Oikopleura* sp. やエビ類のゾエア幼生などの動物プランクトンが主要な餌料であった。着底初期の6月には *A. omorii* が餌料生物の出現個体数の85%を占め、最も顕著な例では尾叉長32mm, 体重0.9gの稚魚が426個体の *A. omorii* を摂餌していた。稚魚期の胃内容物重量は平均で体重の4~5%, 最大で10%強に達した。8月に尾叉長10cm前後に成長すると主要な餌料は動物プランクトンからベントスへと変化し, 10月までエビ類とりわけソコシラエビ *Leptochela gracilis* が主要な餌料生物として出現した。一方, 11月になるとこれまで成長にともない小型種から大型種へと変化してきた傾向がみられなくなり, 11~12月には端脚類や多毛類, さらに水温が低下する1~2月になるとフジツボ科の蔓脚やフサゴカイ科の触手など固着性ベントスの体の一部が多く出現した。なお近隣の福良および沼島地区で採集した越冬期の0歳魚の胃内容物からも, 固着性ベントスや動物プランクトンが多く出現した。

1歳以上: 調査に用いたマダイの採集データおよび測定結果はTable 2.4.のとおりである。餌料生物の出現状況をTable 2.6.に示した。摂餌の対象は腔腸動物から脊椎

動物の7動物門にわたり, 8月以降の0歳魚と共通した餌料種が多く, どの年齢のマダイも周年を通じてエビ類を主餌料としていた。特に春から秋の索餌期にはソコシラエビ属のソコシラエビとマルソコシラエビ *L. sydniensis* を選択的に摂餌している例が多く認められた。最も顕著な例として1981年7月に体重2,321gのマダイがソコシラエビばかり2,082個体(約77g, 体重の3.4%)を摂餌していた。エビ類以外では1981年9月に口脚類のアリマ幼生, 1982年1月にイボイチョウガニ *Cancer gibbosulus* が多かったほか, 1988年6月にはエビ類のほかカウミホタル科, 多毛類, 魚類など幅広い動物群が出現した。1988年11月にはソコシラエビ属が大部分を占めたが, ムラサキハナギンチャク *Cerianthus filiformis* の触手やフジツボ科の蔓脚といった0歳魚で冬季にみられた固着性ベントスが少数ながら出現した。0歳魚と比較すると成長や越冬集合にともなう食性の変化は0歳魚ほど顕著にはみられなかった。またソコシラエビ属を主体とした幅広い動物群を摂餌している点は共通しているが, 餌料生物は大型化し動物プランクトンや固着性ベントスの出現は少なかった。

Table 2.6. Stomach contents on red sea bream of Age 1 or over. Sample size, fish with stomach contents (Predators) and individuals of prey animals (Prey) were recorded. Percentage in parentheses include the superior taxon's rate.

Items	1981			1982			1983		
	May	Jul	Sep	Jan	Apr	May	Jun	Nov	
Coelenterata								0.6	
Nemertinea								0.1	
Annelida									
Polychaeta		0.8			5.8		21.6	2.7	
Echiuroidea					4.7		1.4		
Mollusca	0.1						6.8	0.4	
Arthropoda									
Ostracoda							32.4		
Cirripedia								0.1	
Amphipoda							1.4	0.1	
Natantia	99.7	99.0	38.7	16.7	88.4	68.8	10.8	95.4	
<i>Leptochela gracilis</i>	(99.6)	(98.8)	(36.8)	(16.7)		(68.8)	(2.7)	(58.4)	
<i>L. sydniensis</i>							(1.4)	(35.8)	
Anomura						12.5	1.4	0.1	
Brachyura	0.2	0.0		75.0		6.3	4.1	0.1	
Stomatopoda									
Alima larvae			61.3						
Echinodermata		0.1				6.3	2.7	0.3	
Pisces				8.3	1.2	6.3	17.6		
Sample size	33	23	14	10	20	8	159	36	
Predators	14	10	12	6	9	6	29	22	
Prey	1,017	4,249	2,592	36	86	16	74	787	

2. 成長と肥満度の季節変化

1985年発生群についてその年の9月以降14ヶ月間の尾叉長と肥満度の推移をFig. 2.10.に示した。

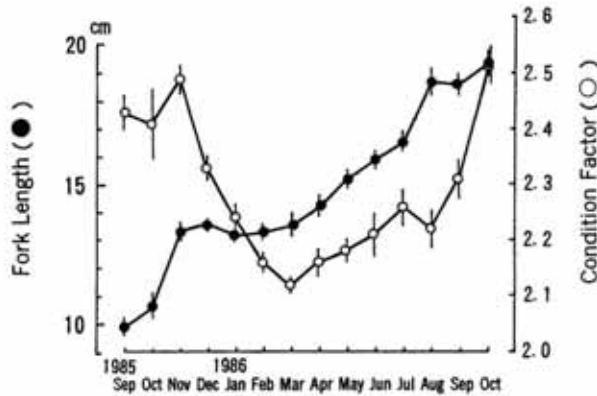


Fig. 2.10. Monthly change of fork length (closed circle) and condition factor (open circle) in the 1985 year class stock during the period from September, 1985 to October, 1986.

索餌期の4~11月にはソコシラエビ属を主体とするエビ類を活発に摂餌し速やかな成長を示したが、水温が低下し越冬集合の始まる11月から越冬の終了する翌年3月まで成長は停滞した。4月以降水温が上昇するとエビ類を主体に活発に摂餌し再び速やかな成長を示した。一方、栄養の蓄積状態を反映する肥満度は索餌期後半の10~11月に最大、越冬期の終了する3月に最小となる季節変化を示した。越冬期に当たる11月から3月にかけての肥満度の低下は著しく、越冬期間中の体重の減少率は11月の平均サイズの0歳魚(体重61g)で約15%に達した。

3. 餌料生物の生息状況

1988年6月9日にマクロプランクトンを採集した結果、10種類を超える浮遊性橈脚類が採集された。*Calanus sinicus* と *Paracalanus parvus* が優占し、6月にマダイ稚魚が選択的に摂餌していた *A. omorii* は表層から1.6個体/m³ (0.2%)、底層から14個体/m³ (1.2%) が採集された。

1年間毎月行った餌料曳網採集により15種類のエビ類を採集した。出現個体数ではサルエビ *Trachypenaes curvirostris* が過半数を占め、主餌料として出現したソコシラエビとマルソコシラエビの出現個体数は全体の1.6%および8.3%であった。

考察

基本的な生態特性である食性について、我が国周辺における分布域のほぼ全域から多くの知見が報告されている。³⁸⁻⁴¹⁾ 仔魚から成魚に至る全生活史における食性が報告されているが、幼稚魚期に関するものが大部分を占めている。これまで全国各地から報告されているマダイの食性は、それぞれの海域特性を反映しつつも甲殻類を主とした幅広い動物群を摂餌していることで共通している。当海域においても同じような結果が得られ、餌料種的生活型も多様でマダイは典型的な広食性魚類といえる。しかし胃内容物には季節によって変化がみられ、春から秋にかけての索餌期には特定の種を選択的に摂餌し、11月以降水温が低下し越冬集合が始まると胃内容物は急速に減少した。

着底初期の6月にはマクロプランクトンの採集結果では10種類を超える浮遊性橈脚類が同定されたにもかかわらず、マダイ稚魚の胃内容物は *A. omorii* を主餌料とする単純な組成を示した。*A. omorii* は我が国の沿岸域にごく普通にみられる浮遊性橈脚類で、海底直上に濃密な群を形成することが知られている。³⁹⁻⁴²⁾ 長崎県志々伎湾では着底初期の稚魚の胃内容物の大部分が本種と *A. steueri* の2種で占められ組成がきわめて単調であったことが報告されている。⁴³⁾ この原因として田中⁴⁴⁾ は、海底上に形成される濃密な *Acartia* の群に遭遇したマダイ稚魚が効率よく集中的にこれを捕食しているとしている。続く7月に主餌料として出現する *Oikopleura* sp. について、兵庫水試が毎月紀伊水道北部で実施しているプランクトン調査によると、当海域で出現量の多い尾虫類はオナガオタマボヤ *O. longicauda* およびワカレオタマボヤ *O. dioica* の2種で、両種とも海面近くで濃密な群を形成することが知られており^{45,46)}、今回マダイの胃内容物として出現した尾虫類はこれらの種である可能性が高い。

8月以降生活圏の拡大とともに、食性は動物プランクトンから端脚類や十脚類へと変化し、とりわけソコシラエビ属を選択的に摂餌していることが特徴的であった。他の海域では動物プランクトンから最終段階の十脚類に食性が変化する過程で、端脚類やアミ類などの小型甲殻類が一時期重要な餌料生物として出現する。^{42,43,46)} しか

し紀淡海峡周辺海域では動物プランクトンからソコシラエビ属に速やかに移行するとともに、その後成魚に至るまでこれを主餌料としていた。本来広食性であるマダイが、幼魚期以降成魚に至るまでこのように特定の種を選択的に摂餌している例はこれまで報告されていない。

ソコシラエビとマルソコシラエビはオキエビ科ソコシラエビ属に属するエビ類で、本邦周辺では暖流域の大陸棚以浅に広く分布し³⁷⁻⁴⁰⁾、瀬戸内海においても砂泥底に普通にみられる。両種とも成体で全長20~30mm、体重0.1~0.2g程度の小型種で、多くの魚類の餌料生物として知られている。⁴¹⁻⁴³⁾マルソコシラエビについて林⁴⁴⁾は夜間表面近くに浮上する典型的な垂直移動種であることを、阪本⁴⁵⁾は紀伊水道におけるタチウオ *Trichiurus lepturus* の主に小型群が朝夕の日周鉛直移動時に本種を主餌料として利用していることを報告している。これらのソコシラエビ属は機船船びき網に大量に入網することもあり、日周期活動の過程で海底上を群泳しながら濃密な群れを形成しているものと思われる。当海域において主餌料として登場する *A. omorii*、*Oikopleura* sp.およびソコシラエビ属に共通した特徴は濃密な群れを形成する

ことであり、マダイはこれら餌料生物の群と遭遇することによって効率よく選択的に捕食しているものと考えられる。

一方、11月以降0歳魚では胃充満度指数が極端に減少し空胃率が増加した。そしてこれまでわずかしか摂餌されなかった端脚類が摂餌され、さらに水温が低下するとフジツボ科やフサゴカイ科などの固着性ベントスの体の一部が多く出現するようになった。11月以降にみられるこのような食性の変化には、水温の低下が基本的な要因として作用していると考えられる。毎年11月以降水温が低下すると主に紀伊水道北部の越冬場周辺に集合し始める。このため越冬場周辺では個体群の生息密度は急速に上昇するとともに、水温の低下にともなう索餌活動および餌料生物の活動の不活化による遭遇機会の減少あるいは食欲の減退などにより摂餌条件はますます悪化するものと思われる。

このように瀬戸内海東部海域のマダイは、越冬期は厳しい餌料条件下におかれるものの、春から秋の成長期には広食性にもかかわらず特定の餌料生物を選択的に摂餌できる良好な餌料環境にあると考えられる。

第3章 漁業

本章では瀬戸内海東部海域におけるマダイ漁業の変遷を明らかにし、その問題点を考察する。瀬戸内海東部海域におけるマダイは古くから「明石鯛」として全国にその名を知られ、これを目的とする漁法は多い。戦前は主に一本釣、五智網、しぼり網などによって大型サイズのを漁獲していたが、戦後は小型底びき網漁業の発展によってマダイ漁業は大きく変貌していった。本章ではまず瀬戸内海東部海域におけるマダイ漁業の実態を明らかにし、戦後マダイ資源に大きな影響を及ぼした小型底びき網漁業の変遷について述べる。続いて次章で行う資源評価への基礎として、1977年~1994年の18年間における漁法別年齢別の漁獲尾数を推定する。

3-1 漁業実態

方法

全国の海別漁獲量は「漁業・養殖業生産統計年報」(農林水産省統計情報部編集)を用いた。瀬戸内海東部海域の漁獲量については、1918~1933年は梶山¹⁾、1964年以降の漁業統計は「瀬戸内海地域における漁業動向」(中国四国農政局統計情報部編集)²⁾を用いた。漁場や漁期等の実態については主要な漁業協同組合の組合統計を用いたほか聞き取り調査を行った。戦後の小型底びき網漁業について、制度の変遷は主に水産庁振興部沖合課監修³⁾を引用し、運用の変遷は歴代の漁業調整担当者や漁業関係者から聞き取り調査を行った。

結果

戦後の我が国における海域別のマダイ漁獲量の推移を Fig. 3.1. に示した。1950～1970年の20年間はおおむね2～2.5万トンで推移したが、1970年代以降長期的な漸減傾向を示し、最近では約1.5万トン前後にまで減少した。これは最大の生産地である東シナ海での漁獲量の減少によるところが大きく、1960年代には1万トンを越える漁獲があったのに対し、最近では約5,000トンと半分以下の水準となっている。このような1970年代以降の長期的な減少傾向は東シナ海以外に太平洋（太平洋北区、中区および南区の合計）や日本海（日本海北区および西区の合計）にも共通してみられた。これに対し、瀬戸内海では他の海域より早く1950年代から減少し始め、この傾向は1970年頃まで続いたが、1970年代に入ると他の海域と

は逆に長期的な増加傾向に転じ、最近では1950年代とほぼ同水準の4,000トン前後で推移している。

瀬戸内海東部海域（紀伊水道、大阪湾、播磨灘および備讃瀬戸）では一本釣、小型底びき網、定置網、五智網、刺網、延縄など多種多様な漁業が周年にわたりマダイの生活圏全体を高度に利用している。1996年には当海域の漁船漁業全体に対しマダイは生産量の約0.9%、生産金額の約4%を占めている。1918年以降の瀬戸内海東部海域におけるマダイ漁獲量の推移を Fig. 3.2. に示した。

1925年以前（大正年間）には1,500トン前後の漁獲がみられたが、1925年以降急激な減少傾向を示し1933年には800トンにまで減少した。その後第二次世界大戦をはさみ統計資料の不明な時期が続いたが、漁業統計が再開された1960年代も漁獲量は減少の一途をたどり、1971年には最低の234トンにまで落ち込んだ。しかしこの年を境に漁獲量は増加に転じ、1983年には1,000トンを越え、そ

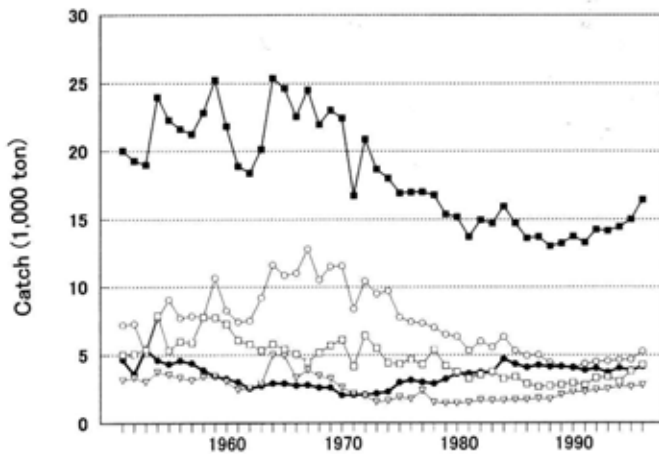


Fig. 3.1. Change in catch of red sea bream in Japan during the period from 1951 to 1996. Fishery ground (symbols): ●, Inland Sea; ○, East China Sea; □, Sea of Japan; ▽, Pacific coast; ■, total catch

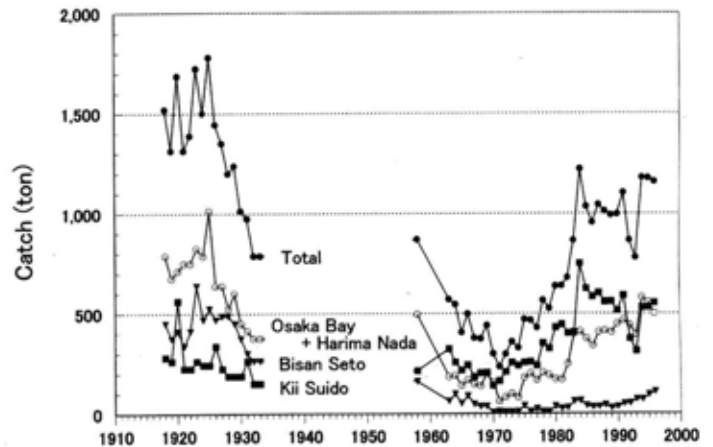


Fig. 3.2. Regional fluctuation of catches of red sea bream in eastern waters of the Inland Sea during the periods from 1918 to 1933, and from 1958 to 1996.

*1 1964～1976年 「瀬戸内海漁業灘別統計表」
 1977～1980年 「瀬戸内海の漁業」
 1981～1991年 「瀬戸内海地域の漁業」
 1992～ 「瀬戸内海地域における漁業動向」に誌名変更

の後は1,000トン前後で比較的安定した推移を示している。

増加に転じた1970年代以降の状況を灘別にみると、紀伊水道では1960年代の減少は少なく1970年代以降の増加が顕著で、最近では500トン前後と戦前の水準を大きく上回っている。大阪湾・播磨灘では増加の傾向は紀伊水道より少し遅れて1975年頃から現れ、80年代前半にはさらに増加傾向を示し、現在ではほぼ1930年代の水準に達した。これに対し備讃瀬戸での減少は著しく、1990年代に入り回復の兆しはみられるものの、他の灘に比べると漁獲量の回復は鈍く、戦前の水準には遠く及ばない。

1970年代以降の瀬戸内海東部海域における漁法別の内訳をFig. 3.3.に示した。近年の漁獲量の消長は小型底びき網のそれと一致している。小型底びき網の漁獲量は1970年代には一本釣と同じ全体の20~40%の水準であったが、1980年代になると急激な増加を示し、最近では全体の60%前後を占めるようになった。小型底びき網以外では一本釣が約20%、定置網が約10%と、この3種類で全体の約90%を占めている。

小型底びき網漁業は漁具の特性から、漁業統計では手繰第1種、手繰第2種、手繰第3種および板びき網の4種類に分類されている。瀬戸内海東部海域における小型底びき網の統計区分別の漁獲量の推移をFig. 3.4.に示した。1970年代以降の漁獲量の増加はその大部分が板びき網によってもたらされた。板びき網は経営体数では小型底びき網漁業全体の30%前後に過ぎないが、漁獲量では80%前後と大半を占めている。

主な漁法の操業海域をFig. 3.5.に示した。一本釣は主に淡路島周辺の海峡域を中心とした海底起伏に富む岩礁域およびその周辺に形成される瀬や礁を漁場としている。技術的に熟練を要する伝統的な漁法で、主に大型魚を選択的に漁獲する。定置網はマダイの回遊経路に当たる各灘の沿岸に設置され、主に春と秋の回遊期に移動するマダイを漁獲する。漁具特性から、漁獲量は来遊量の多寡によって左右される。小型底びき網は海域を広く利用する。好漁場は海峡域周辺の瀬や礁の周辺に形成されるが、瀬戸内海東部海域は海峡部など一部の海域を除いて小型底びき網の操業しやすい地形が広がるとともに、サイズ選択性に乏しい漁具特性から、若齢群を多獲するのが特徴である。



Fig. 3.3. Annual fluctuation of red sea bream catches by fishing method in eastern waters of the Inland Sea during the period from 1970 to 1996.

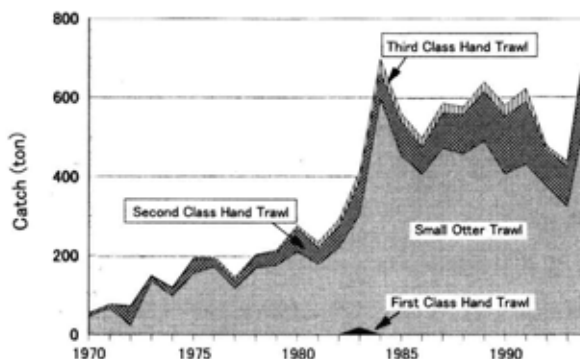


Fig. 3.4. Annual composition of red sea bream catches by subtypes of small-scale Danish seine fishery in eastern waters of the Inland Sea during the period from 1970 to 1994.

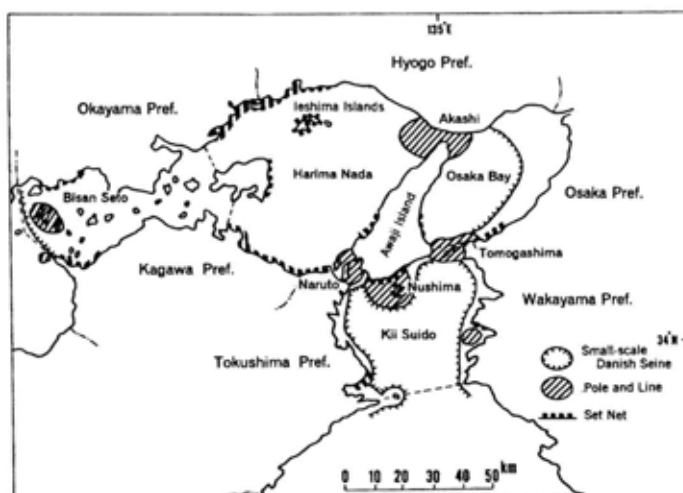


Fig. 3.5. Schematic distribution of major fishing areas of red sea bream in eastern waters of the Inland Sea.

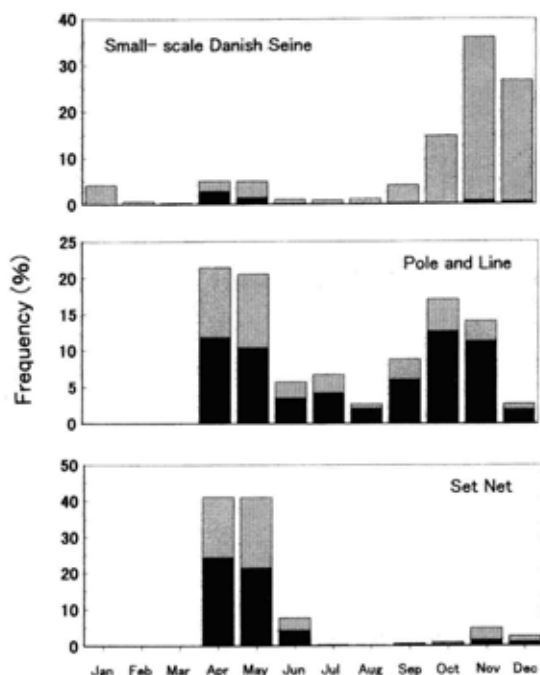


Fig. 3.6. Monthly change of red sea bream catches (on average) in eastern waters of the Inland Sea, in relation to composition (%) of immature (dotted bar) and mature (black bar) fish caught by fishing methods of small-scale Danish seine (top; Kariya, Hyogo Pref.; 1983-1991); pole and line (center; Naruto, Tokushima Pref.; 1989-1994); and set net (bottom; Uchinomi, Kagawa Pref.; 1993).

漁獲の季節変化をみるため、Fig. 3.6.に主要な漁法の代表的な地区における漁獲量の季節変化を示した。小型底びき網（兵庫県仮屋地区）では、春季（4～5月）と晩秋（10～12月）にピークがみられ、春季には産卵回遊の成魚の漁獲がみられるが、秋季に越冬回遊の未成魚を大量に漁獲するのが大きな特徴である。一本釣（徳島県鳴門地区）では、春季（4～5月）と秋季（9～11月）にほぼ同水準のピークがみられ、成魚の占める割合が大きい。定置網（香川県内海地区）では、春季（4～5月）産卵回遊期の成魚を主対象とし、秋季の漁獲量は少ない。全体的な傾向として春季の産卵回遊期と秋季の越冬回遊期に漁獲のピークがみられ、一本釣と定置網では春と秋の回遊期に成魚を主対象とするのに対し、小型底びき網では秋季に越冬回遊に向かう未成魚が主な漁獲対象となっている。

漁業統計から主要な漁業種類の漁労体数の推移をFig. 3.7.に、出漁日数の推移をFig. 3.8.に示した。小型底び

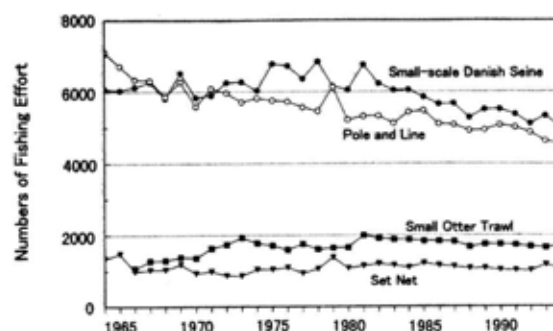


Fig. 3.7. Annual fluctuation of numbers of fishing effort of major types of red sea bream fishery in eastern waters of the Inland Sea during the period from 1964 to 1994.

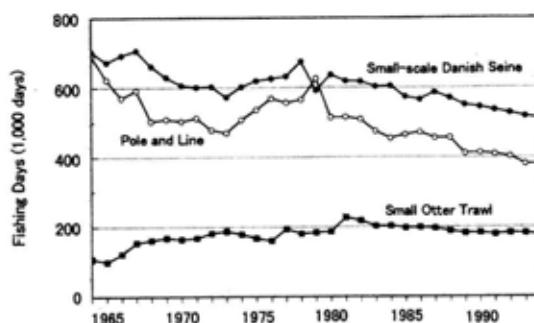


Fig. 3.8. Annual fluctuation of the number of fishing days in major types of red sea bream fishery in eastern waters of the Inland Sea during the period from 1964 to 1994.

き網は全体的には漁労体数、出漁日数とも長期的な漸減傾向を示したが、マダイ漁業の主力である板びき網は1966年以降増加し、1981年以降は横ばい傾向を示した。一本釣は長期的には漁労体数、出漁日数とも漸減傾向を示した。定置網の漁労体数は最近20年間は約1,110統で大きな変動はみられない。このように漁業統計上の漁獲努力量の推移は、全体的には長期的な漸減傾向を示した。

考 察

1. マダイ漁業の変遷

戦後の瀬戸内海におけるマダイの漁獲量は、我が国周辺の他の海域と比べ特異な推移を示した。他の海域では1960年代以降長期的な減少傾向をみせているのに対し、瀬戸内海では他の海域に先立ち戦後間もない1950年代から急激な減少傾向が現れた。そして1970年代に入ると一転して増加傾向を示し、現在では1950年代前半の水準に

達している。1971年を境にしたこのような特異な漁獲量の変化は、瀬戸内海におけるマダイ漁業の大きな特徴といえる。

田中¹⁴⁾によれば、1950年代には春季産卵のため播磨灘や備讃瀬戸へ入り込んでくる親魚量はかなりの量があり、この豊富な親魚量が当時の漁獲量を支えていた。ところがその後漁獲量は急速に減少し、1960年代には備讃瀬戸では100トンを超え、1970年代になると10トン未満という壊滅的な状況に陥った。播磨灘や大阪湾でも同様な傾向をたどり、1970年代になると100トン以下にまで漁獲量は減少した。この急激な減少の原因として、当時の急速な経済成長にともなう沿岸域の埋立や工業化・都市化にともなう水質や底質の汚濁、さらに海砂利採取などによる生息環境の荒廃が指摘される。特に沿岸域の埋立によってこの100年間に419haの浅海域（瀬戸内海の水深10m以浅の海域の約2割に相当）が消滅した。¹⁵⁾

沿岸域の埋立は1950年代後半から1970年代前半にかけて大規模に行われたが、この時期の漁獲量の減少傾向は瀬戸内海東部海域の各灘で様相を異にした。瀬戸内海東部群マダイの分布の中心で、太平洋に面し海水交換が活発で開発も比較的穏やかであった紀伊水道では漁獲量の減少は少なかった。開発が急速に進んだ大阪湾や播磨灘では戦前に比べて漁獲量はかなり減少し、さらに分布の中心から最も遠い備讃瀬戸では漁獲量は急速に減少した。阪本¹⁶⁾が指摘しているように、1950年代後半から急速に進められた埋立による幼稚魚の生息場の喪失が、マダイの再生産に重大な悪影響を及ぼしたことは容易に推測される。かつて一大産卵・生育場であった備讃瀬戸では、海砂利採取などによる生息環境の荒廃に加えて、主越冬場である紀伊水道から遠く離れていることから、親魚量水準の低下にともない産卵親魚の来遊量は著しく減少した。他の海域に先立つ1950年代以降の瀬戸内海における漁獲量の減少の原因として、当時の経済成長にともなう急速な生息環境の荒廃が、半閉鎖性海域であるためより直接的に影響したことによるものと思われる。その後1970年代になると、瀬戸内海環境保全臨時措置法（1973年10月）次いで瀬戸内海環境特別措置法（1978年6月）が成立し、埋立や富栄養化に一応の歯止めがかけられることとなった。

一方、後述するように1962年の漁業法の改正を契機に

小型底びき網漁業の規制が大幅に緩和され、瀬戸内海東部海域では小型底びき網漁業が基幹漁業として急速に発展した。特にこの当時普及した「板びき網」は高速で運動性に富む漁具特性から、海底形状の複雑な岩礁域を主生息場とするマダイへの漁獲圧力は急速に増加した。さらに瀬戸内海東部海域の地形的特徴も重要な要因となった。

瀬戸内海東部海域は、備讃瀬戸を除き海岸線は単調で平坦な浅海域が全体的に広がるとともに島嶼部に乏しく、ほぼ全域にわたって小型底びき網の操業しやすい地形となっている。ちなみに各灘の平均水深は紀伊水道56m、大阪湾28m、播磨灘26m、備讃瀬戸14m（瀬戸内海の平均は37m）である。また浅海域の広がる瀬戸内海東部海域は、広い範囲が0歳魚の保育場的役割を果たしている。このため、毎年9月以降マダイ幼魚が成長にともない生活圏を沖合に広げると同時に、海域のほぼ全域で板びき網による漁獲が開始されるようになった。このように1970年代以降瀬戸内海東部海域では若齢群を漁獲対象に加えることによって漁獲量の量的拡大を実現するとともに、漁獲物の年齢組成は急速に若齢に偏っていった。

一方最近の漁獲状況では、1990年代に入り備讃瀬戸の漁獲量に回復の兆しが見え始め、1996年には100トンを超えたことが注目される。播磨灘北西部の家島地区における、1961年以降の産卵期（4～6月）における小型定置網の成魚（体重1kg以上）のCPUE（1日1統当たり漁獲尾数）をFig. 3.9に示した。これは家島地区で小型定置網を営む大沢由雄氏の操業日誌によるもので、播磨灘北西部への産卵親魚の来遊量の長期変動を示していると考えられる。概観すると1960年代から1980年代前半にかけて長期的な漸減傾向の後、1980年代後半から増加傾向に転じている。特に1990年代の水準は高く、最近になって産卵親魚の来遊量が着実に回復していることを示している。家島諸島の位置から考えて、最近の備讃瀬戸における漁獲量の回復は、産卵親魚の来遊量が回復していることをうかがわせる。最近になって備讃瀬戸では春季に産卵親魚、秋季に0歳魚の漁獲が増加しているという情報が岡山県水産試験場から寄せられている。なお、備讃瀬戸は瀬戸内海東部と中西部の分水嶺に位置していることから¹⁷⁾、最近の漁獲量の増加がすべて瀬戸内海東部群マダイに由来するものかどうか注意する必要がある

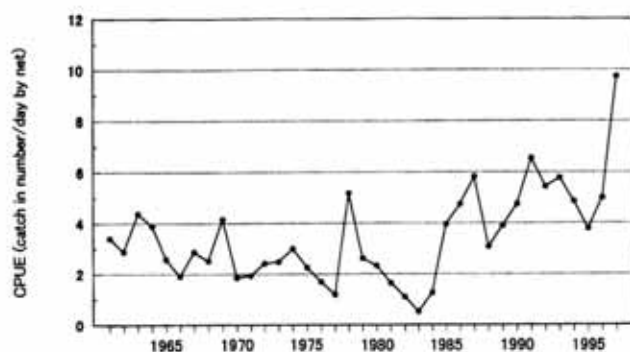


Fig. 3.9. Annual fluctuation of the catch per unit effort (CPUE in number by day by net) for adult fish by a set net fishery during the spawning season from April to June at Ieshima Islands in the north western part of Harima Nada during the period from 1961 to 1997.

が、瀬戸内海中西部海域の動向とあわせて今後の推移が注目される。

漁獲努力量については全般的には長期的な減少傾向にあることを明らかにした。漁獲努力に関する今後の見通しについて、永井⁹⁾は瀬戸内海漁業の生産構造を分析し、戦後の漁業就業人口は1963年の8.3万人をピークにその後長期的な減少傾向を示し、1993年には4.7万人と半減するとともに、現在漁業就業者の年齢構成は55歳以上が55%、60歳以上が39%と高齢化が進んでいるため、2003年には1993年の53%とさらに半減すると予測している。資源に及ぼす漁獲の影響は次章で考察するが、漁獲努力の減少傾向が今後さらに加速するとすれば、マダイ資源に対する漁獲圧力は今後緩和される方向に進むものと予想される。

2. 小型底びき網漁業の変遷

戦後の瀬戸内海における小型底びき網漁業の変遷について、その制度と背景を水産庁振興部沖合課監修¹⁰⁾により整理すると次のようになる。

大阪湾や播磨灘では古来より漁労技術が発達し、違反漁業の多発海域であった。戦後間もない頃、食糧難や法無視の時代風潮もあって小型底びき網漁業は無許可船の横行等無秩序な時期が続いたが、その後減船整理期間を経て制度的に定着し、1962年の漁業法の一部改正によりようやく沿岸漁業の一員として認められることとなった。

この間高度成長政策による国民経済の成長とともに、漁業をめぐる内外の情勢も著しい変貌を遂げ、沿岸から沖合へ沖合から遠洋への漁業展開政策も行き詰まりを見せ始め、沿岸漁業の生産性の低さが深刻な社会問題とされるようになった。このような時代背景の中で小型底びき網漁業についても近代化・合理化が必要とされ、他産業との所得の均衡を図るため禁止漁具漁法の特定海域における解除の方針が打ち出され、運用は大幅に緩和された。具体的には、それまで高い漁獲能率のため「小型機船底びき網漁業取締規則」(1952年3月農林省令第6号)によって禁止されていた網口開口板(通称「板びき網」)が1968年3月に大阪湾、1970年11月に播磨灘と紀伊水道で、また滑走装置を備えた桁(通称「マンガ」)が1968年11月に播磨灘、1970年11月に紀伊水道での使用禁止が解除された。海底と密着するビーム(手繰第2種)や桁(手繰第3種)を有する重くて低速の底びき網と異なり、板びき網は漁具の比重が小さく海底との接触が弱いので砂泥底のみならず海底地形の複雑な岩礁域や砂礫域での高速曳網が可能であるとともに、開口板によってグランドロープを水平に広げるため掃海面積は格段に大きくなる。このような漁具特性をもつ板びき網は運動性に富み漁獲効率がよく、岩礁域や砂礫域を主生息場とするマダイの漁獲に適していた。さらに制限馬力が10馬力から15馬力(紀伊水道では20馬力から30馬力)に引き上げられ、それまでの焼玉エンジンや電気着火からディーゼルエンジンへと急速に入れ替わるとともに、1970年代後半になると油圧式ネットローラ、魚群探知機、ロランなど近代的な漁労設備が次々と搭載されていった。このような小型底びき網漁業の近代化に行政も制度資金の導入など積極的な支援策を実施し、全体的には減船整理されつつも、漁獲効率の高い板びき網は急速に普及していった。

このように瀬戸内海東部海域における小型底びき網漁業は、漁業法の改正を契機に漁船の近代化が進み漁獲能率を飛躍的に向上させるとともに、承認された板びき網やマンガはその後各地の漁業者によって改良が加えられていった。そして最も経済価値の高いマダイは、漁具・漁法の改良の目標とされた。1970年以前はマダイは淡路島周辺の岩礁域を中心に、主に一本釣や五智網によって大型魚を主体に漁獲されていた。当時鳴門海峡周辺は小型底びき網漁業の禁止区域であったが、板びき網を改良

し粗目の網で磯周辺の中底層を曳網する通称「板五智」が開発された。この漁法は近隣海域からさらに明石海峡周辺海域へと普及していった。明石海峡周辺海域は「板びき網」の禁止区域であったが、板五智によるマダイの漁獲が好調であったため違反が絶えず、これを現在の(棒)こぎ網(手繰第2種)に変えて1986年以降許可を得ることとなった。さらに明石海峡周辺海域では1977年にちんこぎ網(手繰第2種)が許可され、その後漁網に浮きを付けて軽くし海底から浮かしてマダイを漁獲する漁法が開発された。このように淡路島周辺の岩礁域を中心に形成されていたマダイの主漁場では、漁業者の創意工夫によって漁具・漁法に次々と改良が加えられ、それまで主に大型魚を選択的に漁獲していた伝統的な一本釣や五智網に、漁獲能率の高い小型底びき網が参入していった。特に高速曳網が可能な板びき網の普及は、毎年9月以降浅海域で発育したマダイ幼魚が沖合に生活圏を拡大してゆく過程でその生息域と操業海域が一致するため、0歳魚の大量漁獲に結びついていった。このような特性をもつ小型底びき網による漁獲圧力の増大によって漁獲量の量的拡大が進むとともに、漁獲物の年齢組成は急速に若齢に偏っていった。

多々良²⁾は戦後の瀬戸内海漁業の変遷を分析し、富栄養化の進行と漁獲努力が年率7%で強化されるなか、漁獲の量的拡大と同時に低次栄養段階種の割合が増えて、漁獲物の平均単価が低下したことを指摘している。その後橋本³⁾は戦後一貫して増加してきた瀬戸内海の漁獲量が1987年を境に減少傾向を示したことについて、底魚資源の利用が極限状態に達し内海固有種が減少したこと、さらに生息環境、生物環境ともに劣悪になっていることが原因であると分析している。

1970年代から1980年代半ばまでみられたマダイの漁獲量の増大と漁獲物の若齢化は、多々良²⁾の指摘する戦後の瀬戸内海漁業にみられる傾向と共通している。大型のマダイは高級魚として常に強い間引きを受けていたため、漁獲能率の向上によって大型サイズのものから順次間引かれ、結果としてサイズは次第に小型化し、サイズの小型とともに進行する平均単価の低下に対応するためますます量的拡大が図られた。近年では毎年9月以降体長10cm前後の0歳魚が生活圏を沖合に広げると同時に漁獲が開始され、一部は投棄されるまでに至っている。極端

な事例として、一部の地区では初冬の越冬回遊期に小型底びき網に大量に入網した0歳魚が市場で価格がつかず廃棄されるに及ぶ事態も発生している。小型底びき網漁業の発展によって、それまで漁獲対象としていなかった小型若齢群を漁獲対象に加えることによって漁獲量の量的拡大を実現してきたものの、資源の利用形態はもはや極限状態に達している。このような資源利用は近年マダイに限らず中高級魚を中心に共通してみられる現象であり、瀬戸内海東部海域におけるマダイ漁業は戦後の瀬戸内海漁業の典型的な事例といえる。

3-2 漁法別年齢別漁獲尾数の推定

方法

マダイを漁獲する漁法は多く、漁法により季節により漁獲物の年齢組成は異なるため、年齢別漁獲尾数の推定は漁法別にかつ月別に行う必要がある。瀬戸内海東部群マダイの年齢別漁獲尾数を推定するため、海域全体からFig. 3.10.に示した27地区で実態調査を実施し、このうち月別漁法別漁獲尾数が得られた12地区の市場(Fig.3.10.参照)のデータを用いた。基本となる各調査地区の月別漁法別漁獲データはそれぞれの組合統計を、生活圏全体の漁法別漁獲データは「瀬戸内海地域における漁業動向」(中国四国農政局統計情報部)を用いた。年齢区分は0歳から5歳までとし、6歳以上は一括して扱った。瀬戸内海東部海域におけるマダイの産卵盛期が5月であることから、5月から翌年4月までの1年分を同一コホートとして集計した。

1. 各調査地区における漁獲物の年齢組成の推定

瀬戸内海東部海域ではマダイは高級活魚として流通しその取り扱いはいわゆる慎重で、体長を測定することが困難な地区が多い。このため漁獲物の年齢組成を推定しさらに年齢別漁獲尾数を推定する方法として、各地区の実態に即して次の3つの方法を用いた。それぞれの調査地区で用いた方法をTable 3.1.に示した。

- I : 体長組成を年齢組成に変換し、成長情報と漁獲量データから年齢別漁獲尾数を推定する方法
- II : 成長情報をもとに漁獲物を個体毎に直接年齢区分して年齢組成を推定し、成長情報と漁獲量データから

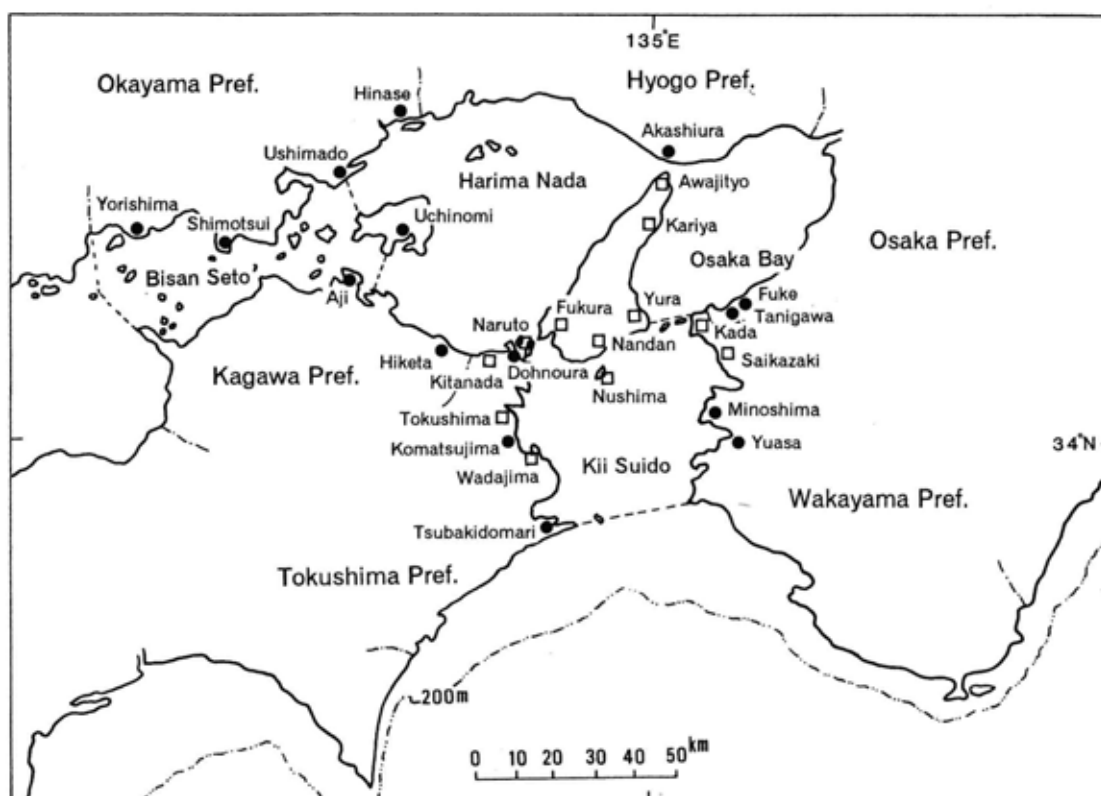


Fig. 3.10. Survey stations monitoring the actual condition of the local red sea bream fishery. Stations (symbols): ●, for general survey; □, particularly for collecting catch statistics by fishery type and age

年齢別漁獲尾数を推定する方法

Ⅲ：銘柄と年齢の関係から、銘柄別漁獲量を直接年齢別漁獲尾数に変換する方法

Iの方法は、同一コホートの体長は正規分布することを根拠に、体長測定結果から得られる多峰型の体長頻度分布を複合正規分布とみなしてこれを年齢別の体長頻度分布に分解する方法である。資源調査ではよく用いられる手法でプログラムもいくつか開発されている。^{72,73)}

Ⅱの方法は、体長が測定できない場合に、既知の年齢別体長を指標として、市場に水揚げされたマダイを個体毎に直接年齢区分することによって年齢組成を求める方法である。

Ⅲの方法は紀伊水道北部に面した兵庫県三原郡南淡町の3地区（福良、南淡、沼島）で用いた方法である。これらの地区ではマダイはFig. 3.11.に示した銘柄区分で流通し、漁獲統計も銘柄別に整理されている。若齢群の銘柄の更新は、基本的に0歳魚の新規加入がみられる9月頃を中心に行われるが、同一コホートでも成長に個体

差があるため、更新期前後の数ヶ月は同一コホートが2種類の銘柄で扱われたり、逆に異なるコホートが同一銘柄で扱われることがある。それぞれのケースの詳細な計算方法については島本⁷⁴⁾に記載した。

得られた地区ごとの漁法別の月別年齢別漁獲尾数を1年分集計し、合計値の組成からその地区における当該年度の漁法別の漁獲物年齢組成を推定した。

2. エリア全域の漁法別の漁獲物年齢組成の推定

次に各地区で得られた漁法別の漁獲物年齢組成をそれぞれの地区の漁獲量で重み付けをし、同年度の同漁法ごとに集計して当該年度のエリア全域の漁法別の漁獲物年齢組成とした。すなわちある年度のある漁法の漁獲物年齢組成がA, B, Cの3地区で得られたとする。それぞれの漁獲量を W_A, W_B, W_C 、0歳魚の比率を A_0, B_0, C_0 とすると、エリア全域の0歳魚の比率(a_0)を

$$a_0 = A_0 \frac{W_A}{W_{(A+B+C)}} + B_0 \frac{W_B}{W_{(A+B+C)}} + C_0 \frac{W_C}{W_{(A+B+C)}}$$

として求めた。1歳以上も同様にして求め、エリア全域

Table 3.1. Estimation procedures (I-III) of catch at age composition. Survey areas are Awaji-tyo (Awa), Fukura (Fuk), Kada (Kad), Kariya (Kar), Kitanada (Kit), Nandan (Nan), Naruto (Nar), Nushima (Nus), Saikazaki (Sai), Tokushima (Tok), Wadashima (Wad) and Yura (Yur). Column of fishing methods: Surr, surrounding seine.

Procedures: I, conversion by an age-length key
 II, conversion based on growth curve data
 III, conversion by a size category given in fish markets

Year	Small-scale Danish Seine										Set Net			Surr	
	Sai	Awa	Kar	Yur	Fuk	Nan	Nus	Kit	Wad	Tok	Nan	Nus	Kit	Awa	Fuk
1977				II	III	III	III				III	III			III
1978				II	III	III	III				III	III			III
1979				II	III	III	III				III	III			III
1980				II	III	III	III				III	III			III
1981				II	III	III	III				III	III			III
1982				II	III	III	III				III	III			III
1983				II	III	III	III				III	III			III
1984				II	III	III	III				III	III			III
1985				II	III	III	III				III	III		II	III
1986	I	II	II	II	III	III	III				III	III		II	III
1987	I		II	II	III	III	III				III	III		II	III
1988	I			II	III	III	III	I	I	I	III	III	I	II	III
1989	I			II	III	III	III	I	I	I	III	III	I	II	III
1990				II	III	III	III				III	III		II	III
1991				II	III	III	III				III	III		II	III
1992				II	III	III	III				III	III		II	III
1993	I			II	III	III	III				III	III	I	II	III
1994				II	III	III	III				III	III		II	III

Year	Pole and Line							Gill Net				Others		
	Kad	Awa	Yur	Fuk	Nan	Nus	Nar	Kad	Fuk	Nan	Nus	Fuk	Nan	Nus
1977			II	III	III	III			III	III	III	III	III	III
1978			II	III	III	III			III	III	III	III	III	III
1979			II	III	III	III			III	III	III	III	III	III
1980			II	III	III	III			III	III	III	III	III	III
1981			II	III	III	III			III	III	III	III	III	III
1982			II	III	III	III			III	III	III	III	III	III
1983			II	III	III	III			III	III	III	III	III	III
1984			II	III	III	III			III	III	III	III	III	III
1985			II	III	III	III	I		III	III	III	III	III	III
1986	I	II	II	III	III	III		I	III	III	III	III	III	III
1987	I		II	III	III	III		I	III	III	III	III	III	III
1988	I		II	III	III	III		I	III	III	III	III	III	III
1989	I		II	III	III	III	I	I	III	III	III	III	III	III
1990	I		II	III	III	III		I	III	III	III	III	III	III
1991	I		II	III	III	III		I	III	III	III	III	III	III
1992	I		II	III	III	III		I	III	III	III	III	III	III
1993	I		II	III	III	III	I	I	III	III	III	III	III	III
1994			II	III	III	III			III	III	III	III	III	III

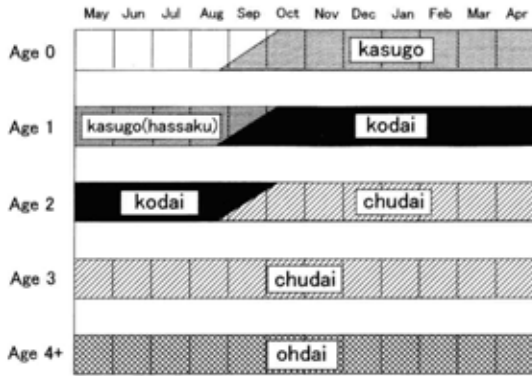


Fig. 3.11. Size categories of red sea bream with landing period (month) and age, from a case study in fish markets of the southern Hyogo area. Brand name (symbols): dotted, kasugo and hassaku (young); dark, kodai (yearling); hatched, chudai (immature); crosshatch, odai (mature)

の漁法別の漁獲物年組成を推定した。

3. エリア全体の年齢別漁獲尾数の推定

エリア全体の漁法別の漁獲量および年齢別平均個体重のデータから、エリア全体の漁法別の年齢別漁獲尾数を推定した。まず、①漁法別に年齢組成 (a_i) および年齢別の平均個体重 (\bar{W}_i) から漁獲物全体の平均個体重 (\bar{W}) を求めた。②各漁法の漁獲量 (W_i) を①で求めた平均個体重で除して総漁獲尾数 (N_i) を求めた。③総漁獲尾数に各年齢の組成比率 (a_i) を乗じて、漁法別の年齢別漁獲尾数を求めた。このようにして得られた同一年度のエリア全体の漁法別の年齢別漁獲尾数を年齢ごとに集計し、エリア全体の年齢別漁獲尾数とした。この推定されたエリア全体の年齢別漁獲尾数を、次章におけるコホート解析の入力データとした。なお、上記の漁法別年齢別漁獲尾数の推定方法については島本³⁾に詳細に記載している。

結果

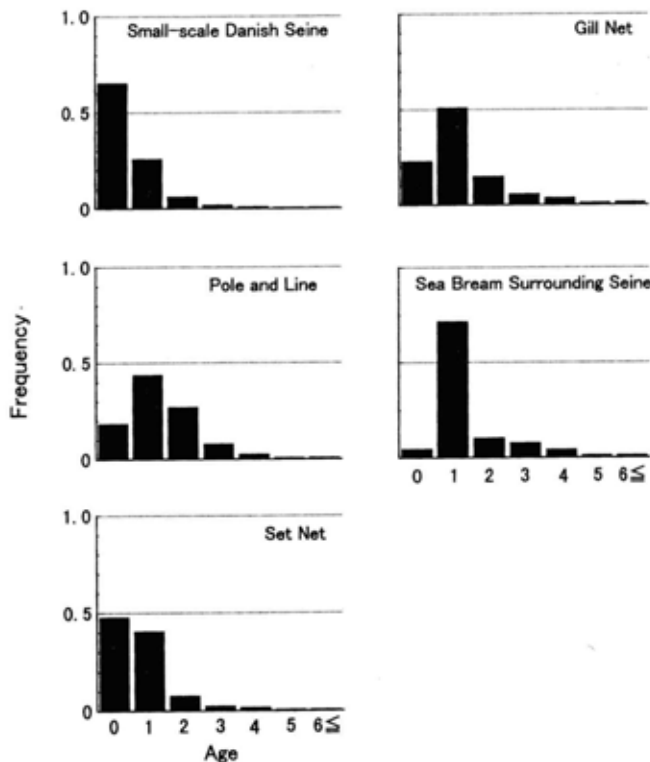


Fig. 3.12. Age composition of red sea bream catches by fishing type in eastern waters of the Inland Sea from 1977 to 1994.

推定された1977~1994年の漁法別の漁獲物年組成をTable 3.2に、18年間の各漁法の年齢組成の平均値をFig. 3.12に示した。小型底びき網では1977年を除いて0歳魚が大半を占め、18年間の平均で約66%が0歳魚であった。また成魚(3歳の半数および4歳以上)の割合は約2%ときわめて少なく、若齢に偏った組成を示した。小型底びき網以外の漁法でも2歳以下の未成魚が大半を占め、成魚の占める割合は大型魚を主対象とする一本釣や五智網でも10%未満であった。

1977~1994年の漁法別の年齢別漁獲尾数を推定し、Table 3.3に示した。総漁獲尾数は1977年の200万尾から1984年の740万尾まで急激な増加を示した。その後1980年代後半は700万尾前後で推移したが、1990年代に入ると400~500万尾に減少し、1994年には再び800万尾に増加した。

漁法別の漁獲尾数の推移をFig. 3.13に示した。漁法別では小型底びき網とそれ以外の漁法では漁獲尾数の推移に顕著な違いが認められた。小型底びき網は1970年代後半は一本釣と同じ100万尾前後の水準であったが、1980年代に入ると漁獲尾数は急激に増加し、1980年代後半には600万尾前後の水準に達した。その後1990年代に入る

Table 3.2. Age composition of annual catches by fishing method during the fishing season from 1977 to 1994. Annual fishing season is from May to next April. Fishing methods (FM, A - F): A, small-scale Danish seine; B, pole and line; C, set net; D, gill net; E, surrounding seine; F, others.

Year	FM	Age Composition							Total
		0	1	2	3	4	5	≥ 6	
1977	A	.4125	.4430	.0846	.0326	.0137	.0062	.0074	1.00
	B	.3864	.3416	.2235	.0356	.0092	.0022	.0015	1.00
	C	.5675	.3208	.0822	.0151	.0104	.0024	.0017	1.00
	D	.0737	.6638	.1688	.0362	.0411	.0096	.0068	1.00
	E	.0357	.7931	.0727	.0696	.0207	.0048	.0034	1.00
	F	.7980	.0625	.0808	.0292	.0139	.0102	.0054	1.00
1978	A	.5254	.3411	.0851	.0274	.0112	.0049	.0050	1.00
	B	.3235	.3985	.2247	.0356	.0126	.0030	.0021	1.00
	C	.5429	.3518	.0796	.0129	.0092	.0022	.0015	1.00
	D	.1624	.6375	.1223	.0274	.059	.0085	.0059	1.00
	E	.0503	.8273	.0553	.0472	.0141	.0034	.0024	1.00
	F	.6610	.2035	.0768	.0327	.0122	.0080	.0059	1.00
1979	A	.5640	.2799	.1028	.0293	.0128	.0051	.0060	1.00
	B	.5552	.2818	.1314	.0215	.0072	.0017	.0012	1.00
	C	.4960	.3863	.0898	.0150	.0091	.0022	.0015	1.00
	D	.2262	.6241	.0853	.0269	.0268	.0063	.0044	1.00
	E	.0409	.8277	.0564	.0528	.0158	.0037	.0026	1.00
	F	.5207	.2111	.1657	.0582	.0218	.0141	.0082	1.00
1980	A	.5538	.2918	.1077	.0275	.0111	.0040	.0041	1.00
	B	.1143	.5948	.2221	.0455	.0166	.0039	.0027	1.00
	C	.6427	.2680	.0643	.0125	.0090	.0021	.0015	1.00
	D	.3513	.5259	.0625	.0191	.0295	.0069	.0049	1.00
	E	.0500	.8500	.0470	.0375	.0111	.0026	.0019	1.00
	F	.6113	.2084	.1061	.0415	.0151	.0100	.0076	1.00
1981	A	.6739	.2206	.0696	.0202	.0083	.0035	.0040	1.00
	B	.5213	.2987	.1482	.0220	.0070	.0016	.0012	1.00
	C	.5257	.3833	.0683	.0118	.0077	.0018	.0013	1.00
	D	.5830	.3497	.0356	.0105	.0151	.0036	.0025	1.00
	E	.0513	.8521	.0455	.0360	.0107	.0025	.0018	1.00
	F	.8340	.0880	.0464	.0182	.0066	.0042	.0026	1.00
1982	A	.6741	.2258	.0576	.0234	.0106	.0040	.0045	1.00
	B	.4315	.2704	.2382	.0390	.0150	.0035	.0025	1.00
	C	.3319	.5156	.1114	.0216	.0140	.0033	.0023	1.00
	D	.4860	.4004	.0494	.0222	.0300	.0071	.0050	1.00
	E	.0152	.9086	.0147	.0445	.0121	.0029	.0020	1.00
	F	.5841	.1599	.1412	.0619	.0248	.0018	.0097	1.00
1983	A	.8019	.1402	.0354	.0109	.0066	.0024	.0025	1.00
	B	.3301	.4677	.1493	.0303	.0161	.0038	.0027	1.00
	C	.5661	.3587	.0594	.0077	.0058	.0014	.0010	1.00
	D	.4139	.4584	.0546	.0244	.0348	.0082	.0057	1.00
	E	.0044	.9258	.0201	.0363	.0096	.0022	.0016	1.00
	F	.5168	.3404	.0769	.0386	.0142	.0085	.0047	1.00
1984	A	.6495	.2450	.0771	.0164	.0070	.0025	.0026	1.00
	B	.1199	.5156	.3005	.0446	.0139	.0033	.0023	1.00
	C	.5177	.3994	.0648	.0093	.0063	.0015	.0010	1.00
	D	.2630	.5402	.1178	.0241	.0393	.0092	.0065	1.00
	E	.0886	.8000	.0802	.0222	.0064	.0015	.0011	1.00
	F	.6312	.1584	.1278	.0504	.0151	.0103	.0068	1.00

Table 3.2. (continued)

1985	A	.6909	.2452	.0436	.0121	.0047	.0017	.0018	1.00
	B	.1331	.5956	.2210	.0362	.0101	.0024	.0017	1.00
	C	.3688	.5608	.0508	.0114	.0058	.0014	.0010	1.00
	D	.1069	.7372	.0489	.0733	.0241	.0057	.0040	1.00
	E	.0869	.8446	.0536	.0083	.0047	.0011	.0008	1.00
	F	.3314	.2026	.3741	.0508	.0229	.0125	.0056	1.00
1986	A	.8159	.1313	.0237	.0128	.0095	.0039	.0029	1.00
	B	.0586	.5223	.2846	.0874	.0241	.0117	.0112	1.00
	C	.4028	.5681	.0161	.0076	.0032	.0011	.0011	1.00
	D	.1031	.5395	.1707	.0907	.0573	.0176	.0211	1.00
	E	.1128	.4954	.1364	.1321	.0776	.0229	.0229	1.00
	F	.3941	.1865	.2378	.1266	.0323	.0113	.0115	1.00
1987	A	.7621	.1891	.0332	.0082	.0044	.0015	.0015	1.00
	B	.0246	.5585	.2755	.0964	.0285	.0081	.0083	1.00
	C	.3330	.5979	.0488	.0123	.0046	.0016	.0016	1.00
	D	.1275	.5721	.1484	.0841	.0409	.0130	.0142	1.00
	E	.0103	.6434	.1038	.1251	.0738	.0218	.0218	1.00
	F	.4649	.1652	.1886	.1203	.0359	.0124	.0127	1.00
1988	A	.7999	.1549	.0286	.0080	.0051	.0017	.0018	1.00
	B	.0237	.5240	.2905	.1095	.0335	.0093	.0096	1.00
	C	.7127	.2045	.0429	.0274	.0086	.0023	.0017	1.00
	D	.1659	.5413	.1587	.0703	.0393	.0131	.0113	1.00
	E	.0200	.6499	.1731	.0758	.0505	.0153	.0153	1.00
	F	.0056	.2079	.3441	.1752	.1565	.0548	.0559	1.00
1989	A	.7391	.2100	.0356	.0086	.0040	.0013	.0014	1.00
	B	.0426	.5040	.3025	.0972	.0312	.0124	.0099	1.00
	C	.5582	.3644	.0371	.0141	.0124	.0097	.0041	1.00
	D	.1981	.3685	.2600	.1035	.0288	.0134	.0277	1.00
	E	.0039	.6902	.1133	.0947	.0613	.0184	.0183	1.00
	F	.4526	.1771	.1968	.0768	.0567	.0198	.0203	1.00
1990	A	.5924	.2735	.1035	.0171	.0083	.0027	.0025	1.00
	B	.0170	.5037	.3545	.0860	.0218	.0075	.0095	1.00
	C	.2649	.6092	.0929	.0162	.0100	.0034	.0036	1.00
	D	.2722	.5304	.1370	.0295	.0178	.0067	.0064	1.00
	E	.0118	.6077	.2548	.0622	.0397	.0119	.0119	1.00
	F	.1195	.5469	.2057	.0686	.0347	.0122	.0123	1.00
1991	A	.5900	.2734	.1105	.0132	.0076	.0027	.0027	1.00
	B	.0101	.2709	.5081	.1577	.0272	.0127	.0133	1.00
	C	.2326	.5387	.1507	.0463	.0186	.0065	.0067	1.00
	D	.0692	.4393	.3543	.0640	.0280	.0064	.0387	1.00
	E	.0840	.5673	.1597	.0924	.0606	.0180	.0180	1.00
	F	.0803	.0077	.7525	.0590	.0593	.0203	.0210	1.00
1992	A	.6823	.2309	.0577	.0173	.0069	.0025	.0025	1.00
	B	.0094	.2828	.4339	.1972	.0446	.0125	.0196	1.00
	C	.4165	.3809	.0896	.0686	.0261	.0091	.0093	1.00
	D	.0729	.3124	.3333	.1787	.0530	.0152	.0345	1.00
	E	.1563	.3975	.1580	.1471	.0901	.0264	.0265	1.00
	F	.1183	.1012	.4680	.1317	.1058	.0372	.0378	1.00
1993	A	.7410	.1874	.0423	.0159	.0086	.0032	.0016	1.00
	B	.0053	.2633	.3883	.2010	.0911	.0282	.0228	1.00
	C	.4404	.1609	.1451	.0854	.0925	.0378	.0379	1.00
	D	.1802	.3002	.3095	.1117	.0619	.0218	.0148	1.00
	E	.0050	.6026	.1436	.1223	.0790	.0236	.0237	1.00
	F	.1874	.1587	.4152	.0956	.0840	.0293	.0299	1.00
1994	A	.6265	.3178	.0349	.0113	.0052	.0023	.0020	1.00
	B	.1562	.6301	.1205	.0547	.0264	.0065	.0055	1.00
	C	.6257	.2916	.0433	.0140	.0150	.0052	.0054	1.00
	D	.2708	.5875	.0625	.0188	.0354	.0124	.0126	1.00
	E	.0029	.7323	.1332	.0622	.0431	.0131	.0132	1.00
	F	.2283	.1073	.2710	.2759	.0688	.0241	.0246	1.00

Table 3.3. Estimated catch at age in number of red sea bream in eastern waters of the Inland Sea by fishing method from 1997 to 1994. Annual fishing season is from May to next April. Fishing methods (FM, A - F): A, small-scale Danish seine; B, pole and line; C, set net; D, gill net; E, surrounding seine; F, others.

FM	Age	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
A	0	289,743	594,352	643,640	853,358	1,085,682	1,341,261	3,162,982	3,225,655	3,333,517
	1	311,166	385,865	319,424	449,639	355,396	449,276	552,999	1,216,760	1,183,063
	2	59,424	96,268	117,316	165,956	112,129	114,607	139,630	382,907	210,365
	3	22,898	30,996	33,437	42,375	32,543	46,559	42,994	81,448	58,381
	4	9,623	12,670	14,607	17,104	13,307	21,091	26,191	34,914	22,484
	5	4,341	5,498	5,832	6,225	5,558	7,999	9,427	12,267	8,347
	6+	5,184	5,701	6,802	6,256	6,396	9,033	9,664	12,714	8,781
	Total	702,379	1,131,350	1,141,058	1,540,914	1,611,011	1,989,826	3,943,886	4,966,665	4,824,939
B	0	296,786	277,228	529,653	72,224	677,461	323,384	333,458	95,404	112,173
	1	262,376	341,500	268,833	375,840	388,179	202,649	472,457	410,260	501,957
	2	171,666	192,560	125,354	140,340	192,595	178,517	150,819	239,106	186,253
	3	27,344	30,508	20,511	28,750	28,590	29,228	30,608	35,488	30,508
	4	7,051	10,798	6,840	10,489	9,097	11,242	16,264	11,060	8,512
	5	1,659	2,554	1,622	2,464	2,131	2,631	3,839	2,602	1,997
	6+	1,167	1,774	1,126	1,731	1,507	1,851	2,697	1,830	1,399
	Total	768,049	856,921	953,939	631,839	1,299,561	749,502	1,010,142	795,751	842,800
C	0	111,480	183,748	166,636	480,900	361,602	176,680	579,102	608,150	307,228
	1	63,018	119,069	129,781	200,531	263,653	274,469	366,938	469,181	467,173
	2	16,147	26,941	30,169	48,112	46,980	59,301	60,764	76,122	42,319
	3	2,966	4,366	5,039	9,353	8,117	11,498	7,836	10,890	9,497
	4	2,043	3,097	3,071	6,704	5,324	7,453	5,903	7,377	4,857
	5	479	731	726	1,579	1,252	1,746	1,381	1,739	1,141
	6+	334	511	504	1,107	880	1,224	979	1,222	807
	Total	196,467	338,464	335,925	748,287	687,808	532,372	1,022,903	1,174,680	833,022
D	0	8,435	24,396	41,455	67,586	200,281	101,326	96,864	67,610	26,804
	1	75,973	95,765	114,376	101,178	120,134	83,479	107,278	138,870	184,844
	2	19,319	18,372	15,633	12,024	12,230	10,299	12,778	30,283	12,261
	3	4,143	4,116	4,930	3,675	3,607	4,628	5,710	6,195	18,379
	4	4,704	5,393	4,912	5,675	5,187	6,255	8,144	10,103	6,043
	5	1,099	1,278	1,149	1,327	1,233	1,470	1,914	2,375	1,422
	6+	777	889	810	937	866	1,034	1,343	1,666	993
	Total	114,450	150,209	183,264	192,403	343,539	208,491	234,031	257,103	250,745
E	0	3,446	10,113	7,601	8,028	5,475	3,408	666	18,669	7,612
	1	76,556	166,333	153,827	136,479	90,945	203,730	140,743	168,572	78,967
	2	7,018	11,118	10,482	7,546	4,856	3,296	3,056	16,899	7,984
	3	6,718	9,490	9,813	6,021	3,842	9,978	5,518	4,678	13,315
	4	1,998	2,835	2,936	1,782	1,142	2,713	1,452	1,357	7,708
	5	465	684	688	421	270	641	339	318	2,245
	6+	325	491	489	299	192	455	240	232	2,245
	Total	96,527	201,063	185,835	160,576	106,723	224,222	152,014	210,726	120,077
F	0	73,843	41,709	15,745	11,829	22,103	9,899	18,509	21,474	11,692
	1	5,783	12,841	6,383	4,033	2,332	2,710	12,191	5,389	7,148
	2	7,477	4,846	5,010	2,053	1,230	2,393	2,754	4,348	13,199
	3	2,702	2,063	1,760	803	482	1,049	1,382	1,715	1,792
	4	1,286	770	659	292	176	420	509	514	808
	5	944	502	426	194	112	31	304	350	441
	6+	500	372	249	147	68	165	168	98	199
	Total	92,535	63,103	30,233	19,351	26,502	16,667	35,817	33,888	35,279
Total	0	783,733	1,131,545	1,404,730	1,493,926	2,352,604	1,955,958	4,191,580	4,036,962	3,799,027
	1	794,873	1,121,372	992,624	1,267,699	1,220,639	1,216,313	1,652,606	2,409,033	2,423,152
	2	281,051	350,105	303,964	376,033	370,019	368,414	369,801	749,665	472,381
	3	66,772	81,539	75,490	90,977	77,182	102,941	94,049	140,414	131,873
	4	26,705	35,562	33,025	42,048	34,233	49,173	58,461	65,325	50,412
	5	8,987	11,246	10,442	12,210	10,556	14,518	17,204	19,651	15,594
	6+	8,287	9,739	9,979	10,477	9,909	13,763	15,092	17,762	14,424
	Total	1,970,408	2,741,109	2,830,254	3,293,370	4,075,143	3,721,079	6,398,793	7,438,812	6,906,862

Table 3.3. (continued)

FM	Age	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
A	0	3,764,514	4,450,263	4,790,541	4,594,317	2,180,480	2,336,493	2,496,089	2,732,209	3,952,390
	1	605,810	1,104,245	927,685	1,305,380	1,006,687	1,082,707	844,712	690,980	2,004,900
	2	109,350	193,871	171,283	221,293	380,958	437,597	211,087	155,968	220,173
	3	59,058	47,884	47,911	53,458	62,941	52,274	63,289	58,626	71,288
	4	43,832	25,694	30,544	24,864	30,550	30,097	25,243	31,710	32,805
	5	17,994	8,759	10,181	8,081	9,938	10,692	9,146	11,799	14,510
	6+	13,380	8,759	10,780	8,703	9,202	10,692	9,146	5,900	12,617
Total	4,613,941	5,839,474	5,988,925	6,216,097	3,680,756	3,960,553	3,658,711	3,687,192	6,308,684	
B	0	30,216	13,995	14,096	19,972	9,361	5,026	3,213	1,260	99,720
	1	269,314	317,726	311,667	236,289	277,354	134,818	96,650	62,582	402,262
	2	146,749	156,729	172,785	141,820	195,199	252,865	148,290	92,293	76,928
	3	45,066	54,841	65,129	45,570	47,354	78,482	67,395	47,775	34,921
	4	12,427	16,213	19,925	14,627	12,004	13,537	15,242	21,653	16,854
	5	6,033	4,608	5,531	5,813	4,130	6,320	4,272	6,703	4,150
	6+	5,775	4,722	5,710	4,641	5,231	6,619	6,698	5,419	3,511
Total	515,580	568,834	594,843	468,734	550,633	497,667	341,760	237,685	638,346	
C	0	370,519	212,663	462,447	248,719	124,707	87,191	128,683	66,880	439,383
	1	522,572	381,835	132,693	162,367	286,793	201,934	117,684	24,435	204,769
	2	14,810	31,165	27,836	16,531	43,735	56,490	27,683	22,035	30,406
	3	6,991	7,855	17,779	6,283	7,626	17,356	21,195	12,969	9,831
	4	2,944	2,938	5,580	5,525	4,708	6,972	8,064	14,047	10,533
	5	1,012	1,022	1,492	4,322	1,601	2,437	2,812	5,740	3,652
	6+	1,012	1,022	1,103	1,827	1,695	2,512	2,873	5,756	3,792
Total	919,859	638,498	648,931	445,574	470,865	374,891	308,993	151,862	702,367	
D	0	16,260	28,784	23,973	21,281	70,815	11,506	7,440	21,669	71,393
	1	85,088	129,157	78,220	39,587	137,989	73,042	31,881	36,098	154,887
	2	26,922	33,503	22,933	27,931	35,642	58,909	34,014	37,216	16,477
	3	14,305	18,986	10,159	11,119	7,675	10,641	18,237	13,432	4,956
	4	9,037	9,234	5,679	3,094	4,631	4,656	5,409	7,443	9,333
	5	2,776	2,935	1,893	1,440	1,743	1,064	1,551	2,621	3,269
	6+	3,328	3,206	1,633	2,976	1,665	6,435	3,521	1,780	3,322
Total	157,716	225,805	144,489	107,427	260,160	166,253	102,051	120,259	263,637	
E	0	13,815	1,073	2,552	349	865	7,482	13,038	370	304
	1	60,675	67,025	82,938	61,735	44,550	50,529	33,158	44,605	76,642
	2	16,706	10,813	22,090	10,134	18,679	14,224	13,013	10,629	13,941
	3	16,179	13,032	9,673	8,471	4,560	8,230	12,270	9,053	6,510
	4	9,504	7,688	6,445	5,483	2,910	5,398	7,516	5,848	4,511
	5	2,805	2,271	1,953	1,646	872	1,603	2,202	1,747	1,371
	6+	2,805	2,271	1,953	1,637	872	1,603	2,211	1,754	1,382
Total	122,489	104,174	127,604	89,455	73,308	89,070	83,408	74,006	104,659	
F	0	14,005	13,402	69	11,976	4,730	1,627	2,629	6,633	7,636
	1	6,628	4,761	2,549	4,685	21,647	155	2,250	5,616	3,591
	2	8,452	5,437	4,218	5,207	8,143	15,249	10,402	14,695	9,067
	3	4,498	3,468	2,148	2,032	2,716	1,195	2,928	3,385	9,230
	4	1,147	1,034	1,919	1,500	1,375	1,201	2,351	2,974	2,300
	5	402	358	672	525	482	412	827	1,037	806
	6+	409	367	685	536	488	425	840	1,057	823
Total	35,541	28,826	12,260	26,461	39,582	20,265	22,228	35,398	33,453	
Total	0	4,209,331	4,720,180	5,293,679	4,896,615	2,390,958	2,449,325	2,651,091	2,829,021	4,570,826
	1	1,550,087	2,004,748	1,535,752	1,810,045	1,775,020	1,543,186	1,126,334	864,315	2,847,051
	2	322,989	431,517	421,146	422,916	682,356	835,336	444,488	332,837	366,993
	3	146,097	146,066	152,800	126,932	132,873	168,178	185,314	145,239	136,737
	4	78,891	62,800	70,091	55,094	56,177	61,861	63,825	83,675	76,336
	5	31,021	19,953	21,722	21,827	18,766	22,529	20,810	29,648	27,757
	6+	26,709	20,346	21,864	20,319	19,154	28,286	25,289	21,665	25,447
Total	6,365,126	7,405,611	7,517,053	7,353,748	5,075,303	5,108,699	4,517,151	4,306,401	8,051,146	

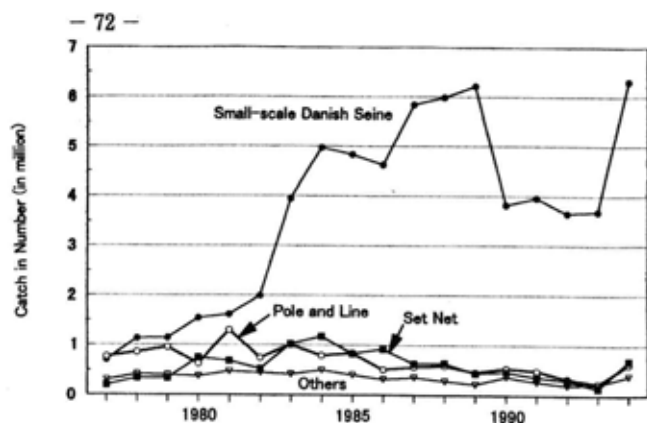


Fig. 3.13. Annual fluctuation of red sea bream catches in number by fishing type in eastern waters of the Inland Sea during the period from 1977 to 1994.

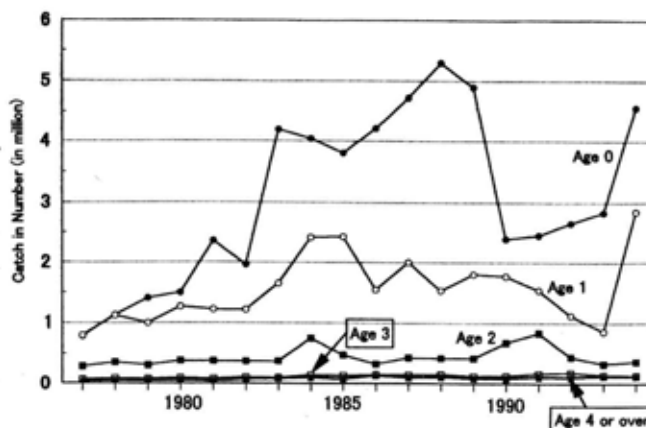


Fig. 3.14. Annual fluctuation of red sea bream catches in number by age in eastern waters of the Inland Sea during the period from 1977 to 1994.

と400万尾弱の水準に減少し、1994年には再び600万尾を超えた。一方、小型底びき網以外の漁法では、1980年代前半に一本釣りと定置網で100万尾前後の小さいピークを迎えた後は、小型底びき網とは逆に長期的な漸減傾向を示した。

年齢別の漁獲尾数の推移をFig. 3.14.に示した。年齢別では0歳魚の漁獲尾数の増加が顕著で、1977年には100万尾以下の水準であったが、その後急激に増加し1983年には400万尾を超え、1980年代後半にかけて400~500万尾の高水準が続いた。1990年代に入ると300万尾以下の水準に減少したが、1994年には再び400万尾を超えた。漁法別では1977年には30万尾程度であった小型底びき網の0歳魚の漁獲尾数はその後急激に増加し、1983年には300万尾を超え、1988年には479万尾を記録した。0歳魚の18年間の平均漁獲尾数(306万尾)の83%が小型底びき網によって漁獲された。1歳魚は1980年代前半まで増加し、1977年の80万尾から1985年には240万尾に達したが、その後は横ばいなし漸減傾向を示し100~200万尾の水準で推移した。2歳魚は微増傾向を示し、3歳以上では大きな変化は認められなかった。

1977~1994年の18年間の平均漁獲尾数は、漁法別では小型底びき網が全体の69%と大半を占め、次いで一本釣りの13%、定置網の11%と、この3種類で全体の90%以上を占めた。年齢別では0歳魚が58%と大半を占め、1歳魚が30%、2歳魚が8%と2歳以下の未成魚が全体の90%以上を占め、成魚の割合は3%に過ぎなかった。

考 察

1988年以降、全国で主要魚種の資源管理を目的とした広域資源培養管理推進事業(国庫補助事業)が実施され、マダイの資源状況が全国各地で調べられた。この調査で明らかにされた1980年代の各海区におけるマダイの漁獲物年齢組成をFig. 3.15.に示した。日本海西区(石川県~山口県、1988~1990年平均)²⁵⁾では1歳魚が漁獲の主体で1~3歳魚が全体の80%と大半を占め、4歳以上の成魚の割合は10%、0歳魚の割合は11%であった。太平洋中区(千葉県~三重県、1983~1990年平均)²⁷⁾では2歳魚が漁獲の主体で1~3歳魚が全体の75%を占め、4歳以上の成魚の割合は15%、0歳魚の割合は10%程度であった。瀬戸内海西区(広島県~宮崎県、1982~1988年平均)²⁶⁾では0歳魚の割合が約50%と高く、4歳以上の成魚の割合も6%と瀬戸内海東部海域と類似した傾向を示した。Fig.3.15.には瀬戸内海東区における1980年代(1981~1989年)の漁獲物年齢組成の平均値を併記したが、0歳魚の割合が最も多く60%を超えるとともに4歳以上の割合は1.5%ときわめて少なく、全国で最も若齢に偏った組成を示している。一方、瀬戸内海における戦前のマダイの漁獲物組成について、王²⁸⁾は1936~1937年に広島魚市場に水揚げされたマダイの年齢組成を報告している。この当時は3~5歳魚が漁獲の主体で0歳魚は漁獲対象とされておらず、10歳以上の高齢魚も相当あり、現在とは比較にならないほど高齢魚の豊富な組成であった。

瀬戸内海東部海域における戦後のマダイ漁獲量の推移

を概観すると、1971年以前の急激な減少期、1972年以降の急激な回復期、1980年代後半以降の安定期に区分される。1971年以前の減少は生息環境の荒廃が再生産に悪影響を及ぼし、1972年以降の増加は資源の回復と小型底びき網漁業の発展によってもたらされた結果と考えられる。近年では毎年9月以降体長10cm前後の0歳魚が生活圏を沖合に広げると同時に漁獲が開始される極限状態の資源利用が行われ、漁獲物の年齢組成は全国で最も若齢に偏っている。その一方で、1990年代になると播磨灘北西部や備讃瀬戸において産卵親魚の来遊量が徐々に回復し、備讃瀬戸では漁獲量の回復の兆候が認められ、今後の動向が注目される。瀬戸内海東部海域におけるマダイ資源の動向については、小型底びき網漁業のこれからの在り方がきわめて重要な影響を与えるものと思われる。

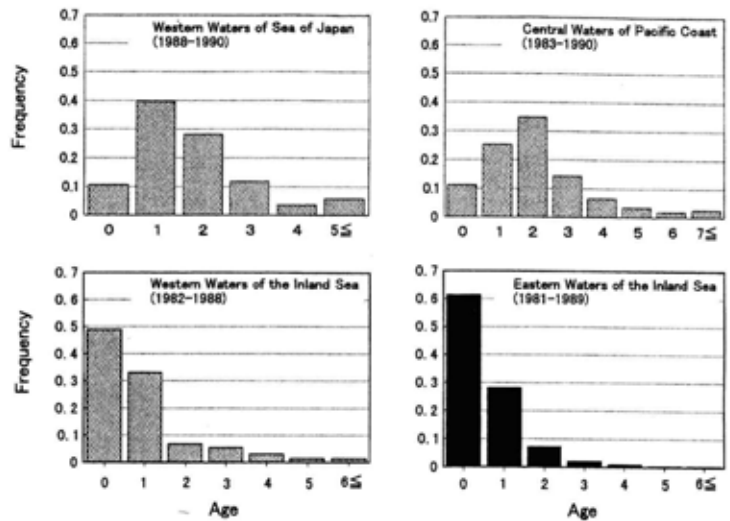


Fig. 3.15. Age composition of red sea bream catches in major fishing regions of Japanese coastal waters through the 1980's.

第4章 資源の変動

本章では瀬戸内海東部群マダイの資源量を推定し、資源管理方針について検討する。瀬戸内海東部海域では1962年の漁業法の改正を契機とした小型底びき網漁業の規制緩和により、マダイ資源の利用は極限状態に達し、漁獲物の若齢化が急速に進んだ。若齢群を漁獲対象に加えることによって、漁獲量は1971年の234トンを超えて最近では1,000トン前後にまで回復したものの、春季産卵親魚を主な漁獲対象とする備讃瀬戸の漁獲量は戦前の水準に遠く及ばない。本章では、まずコホート解析を用いて1977~1994年の18年間における瀬戸内海東部群マダイの資源量を推定する。推定結果に基づき加入量当たり漁獲量解析(YPR解析)および加入量当たり産卵資源量解析(SPR解析)を行い、解析結果から導かれる生物学的管理基準をもとに、望ましい資源管理方針について考察する。

4-1 資源量の推定

方法

瀬戸内海東部海域におけるマダイ漁業は多くの漁法に

よる操業が複雑に入り合っているため、努力量の評価はきわめて困難である。このため資源量の推定方法として、努力量のデータを必要としないコホート解析を用いることとした。解析手法としては、シングルコホート解析としてよく用いられる Gulland⁸⁰⁾、Pope⁸¹⁾の Virtual Population Analysis (以下VPAという)を適用し、最高漁獲年齢から出発して年齢をさかのぼる後退法によった。VPAのプログラムは加藤⁸²⁾、石岡⁸³⁾、島本⁸⁴⁾、久米⁸⁵⁾らによって紹介されている。本研究では、島本⁸⁴⁾が複数年齢群用に開発したプログラムに、年齢別に異なる自然死亡係数および年別に異なる最高漁獲年齢の漁獲係数に対応できるように改良を加えこれを用いた。

VPAの基本式は次の二式である。

$$N_{i+1} = N_i \cdot \exp(-(F_i + M_i)) \dots\dots\dots ①$$

$$C_i = N_i \cdot \frac{F_i}{F_i + M_i} \cdot (1 - \exp(-(F_i + M_i))) \dots\dots ②$$

ただし、C：漁獲尾数、N：初期資源尾数、F：漁獲係数、M：自然死亡係数、i：年齢、t：最高漁獲年齢とする。①、②より

$$\frac{C_i}{N_{i+1}} = \frac{F_i}{F_i + M_i} \cdot \frac{(1 - \exp(-(F_i + M_i)))}{\exp(-(F_i + M_i))} \dots\dots ③$$

ここで②式に最高漁獲年齢の漁獲係数 (F_i)、自然死亡係数 (M_i) および漁獲尾数 (C_i) を与えることにより、最高漁獲年齢の資源尾数 (N_i) は

$$N_i = \frac{C_i (F_i + M_i)}{F_i (1 - \exp(-(F_i + M_i)))} \dots\dots\dots ④$$

として求められる。これを③式に与えると F_{i+1} が求められ、これを順次繰り返すことにより、各年齢の資源尾数と漁獲係数が求められる。ただし、最高漁獲年齢の漁獲尾数 (C_i) としてある年齢以上の漁獲尾数を一括して扱う場合 (本研究では6歳以上を一括した) には、最高漁獲年齢の資源尾数に限って④式を变形し、

$$N_i = \frac{C_i (F_i + M_i)}{F_i} \dots\dots\dots ④'$$

とした。なお、③式は解析的に解けないので、次の F_i に関する関数 G(F_i) を作りその性質を調べる。

$$G(F_i) = \frac{C_i}{N_{i+1}} - \frac{F_i (1 - \exp(-(F_i + M_i)))}{(F_i + M_i) \exp(-(F_i + M_i))} \dots\dots\dots ⑤$$

G(F_i)は F_i=0 で正の値 (C_i/N_{i+1}) をとり、F_i の増加にともない減少し、やがて負の値をとる。プログラムでは F_i の値を0から出発し、きざみ幅を1ずつ増加させながら次々にGを計算し、G=0を与える F_i を⑤式の解とした。もし G=0 の値が存在しない場合にはGの符号が逆転するたびにきざみ幅を半分ずつ戻しながらGを0に近づけ、絶対値が規定の値 (プログラムでは0.0001) より小さくなるときの F_i の値を⑤式の解の近似値として採用した。

プログラムでは6歳以上を一括して最高漁獲年齢として扱ったが、1989年以降生まれの若い年級群では漁獲尾数データの得られた最終年齢が6歳に達していない。この最高漁獲年齢に達しない若い年級群の最終年齢における漁獲係数 (F_i') については次のような方法で求めた。

ただし完全加入年齢以降の選択性は1とした。
①まず年別年齢別漁獲尾数のデータ中で最高漁獲年齢のデータの得られている年級群については、F_i を用いて後退法によって F_i' を求めた。ただし添字は i : 年齢, j : 年を表す。

②年ごとに完全加入年齢以降の年齢のものについての F_i' の平均値 (F_i'_{平均}) を求めた。(F_i'_{平均} = ∑ F_i'_j / n_i)

③ F_i'_{平均} に対する完全加入年齢以前の年齢の F_i'_j の比 (P_i) を年ごとに求めた。(P_i = F_i'_j / F_i'_{平均})

④同一年齢ごとにその平均値 (P_i'_{平均}) を求め、最高漁獲年齢に対する各年齢の選択性の比率とした。

$$(P_i'_{平均} = \sum P_{ij}' / n_i)$$

⑤これを F_i'_{平均} にそれぞれ乗じて F_i' を求めた。

$$(F_i' = F_i'_{平均} \cdot P_i')$$

⑥逐次これを求めて若い年級群に対する計算を進めた。次に入力値として必要な自然死亡係数 (M_i) および最高漁獲年齢の漁獲係数 (F_i) を次の方法で求めた。

まず全減少係数 (Z_i) は、

$$N_i = N_0 \cdot \exp(-Z_i)$$

(ただし N₀: 初期資源尾数, i : 年齢) より、年齢を横軸に、前章で推定した1975~1990年級群の1~5歳 (ただし1975年級群は2~5歳, 1990年級群は1~4歳) までの漁獲尾数の対数値を縦軸にプロットし、その回帰直線から各年級群の回帰係数を求めた。得られた16年分の回帰係数の推移をもとに、各年級群別に全減少係数を推定した。自然死亡係数 (M_i) については、既往知見および生態特性を考慮して年齢別に推定した。最高漁獲年齢の漁獲係数 (F_i) は、推定された各年級群の全減少係数から6歳以上の自然死亡係数を差し引いて求めた。

結果

第3章で得られた各年級群の1歳から5歳までの年齢別漁獲尾数の回帰式から1975~1990年の各年級群の回帰係数を求めた (Fig. 4.1.)。

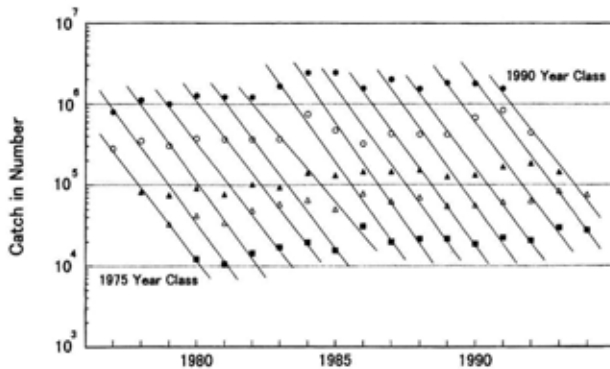


Fig. 4.1. Catch curves for 1975-1990 year classes of red sea bream. Dots cover Ages 1-5, except 1975 year-class fish (Ages 2-5) and 1990 year-class ones (Ages 1-4).
Age type (symbols): ●, Age 1; ○, Age 2; ▲, Age 3; △, Age 4; ■, Age 5

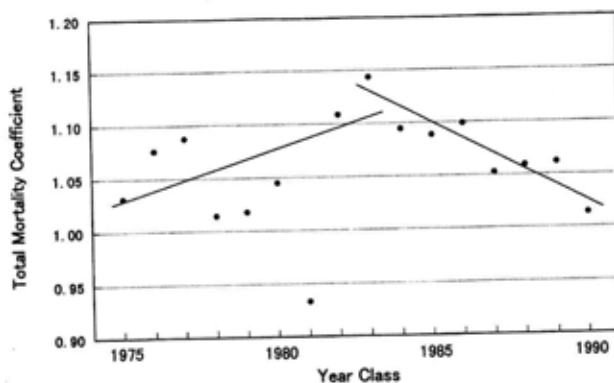


Fig. 4.2. Estimated total mortality coefficients for 1975-1982 and 1983-1990 year classes of red sea bream in eastern waters of the Inland Sea.

各年級群の回帰係数をプロットすると、Fig. 4.2.に示すように1981年級群を除いて1.00~1.15の範囲にあり、その推移には1983年級群を極大値とした傾向が認められ、漁獲尾数が増加傾向を示した1970年代から1980年代前半

にかけて増加し、漁獲量が1,000トン前後に達した1980年代半ば以降減少する傾向がみられた。全減少係数は、この回帰係数の推移から1983年級群以前と1983年級群以降に分けて、それぞれの回帰係数の一次回帰式から得られた計算値を各年級群の全減少係数とした。なお1983年級群については、2つの一次回帰式から得られた値の平均値 (1.116) を用いた。

自然死亡係数の推定方法として、

- ①漁獲努力量と全減少係数の回帰式から推定する方法⁸⁾
 - ②理論的バイオマスと寿命の関係から推定する方法⁹⁾
 - ③理論的バイオマスと成熟年齢および寿命の関係から推定する方法¹⁰⁾
 - ④寿命の逆数から推定する方法¹¹⁾
 - ⑤標識再捕情報から自然死亡と漁獲死亡を分離する方法^{12,13)}
 - ⑥資源の開発初期の頃の年齢組成から推定する方法など、
- 多くの方法が提案されている。

マダイの自然死亡係数に関する既往情報としては、①の方法により東シナ海・黄海産マダイで0.38/年¹⁴⁾、②あるいは③の方法で0.357/年^{15,16)}、④の方法で0.14/年¹⁷⁾、⑥の方法で0.223/年¹⁸⁾が報告されている。一般的には自然死亡係数は年齢によらず一定として扱われることが多いが、いくつかの魚種で小型サイズのもののほど自然死亡率の高いことが報告されている。¹⁹⁾マダイについても水槽実験によって小型サイズのもののほど捕食されやすいこと (島本ほか 未発表) や、餌料環境の厳しい越冬期には0歳魚は1歳以上魚に比べて胃内容物の質の低下が著しいことが知られている。²⁰⁾本研究では既往知見や生態特性を総合的に考慮して、生態的地位の安定すると思われる2歳以降の自然死亡係数を0.17/年、1歳を0.24/年、0歳を0.39/年とした。最高漁獲年齢の漁獲係数は各年級群の全減少係数から6歳以上の自然死亡係数 (0.17) を差し引いた値とした。各年齢群の全減少係数およびコホート解析に用いた自然死亡係数および最高漁獲年齢の漁獲係数をTable 4.1.に示した。

以上のパラメータおよび年別年齢別漁獲尾数データをプログラムに入力し、得られた漁獲係数をTable 4.2.、初期資源尾数をTable 4.3.、初期資源重量をTable 4.4.に示した。

Table 4.3. Estimated stock size and number of adults (in number, ×1,000) from virtual population analysis of the eastern Inland Sea stock of red sea bream for the years from 1977 to 1994.

Year	Age							Total	Number of Adults
	0	1	2	3	4	5	6+		
1977	3,809	1,629	501	154	60	23	10	6,186	170
1978	4,190	1,946	587	168	69	26	12	6,998	191
1979	5,031	1,926	556	178	68	26	12	7,797	195
1980	5,097	2,275	649	194	82	27	12	8,336	218
1981	6,195	2,249	687	207	81	31	12	9,462	227
1982	7,247	2,310	706	244	105	37	16	10,665	280
1983	10,511	3,331	757	262	112	44	18	15,035	305
1984	10,057	3,764	1,177	303	135	42	21	15,500	349
1985	8,590	3,580	876	316	128	55	17	13,563	358
1986	9,726	2,786	725	311	147	62	32	13,789	396
1987	9,561	3,226	843	318	129	52	24	14,153	365
1988	11,360	2,723	800	320	135	52	26	15,416	373
1989	11,203	3,476	806	293	131	51	24	15,984	352
1990	6,970	3,678	1,156	297	132	60	23	12,316	363
1991	5,962	2,800	1,342	358	130	60	34	10,686	402
1992	5,798	2,079	860	377	149	53	30	9,347	421
1993	11,290	1,814	654	322	150	68	26	14,324	405
1994	11,325	5,363	671	250	140	51	30	17,830	346

Table 4.4. Estimated stock biomass and spawning biomass (ton) from virtual population analysis of the eastern Inland Sea stock of red sea bream for the years from 1977 to 1994.

Year	Age							Total	Spawning Biomass
	0	1	2	3	4	5	6+		
1977	114	122	140	95	63	37	25	596	173
1978	126	146	164	103	73	41	29	682	195
1979	151	144	156	110	71	41	30	703	197
1980	153	171	182	119	86	42	31	784	219
1981	186	169	192	128	85	48	30	838	227
1982	217	173	198	150	110	58	41	947	284
1983	315	250	212	161	118	68	45	1,169	312
1984	302	282	330	186	142	65	53	1,360	353
1985	258	269	245	195	135	85	43	1,230	361
1986	292	209	203	191	155	97	80	1,227	428
1987	287	242	236	195	136	82	61	1,239	377
1988	341	204	224	197	142	81	65	1,254	387
1989	336	261	226	180	138	79	61	1,281	368
1990	209	276	324	182	139	94	57	1,281	381
1991	179	210	376	220	136	94	84	1,299	424
1992	174	156	241	232	157	83	75	1,118	431
1993	339	136	183	198	158	106	65	1,185	428
1994	340	402	188	154	147	79	76	1,386	379

なお初期資源尾数は、0歳魚が加入開始時に当たる9月1日時点(0.4歳、体長10cm前後)、1歳以上が満年齢時に当たる5月1日時点の資源尾数を、初期資源重量はそれぞれの時点の資源重量を表している。すべての年齢を平均した漁獲係数はこの18年間に0.66~0.86の範囲を推移したが、0歳魚の漁獲係数は変動が大きく、1977年の

0.28から1987年の0.87まで毎年急激な増加を示し、1987年をピークに漸減傾向を示した。これにともない0歳魚の漁獲率は1977年は21%であったが、その後急激に増加し1987年には49%にまで上昇し、その後は40%前後で推移した。加入尾数は1977年の380万尾から1983年の1,000万尾強

まで単調に増加し、その後変動はあるものの1,000万尾前後で推移した。一方、親魚尾数(3歳の半数および4歳以上)は1977年の17万尾から徐々に増加し、1990年代には40万尾前後となった。初期資源重量は1977年の596トンからその後急激に増加し、1984年には1,360トンと2倍強の値を示し、その後は1,200トン前後で推移した。産卵資源量も1977年の173トンから徐々に増加し、1986年に400トンを超えた後は370トンから430トンの範囲を推移した。このように瀬戸内海東部海域におけるマダイ資源は、1977年以降1980年代前半にかけて増加傾向を示した後、1980年代半ば以降変動はあるもののほぼ同じ水準を維持しながら推移した。

考 察

これまでに瀬戸内海東部群マダイの資源評価を試みたものとして、阪本ほか¹⁰⁾、島本¹¹⁾および永井¹²⁾がある。阪本ほか¹⁰⁾はDOIRAP¹³⁾を用いて漁獲量が回復しつつあった1970年代後半の資源量を推定した。島本¹¹⁾はVPA¹⁴⁾を用いて漁獲量の回復期に当たる1970年代後半から1980年代前半の資源量を推定した。永井¹²⁾は年齢別の加入割合を推定できるコホート解析¹⁵⁾を用いて、島本¹¹⁾と同じ1977~1985年の資源量を推定した。阪本ほか¹⁰⁾は1970年代後半の1歳の初期資源尾数を216万尾、全体の初期資源重量を1,200トンと推定したが、これは今回の結果と比較するとかなり過大な結果であった。この原因として、阪本らは和歌山県加太地区の一本釣の漁獲物組成をもとに資源特性値を推定したため漁獲係数を過小に推定し、結果として漁獲率を0.305と過小に評価したことによると思われる。ちなみに本研究では1970年代後半の全年齢の平均漁獲率は0.5前後であった。最近の研究で永井¹²⁾は本研究と同じ年齢別漁獲尾数データを用い、加入尾数、親魚尾数、初期資源重量とも本研究と類似した結果を報告している。永井はさらに1930年代の広島魚市場に水揚げされるマダイの年齢組成¹⁶⁾をもとに1930年代の瀬戸内海におけるマダイの資源状況を推定し、当時の漁獲係数を0.04~0.07、漁獲率を0.0366~0.0641とし、1930年代から1980年代の50年間に瀬戸内海のマダイ資源が1/6~1/10程度に減少したと報告している。

本研究では1977~1994年の18年間における瀬戸内海東

部群マダイの資源評価を試みた。漁獲量が回復傾向を示した1970年代以降の資源変動を概観すると、1970年代以降親魚尾数とこれに由来する加入尾数がともに増加する拡大再生産が続き、1980年代半ばに加入量が1,000万尾前後のピークを迎えた後は最近までほぼ同じ水準で推移している。最近10年間の初期資源尾数(1985~1994年の平均値)を1977年のそれと比較すると、加入尾数は2.4倍、親魚尾数は2.2倍となり、おおむね2倍強に回復した。この間小型底びき網漁業の発展により資源利用が極限状態まで進むなか、漁獲係数も1980年代半ばをピークに1990年代に入るとむしろ漸減傾向を示すようになった。漁獲量が底を打った1970年代から瀬戸内海東部群マダイは急速に加入量を回復してきたが、この原因については現在のところ十分に明らかにされていない。考えられる要因として、まず1973年に瀬戸内海環境臨時措置法(1978年に瀬戸内海環境特別措置法に改正)の施行により、生息環境の急激な荒廃に歯止めがかかったことが指摘される。生息環境が安定するに従い、生息密度の低下したマダイ資源の内的自然増加率が顕在化し、卵から加入までの生残率(繁殖成功度)が向上した可能性が考えられる(これについては次節で検討する)。一方漁業要因として、瀬戸内海東部海域では1965年から1975年にかけて大阪湾や播磨灘の沿岸部を中心に浮流し式のり養殖業が急速に普及し、この10年間に小型底びき網漁業を主体に2,000~3,000経営体の漁船漁業がのり養殖業に参入していった。これによって毎年9月から翌年4月の約半年間小型底びき網を主体とした漁船漁業の努力量が軽減され、このことがマダイ資源の回復を助長した可能性が考えられる。このほか1970年代には播磨灘南部海域を中心にマダイ養殖業が盛んになり、養殖マダイ由来の卵補給による影響も議論されているが、現在のところ結論は得られていない。

4-2 資源診断と資源管理

方法

資源の現状を診断し望ましい資源管理方策を検討するため、まず再生産関係の検討を行った。1977~1994年の18年間の初期資源尾数をもとに、横軸に親魚尾数（3歳の半数および4歳以上）、縦軸に加入尾数をプロットし、再生産式を求めた。再生産式の推定には、最尤法に基づき各種の再生産式を推定しAIC（赤池情報量規準）によりモデルの比較を行うプログラム^{96,97)}を用いた。

次にこれまでに得られたパラメータを用いて加入量当たり漁獲量解析を行った。加入量当たり漁獲量（以下YPRという）の計算に当たっては、先に求めたように自然死亡係数が0歳、1歳および2歳以上で異なることとし、計算式を次式のように改変した。なお、計算に用いたプログラムでは右辺の積分の項をシンプソン法により近似した。

$$YPR = F \cdot W \cdot \exp(-M(0)(1-t_r) - M(1) - M(2)(t_r - 2)) \cdot$$

$$\int_{t_r}^{t_m} \exp(-M(t) + F)(t - t_r) \cdot (1 - \exp(-K(t - t_0)))^Q dt$$

ただし、F：漁獲係数、 t_r ：漁獲開始年齢、 t_r ：加入年齢（0.4歳）、 t_m ：最高漁獲年齢（15歳）、W：最大体重（7,864g）、K：成長係数（0.1563）、 t_0 ：体長が0となる計算年齢（-0.4412）、Q：体重と尾叉長の相対成長係数（2.905）、M(t)：t歳時の自然死亡係数である。漁獲係数とYPRの関係に基づく生物学的管理基準として、 F_{max} （YPRを最大にするF）および $F_{0.1}$ （YPR曲線の原点での接線の傾きに0.1をかけた傾きをもつ直線がYPR曲線と接する点のF）を推定した。

さらに0歳魚の保護管理を実施した場合のYPRの変化を詳しく検討するため、放流効果評価モデル⁹⁸⁾を用いて、1歳以上の漁獲係数を現状のままとし、0歳魚の漁獲係数と漁獲開始月を変化させた場合のYPRを推定した。なお、放流効果評価モデルでは自然死亡係数を0歳と1歳以上の2区分としているため、0歳の自然死亡係数を0.38、1歳以上を0.17として計算を行った。計算に用いた入力データは、加入尾数が現在と同水準の1,000万尾を超えた1983~1994年の平均値を用いた（Table 4.5.）。

次に再生産を考慮した資源管理方策を検討するため、加入量当たり産卵資源量解析による検討を行った。加入量当たり産卵資源量（以下SPRという）の計算には、

Table 4.5. Conditions for projection of annual catch by the simulation model for resource management.

Conditions for projection	
Last age for fishing	Age 10
Age at first spawning	Age 3
Rate of spawning at the age of first maturity	0.5
Fishing duration for Age 0	8 months
Duration of projection	10 years
Natural mortality coefficient: Age 0	0.38
Natural mortality coefficient: Age 1 or over	0.17
Number of annual recruitment	9,360,000 (constant)

Initial population size, body weight and fishing mortality coefficient by age			
Age	Population Size (×1,000)	Body Weight (g)	Fishing Mortality Coefficient
0	9,360	35	0 - 1
1	3,260	130	0.794
2	1,240	420	0.794
3	470	760	0.794
4	180	1,300	0.794
5	70	1,750	0.794
6	30	2,300	0.794
7	8	2,800	0.794
8	3	3,300	0.794
9	1	3,800	0.794
10	1	4,300	0.794

Mace⁹⁹⁾の近似式を用いた。

$$SPR = \frac{1}{R} \cdot N_t \cdot W_t \cdot dt$$

$$\approx \frac{1 - \exp(-F + M_t)}{F + M_t} \cdot \exp(-(F + M_t)(t - t_r)) \cdot W_t$$

ただし、 $N_t = R \cdot \exp(-(F + M_t)(t - t_r))$ 、R：加入尾数、 N_t ：t歳時の個体数、 W_t ：t歳時の体重、 t_r ：加入年齢（0.4歳）、 t_m ：成熟の開始年齢（3歳の半数）、 t_{max} ：成熟の最高年齢（15歳）、F：漁獲係数、 M_t ：t歳時の自然死亡係数である。なお年齢別加入割合（漁獲選択性）は、Table 4.2.に示した各年齢の漁獲係数の平均値が1歳で最も大きく1歳で完全加入していると推察されたため、1歳以上の漁獲係数を1歳から6歳以上までの平均値（0.784）として漁獲選択性を1とし、0歳の漁獲選択性をその相対値である0.75とした。

さらに、資源の将来的な産卵能力を評価する指標として産卵ポテンシャル¹⁰⁰⁾を推定した。産卵ポテンシャルは繁殖価（ある年齢の個体が生涯に産む産卵数の期待値）の概念を個体から資源全体に拡張したもので、現存資源

が以後の生涯に産む産卵数の期待値である。産卵ポテンシャルは年齢ごとに求めた繁殖価に、1983~1994年の各年齢の資源尾数の平均値を乗じて求めた。なお繁殖価および産卵ポテンシャルの計算には産卵数の代わりに体重を用いた。

結果

1977~1994年の18年間における加入尾数 (R) と由来する親魚尾数 (A) の関係をFig. 4.3.に示した。1977年から1980年代半ばまで拡大再生産を示したが、1980年代後半になると親魚尾数は35~40万尾前後で停滞するとともに、加入尾数は600~1,200万尾の範囲で推移した。18年間の親子関係から14の再生産式を推定し、そのAICおよびパラメータの推定値をTable 4.6.に示した。AICの推定値が最小となったのは⑭のシェファード型

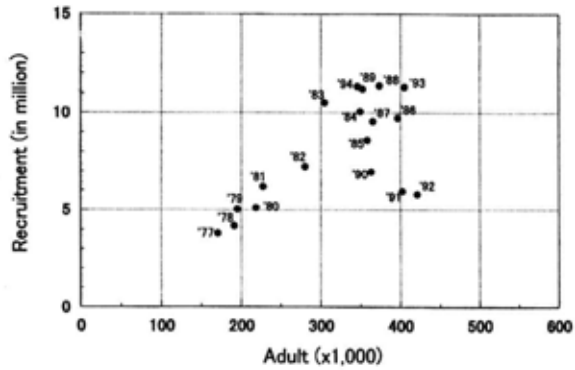


Fig. 4.3. Relationship between the number of adult fish and that of recruitment of red sea bream in eastern waters of the Inland Sea from 1977 to 1994. The numbers in the figure refer to the year of recruitment.

Table 4.6. Estimated parameters for 14 reproduction functions and AIC values. NC refers to no convergence. Model 4 and 6 (bold-faced) were selected. The standard errors of parameters are in parentheses.

Models	AIC	Parameters		
		α	β	γ
1. $R = \alpha + \epsilon$	579.0	8.00×10^6	—	—
2. $\ln R = \ln \alpha + \epsilon$	580.0	7.53×10^6	—	—
3. $R = \alpha A \cdot \exp(-\beta A) + \epsilon$	566.3	35.40	9.98×10^{-7}	—
4. $\ln R = \ln \alpha A \cdot \exp(-\beta A) + \epsilon$	563.5	28.66 (6.56)	4.77×10^{-7} (6.99×10^{-7})	—
5. $R = \frac{\alpha A}{1 + \beta A} + \epsilon$	619.1	0.56	-3.4×10^5	—
6. $\ln R = \ln \frac{\alpha A}{1 + \beta A} + \epsilon$	563.5	28.45 (6.91)	4.91×10^{-7} (8.67×10^{-7})	—
7. $\frac{A}{R} = \frac{1}{\alpha} (1 + \beta A) + \epsilon$	3.97×10^9	4.73×10^{-8}	-2.96×10^4	—
8. $\frac{A}{R} = \frac{1}{\alpha} (\beta + \frac{1}{A}) + \epsilon$	NC	—	—	—
9. $R = \alpha A + \epsilon$	569.7	24.93	—	—
10. $\ln R = \ln \alpha A + \epsilon$	NC	—	—	—
11. $R = \alpha + \beta A + \epsilon$	4.79×10^9	23.82	24.93	—
12. $\ln R = \ln(\alpha + \beta A) + \epsilon$	NC	—	—	—
13. $R = \frac{\alpha A}{1 + (\beta A^\gamma)} + \epsilon$	NC	—	—	—
14. $\ln R = \ln \frac{\alpha A}{1 + (\beta A^\gamma)} + \epsilon$	561.7	34.41	1.43×10^{-7}	0.295

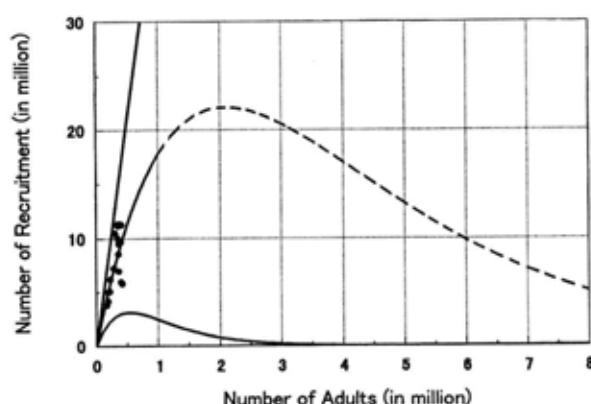


Fig. 4.4. Ricker's reproduction curve of the red sea bream population in eastern waters of the Inland Sea estimated from the data in the figure with the upper and lower confidence limits of 95%.

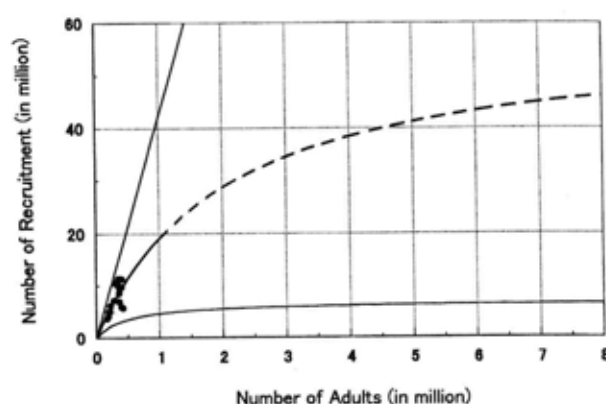


Fig. 4.5. Beverton-Holt's reproduction curve of the red sea bream population in eastern waters of the Inland Sea estimated from the data in the figure with the upper and lower confidence limits of 95%.

ため棄却した。AICの推定値が二番目に小さかった④のリッカー型と⑥のベバートン・ホルト型を最もあてはめの良い再生産式として採用した。リッカー型の再生産式は、

$$R = 28.66A \cdot \exp(-4.77 \times 10^{-7}A)$$

と推定された。再生産式の二つのパラメータ (α , β) の標準誤差 (Table 4.6.) から、それぞれの95%信頼区間は、 α が15.80~41.52, β が $(-8.93 \times 10^{-7}) \sim (1.85 \times 10^{-6})$ と推定された。ただし、密度効果を示す β が負の値になることは生物学的に不合理であるため、ここでは β の範囲を $0 \sim 1.85 \times 10^{-6}$ とした。得られた再生産曲線と95%信頼区間をFig. 4.4.に示した。

一方、ベバートン・ホルト型の再生産式は

$$R = \frac{28.45A}{1 + 4.91A \times 10^{-7}}$$

と推定された。二つのパラメータ (α , β) の標準誤差 (Table 4.6.) から、それぞれの95%信頼区間は、 α が1.91~41.99, β が $0 \sim (2.19 \times 10^{-6})$ と推定された。得られた再生産曲線と95%信頼区間をFig. 4.5.に示した。リッカー型、ベバートン・ホルト型ともに信頼区間の幅は広く、得られた再生産式の信頼性は低いことが示された。漁獲開始年齢を0.4歳、1歳および2歳とした場合の漁獲係数の変化にともなうYPRの変化をFig. 4.6.に示した。どのケースにおいてもFが0.2前後 (現在の1/4)

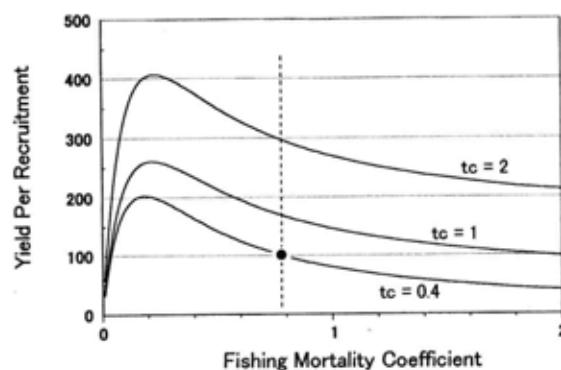


Fig. 4.6. Relationship between fishing mortality coefficient (F) and yield per recruitment for three cases of age at first capture (tc). The dot indicates the present condition of the fishery. The broken line refers to the estimate of F under the present fishery.

でYPRは最大値を示し、現在は資源の利用の仕方が望ましくないことが示された。漁獲係数が現在の水準で推移した場合 (図中の破線)、漁獲開始年齢を現在の0.4歳から1歳に引き上げると加入1尾当たり漁獲量は170g (現在の168%), 2歳に引き上げると297g (同294%)に増加すると推定された。

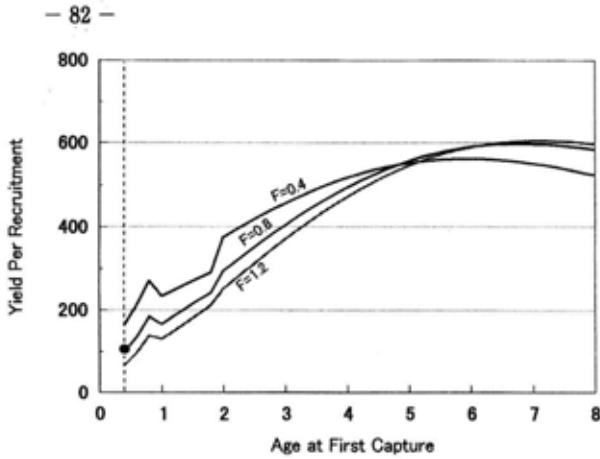


Fig. 4.7. Relationship between age at first capture (t_c) and yield per recruitment for three cases of fishing mortality coefficient (F). The dot indicates the present condition of the fishery. The broken line refers to the estimate of t_c under the present fishery.

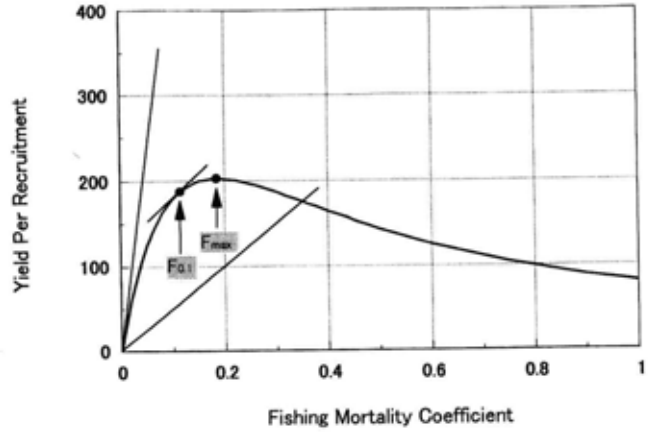


Fig. 4.9. Graphic estimation of F_{max} and $F_{0.1}$ in the yield per recruitment (YPR) analysis.

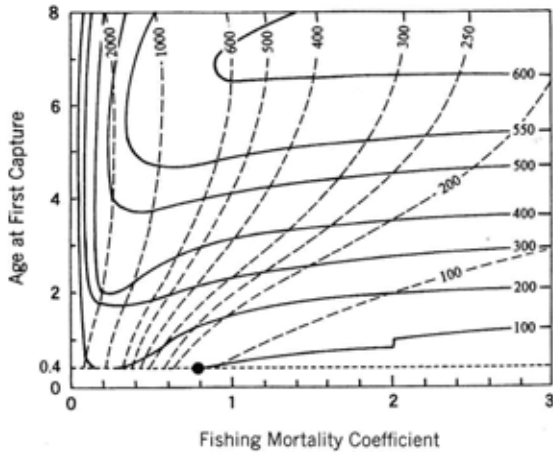


Fig. 4.8. Isoleth of catches per recruitment (solid line) and per unit effort of fishing (broken line) for various levels of fishing mortality coefficient (F) and age at first capture (t_c). Dot indicates the present condition of the fishery.

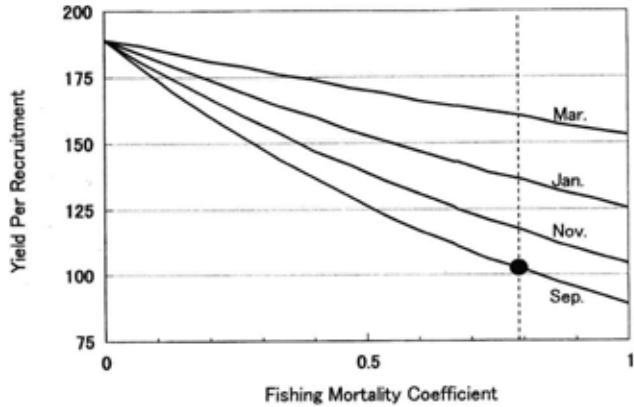


Fig. 4.10. Yield per recruitment calculated for the various level of fishing mortality coefficient and initial fishing month (from Sep. to the next March), for Age 0 population. Dot and broken line indicate the present condition of the fishery. Fishing mortality coefficients for older populations were not changed.

一方、漁獲係数を0.4、0.8および1.2とした場合の漁獲開始年齢の変化にともなうYPRの変化をFig. 4.7.に示した。どのケースにおいても漁獲開始年齢が6~7歳前後に最大値を示し、現状の0.4歳は資源の有効利用の観点からはあまりに若齢過ぎることが示された。

加入量当たり等漁獲量曲線をFig. 4.8.に示した。現状(図の黒丸)では、加入1尾当たり漁獲量は101gの水準にあり、YPR(図の実線)を増やすには漁獲係数を小さくしかつ漁獲開始年齢を引き上げる方向が、また単位努力当たり漁獲量(図の破線)を増やすには漁獲係数を引き下げる方向が効果的であることが示された。現状

の漁獲開始年齢(0.4歳)のもとではFig. 4.9.に示すように、 $F_{max}=0.19$ 、 $F_{0.1}=0.12$ と推定された。

1歳以上の漁獲係数を現状のままとし、0歳魚の漁獲係数および漁獲開始月を変化させた場合のYPRの変化をFig. 4.10.に示した。0歳魚の漁獲係数を引き下げるに従いYPRは増加し、0歳魚の漁獲係数を0にすると189gと現状(図中の黒丸)の1.85倍に増加すると推定された。また漁獲係数が現状(図中の破線)のままでも、漁獲開始月を遅らせることによってYPRは最大で1.85倍に増加することが示された。

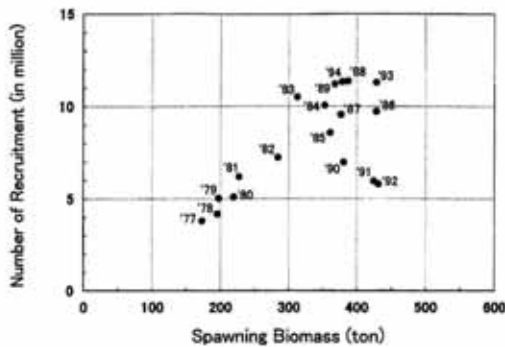


Fig. 4.11. Relationship between spawning biomass and the number of recruitment from 1977 to 1994.

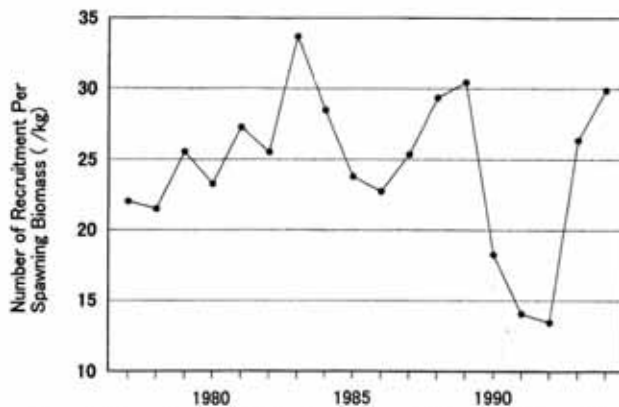


Fig. 4.12. Annual fluctuation of the number of recruitment per spawning biomass of red sea bream population in eastern waters of the Inland Sea during the period from 1977 to 1994.

マダイの産卵数は体重の増加によって直線的に増加し、体重 1 kg (4 歳) で 200~300 万粒、2 kg (6 歳) で 800~900 万粒産卵するとされている。²⁾このため再生産の直接の鍵となる産卵量を産卵資源量に置き換え、1977~1994 年の 18 年間における加入尾数と由来する産卵資源量の関係を Fig. 4.11. に示した。1977 年以降 1980 年代にかけて拡大再生産の方向で推移してきたが、1980 年代後半になると停滞傾向を示した。1977~1994 年における各年級群の卵から加入までの生残率 (繁殖成功率) を示す産卵資源量当たり加入尾数 (以下 RPS という) を、各年級群の産卵資源量 (Table 4.4.) に対する加入尾数 (Table 4.3.) の比率から求め、その推移を Fig. 4.12. に示した。RPS は 1977 年から 1989 年にかけて長期的な増加傾向を示した。なお、1977~1994 年の 18 年間の RPS の平均値は 24.5、95% 信頼区間は 21.8~27.2 と推定された。すなわち産卵親魚 1 kg 当たりの加入尾数は 21.8~27.2 尾で、産卵親魚 1 kg 当たりの産卵数を 300~400 万粒とすると、近年における卵から加入 (体長 10cm 前後) までの生残率はおおよそ 100 万分の 6~9 程度と推定された。

次に、さまざまな漁獲係数の値のもとでの SPR と %SPR (処女資源時の SPR₀ を 100 とした場合の百分率) を Table 4.7. に、漁獲係数と %SPR の関係を Fig. 4.13. に示した。

Table 4.7. Spawning per recruitment (SPR, g/indiv.) by age (Age 3 - 15) and %SPR for various levels of fishing mortality coefficient.

Age	Fishing mortality coefficient													2.873	3.186
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.78	0.8	0.9	1			
3	138	105	80	60	46	35	27	20	16	15	12	9	0.0510	0.0216	
4	398	274	188	129	89	61	42	29	21	20	14	9	0.0080	0.0026	
5	497	309	192	120	74	46	29	18	12	11	7	4	0.0010	0.0001	
6	565	318	179	101	57	32	18	10	6	6	3	2	0.0001	0.0000	
7	602	306	156	79	40	21	10	5	3	3	1	1	0.0000	0.0000	
8	611	281	130	60	28	13	6	3	1	1	1	0	0.0000	0.0000	
9	598	249	104	43	18	8	3	1	1	1	0	0	0.0000	0.0000	
10	570	215	81	31	12	4	2	1	0	0	0	0	0.0000	0.0000	
11	532	182	62	21	7	2	1	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	
12	488	151	47	14	4	1	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	
13	441	123	34	10	3	1	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	
14	394	100	25	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	
15	349	80	18	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0.0000	0.0000	
Total	6,183	2,693	1,296	679	380	224	138	87	61	57	38	25	0.0601	0.0243	
%SPR	100.0	43.5	21.0	11.0	6.15	3.63	2.22	1.41	0.98	0.91	0.61	0.41	0.0010	0.0004	

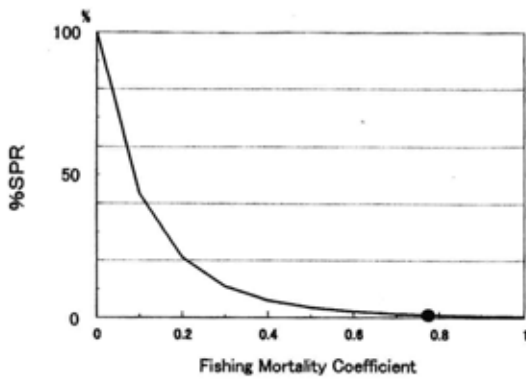


Fig. 4.13. Relationship between fishing mortality coefficient (F) and %SPR. Dot indicates the present condition of the fishery.

SPR解析に基づく管理基準の一般的な下限とされている20% SPRに対応するF (F_{20%SPR})は約0.2, 現在の漁獲係数(0.78)の%SPRは約1%と推定された。

親魚尾数と加入尾数の分析から得られたリッカー型の再生産式を, 産卵資源量(S)と加入尾数(R)に同様に当てはめ,

$$R = 28.88 S \cdot \exp(-5.80 \times 10^{-7} S)$$

を得た。再生産曲線の原点における接線の傾きは28.88 ± (1.96 × 6.24) (95%信頼区間)で, これ以上親魚が減ると再生産が保証されないとされる補償SPR (SPR_r)は1/28.88=0.035, 95%信頼区間は0.060~0.024, これに対応するF (F_r)は2.87~3.19と推定された (Table 4.7)。現在の漁獲係数(0.78)はF_rに比べるとかなり小さく, 再生産にとって危険な水準(閾値)には達していないと考えられた。

現在の資源状況のもとで漁獲係数を変化させた場合の年齢別の繁殖値および産卵ポテンシャルを推定し, Table 4.8に示した。現状では0歳魚の繁殖値は小さいが, 産卵ポテンシャルは最も大きく資源全体の23%を占めた。1歳以上の漁獲係数を現状のままとし0歳魚の漁獲係数を0とすると, 0歳魚の繁殖値と産卵ポテンシャルは現状の179%に, 資源全体の産卵ポテンシャルは118%に増加した。さらに, 0歳魚の漁獲係数が0の条件で1歳以上の漁獲係数を0.4に低減すると, 資源全体の産卵ポテンシャルは現状の約4倍に増加すると推定された。

Table 4.8. Stock size (in number), reproductive value (g/indiv., RV) and spawning potential (ton, SP) by age (Age 0 - 15) for 3 cases of fishing mortality coefficient.

Age	Stock Size	F(0)=0.588, F(1+)=0.784*			F(0)=0, F(1+)=0.784			F(0)=0, F(1+)=0.4		
		RV	SP	%	RV	SP	%	RV	SP	%
0	9,363,000	61	571.14	22.53	109	1,020.57	34.19	513	4,803.22	45.96
1	3,218,000	162	521.32	20.56	162	521.32	17.47	758	2,439.24	23.34
2	889,000	450	400.05	15.78	450	400.05	13.40	1,438	1,278.38	12.23
3	311,000	1,168	363.25	14.33	1,168	363.25	12.17	2,543	790.87	7.57
4	135,000	2,236	301.86	11.91	2,236	301.86	10.11	3,953	533.66	5.11
5	54,000	3,078	166.21	6.56	3,078	166.21	5.57	5,132	277.13	2.65
6	21,000	3,953	83.01	3.27	3,953	83.01	2.78	6,325	132.83	1.27
7	15,000	4,826	72.39	2.86	4,826	72.39	2.43	7,482	112.23	1.07
8	5,900	5,667	33.44	1.32	5,667	33.44	1.12	8,556	50.48	0.48
9	2,300	6,456	14.85	0.59	6,456	14.85	0.50	9,507	21.87	0.21
10	880	7,174	6.31	0.25	7,174	6.31	0.21	10,282	9.05	0.09
11	130	7,797	1.01	0.04	7,797	1.01	0.03	10,806	1.40	0.01
12	50	8,268	0.41	0.02	8,268	0.41	0.01	10,952	0.55	0.01
13	19	8,452	0.16	0.01	8,452	0.16	0.01	10,503	0.20	0.00
14	7	7,995	0.06	0.00	7,995	0.06	0.00	9,073	0.06	0.00
15	3	5,977	0.02	0.00	5,977	0.02	0.00	5,977	0.02	0.00
Total			2,535.49	100.00		2,984.91	100.00		10,451.18	100.00

* Present fishing condition

F(0): Fishing mortality coefficient for Age 0 fish

F(1+): Fishing mortality coefficient for fish of Age 1 or over

%: Ratio of SP of the age to the total SP

考 察

1977～1994年の18年間の親子関係からリッカー型とベバートン・ホルト型の再生産式が推定されたが、信頼区間の幅はきわめて広く、得られた再生産式の信頼性は低い結果となった。これは得られた親魚量のデータが17万尾から42万尾の狭い範囲に限られたため、パラメータの標準誤差が大きく推定されたことによる。増殖率を示す α の変動係数はリッカー型が23%、ベバートン・ホルト型が24%と比較的小さかったが、密度効果を示す β の変動係数はそれぞれ147%、177%と大きく、 β に関する情報が特に不足していることがわかる。再生産関係は不明であるが、仮にリッカー型の再生産関係を前提とすれば、加入量の下限推定値のピークは親魚量が50万尾の位置にあり (Fig. 4.4.)、最大持続生産 (以下MSYという) を示す親魚量規模は少なくとも50万尾より多い位置にあることになる。最近の親魚量が40万尾前後と推定されているところから、リッカー型の再生産関係を前提とすれば現在の親魚量規模はMSYの水準にはまだ達していないといえる。またベバートン・ホルト型の再生産関係を前提とすれば、加入量の下限推定値は親魚量が100万尾以下ではまだ平衡水準には達しておらず、現在の親魚量規模は平衡状態の水準に比べてかなり低位にあるといえる。

一方、1980年代後半以降の最近10年間における親子関係をみると、親魚尾数30～40万尾、産卵資源量400トン

前後で、加入尾数は1,000万尾前後を維持し、安定した再生産状況が続いている (Fig. 4.3., Fig. 4.11.)。この比較的長期間に及ぶ再生産関係の安定は、近年の資源状況が瀬戸内海東部海域の環境収容力に見合っていることを示唆しているのであろうか。瀬戸内海東部海域では戦後沿岸域の埋立、砂利採取、水質や底質の汚濁など人為的な環境変化が大規模に行われ、これによってマダイの産卵場や稚魚生育場など再生産にとって重要な生息域が戦前に比べて縮小しており、現在の環境収容力は1920～1930年当時のそれに比べて低下していることが想定される。瀬戸内海東部海域の環境収容力を検討するため、資源量水準の高かった1920～1930年代²⁾と資源量水準の低下した1980年代²⁶⁾の成長および成熟に関する生物情報を比較し、Table 4.9.に示した。1980年代は1920～1930年代に比べて、同年齢でも体長は変わらないものの体重は重く、かつ成熟年齢が1年早くなっていることが注目される。一般に個体群の生息密度が低下すると、稚仔期の生残率の向上、成長の促進、成熟の若齢化などの生物の補償作用が働くと考えられている。さらに1980年代後半以降、播磨灘北部の家島諸島では産卵親魚の来遊量の増加が認められ (Fig. 3.9.)、かつての一大産卵場であった備讃瀬戸では1990年代に入り産卵親魚の来遊量の増加による漁獲量の回復の兆しが認められる (Fig. 3.2.)。このような一連の現象は、近年安定しているように見える瀬戸内海東部群マダイの資源状況が現在の環境収容力の限界には達しておらず、まだ回復する余地を残していること

Table 4.9. Comparison of growth and maturity between 1920's-1930's and 1980's. Body size in December: FL, fork length; BW, body weight. Maturity: -, immature in all samples; +, mature in some samples; ++, mature in all samples. (after Kajiyama, 1973, and Shimamoto, 1990)

Age	1920's - 1930's			1980's		
	TL(cm)	BW(g)	Maturity	FL(cm)	BW(g)	Maturity
0	12.7	38	-	13.1	52	-
1	23.3	199	-	21.6	230	-
2	30.3	446	-	29.9	590	-
3	36.4	758	-	35.4	964	+
4	41.8	1,136	+	41.0	1,475	++
5	46.7	1,541	++	45.6	2,006	++
6	53.9	2,381	++	49.7	2,585	++

を支持しているように思われる。ただし今回得られた再生産式の信頼性を考慮すると、現在の瀬戸内海東部群マダイの資源状況と環境収容力の関係については慎重に取り扱うべきであろう。さらに信頼性の高い再生産関係を推定するために、今後も漁獲尾数を継続的に調査し、資源動向を注視してゆく必要がある。

永井²⁹⁾は大型魚が漁獲の主体であった1930年代と小型魚が主体となった1980年代の資源状況を比較し、平均体重は1930年代が約1,700g(5~6歳に相当)に対し1980年代では100g前後(1歳に相当)にまで低下し、1980年代の資源量水準は1930年代の1/6~1/10程度に縮小していると報告している。さらに1980年代は資源量は増加傾向にあるが、過開発の状態で小型魚主体の利用に偏っているため、YPRは1930年代の1/2以下に低下していることを指摘している。本研究では1990年代前半を加えた資源評価を行い、最近の瀬戸内海東部群マダイは1980年代後半とほぼ同じ水準を維持しながら、40万尾前後の少ない親魚尾数で1,000万尾前後の高水準の加入尾数を持続していることを明らかにした。この高水準の加入の要因について十分な解答は得られていないが、現在の漁獲係数は資源利用の面からは過大とはいえ、資源の再生産にとって危険な水準には達しておらず、現在の状況に大きな変化がない限り、現在の低い親魚量水準が資源の減少ひいては漁獲量の減少を招くとは考えられない。しかしながら高齡魚の少ない現在の資源構造は、資源利用の面からは決して合理的なものとはいえない。またMSYは不明であるが、環境収容力に余裕があるとすれば、産卵ポテンシャルの最も高い0歳魚の大量漁獲は再生産規模を抑制していることになる。今後は0歳魚の漁獲死亡を抑制し親魚量を増やすことによって漁獲物の平均年齢を高くし、資源の利用方法を合理的なものへと変更してゆくとともに、資源動向を注視しつつ再生産の拡大と安定を図ることが資源管理の基本と考えられる。

年齢によらず漁獲係数を一定としたYPR解析では、漁獲量を大きくする観点からは現在の漁獲係数(0.78)は過大であることおよび漁獲開始年齢(0.4歳)があまりに若齢に過ぎていることが指摘された。YPRを増やすには、漁獲係数を小さくしかつ漁獲開始年齢を引き上げる方向が、また単位努力当たり漁獲量を増やすためには漁獲係数を小さくする方向がより効果的である。生物

学的管理基準の指標として $F_{0.1}=0.12$ (現状の1/6~1/7)、 $F_{max}=0.19$ (現状の1/4)が示された。さらに1歳以上の漁獲係数を一定とし0歳魚の漁獲係数と漁獲開始月を変化させた場合のYPR解析から、1歳以上の漁獲係数が現状のままでも0歳魚の保護管理を実施することによって、最大で現状の1.85倍のYPRが期待できることが示された。

松宮³⁰⁾は水産資源の管理目標を永続的に効率よく活用する最大持続利用と規定し、その実現のために第一に「次世代を維持するために十分な再生産可能な親魚個体を残す」という制限条件の下で、第二に「漁獲から得られる総利益(所得金額)を最大化する」という二つの目標に整理している。そして第一の問題を加入乱獲(生物学的乱獲)に対する管理、第二の問題を成長乱獲(経済的乱獲)に対する管理に区別している。第一の問題を扱ったSPR解析では、現在の漁獲係数(0.78)に対応する%SPRは約1%と推定され、SPR解析に基づく管理基準の一般的な下限値とされている20%SPRに対応する $F(F_{20\%SPR})$ は約0.2となった(Table 4.7.)。この値はYPR解析に基づく F_{max} とほぼ同じ値である。しかしながら、マダイのような寿命の長い底魚に $F_{20\%SPR}$ を基準値として適用するのは疑問である。現在の漁獲係数は資源の合理的利用の面からは過大であるとはいえ、再生産にとって危険な水準に比べるとかなり低いことから、現在の瀬戸内海東部群マダイは次世代を維持するために必要な親魚量は確保されていると考えられる。当面の目標として、現在の漁獲係数を1/4に低減させることは不可能に近く、管理目標として漁獲係数を0.2に設定することは現実には過大な目標であるといわざるを得ない。Fig. 4.13.に注目すると、漁獲係数が0.4以下の水準になると%SPRは5%を超えるようになり、以後加速度的に増加する。瀬戸内海東部群マダイは現状の低い%SPRのもとでも高水準の加入量を持続していることから、当面若齢群を主体に漁獲係数を低減し親魚量を増やすことによって、現在の高水準の加入量を合理的な漁業生産に結びつけることが現実的な対応であり、このことが将来再生産規模の拡大と安定に結びついてゆくと考えられる。本研究では、瀬戸内海東部群マダイの生物学的管理基準に基づく資源管理方針として、短期的には漁獲開始年齢を現在の0.4歳から1歳に引き上げ、中長期的には漁獲

係数を現在の0.78から0.4 ($F_{0.250\%}$ に相当)程度に低減することを提示し、その具体的な対策について以下に検討する。

これまで述べてきたように瀬戸内海東部群マダイの資源問題は、産卵ポテンシャルが高く経済価値の低い小型若齢群の大量漁獲が当面の中心的課題となっている。特に漁獲尾数全体の60%前後を占める0歳魚の漁獲死亡は、資源問題の核心である。漁獲係数の抑制については、古来からの漁業慣行を含め制度上多くの規制が行われている。瀬戸内海における最重要魚種であるマダイは府県を越えて回遊することから、瀬戸内海漁業取締規則(1951年8月農林省令第62号)第8条で「全長12センチメートル以下のまだいは、毎年7月1日から9月30日までの期間は、採捕してはならない。」と定められている。ところがこの内容では、0歳魚が最も多獲される10月以降の漁獲については規制の対象外で、現行の法的措置はマダイの資源問題の核心に触れていない。現在業界の自主的な資源管理計画として全国30都府県においてマダイの体長制限が実施され、全国をおしなべてみるとおおむね0歳魚(全長15cm)の漁獲禁止措置となっている。

¹⁰⁰瀬戸内海東部海域では地形的特徴や歴史的な漁業事情があるとはいえ、全長13cm以下と全国で最もサイズの小さい規制内容の県が多く、省令で採捕制限が定められている海域で規制サイズが最小という皮肉な結果となっている。先に述べたように、0歳魚は晩秋から初冬にかけて越冬のため大規模な回遊を行い、回遊途上で加入量の半数近くが漁獲される。取り残された0歳魚は翌春まで越冬場に滞留するとともに、成熟するまでの間は大規模な回遊を行わない。このことから0歳魚の年内採捕を規制することができれば、0歳魚に対する漁獲係数を効率よく低減させると同時に、漁獲開始年齢を現在の0.4歳から実質的に1歳近くに引き上げることになる。瀬戸内海漁業取締規則第8条の禁止期間を0歳魚が越冬回遊を終了する年末まで延長し、これを実行することによって瀬戸内海東部群マダイの資源構造はかなり改善され、YPRは最大で現状の1.85倍、産卵ポテンシャルは1.2倍前後に増加することが期待される。

漁獲開始年齢を引き上げる漁業技術上の方策として、一般的には網目の拡大が提示される。しかしながら瀬戸内海東部海域では0歳魚を主に漁獲している板びき網で

は、サルエビ *Trachypenaeus curvirostris* などの小型エビ類やマアナゴ *Conger myriaster* を重要な漁獲対象種としているため、魚捕部には20mm前後の小さな目合の漁網を使用している地区が多い。^{101,102}このことが0歳魚の混獲の大きな要因となっており、体高の大きいマダイにとって単純な目合の拡大による資源管理は現実には困難である。このような漁業実態に対し、瀬戸内海東部海域では資源管理方策のひとつとして、小型魚の再放流(Back-Fish運動)が提案されている。0歳魚の混獲は8月頃から始まるが、水温の高い季節ではいったん船上に引き上げられると再放流しても生残率は低い。ちなみに1989年調査時の平均生残率は8月7%、9月41%、10月68%、11月74%であった。¹⁰³このため、船上に引き上げた漁獲物の活力を維持し再放流した小型魚の生残率を高めるため、漁船に流水式選別水槽を設置したり、曳網中の魚類に損傷を与える混獲物(磯、貝殻、砂、ウニなど)を分離する漁網の開発などが進められている。¹⁰⁴九州北西部の筑前海域では、1994年から原則として養殖用種苗としてのマダイ幼魚の採捕を禁止し、小型幼魚の再放流を実施する一方、漁具改良によるマダイ幼魚の混獲防止に取り組んでいる。^{107,108}吉岡・濱田¹⁰⁶は筑前海域において小型底びき網の曳網中の網内における魚種別の行動特性を調べ、マダイ幼魚など遊泳力のある魚類は網の上部に集まることから、上網の目合を拡大することによって、目的とする小型エビ類などを逃すことなくマダイ幼魚を効率よく網外へ逃がさせる可能性を示唆している。このような取り組みは未だ歴史が浅く、漁業の現場に普及してゆくには多くの解決すべき問題が残されているが、0歳魚の漁獲死亡の軽減や漁獲開始年齢の引き上げに直接作用する有効な対策であり、実現に向けて粘り強い取り組みが望まれる。

一方、漁獲係数を低減させる方法としてまず漁獲努力量の削減が考えられる。瀬戸内海東部海域では基幹漁業の漁獲努力量が過剰であるとの認識のもとに小型底びき網漁業の減船、出漁日数の削減、操業時間の短縮などが資源管理指針として提案された。¹⁰⁹これにより現在多くの地域で週休2日制の導入あるいは休漁日の統一実施による出漁日数の削減や操業時間の短縮が実行されている。一方このような物理的な漁獲努力量の削減以外に、海域のほぼ全域で高度な資源利用が行われている瀬戸内海東

部海域では、産卵期や産卵場における禁漁措置はマダイ資源にとって効率的な漁獲係数の低減措置と考えられる。禁漁期や禁漁区の設定は関係者間に新たな利害問題を発生させるが、これからは「必要な資源をいかに残すか」が重要な命題となることを考えると、これらは効率的な漁獲係数の低減措置として今後具体的な検討が望まれる。瀬戸内海における漁獲努力量は今後さらに減少傾向を加速すると予測されているとはいえ、漁獲係数を現状の0.78から0.4に低減させるのは容易なことではない。まして漁獲努力量の削減は漁業経営に直結する問題であり、漁業経営の許す範囲でゆるやかにその削減に努めることが求められる。長期的な展望のもとに生活圏全域における関係者の利害を総合的に調整し、多面的に効率よく漁獲係数を低減させる取り組みが望まれる。

今回提示した二つの資源管理方策(①漁獲開始年齢を1歳に引き上げる、②さらに1歳以上の漁獲係数を0.4程度に低減する)を実行した場合の漁獲量の推移および将来の漁獲状況を放流効果評価モデルを用いて予測し、Fig. 4.14.およびTable 4.10.に示した。なお、毎年の加入量は現状の水準で一定とし、計算条件および入力データはTable 4.5.のとおりである。まず漁獲開始年齢を1歳に引き上げると、漁獲量は1年目は現状の87%に減少するが、2年目以降は現状を上回るようになる。そして5年後には、現状に対し漁獲尾数は88%に減少するものの、

資源尾数、漁獲重量、漁獲金額はそれぞれ125%、143%、154%に増加すると予測される。さらに1歳以上の漁獲係数を0.4に低減すると、漁獲量は1年目には現状の52%、2年目には83%に減少し、3年目以降現状を上回るようになる。そして5年後には漁獲尾数は64%に減少するものの、資源尾数、漁獲重量、漁獲金額はそれぞれ158%、192%、240%、10年後にはそれぞれ164%、257%、343%とさらに大きく増加することが予測される。漁獲

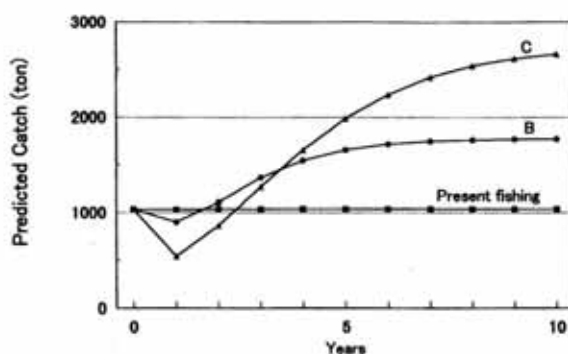


Fig. 4.14. Predicted catches by the simulation model for two fishery management strategies. Condition of strategies: B, fishing Age 0 fish is prohibited; C, in addition to strategy B, fishing mortality coefficient for fish Age 1 or over is decreased at 0.4.

Table 4.10. Predicted stock sizes and catches 5 and 10 years after using the simulation model for the two fishery management strategies B and C. Condition of strategies: B, fishing Age 0 fish is prohibited; C, in addition to strategy B, fishing mortality coefficient for fish Age 1 or over decreased at 0.4.

Predicted Value	At Present	Strategy B		Strategy C	
		5 years after	10 years after	5 years after	10 years after
Stock in number (x1,000)	14,620 (100%)	19,600 (134%)	19,710 (135%)	23,130 (158%)	24,030 (164%)
Catch in number (x1,000)	6,580 (100%)	5,210 (79%)	5,260 (80%)	4,180 (64%)	4,460 (68%)
Catch in weight (ton)	1,035 (100%)	1,658 (160%)	1,772 (171%)	1,990 (192%)	2,661 (257%)
Catch in value (million yen)	3,117 (100%)	5,408 (174%)	5,944 (191%)	7,471 (240%)	10,691 (343%)

開始年齢の引き上げと漁獲係数の低減は、漁獲物の平均年齢を高くして漁獲物の平均重量と平均単価を上昇させるため、漁獲尾数は減少しても漁獲重量と漁獲金額は増加する。さらに漁獲尾数の減少は小型若齢群の現存尾数の増加をもたらすことによって産卵ポテンシャルを増加させ、環境収容力に余裕があればさらなる拡大再生産をもたらすことが期待される。なお、漁獲量は当初の1～2年間減少すると予測されたが、現実には初年度から提示した資源管理方策が完全に実施されることは考えにくい。漁業者の理解と協力を得ながら、提示した資源管理方策に徐々に移行するのが望ましい。小型底びき網漁業は底魚すべてを漁獲対象とするため、単一種を対象とした資源管理方策をそのまま適用することは困難である。0歳魚の大量漁獲は、これを目的とした漁獲以外に、毎年9月以降生活圏を沖合に広げる過程で小型底びき網に混獲される量が相当あり、問題の解決を一層難しくしている。瀬戸内海ではマダイ以外の多くの魚種で漁獲物の

小型化が指摘されて久しく、小型底びき網漁業の主要な対象魚種全般でマダイと類似した資源問題が発生している。マダイは近年の過大な漁獲圧の影響が最も顕著に表れた典型的な事例であり、マダイに対する資源管理への取り組みは他の多くの底魚資源にとっても重要な意味を持っている。

歴史的な必然の結果として形成されてきた現在の漁業実態を変えるのは、容易なことではない。資源管理の成否の鍵は、漁業者の資源保全意識にかかっている。このため資源管理に関する技術と制度の連携を図りながら、関係者全員の利害を調整しつつ、漁獲係数の抑制策を多面的に講じることが重要である。資源管理の重要性が業界にも広く認識されるようになった今日、短期的には瀬戸内海漁業取締規則の改正を含めて0歳魚の漁獲規制の強化を、中長期的には資源動向を注視しつつ合理的な資源利用を重視した漁獲係数の低減への取り組みが望まれる。

第5章 種苗放流とその効果

瀬戸内海では戦後漁場環境の荒廃や漁業の近代化にとまなう漁獲圧の増大によって多くの漁業資源が衰退の一途をたどり、資源問題が深刻化した。これに対し、1960年代に人工種苗を大量放流することによって資源に添加する栽培漁業が沿岸漁業の振興対策として登場し、海産魚類ではマダイが先駆的に取り組まれた。瀬戸内海におけるマダイの放流事業の歴史は古く、その端緒は1973年に開始された瀬戸内海栽培漁業魚類放流技術開発調査事業にさかのぼる。翌1974年には関係県による瀬戸内海東部海域マダイ班が発足し、以来曲折を経ながら現在へと引き継がれてきた。この間に栽培漁業の実施体制も整備され、1983年以降瀬戸内海東部海域では毎年100万尾以上の人工種苗が継続的に放流されるようになった。本章では、瀬戸内海東部海域において長年取り組まれてきたマダイの種苗放流事業の歴史を概観し、放流効果を推定する。そして、種苗放流が資源対策として有効に機能するための問題点と今後の方策について考察する。

5-1 種苗放流事業の歴史

我が国における海産魚介類の放流事業は、水産庁主導のもと1963年神戸市において瀬戸内海沿岸12府県と各府県漁連を会員とした社団法人瀬戸内海栽培漁業協会が設立され、瀬戸内海をモデル海域として開始された。マダイは海産魚類では先駆的に取り組みられ、1965年に瀬戸内海栽培漁業協会伯方島事業場で種苗生産試験が開始された。瀬戸内海におけるマダイの放流事業は、全国に先駆け1973年に開始された瀬戸内海栽培漁業魚類放流技術開発調査事業に端を発する。翌1974年には和歌山県、兵庫県、岡山県、香川県および徳島県による瀬戸内海東部海域マダイ班が発足し、広域の共同調査研究体制が整備された。水産庁・日本栽培漁業協会発行の「栽培漁業種苗生産、入手・放流実績(全国)」および瀬戸内海東部海域マダイ班の各年度報告²⁾に基づき、1973年以降の瀬戸内海東部海域におけるマダイ種苗の放流尾数および標識放流尾数の推移をFig. 5.1.に示した。瀬戸内海栽培漁業魚類放流技術開発調査事業は1979年まで続いたが、この

期間は主にマダイ種苗の量産技術開発と放流群の移動生態の解明に力が注がれ、標識放流尾数も10万尾以下と少なく、放流効果を実証するには不十分であった。放流種苗は当初国営の瀬戸内海栽培漁業センターで生産されていたが、1980年に徳島県、1982年に兵庫県、1985年に和歌山県でそれぞれ県営栽培漁業センターが開所し、各県でマダイ種苗が生産されるようになった。これにより1980年代になると種苗生産規模は拡大し、1983年以降毎年100万尾以上の人工種苗が継続して放流されることとなった。

種苗生産技術の安定と放流尾数の増加にともない、1980年に和歌山県、兵庫県および徳島県から構成される瀬戸内海東部マダイ班が発足し、瀬戸内海東部海域における広域共同調査研究は第Ⅰ期回遊性魚類共同放流実験調査事業として新たに開始された。主要な課題は種苗の量産技術開発から放流群の回遊経路、生活圏の実証、資源評価、放流効果の推定といった資源生物学的なものへと変化していった。本調査事業では放流群と天然群を区別するため、放流群の一部にアンカータグやスバゲィタグ等の体外標識を装着し、漁業者からの再捕報告をもとに放流群の移動分散さらに放流効果の推定を試みた。

しかしながら、標識の脱落や標識による死亡、漁業者からの再捕報告の不確実性など放流効果を定量的に実証するには不確定要素が多く、回遊経路や生活圏の確定、資源評価等については成果をみたが、放流効果に関する定量的な実証は後の調査に待つこととなった。¹⁰⁾

1985年から回遊性魚類共同放流実験調査事業は第Ⅱ期として再出発し、放流効果の定量的な実証を優先課題として取り組んだ。この頃には放流尾数は100万尾を超えるとともに、標識方法を体外標識から鰭抜去方式に変え、社団法人日本栽培漁業協会の協力を得て50万尾以上の標識放流尾数を確保できるようになった。灘別の放流尾数の推移をFig. 5.2.に示した。1980年代前半までは、漁業者に対する栽培漁業の普及啓発と放流群の移動生態の解明に主眼が置かれたため、各灘で比較的小規模な分散型放流が行われたが、第Ⅱ期回遊性魚類共同放流実験調査事業の始まった1985年以降放流効果の実証を主目的に、分布の中心でかつ放流3県の共通海域である紀伊水道北部海域を中心に大量集中放流が実施されるようになった。また放流群の再捕情報についても、従来の漁業者からの再捕報告に頼る方法から、研究者自らが市場に向いて有標識率を調査する方法(市場調査)に変更した。1985

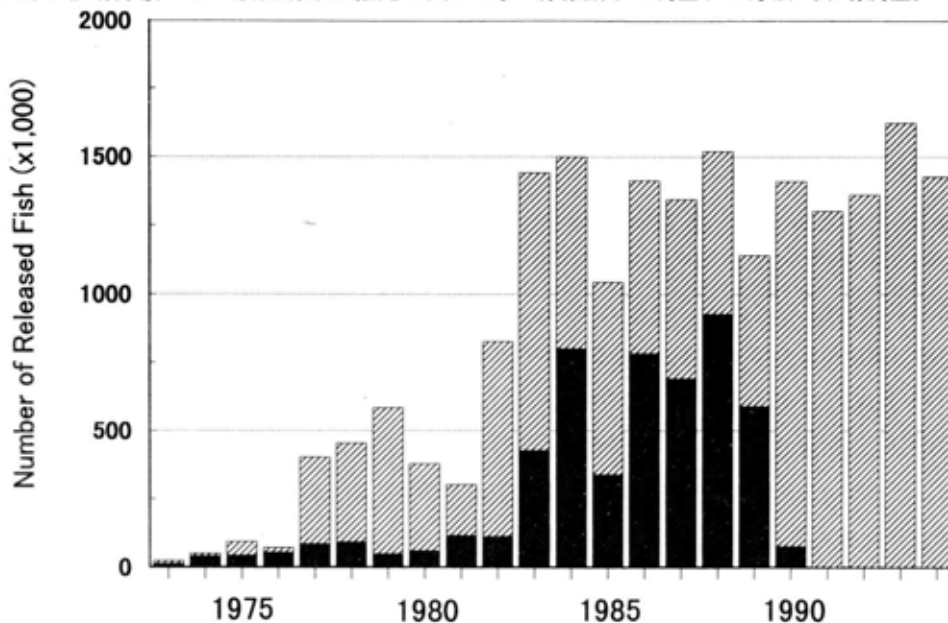


Fig. 5.1. Annual number of released hatchery-reared red sea bream in eastern waters of the Inland Sea. Black bars indicate number of released fish with tags.

* 1973~1979年：瀬戸内海栽培漁業魚類放流技術開発事業調査報告書

1980~1987年：回遊性魚類共同放流実験調査事業報告書

1988年～：広域資源培養管理対策推進事業報告書(全国栽培資源調査データ集)

年以降このような条件が整うことによって、有標識率に関する信頼性の高い情報が継続的に収集され、放流効果に関する定量的な実証が行われるようになった。

この間栽培漁業をめぐる大きな流れとして、1979年に社団法人瀬戸内海栽培漁業協会は社団法人日本栽培漁業協会と改組され、栽培漁業の全国展開が図られることとなった。これを契機にマダイの放流事業に関する広域共同調査研究は全国的な広がりをもたせ、瀬戸内海以外にもマダイの放流事業に関連した多くの知見が得られるようになった。さらに1983年には沿岸漁場整備開発法(1974年法律第49号)の一部改正により、栽培漁業の推進が沿岸漁業振興策の柱として法的に位置づけられた。これに基づき栽培漁業を計画的かつ効率的に推進するため、国においては1984年に「水産動物の種苗生産及び放流並びに水産動物の育成に関する基本方針」が定められ、これに沿って各府県においても「水産動物の種苗生産及び放流並びに水産動物の育成に関する基本計画」が定められ、各種事業が推進されることとなった。国の基本方針および県の基本計画はおおむね5年に一度見直されているが、現行の制度はおおむねこの時点の発想や技術水

準に基づいて策定されたものが多い。

1980年代終わりになると、資源管理型漁業が重要施策として位置づけられたことにともない、マダイの放流事業調査は1988年から資源培養管理対策推進事業(栽培資源調査)として再出発し、瀬戸内海東部6府県(和歌山県、大阪府、兵庫県、岡山県、香川県、徳島県)を構成メンバーとする瀬戸内海東ブロックが新たに組織された。本調査では放流効果の実証と平行して、水産庁と日本栽培漁業協会により種苗放流と漁獲規制が漁獲に与える影響を再生産をも考慮して見積もるシミュレーションモデル(放流効果評価モデル)が開発された。^{98,100}1991年には放流効果評価モデルのシミュレーションに基づく資源管理指針¹⁰⁰が提示され、1993年には各府県漁連により資源管理計画が策定された。資源管理計画の内容は、小型魚の保護(再放流)、放流種苗の確保、休漁日の統一による漁獲努力量の削減、資源管理のための話し合いの継続などであった。現在はこの資源管理計画に基づく取り組みが各地で実施されている。さらに1993年以降は資源管理型漁業推進総合対策事業(広域栽培資源放流管理手法開発調査)に引き継がれ、現在に至っている。

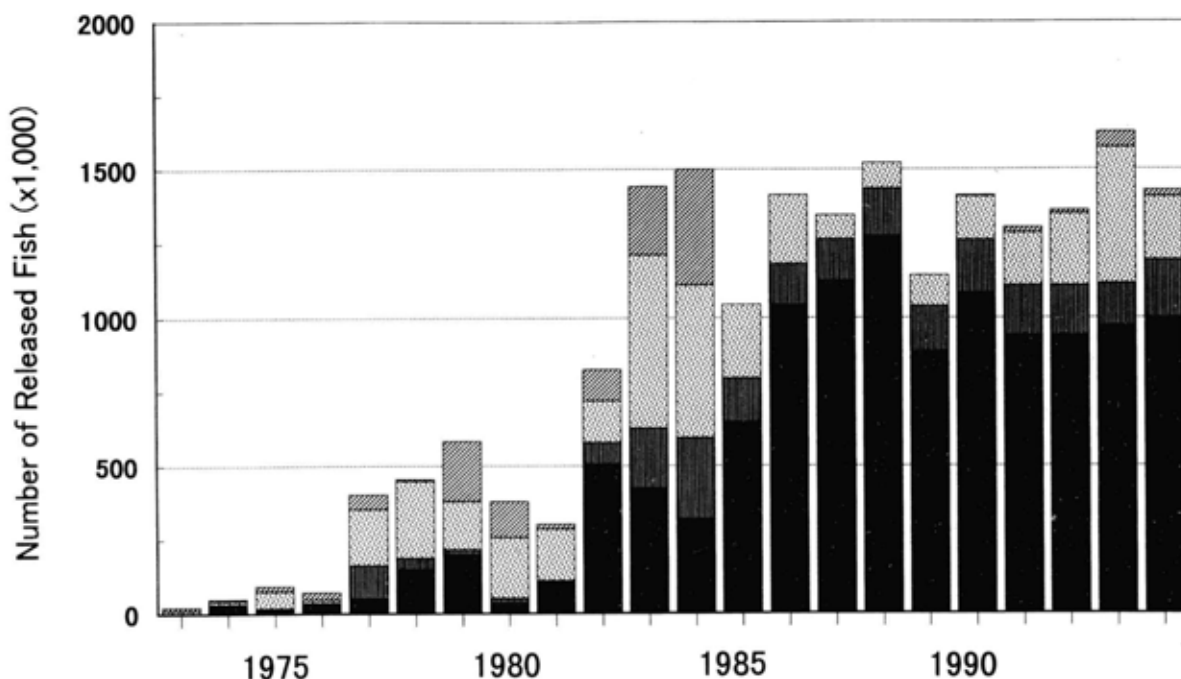


Fig. 5.2. Regional composition of hatchery-reared red sea bream released in eastern waters of the Inland Sea. Region (color patterns): black, Kii Suido; vertical lined, Osaka Bay; dotted, Harima Nada; hatched, Bisan Seto

5 - 2 放流効果の推定

方 法

放流効果には放流群に由来する再生産効果が含まれるのは当然であるが、放流群の再生産に関する情報が得られていないため、本研究では1985~1989年の5年間の放流群に由来する直接的な生産効果(回収量)を放流効果として取り扱うこととする。

放流効果の推定は、まず第Ⅱ期回遊性魚類共同放流実験調査事業が開始された1985年から1989年までの5年間における各放流群の放流-再捕データをもとに、放流群別年齢別の有標識率を求めた。なお標識は鱗除去方式で、和歌山県が右腹鱗、兵庫県が左腹鱗、徳島県が背鱗カットにより放流群を区別し、再捕魚の年齢は体長から判断した。標識放流および有標識率調査を実施した地区をFig. 5.3.に示した。有標識率調査は1985~1990年の6年間に33地区で実施された。各年の地区別の標識放流尾数およびサイズをTable 5.1.に示した。この5年間に総放流尾数の51%に当たる約333万尾の人工種苗が標識放流された。放流サイズは全長55~159mmの範囲で、100mm

前後が主体であった。標識放流尾数の95%が紀伊水道北部の由良、加太、沼島、鳴門に放流されたが、これは瀬戸内海東部海域では小型底びき網による0歳魚の漁獲死亡が大きい漁業実態を考慮し、越冬場のある紀伊水道に大型種苗の大量集中放流を行うことによって放流後の移動分散をできるだけ抑制し、放流効果の向上を意図したことによるものであった。



Fig. 5.3. Release sites (open circle) and fish markets (closed circle) for the survey of released red sea bream in commercial landings. The survey was carried out from 1985 to 1990.

Table 5.1. The number of hatchery-reared red sea bream with tags in eastern waters of the Inland Sea. The size at release is in parentheses (total length, in mm).

Release Site	1985	1986	1987	1988	1989	Total
Kada	83,632 (55-110)	127,573 (83-100)	145,093 (68-119)	111,026 (76-112)	153,034 (85-105)	620,358
Yura	61,063 (104)	125,389 (86)	127,941 (93)	—	—	314,393
Nushima	54,359 (108-109)	419,400 (81-135)	219,570 (106-110)	632,000 (94-112)	207,872 (112-132)	1,533,201
Naruto	51,370 (82-100)	67,858 (62-96)	178,118 (64-119)	177,000 (101)	214,000 (71)	688,346
Ieshima	28,000 (108)	—	—	—	—	28,000
Harima Nada	60,221 (106-115)	41,744 (89-116)	19,945 (106-119)	—	—	121,910
Others	—	—	—	5,928 (84)	14,456 (73-159)	20,384
Total	338,645	781,964	690,667	925,954	589,362	3,326,592

Table 5.2. Result of the fish market survey in eastern waters of the Inland Sea. Ratio (R, %) of marked fish in the landings (MF) to survey samples (SS) by age (Ages 0 - 5) and by area for the releases over 5 years (R1985-R1989). Survey areas: A, Kii Suido; B, Osaka Bay; C, Harima Nada; D, Bisan Seto.

Age	Survey Area	R1985			R1986			R1987			R1988			R1989			Total		
		SS	MF	R	SS	MF	R	SS	MF	R	SS	MF	R	SS	MF	R	SS	MF	R
0	A	5,420	128	2.36	28,335	382	1.34	25,514	933	3.66	29,960	450	1.50	14,357	352	2.45	103,786	2,245	2.16
	B	0	0		0	0		0	0		5,933	9	0.15	4,268	6	0.14	10,201	15	0.15
	C	0	0		64,504	733	1.14	74,701	402	0.54	2,469	3	0.12	2,165	0	0.00	143,839	1,138	0.79
	D	0	0		0	0		1	0	0.00	365	1	0.27	1,306	0	0.00	1,672	1	0.06
	Total	5,420	128	2.36	93,039	1,115	1.20	100,216	1,335	1.33	38,727	463	1.20	22,096	358	1.62	259,498	3,399	1.31
1	A	6,692	39	0.58	11,168	117	1.05	10,045	109	1.09	10,918	89	0.82	5,416	54	1.00	44,239	408	0.92
	B	0	0		0	0		50	0	0.00	1,353	3	0.22	637	5	0.78	2,040	8	0.39
	C	0	0		0	0		570	1	0.18	673	1	0.15	63	0	0.00	1,306	2	0.15
	D	0	0		1	0	0.00	28	0	0.00	250	0	0.00	21	0	0.00	300	0	0.00
	Total	6,692	39	0.58	11,169	117	1.05	10,693	110	1.03	13,194	93	0.70	6,137	59	0.96	47,885	418	0.87
2	A	3,101	9	0.29	5,153	13	0.25	3,714	22	0.59	2,208	8	0.36				14,176	52	0.37
	B	0	0		0	0		0	0		65	0	0.00				65	0	0.00
	C	0	0		45	0	0.00	43	0	0.00	23	0	0.00				111	0	0.00
	D	0	0		14	0	0.00	97	0	0.00	7	1	14.29				118	1	0.85
	Total	3,101	9	0.29	5,212	13	0.25	3,854	22	0.57	2,303	9	0.39				14,470	53	0.37
3	A	1,483	0	0.00	1,318	1	0.08	638	5	0.78							3,439	6	0.17
	B	0	0		0	0		0	0								0	0	
	C	87	0	0.00	13	0	0.00	5	0	0.00							105	0	0.00
	D	3	0	0.00	45	0	0.00	6	0	0.00							54	0	0.00
	Total	1,573	0	0.00	1,376	1	0.07	649	5	0.77							3,598	6	0.17
4	A	297	0	0.00	126	0	0.00										423	0	0.00
	B	0	0		0	0											0	0	
	C	7	0	0.00	17	0	0.00										24	0	0.00
	D	11	0	0.00	6	0	0.00										17	0	0.00
	Total	315	0	0.00	149	0	0.00										464	0	0.00
5	A	30	1	3.33													30	1	3.33
	B	0	0														0	0	
	C	33	0	0.00													33	0	0.00
	D	0	0														0	0	
	Total	63	1	1.59													63	1	1.59
Grand Total	A	17,023	177	1.04	46,300	513	1.11	39,911	1,069	2.68	43,086	547	1.27	19,773	406	2.05	166,093	2,712	1.63
	B	0	0		0	0		50	0	0.00	7,351	12	0.16	4,905	11	0.22	12,306	23	0.19
	C	127	0	0.00	64,579	733	1.14	75,319	403	0.54	3,165	4	0.13	2,228	0	0.00	145,418	1,140	0.78
	D	14	0	0.00	66	0	0.00	132	0	0.00	622	2	0.32	1,327	0	0.00	2,161	2	0.09
	Total	17,164	177	1.03	110,945	1,246	1.12	115,412	1,472	1.28	54,224	565	1.04	28,233	417	1.48	325,978	3,877	1.19

Table 5.3. Result of the major fish markets survey in north Kii Suido. Ratio (R, %) of marked fish in the landings (MF) to survey samples (SS) by region and by age (Ages 0 - 5) for the releases from 1985 to 1989.

Year	Age	Kada			Saikazaki			Yura			Nushima			Naruto			Tokushima			
		SS	MF	R	SS	MF	R	SS	MF	R	SS	MF	R	SS	MF	R	SS	MF	R	
1985	0	0	0		668	4	0.60	3,097	116	3.75	1,205	8	0.66	0	0		0	0		
	1	887	0	0.00	524	1	0.19	2,635	35	1.33	642	2	0.31	0	0		0	0		
	2	1,319	1	0.08	193	0	0.00	199	0	0.00	1,049	3	0.29	124	3	2.42	132	2	1.52	
	3	747	0	0.00	20	0	0.00	33	0	0.00	94	0	0.00	582	0	0.00	0	0		
	4	108	0	0.00	5	0	0.00	32	0	0.00	49	0	0.00	98	0	0.00	0	0		
	5	20	1	5.00	1	0	0.00	1	0	0.00	1	0	0.00	7	0	0.00	0	0		
Total	3,081	2	0.06	1,411	5	0.35	5,997	151	2.52	3,040	13	0.43	811	3	0.37	132	2	1.52		
1986	0	48	1	2.08	1,768	6	0.34	7,065	111	1.57	2,448	22	0.90	0	0		16,395	233	1.42	
	1	1,530	6	0.39	1,488	2	0.13	1,153	9	0.78	3,392	62	1.83	1,062	4	0.38	1,273	24	1.89	
	2	1,873	1	0.05	86	1	1.16	126	0	0.00	750	7	0.93	1,321	2	0.15	937	2	0.21	
	3	440	0	0.00	18	0	0.00	195	0	0.00	75	1	1.33	507	0	0.00	68	0	0.00	
	4	39	0	0.00	7	0	0.00	22	0	0.00	5	0	0.00	32	0	0.00	13	0	0.00	
	Total	3,930	8	0.20	3,367	9	0.27	8,561	120	1.40	6,670	92	1.38	2,922	6	0.21	18,686	259	1.39	
1987	0	287	13	4.53	6,850	98	1.43	3,720	117	3.15	2,120	36	1.70	0	0		5,717	534	9.34	
	1	1,538	4	0.26	1,218	9	0.74	1,110	17	1.53	1,718	44	2.56	515	1	0.19	3,313	28	0.85	
	2	1,569	1	0.06	94	0	0.00	401	0	0.00	744	14	1.88	636	2	0.31	123	3	2.44	
	3	254	0	0.00	19	0	0.00	77	1	1.30	32	3	9.38	200	1	0.50	32	0	0.00	
	Total	3,648	18	0.49	8,181	107	1.31	5,308	135	2.54	4,614	97	2.10	1,351	4	0.30	9,185	565	6.15	
	1988	0	148	6	4.05	5,590	14	0.25	1,929	6	0.31	2,623	27	1.03	226	0	0.00	11,991	375	3.13
1		1,371	0	0.00	880	3	0.34	3,496	28	0.80	1,702	33	1.94	398	2	0.50	1,200	11	0.92	
2		945	0	0.00	48	0	0.00	157	2	1.27	251	0	0.00	414	3	0.72	284	2	0.70	
Total		2,464	6	0.24	6,518	17	0.26	5,582	36	0.64	4,576	60	1.31	1,038	5	0.48	13,475	388	2.88	
1989		0	142	14	9.86	3,480	24	0.69	3,312	8	0.24	1,235	16	1.30	0	0		3,468	275	7.93
		1	530	1	0.19	855	0	0.00	2,034	1	0.05	684	41	5.99	139	2	1.44	814	5	0.61
	Total	672	15	2.23	4,335	24	0.55	5,346	9	0.17	1,919	57	2.97	139	2	1.44	4,282	280	6.54	
	Grand Total	0	625	34	5.44	18,356	146	0.80	19,123	358	1.87	9,631	109	1.13	226	0	0.00	37,571	1,417	3.77
		1	5,856	11	0.19	4,965	15	0.30	10,428	90	0.86	8,138	182	2.24	2,114	9	0.43	6,600	68	1.03
		2	5,706	3	0.05	421	1	0.24	883	2	0.23	2,794	24	0.86	2,495	10	0.40	1,476	9	0.61
3		1,441	0	0.00	57	0	0.00	305	1	0.33	201	4	1.99	1,289	1	0.08	100	0	0.00	
4		147	0	0.00	12	0	0.00	54	0	0.00	54	0	0.00	130	0	0.00	13	0	0.00	
5		20	1	5.00	1	0	0.00	1	0	0.00	1	0	0.00	7	0	0.00	0	0		
Total	13,795	49	0.36	23,812	162	0.68	30,794	451	1.46	20,819	319	1.53	6,261	20	0.32	45,760	1,494	3.26		

得られた有標識率をもとに次式により放流群別年齢別に回収尾数を推定した。

$$\text{回収尾数} = \frac{\text{漁獲尾数} \times \text{有標識率}}{\text{装着率} \times \text{有効標識率}}$$

ただし、有標識率 = 標識放流尾数 / 調査尾数、装着率 = 標識放流尾数 / 放流尾数、有効標識率 = 有効標識装着尾数 / 標識放流尾数とし、漁獲尾数は第3章で得られた年齢別年齢別漁獲尾数を用いた。有効標識率については鱧抜去による死亡あるいは鱧の再生に関する飼育試験結果から0.965とした。¹⁾なお、年齢は5月から翌年4月までを1年分として集計した。

結果

有標識率調査の結果を放流群別年齢別海域別に区分してTable 5.2.に示した。1985~1990年の6年間に海域全域で約33万尾のマダイを調べた結果、3,877尾の標識放流魚が確認され、6年間の平均有標識率は1.19%であった。放流群別の有標識率は、1.03% (1985年放流群) ~1.48% (1989年放流群) の範囲にあり、放流群による顕著な差はみられなかった。年齢別では0歳魚が1.31%、1歳魚が0.87%、2歳魚が0.37%、3歳魚が0.17%、4歳魚が0%と年齢が進むに従い1年で約1/2づつ減少していった。海域別にみると、集中放流を実施した紀伊水道

Table 5.4. Effectiveness of stock enhancement estimated by year and by age (Ages 0 - 5) on the restocking operation for the years from 1985 to 1989. NR, number of fish released (×1,000); NL, number of released fish in the landings (×1,000); R, ratio of NL to NR (%); RW, recovery in weight (kg); RM, recovery in money (1,000 Yen).

Year	Age	NR	NL	R	RW	RM
1985	0	1,045	287.6	0.275	10,067	7,047
	1		28.8	0.028	3,749	6,562
	2		4.0	0.004	1,688	5,064
	3		0.0	0.000	0	0
	4		0.0	0.000	0	0
	5		1.0	0.001	1,696	8,141
	Total		321.5	0.308	17,201	26,815
1986	0	1,413	94.6	0.067	3,313	2,319
	1		39.5	0.028	5,129	8,975
	2		2.0	0.001	828	2,485
	3		0.2	0.0001	127	519
	4		0.0	0.000	0	0
	5		0.0	0.000	0	0
	Total		136.2	0.096	9,396	14,298
1987	0	1,345	126.6	0.094	4,430	3,101
	1		31.9	0.024	4,146	7,256
	2		4.9	0.004	2,042	6,125
	3		2.1	0.002	1,569	6,434
	4		0.0	0.000	0	0
	5		0.0	0.000	0	0
	Total		165.4	0.123	12,187	22,916
1988	0	1,520	108.1	0.071	3,783	2,648
	1		21.6	0.014	2,803	4,905
	2		4.5	0.003	1,901	5,703
	3		0.0	0.000	0	0
	4		0.0	0.000	0	0
	5		1.0	0.001	1,696	8,141
	Total		134.2	0.088	8,487	13,256
1989	0	1,142	159.3	0.140	5,576	3,903
	1		34.2	0.030	4,449	7,785
	2		2.2	0.0004	1,696	6,953
	3		0.0	0.000	0	0
	4		0.0	0.000	0	0
	5		1.0	0.0002	1,696	8,141
	Total		193.5	0.169	10,025	11,689
Grand Total	0	6,465	776.3	0.146	27,169	19,019
	1		156.0	0.029	20,276	35,483
	2		15.4	0.003	6,459	19,377
	3		2.2	0.0004	1,696	6,953
	4		0.0	0.000	0	0
	5		1.0	0.0002	1,696	8,141
	Total		950.8	0.147	57,296	88,972
Mean	0	1,293	155.3		5,434	3,804
	1		31.2		4,055	7,097
	2		3.8		1,615	4,844
	3		0.7		565	2,318
	4		0.0		0	0
	5		1.0		1,696	8,141
	Total		192.0		13,365	26,203
Effectiveness per a million individuals of fish released			148.5		10,337	20,266

の有標識率が1.63%と最も高く、次いで播磨灘の0.78%、標識放流尾数の少なかった大阪湾と備讃瀬戸ではそれぞれ0.19%、0.09%と放流量に応じた値が得られた。また高齢魚のほとんどが紀伊水道で再捕された。

次に集中放流を実施した紀伊水道北部の加太、雑賀崎、由良、沼島、鳴門および徳島における有標識率をTable 5.3.に示した。紀伊水道北部全体では1.77%と、瀬戸内海東部海域全域(1.19%)の1.5倍の有標識率が得られた。これらの地区を漁業特性で区分すると、小型底びき網が主体の地区(雑賀崎、由良、徳島)では有標識率は0歳魚で高く年齢が進むと急速に低下するのに対し、一本釣が盛んな地区(加太、沼島、鳴門)では1歳魚の有標識率が高く、沼島地区では3歳魚でも約2%の有標識率が得られ、加太地区では5歳魚の再捕も確認された。

得られた有標識率に基づき、1985~1989年の各放流群に由来する1990年までの6年間の直接的な生産効果を推定し、Table 5.4.に示した。1990年までの6年間における生産効果を集約すると、5年間に放流された約650万尾のうち95万尾(14.7%)が回収された。各放流群によって回収状況に違いがみられるが、5歳までの回収状況を放流種苗100万尾当りに換算すると、回収尾数、重量および金額はそれぞれ約15万尾、10トン、2,000万円となった。これを年齢別にみると回収尾数の81%が0歳魚で占められ、0歳魚と1歳魚で全体の97%を占めた。

考 察

放流効果の推定方法について、北田¹⁰⁾、Kitada *et al.*¹⁰⁾は水揚げ市場でのサンプリングによる放流効果の直接推定方法を提唱し、そのプログラムを提供している。¹⁰⁾この方法は市場と調査日の二段標本抽出を行い、調査日の水揚げを全数調査することによって放流効果の信頼区間の推定を行う、現在最も信頼性の高い統計学的方法である。しかしながら、瀬戸内海東部海域におけるマダイは最高級活魚として市場での取り扱いが千差万別で調査方法を統一することが困難で、現場に即した個別の方法を用いざるを得なかった。このため結果的に市場の抽出は有意抽出となり、得られた放流効果の精度については不明である。本研究では、放流効果を1985~1989年放流群に由来する直接的な生産効果(回収量)に限定し以

下に考察を行う。

1985~1990年の6年間に海域全体で約330万尾のマダイを調査した結果、各放流群の平均有標識率はすべて1%台前半で、放流群による顕著な差はみられなかった。これは毎年生産される放流種苗が比較的均質で、種苗生産の安定性を示すものと考えられる。その一方、海域や地区の漁業特性あるいは年齢による放流群の回収状況には興味深い違いがみられた。

海域別では紀伊水道の有標識率が最も高く、また高齢魚のほとんどが紀伊水道で再捕された。このことから、紀伊水道での放流群は放流後大きな移動をせず、放流海域周辺に滞留し越冬していると考えられる。また同じ紀伊水道においても小型底びき網を主体とする地区と一本釣が盛んな地区では、有標識率の表れ方に違いが認められた。紀伊水道の一本釣漁場は、元来マダイにとって好適な生息場であり越冬場を形成する環境条件が備わっているとともに、小型底びき網漁業に対し厳しい規制を行っている。このような海域では、放流群の漁獲死亡は相対的に小さく長期間生息可能であり、放流種苗の一部は成熟年齢に達していることが確認された。これに対し、小型底びき網漁場では放流直後から強い漁獲圧にさらされるため、放流直後の回収率は高いものの時間の経過とともに回収率は急速に低下し、長期間の生息が困難であると推測される。筆者らは一本釣が盛んで有数の越冬場でもある沼島地区において1987~1989年に計6回の釣獲試験を実施した。その結果、1歳魚の有標識率が22.7%(255尾中58尾)、2歳魚が3.4%(147尾中5尾)、3歳魚が9.8%(51尾中5尾)と海域全域に比べてかなり高い値を示し、越冬場周辺の本釣漁場では放流群が長期間生息していることが確認された。¹⁰⁾このような例は一本釣の盛んな加太地区でもみられ、放流群の保護管理には紀伊水道を中心とした越冬場周辺への集中放流が有効であることを示すものとして注目される。

年齢別では、年齢が進むに従って有標識率は年に1/2づつ減少していった。なお、標識は鱗抜去方式であるため標識の脱落は考えられない。資源添加後の放流群の生残率が天然群と変わらないとすれば年齢による有標識率に差はみられないことから、実際には放流群の生残率は天然群よりかなり低いと考えられる。この原因として輸送、ハンドリングによる疲弊や腹鱗抜去標識に起因する

Table 5.5. A comparison of ratio of marked fish in the landing to survey samples calculated from restocking surveys for the years from 1985 to 1989. NR, estimated number of recruits ($\times 1,000$); SM, number of juveniles released with tag ($\times 1,000$); RM, ratio of marked fish in the landings.

Year	NR	SM	RM(%)		Rate ^{b)}
			Expected ^{a)}	Observed	
1985	8,590	339	3.95	2.36	0.60
1986	9,726	782	8.04	1.20	0.15
1987	9,561	691	7.23	1.33	0.18
1988	11,360	926	8.15	1.20	0.15
1989	11,203	589	5.26	1.62	0.31
Average	10,088	665	6.60	1.31	0.20

a) $100 \times SM / NR$

b) Observed / Expected

自然死亡¹¹⁴⁾、放流後まとまって行動するため漁獲死亡が大きくなる放流群の行動特性¹¹⁵⁾などが指摘されているが、これ以外に放流後長期間にわたる天然群とは異質の生態特性（例えば警戒心の不足や運動能力の欠如による捕食されやすさなど）に起因する自然死亡が想定される。

得られた有標識率から放流群の資源への添加効率を検討する。標識放流サイズは100mm前後での放流量が多く、これは毎年9月頃に天然群が漁業加入を開始するサイズとほぼ一致する。ここでコホート解析により推定した各年の加入資源尾数に対する標識放流尾数の比率を、各放流群の0歳時における有標識率の期待値とした（Table 5.5）。各放流群の有標識率の実測値は期待値の60%（1985年放流群）～15%（1986年、1988年放流群）の範囲にあり、5年間の各放流群の平均有標識率（1.31%）は期待値の平均値（6.60%）の約1/5であった。このことから放流種苗の資源添加効率はおおむね20%程度と想定された。このきわめて低い資源添加効率の原因のひとつとして放流直後の初期減耗が指摘され、健苗性が大きな課題とされている。¹¹⁶⁾¹¹⁷⁾

放流効果評価モデルを用いて、Table 4.5.に示した条件下で資源添加効率を20%とし放流種苗100万尾に由来する漁獲量を計算した。なお、放流効果評価モデルでは自然死亡係数および漁獲係数は天然群と放流群で変わらないと仮定している。その結果、放流種苗100万尾当たりの漁獲量は22.5トンと推定された。実際に測定された放流種苗100万尾当たりの漁獲量は約10トンと見積もら

れたことから（Table 5.4.）、資源添加後の放流群の生残率は天然群のおおむね1/2程度と想定され、年齢が進むに従って有標識率が年に1/2づつ減少してゆく現象を裏付けているように思われる。

現在一般的に行われている海上小割網による中間育成方式では、人工種苗は自然環境と隔離された網いけすの中で高密度飼育される。ふ化直後から放流海域の生態系とはまったく異なる人工的な環境で飼育されてきたマダイには、天敵や餌生物を認識し、これらに対する防御あるいは攻撃行動を学習する機会が与えられない。このような本来獲得すべき生存競争に必要な生態特性を学習しないまま育てられた種苗をいきなり生態系の中に放流した場合、放流直後から大きな減耗の危険性が待ち受けており、その後の生存競争においても天然群に比べて不利になることは十分に予想される。これまで自然環境を利用した粗放的な育成手法が種苗の健苗性を高めるのに有効であることが報告されているが¹¹⁸⁾¹¹⁹⁾、粗放的な中間育成方法は歩留まりの不安定性や計数の困難さなどから普及するには至っていない。今後放流種苗の資源添加効率を高め、長期間天然群と変わらない生残率を維持させるためには、単にサイズを大きくするだけではなく、放流直後から放流海域の生態系に順応できる本来の生態特性を獲得した野性的な種苗を育てる中間育成技術の開発と普及が重要な課題といえる。

一方、年齢別の再捕情報から回収尾数の80%以上が0歳魚で占められるという不合理な利用実態が明らかとなっ

た。これは人工種苗が放流された直後から当海域に特有の小型底びき網による強い間引きを受けるとともに、放流後集中して分布する行動特性をもつため天然群より不合理漁獲を受けやすい¹⁵⁾ことによると考えられる。回収された放流群の平均単価は、経済価値の低い0歳魚が大半を占めるため1,960円/kgと天然群(3,010円/kg)の65%程度であった。今回の計算は5歳までの直接的な生産効果に過ぎないが、放流までに要する経費を1尾当たり30~50円と仮定すると、現行の放流・漁獲方式では所要経費の41~68%程度の回収にとどまっている。1980年代前半に100万尾の種苗放流が現実のものとなった当時、健全な種苗100万尾の放流によって100トンの漁獲に結びつける構想が示された。¹⁵⁾しかしながら、資源添加効率がきわめて低いうえに経済価値の低い0歳魚が回収量の大部分を占める現行の放流・漁獲方式では、所要経費を上回る効果を期待するのは困難といわざるを得ない。栽培漁業が未だ開発途上にあるとはいえ、今後どうすれば種苗放流が本来の目的である資源対策としての機能を果たすことができるのであろうか。

北田¹⁶⁾は、放流種苗によって造成された資源を天然資源と区別して「栽培資源」という用語を用い、天然資源と栽培資源を包括的に管理する新しい資源管理の方向を「包括的資源管理」として提唱している。本来無主物である天然資源とは異なり、人のつくった栽培資源については対象種の生物特性や海域特性を考慮した造成目標

や利用の仕組みが考えられる。これまでみてきたように、近年瀬戸内海東部海域では1,000万尾前後の天然加入資源に対し130万尾前後の人工種苗が放流され、これの20%程度が資源として添加している。そして放流種苗に由来する漁獲量(年平均13トン)が総漁獲量に占める割合(以下貢献率という)は、わずか1%程度に過ぎない。前章で今後の資源管理の基本方針を、0歳魚の漁獲死亡を抑制し高齢魚を増やして漁獲物の平均年齢を高くし、資源の利用の仕方を合理的なものへと変更してゆくとともに、資源変動を注視しつつ再生産の拡大と安定を図ることとし、2つの資源管理方策を提示した。しかしながら、漁業現場においては、無主物である天然資源のみを対象とした場合、資源管理の必要性を理解できても歴史的な必然の結果である現行の漁業実態を変えることはなかなか困難である。しかし人のつくった栽培資源の有効利用については関係者の理解と協力は得られやすく、説得力が強い。特に今回提示した短期的な目標(漁獲開始年齢を現在の0.4歳から1歳に引き上げる)は、栽培資源の有効利用にとってもきわめて重要な課題である。放流効果評価モデルを用いて、放流種苗の資源添加効率を変化させ、前章で示した2つの資源管理方策を実行した場合の放流効果を試算し、10年後に予測される総漁獲量、放流種苗由来の漁獲量および貢献率をTable 5.6.に示した。なお放流尾数は130万尾(1985年以降の平均値)とし、その他の計算条件および入力データはTable 4.5.の

Table 5.6. Predicted catches 10 years after using the simulation model for the two fishery management strategies B and C with fish releasing for three levels of recruitment efficiency of released fish (K). TC, total catch in weight (ton); RC, catch in weight derived from released fish (ton); %, ratio of RC to TC. Condition of strategies: B, fishing age 0 fish is prohibited; C, in addition to strategy B, fishing mortality coefficient for fish of Age 1 or over is decreased at 0.4.

K	Present Condition			Strategy B			Strategy C		
	TC	RC	%	TC	RC	%	TC	RC	%
0.2*	1,066	29	2.7	1,817	49	2.7	2,730	75	2.7
0.5	1,106	73	6.6	1,885	122	6.5	2,829	182	6.4
0.8	1,144	114	9.9	1,953	176	10.0	2,932	294	10.0

* Present level

とおりである。また放流効果評価モデルの性格上、放流群と天然群の生残率は変わらないものとして扱った。その結果、放流種苗の資源添加効率を0.5に向上させ、かつ0歳魚の漁獲を規制した場合 (Table 5.6.の中央の値)、10年後には放流種苗に由来する漁獲量は122トン (現状の4.2倍) と試算され、予想される回収金額は放流までに要する経費を大きく上回ることが期待される。また天然群を含めた漁獲量は1,885トン (現状は1,066トン) に増加し、さらに大きな複合的な効果が期待される。このように栽培資源の有効利用が天然資源を含めた包括的な資源管理への有効な手段として機能すれば、種苗放流の意義はきわめて大きいものがある。

現在の種苗放流の貢献率は1%前後と低く、地域差はあるものの海域全体としては放流効果を認識するのは困難といわざるを得ない。Table 5.6.に示すように、貢献率は資源添加効率によって変化する。同じ資源添加効率のもとでは、資源管理を実行することによって放流種苗由来の漁獲量は増加するものの貢献率は変化しない。種苗放流を今後発展させるためには漁業者が放流効果を認識できる程度に貢献率を上げることが不可欠で、そのためには資源添加効率を向上させることが重要な鍵を握っ

ている。今後、放流種苗の資源添加効率を高める努力と並行しながら包括的な資源管理方策を実行することによって、放流効果がより多くの漁業者に認識されるとともに、さらに大きな資源管理効果をもたらされるであろう。

北田¹⁰⁾は、栽培資源の具体的な利用の仕方として一代再捕型と再生産期待型に分類し、一代再捕型はシロザケに代表されるように再生産を人間が保証できる場合に限り有効であり、一般的には栽培資源と天然資源の両方からの再生産を期待した再生産期待型を目指すべきであると指摘している。瀬戸内海東部海域におけるマダイの栽培資源に関する造成目的や利用の仕組みについても、これまでの漁獲対象群 (一代再捕型) としての利用から、親魚予備軍 (再生産期待型) として保護しながら利用するよう変更し、天然資源を含めた包括的な資源管理方策を並行して実施してゆくことが重要である。このための種苗放流に関する当面の対策として、①放流種苗の資源添加効率を高めるための中間育成技術の開発と普及、②放流後の漁獲死亡を抑制するための越冬場周辺への集中放流および放流後の徹底した保護管理、③種苗放流の拠点づくりと拠点への財源と技術の集約化を早急に講じることが望まれる。

第6章 論議

これまで瀬戸内海東部海域におけるマダイの基本的な生態、漁業の変遷、資源の変動を明らかにし、資源対策として長年取り組まれてきた種苗放流の現状と問題点を考察してきた。本章ではこれまでの結果を総合的に考察し、瀬戸内海東部海域におけるマダイ資源の保全と持続的利用のために望ましい資源管理方策と種苗放流の在り方について議論する。

第2章では、対象資源の生活圏、季節や成長による回遊や生息域の変化などの分布特性、成長、成熟、産卵期、産卵場など再生産に関する生態特性、さらに食性と餌料環境について考察した。その結果、瀬戸内海東部海域で漁獲されているマダイは紀伊水道、大阪湾、播磨灘および備讃瀬戸を生活圏とする「瀬戸内海東部群マダイ」と呼ばれる系統群で、紀伊水道を経由する黒瀬分支流と東

部瀬戸内海の内湾水との混合域を生息域とすることを明らかにした。瀬戸内海東部海域は浅海域が広がり、広い範囲がマダイの保育場的役割を果たしているとともに、高い生物生産力に支えられた豊富な餌料環境に恵まれ、マダイの生息にとって良好な環境が備わっていると考えられた。

第3章では、瀬戸内海東部海域における漁業の変遷と漁法別年齢別漁獲尾数の推移を明らかにした。戦後の漁獲量の推移を概観すると、戦後沿岸域の埋立や砂利採取などによる生息環境の荒廃とともにマダイ資源は縮小し、1971年まで漁獲量の急激な減少がみられたが、1962年の漁業法の改正を契機とした小型底びき網漁業の規制緩和とともに、それまで漁獲していなかった小型若齢群を小型底びき網が漁獲対象に加えることによって、

1972年以降漁獲量の量的拡大がもたらされた。近年ではその年の発生群が9月頃生活圏を沖合に広げると同時に小型底びき網によって漁獲が開始されるという、極限状態の資源利用が行われている。漁業法の改正を契機とした小型底びき網漁業の規制緩和が、その後の漁船の近代化とあいまって現在の不合理な資源利用を招いた要因となっており、制度面の今後の課題といえる。

第4章では、コホート解析を用いて1977～1994年の18年間における瀬戸内海東部群マダイの資源変動を明らかにした。そしてYPR解析およびSPR解析に基づく生物学的管理基準を設定し、望ましい資源管理方策について考察した。

瀬戸内海東部群マダイは戦後大きな資源変動を示した。1971年に最低の漁獲量を記録した後、1970年代後半から拡大再生産の様相を示し、1980年代半ばには加入尾数は1,000万尾前後にまで急速に回復した。加入量の回復とともに資源は増加し、親魚尾数も1990年代には40万尾前後となり、最近では加入尾数、親魚尾数ともに1977年当時の2倍強の水準にまで回復した。そして1980年代後半以降加入尾数、親魚尾数とも停滞傾向を示すようになった。18年間の親子関係からリッカー型およびベバートン・ホルト型の再生産式が推定されたが、その信頼性は低いものであった。しかしながら仮にリッカー型の再生産関係を前提とすれば、加入量の下限推定値のピークは現在の親魚量水準よりも高い位置にあり、現在の親魚量はMSYの水準には達していないと考えられた。またベバートン・ホルト型の再生産関係を前提とした場合も、加入量の下限推定値は親魚量が100万尾以下ではまだ平衡水準には達しておらず、現在の親魚量規模は平衡状態の親魚水準に比べてかなり低位にあると考えられた。さらに資源量水準の高かった1920～1930年代と資源量水準の低下した1980年代の成長や成熟情報の比較、あるいは1990年代に認められるようになった産卵回避規模の拡大現象など一連の生物情報から、現在の資源水準は環境収容力の限界にはまだ達しておらず、今後さらに資源が拡大する可能性が残されているように思われる。

YPR解析から、現在の漁獲係数が過大であることおよび漁獲開始年齢があまりに若齢過ぎることが示された。1歳以上の漁獲係数が現状のままでも0歳魚の保護管理を実施することによって、最大で現状の1.85倍のYPR

が期待できることが示された。SPR解析からは、現在の漁獲係数のもとでは%SPRは約1%と推定されたが、再生産にとって危険な水準には達しておらず、次世代を維持するために必要な親魚量は確保されていることが示された。そして漁獲係数が0.4以下の水準に低下すると%SPRは加速度的に増加することが示された。現在比較的少ない親魚量から1,000万尾前後の高い水準の加入量が維持されているが、高齢魚の少ない現在の資源構造は資源利用の面からは決して合理的なものとはいえない。また環境収容力に余裕があるとすれば、産卵ポテンシャルの最も高い0歳魚の大量漁獲は再生産規模を抑制していることになる。今後は0歳魚の漁獲死亡を抑制し親魚量をさらに増やすことによって漁獲物の平均年齢を高くし、現在の高水準の加入量を合理的な漁業生産に結びつけるとともに、資源動向を注視しつつ再生産規模の拡大と安定を図ることが資源管理の基本と考えられる。この基本方針をもとに、YPR解析およびSPR解析から導かれる生物学的管理基準に基づく望ましい資源管理方策として、①短期的には漁獲開始年齢を現在の0.4歳から1歳に引き上げること、②中長期的には漁獲係数を現在の0.78から0.4程度に低減することを提示した。

漁獲開始年齢を1歳に引き上げる対策として、0歳魚の漁獲規制に関する瀬戸内海漁業取締規則の改正を含めて、再放流の徹底、漁具漁法の改良など実効ある対策を講じることが望まれる。特に小型底びき網による0歳魚の漁獲死亡をいかに抑制するかが、漁獲開始年齢の引き上げの鍵を握っている。一方、漁獲係数の低減については、多くの漁法が複雑に関与しているとともに小型底びき網漁業が底魚全般を対象とするため、漁獲開始年齢の引き上げのように明確な目標を設定することは難しい。また漁業経営に直結する問題でもあり、短期間で解決できるものではなく、漁獲努力量に関する今後の趨勢を見極めながら長期的な取り組みが求められる。瀬戸内海漁業の生産構造の分析¹⁰⁾によると、1993年時点の漁業就業者の年齢構成は55歳以上が55%、60歳以上が39%と高齢化が進んでいるため、10年後の2003年には漁業就業者数は1993年の53%に半減すると予測されている。そして多くの魚種を平均すると、現在の漁獲努力量は適正値($F_{0.1}$)のおおむね3倍程度(瀬戸内海東部海域のマダイでは約4倍)であるが、漁業者の年齢構成からみて今

後漁獲努力が緩和されるため、資源状況が将来改善される可能性があるとして分析している。このような長期的な漁獲努力に関する予測を背景にしながら、関係者の利害を総合的に調整しつつ、具体的な対策として0歳魚の漁獲規制、週休2日制の導入や休漁日の統一実施による操業時間の短縮、操業許可統数の見直し、再生産を重視した禁漁区や禁漁期の設定、保護水面の拡大など、多面的に効率よく漁獲係数の低減措置を講じることが望まれる。

第5章では、瀬戸内海東部海域におけるマダイの種苗放流事業の歴史を概観し、放流効果を推定した。瀬戸内海東部海域におけるマダイの種苗放流事業は1973年全国に先駆けて始まり、1983年以降毎年100万尾以上の人工種苗を継続的に放流してきた。しかしながら、放流マダイの資源添加効率がきわめて低いことに加え、回収の大部分が経済価値の低い0歳魚で占められる現行の放流・漁獲方式を続ける限り、放流までに要する経費を上回る効果を期待するのは困難であるといわざるを得ない。

瀬戸内海東部海域におけるマダイの種苗放流事業を概観すると、はじめの10年は主に種苗の量産技術開発、続く10年は主に放流効果の実証、そして最近では天然資源を含めた資源管理の方策の検討を主要な課題として取り組まれてきた。種苗の量産技術開発は対象種の初期生活期の生理生態の解明、餌料生物の大量培養などを通じて膨大な生物情報と飼育技術の発展をもたらした。現在マダイの種苗生産技術は高度な水準に達している。また長年にわたる種苗放流事業は、自然の海を実験室とした様々な取り組みを通じて、天然資源のみを対象とした資源研究では得られない貴重な情報と資源培養技術をもたらした。同時に漁業者の資源保全意識を醸成するとともに、戦後漁場環境の荒廃や漁業資源の衰退など困難な時代の中で斬新な資源対策として明るい展望をもたらしてきた。栽培漁業の導入は、旧来の漁業に科学性と計画性の概念を持ち込み、将来の漁業の在り方に大きな影響を与えつつある。

マダイの種苗放流事業の行程は、①親魚養成、②種苗生産、③中間育成、④放流、⑤資源管理、⑥漁獲、⑦評価の過程を経て完結する。このうち種苗生産までは陸上施設で行われ、その技術は高度な水準に達している。しかしながら、中間育成以降の行程に関する技術や制度が未熟であること並びに瀬戸内海東部海域の地形的特徴と

漁業特性が相乗的に作用し、結果的に種苗生産段階の高度な技術が漁獲に効率よく結びついていないのが実状である。種苗放流事業の開始当初は、放流の目的が栽培漁業の普及啓発に主眼が置かれたため各地で小規模分散型の放流が実施された。その後1983年の沿岸漁場整備開発法の改正にともなう栽培漁業の制度整備時に、中間育成以降の運用は受益者負担の原則のもとに業界の役割分担として明文化された。このような経緯を経て中間育成以降の行程は単位地区(市町村あるいは単協)ごとに分散して行われ、財源や人材も小規模に分散したまま今日に至っている。また栽培漁業の担い手である各地の栽培漁業センターは種苗生産団体の域を出ず、府県も中間育成以降に関する体制整備を怠ったまま今日に至っている。この背景には、栽培漁業=種苗生産という短絡的な観念、普及啓発期に行われてきた小規模分散型放流の固定化、技術水準の未熟な段階での安易な役割分担の導入、放流効果の評価の難しさ、脆弱な財政体質など多くの問題があり、これまで栽培漁業を推進してきた行政の建前論とこれを支えるべきはずの技術水準や財政負担能力のずれが、長年の間に矛盾として顕在化してきたことが指摘される。マダイのように種苗生産技術の確立された魚種では、次の段階として実質的で具体的な経済目標を設定し、そのための技術開発と体制整備を再検討すべきであろう。

一方、マダイのように広域を回遊する漁業資源では、放流種苗は天然資源と混在し無主物として複雑な生産系に組み込まれて利用される。本来無主物である天然資源に比べて人のつくった栽培資源では放流海域、放流時期、放流サイズ、資源の造成目的、利用の仕方などある程度選択することが可能である。そして栽培資源には経費が発生するため、その有効利用は自明のこととして関係者の理解と協力が得られやすい。一方、天然資源のみを対象とした場合、資源管理の必要性は理解されても歴史的な必然の結果である現行の漁業実態を変えるには困難をとまなう。このような状況のなかで、栽培資源の有効利用を通じて、混在している天然資源を含めた包括的な資源管理が実施できれば、種苗放流の意義はきわめて大きいものがある。現在瀬戸内海東部海域における放流種苗の貢献率は1%前後に過ぎず、海域全体として漁業者が放流効果を認識するには至っていない。瀬戸内海東部海域では加入量が放流量よりかなり大きいため、放流種

苗の貢献率は相対的に小さいものとならざるを得ない。今後も現行の放流・漁獲方式が続く限り、種苗放流そのものの是非が問われることも予想される。放流効果評価モデルによる予測結果から明らかなように、今後放流種苗の資源添加効率を向上させる対策と適切な資源管理方を組み合わせて実施することによって、瀬戸内海東部海域における種苗放流は経済事業として成立し得るものに生まれ変わることが可能となり、新たな発展が期待できる。

さて、瀬戸内海東部群マダイの資源管理の基本方針として、0歳魚の漁獲死亡を抑制し親魚量を増やして漁獲物の平均年齢を高くし、資源の利用方法を合理的なものへと変更してゆくとともに、資源動向を注視しつつ再生産規模の拡大と安定を図ることを繰り返し述べてきた。そして、YPR解析およびSPR解析から導かれる生物学的管理基準に基づき、望ましい資源管理方針として、短期的には漁獲開始年齢を現在の0.4歳から1歳に引き上げること、中長期的には漁獲係数を現在の0.78から0.4程度に低減することを提示した。この資源管理方針に対する具体的な対策として、まず第一に0歳魚の漁獲規制を強化し、放流種苗の保護を図ることが重要である。瀬戸内海では他の海区にはみられない農林省令（瀬戸内海漁業取締規則）によって0歳魚の漁獲規制が明文化されているものの、0歳魚が最も多獲される10月以降については触れられておらず、業界の自主的な資源管理計画では全国で最も小さいサイズの規制となっている。資源管理の重要性が業界にも広く認識されている今日、この制度上の問題を前向きに検討できないものであろうか。

第二に、漁獲係数の抑制策を多面的に講じる必要がある。現在瀬戸内海東部海域では漁獲努力量の削減、小型魚の再放流、再放流後の生残率を高めるための漁船や漁具の改造などの対策が進められている。これらの対策をさらに発展、普及させるとともに、関係者の利害を調整しつつ禁漁期や禁漁区など保護すべき漁場の再検討を含

めて、越冬場、産卵場、幼稚魚育成場の保護といった再生産を重視したより効率的な資源管理の取り組みが望まれる。

第三に、現行の種苗放流事業の在り方を見直す必要がある。これまでの小規模分散型放流方式から、実質的な放流効果が期待できる放流拠点を設定し、集中放流と放流後の徹底した保護管理によって着実な放流効果とその周辺に拡大してゆく方式への転換を図るべきであろう。栽培資源の造成目的や利用の仕方を、これまでの漁獲対象群としての利用（一代再捕型）から、親魚予備軍として保護しながら利用する方法（再生産期待型）に転換する方が合理的である。今後の具体的な対策として、①資源添加効率を高めるための野性的な種苗を育てる中間育成技術の開発と普及、②放流後の漁獲死亡を抑制するための越冬場周辺への集中放流と放流後の徹底した保護管理、③種苗放流の拠点化に必要な財源と技術の集約化を図るための制度の再検討が早急に望まれる。

国連海洋法条約の発効にともない、1997年新しい漁業管理制度（TAC制度）が我が国にも導入され、沿岸漁業資源の保全と合理的な資源利用が法的に義務づけられた。これにともない科学的かつ合理的な資源管理方針が求められている。栽培漁業は旧来の漁業に科学性と計画性の概念をもたらし、新時代の漁業の構築に必要な制度的、技術的要素を内包している。栽培資源は放流された時点で無主物となり、自然の生産システムに組み込まれ天然資源と混在しながら漁業資源を形成するが、これの効率的な運用は将来の漁業の在り方に大きな影響を及ぼすであろう。栽培漁業が今後資源対策として有効に機能するためには、種苗放流の目標を明確に設定し、その実現に向けての技術開発と制度の見直しを柔軟に行うことが重要である。そのうえで天然資源と栽培資源を包括した資源管理論的視点から、漁業資源の保全と最大持続生産を実現するためのシステムとして進化してゆくことが期待される。

要 約

瀬戸内海東部海域におけるマダイの基本的な生態、漁業の変遷、資源の変動および放流効果を明らかにし、マダイ資源の保全と持続的利用のために望ましい資源管理方策と種苗放流の在り方について考察した。

- 瀬戸内海東部海域で漁獲されているマダイは、紀伊水道、大阪湾、播磨灘および備讃瀬戸を生活圏とする、「瀬戸内海東部群マダイ」と呼ばれる系統群である。紀伊水道を通して瀬戸内海に流入する黒潮分支流と備讃瀬戸を分水嶺とする東部瀬戸内海の内湾水との混合域を生息域とする。
- 成長式は $L(t)=72.90(1-\exp(-0.1563(t+0.4412)))$ (L: 尾叉長(cm), t: 年齢) と示される。成熟は3歳の一部で始まり、4歳で全数が成熟する。産卵期は4~6月、盛期は5月である。産卵場は淡路島周辺の海峡域周辺、家島諸島周辺、備讃瀬戸の島嶼部周辺など広い範囲に形成される。
- 6月頃30mm前後に成長した稚魚は産卵場周辺の水深10m以浅の砂質帯の海底に群生する。9月頃尾叉長80~90mmに成長した幼魚は生活圏を沖合に拡大し、やがて瀬全域に広く分布する。11月以降水温の低下とともに、越冬のため多くは水温の高い紀伊水道に移動し越冬場に集合する。越冬場は淡路島周辺の海峡域、沼島、湯浅湾沖など潮通しの良い深場の岩礁域に形成される。越年した未成魚は春季水温の上昇とともに生息範囲を広げるが、越冬海域周辺で滞留することが多く、大規模な回遊は行わない。成魚は春季水温が14℃以上になると産卵のため大規模な回遊を開始する。
- 6~7月の稚魚期は *Acartia omorii* や *Oikopleura* sp. など海底上に濃密な群れを形成する動物プランクトンを選択的に摂餌する。幼魚期以降は甲殻類を主体とした幅広い動物群を摂餌する。紀淡海峡周辺では、特に浮遊性小型エビ類のソコシラエビ属を終生選択的に摂餌する。一方11月以降越冬場では厳しい餌料条件となる。このように食性は甲殻類を主体とした広食性を示すが、越冬期以外は特定の餌料生物を選択的に摂餌できる良好な環境にある。
- 瀬戸内海東部海域ではマダイは高級魚として需要が高く、一本釣、小型底びき網、定置網、五智網、刺網、延縄など多種多様な漁業が周年にわたり生活圏全体を高度に利用している。1925年以前には年間1,500トン前後の漁獲がみられた。戦後漁獲量は減少の一途をたどり、1971年には最低の234トン記録した。翌1972年以降増加に転じ1983年には1,000トンを超え、その後は同じ水準で推移している。1971年以前の漁獲量の減少は主に沿岸域の埋立や工業化・都市化にともなう生息環境の荒廃が再生産力を低下させた結果と考えられ、1972年以降の漁獲量の増加は資源の回復と漁業法の改正を契機とした小型底びき網漁業の規制緩和によってもたらされた結果である。
- 1962年の漁業法の改正を契機に、瀬戸内海東部海域では小型底びき網が急速に普及、発展した。特に高速で運動性に富む板びき網の普及は、海底形状の複雑な岩礁域を主生息場とするマダイに対する漁獲圧力を急速に増加させた。さらに瀬戸内海東部海域の地形的特徴から、9月以降0歳魚が生活圏を沖合に上げると同時に漁獲が開始される極限状態の資源利用が海域のほぼ全域で行われるようになった。このように小型若齢群を漁獲対象に加えることによって漁獲量の量的拡大が進むとともに、漁獲物の年齢組成は急速に若齢群に偏っていった。
- 近年における漁獲量の漁法別内訳は、小型底びき網が約60%、一本釣が約20%、定置網が約10%とこの3種類で全体の約90%を占めている。一本釣と定置網は春と秋の回遊期に成魚を主対象とするのに対し、小型底びき網では秋季に越冬回遊に向かう0歳魚を大量に漁獲している。
- 漁獲量の推移を瀬別にみると、分布の中心である紀伊水道では1960年代の減少は少なく、1970年代以降の増加が著しい。大阪湾・播磨灘では増加の傾向は紀伊水道より少し遅れて現れた。これに対し、分布の中心から最も遠い備讃瀬戸では1960年代に産卵親魚の来遊量が著しく減少し、以来漁獲量は長期間低迷を続け、

- 1990年代に入り回復の兆しが見え始めるものの、戦前の水準には遠く及ばない。
9. 1977～1994年における漁法別年齢別漁獲尾数を推定した。総漁獲尾数は1977年の200万尾から1984年の740万尾まで急速な増加を示し、その後は同じ水準で推移した。漁法別では、小型底びき網は1970年代後半は一本釣と同じ100万尾前後であったが、1980年代には600万尾前後に達し、全体の約80%を占めるようになった。小型底びき網以外の漁法は長期的な漸減傾向を示した。年齢別では0歳魚の漁獲尾数の増加が顕著で、1977年には100万尾以下であったが、1980年代後半には400～500万尾にまで増加した。
10. Virtual Population Analysisを用いて、1977～1994年の18年間に於ける瀬戸内海東部群マダイの資源評価を行った。すべての年齢を平均した漁獲係数は0.66～0.86の範囲を推移したが、0歳魚では変動が大きく1977年の0.28から1987年の0.87まで増加しその後は漸減傾向を示した。加入尾数は1977年の380万尾から1983年の1,000万尾強まで急速に増加し、その後は1,000万尾前後を維持しながら推移した。一方、親魚尾数は1977年の17万尾から徐々に増加し1990年代には40万尾にまで回復した。最近の初期資源尾数を1977年のそれと比較すると、加入尾数、親魚尾数とも2倍強に増加した。
11. 1970年代後半以降加入量が急速に回復した原因として、生息環境の荒廃に歯止めがかかり生息環境が安定したことによって、生息密度の低下したマダイ資源の卵から加入までの生残率（繁殖成功度）が向上したこと、および小型底びき網を主体とした漁船漁業が当時急速に普及した浮き流し式の養殖業に転換したことによる努力量の軽減がマダイ資源の回復を助長したことが想定される。
12. リッカー型とベバートン・ホルト型の再生産式が推定されたが、ともにパラメータの標準誤差は大きく信頼性は低い。リッカー型の再生産関係を前提とすれば、加入量の下限推定値のピークは親魚量が50万尾の位置にあり、現在の親魚量規模はMSYの水準にはまだ達していないといえる。またベバートン・ホルト型の再生産関係を前提とすれば、加入量の下限推定値は親魚量が100万尾以下ではまだ平衡水準には達しておらず、現在の親魚量規模は平衡状態の水準に比べてかなり低位にあるといえる。また資源量水準の高かった1920～1930年代と資源量水準の低下した1980年代の成長や成熟の相違、1990年代に認められる産卵回避規模の拡大など一連の生物情報からも、現在の資源水準は環境収容力の限界には達していないように思われる。
13. YPR解析の結果、現在の漁獲係数(0.78/年)は過大であることおよび現在の漁獲開始年齢(0.4歳)は若齢に過ぎていることが示された。1歳以上の漁獲係数が現状のままでも、0歳魚の保護管理を行うことによって最大で現状の1.85倍のYPRが期待される。漁獲係数の指標として、 $F_{0.1}=0.12$ (現状の1/6)、 $F_{max}=0.19$ (現状の1/4)が推定された。
14. SPR解析の結果、現在の漁獲係数のもとでは%SPRは約1%と推定されたが、再生産にとって危険な水準には達しておらず、次世代を維持するのに必要な親魚量は確保されていると思われる。一方漁獲係数が0.4以下の水準に低下すると、%SPRは加速度的に増加する。また現在の資源全体の産卵ポテンシャルは約2,500トンと推定され、このうち0歳魚が23%と最も大きい部分を占めた。0歳魚を保護することによって、資源全体の産卵ポテンシャルは最大で現状の1.2倍近くに増加することが期待される。
15. 現在の資源状況は高水準の加入が維持されているとはいえ、高齢魚の少ない資源構造は資源利用の面から決して合理的とはいえない。また産卵ポテンシャルの最も高い0歳魚の大量漁獲は再生産規模を抑制していると考えられる。今後は0歳魚の漁獲死亡を抑制して漁獲物の平均年齢を高くし、高水準の加入量を合理的な漁業生産に結びつけるとともに、親魚量を増やして再生産の拡大と安定を図ることが資源管理の基本と考えられる。YPR解析およびSPR解析から導かれる生物学的管理基準に基づく望ましい資源管理方策として、短期的には漁獲開始年齢を1歳に引き上げること、中長期的には漁獲係数を0.4程度に低減することを提示し、瀬戸内海漁業取締規則の改正を含む具体的な対策を検討した。
16. 瀬戸内海東部海域におけるマダイの放流事業は全国に先駆け1973年に始まった。当初の10年は主に種苗の量産技術開発、続く10年は主に放流効果の実証、そして最近では天然資源を含めた資源管理方策の検討を主

な課題として取り組まれた。1980年代には徳島県、兵庫県、和歌山県でそれぞれ県営栽培漁業センターが開所し、1983年以降毎年100万尾以上の人工種苗が継続して放流されるようになった。

17. 長年にわたる種苗放流事業は資源培養技術の発展をもたらすとともに、漁業者の資源保全意識を醸成してきた。栽培漁業は旧来の漁業に科学性と計画性の概念を持ち込み、将来の漁業の在り方に大きな影響を与えつつある。しかしながらマダイの種苗放流の現状は、中間育成以降の制度と技術が未熟であること並びに瀬戸内海東部海域の海域特性と漁業特性が相乗的に作用し、種苗生産段階の高度な技術が漁獲に効率よく結びついていない。

18. 1985～1989年放流群に由来する5歳までの生産効果は、放流種苗100万尾当たり10トン、2,000万円程度と推定された。放流までに要する経費を1尾当たり30～50円と仮定すると、経費の41～68%程度の回収にとどまった。放流種苗の資源添加効率が20%程度と低いことに加え経済価値の低い0歳魚での回収が80%以上と

大部分を占める現行の放流・漁獲方式が続く限り、経費を上回る放流効果を期待するのは困難といわざるを得ない。

19. 種苗放流の在り方を、これまでの小規模分散型から拠点での集中放流と放流後の保護管理を強化し、親魚予備軍として保護しながら利用する方式に転換する方が合理的である。資源添加効率を高めるためには、放流後高い生残率が期待できる野性的な種苗を育てるための中間育成技術の開発と普及が重要な課題である。また、放流後の漁獲死亡を抑制し保護管理を強化するには、紀伊水道を中心とした越冬場周辺への集中放流が効果的である。そして拠点化に必要な財源と技術の集約化を図るための制度の再検討が望まれる。

20. 種苗放流が今後資源対策として有効に機能するためには、放流種苗の資源添加効率を高める対策と天然資源を含めた包括的な資源管理方策を組み合わせる実施することが重要である。今後は種苗放流の具体的な目標を設定し、その実現に向けての技術開発と制度の見直しを柔軟に行うことが望まれる。

謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、懇切なご指導とご校閲を賜った東京水産大学教授渡邊精一博士に深謝の意を表す。本研究に取り組む契機を与えられ終始適切なご指導とご校閲そして心強い励ましを賜った東京水産大学助教授北田修一博士に衷心よりお礼申し上げる。ご校閲と有益なご教示を賜った東京水産大学教授藤田清博士、同教授北原武博士並びに同教授隆島史夫博士に感謝申し上げます。本研究を進めるにあたり有益で貴重な文献や資料を賜った東京大学海洋研究所教授松宮義晴博士並びに水産庁瀬戸内海区水産研究所海区水産業研究室長永井達樹博士に厚くお礼申し上げます。

長年にわたる広域共同調査の過程で、多くの議論を通じて有益なご助言とご指導を賜わるとともに本研究を進めるにあたり資料の使用を快諾していただいた、前日本栽培漁業協会常務理事須田明博士、和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場開発部長堀木信男博士、徳島

県水産試験場長城泰彦博士、同鳴門分場主任専門技術員渡辺健一博士をはじめ歴代の瀬戸内海東部各府県、日本栽培漁業協会、水産庁開発課（現栽培養殖課）、南西海区水産研究所（現瀬戸内海区水産研究所）の関係者の方々に心からお礼申し上げます。本研究をとりまとめるにあたり、有益なご助言並びに数々のご配慮を賜った兵庫県但馬水産事務所長小西一弘氏、同試験研究室長松田泰嗣氏、兵庫県立水産試験場長丹下勝義氏、同資源部長武田雷介氏、兵庫県水産課水産業専門技術員山村雅雄氏、前兵庫県水産課漁業監督吏員新屋敷逸夫氏をはじめ多くの兵庫県関係者の方々に心からお礼申し上げます。家島漁業協同組合理事大沢由雄氏、東由良町漁業協同組合魚崎歳男氏をはじめ多くの漁業関係者の方々には貴重な資料の提供や調査に際し格別のご協力を賜った。このほか長年にわたる調査とそのとりまとめに際し、実に多くの方々のご協力とご支援を賜った。ここに記して衷心より感謝申し上げます。

文 献

- 1) 瀬戸内海東部マダイ班：回遊性魚類共同放流実験調査事業総括報告書第Ⅱ期，兵庫水試，明石，1988，pp. 1- 60.
- 2) 梶山英二：鯛，杉山書店，東京，1937，pp. 1-143.
- 3) 田内森三郎・三善清旭：瀬戸内海に於ける鯛の漁況，日水誌，7，147-148(1938).
- 4) 海老名謙一：真鯛の系統に関する研究－Ⅱ 和歌山縣及徳島縣産鯛と瀬戸内海産鯛との比較，日水誌，7，151-154(1938).
- 5) 川瀬実：紀伊水道域に於けるマダイ *Pagrosomus major* T. & S. について，内海区水研報，4，101-106 (1953).
- 6) 阪本俊雄・矢野実：紀伊水道域におけるマダイ漁況，水産海洋研究会報，24，17-28(1974).
- 7) 阪本俊雄：1978，1979年の標識放流結果からみた紀伊水道域のマダイの分布と移動，栽培技研，10(2)，105-120(1981).
- 8) 阪本俊雄：紀伊水道外域マダイの標識放流結果からみた分布と移動，日水誌，50，1835-1842(1984).
- 9) 阪本俊雄：1984年冬春季の紀伊水道における魚介類浮標斃死と異常漁況，水産海洋研究会報，46，115-125 (1984).
- 10) 阪本俊雄・土井長之・岩井昌三・石岡清英：瀬戸内海東部海域におけるマダイの生物情報と資源診断，東海区水研報，105，59-113(1981).
- 11) 村上彰男編：瀬戸内海の海域生態と漁場，フジテクノシステム，東京，1976，pp. 1-415.
- 12) 田中小治郎：マダイの生態に関する研究，香川水試報告，12，1-134(1958).
- 13) 吉田俊一・鍋島靖信：大阪湾におけるマダイ放流種苗の移動と成長，栽培技研，8(2)，23-28(1979).
- 14) 松田泰嗣・坂口宏海：播磨灘における当オマダイの標識放流について－Ⅰ 分布と回遊，栽培技研，8 (2)，29-41(1979).
- 15) 瀬戸内海東部マダイ班：回遊性魚類共同放流実験調査事業総括報告書，兵庫水試，明石，1985，pp. 1-57.
- 16) 多々良薫：金山ダイ盛衰記，漁政の窓，133，2(1981).
- 17) 三尾真一：九州における沿岸魚類の資源生物学的研究Ⅳ マダイの年令および成長，九州大学農学部学芸雑誌，19(4)，507-520(1962).
- 18) 村上子郎・岡田啓介：東シナ海・黄海産マダイ資源の研究－Ⅲ 年令と成長，西海区水研報，35，23-40(1967).
- 19) 猪子嘉生・溝上昭男・高山晴義：マダイ鱗の輪紋観察（予報），第12回南西海区ブロック内海漁業研究会報告，71-73(1980).
- 20) L. A. Walford: A new graphic method of describing the growth of animals. *Biol. Bull.*, Woods Hole, 90(2), 141-147(1946).
- 21) L. von Bertalanffy: A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Human Biology*, 10(2), 181-213(1938).
- 22) 松浦修平：マダイ卵巣卵の成熟過程と産卵数，九州大学農学部学芸雑誌，26(1-4)，203-215(1972).
- 23) 小嶋喜久雄：老岐および見島近海におけるマダイの産卵について，西海区水研報，56，71-87(1981).
- 24) 海老名謙一：真鯛群の系統的研究Ⅲ，日水誌，8，295-297(1940).
- 25) 岡田啓介：東シナ海・黄海産マダイの漁業生物学的研究，西海区水研報，44，49-185(1974).
- 26) 赤崎正人：若狭湾産マダイの年令と成長，日水誌，26，217-222(1960).
- 27) 国行一正・矢野実・川西正衛：広島県中部海域におけるマダイ未成魚の年令と成長，南西海区水研報，8，81-100(1975).
- 28) 阪本俊雄：紀伊水道外域産マダイの年齢と生長，日水誌，50，1829-1834(1984).
- 29) 島本信夫：淡路島南東部海域におけるマダイの資源増殖に関する研究－Ⅰ 成長と成熟，兵庫水試研報，22，11-25(1984).

- 30) 横川浩治：播磨灘南部海域産マダイの鱗による年齢と成長の推定。水産増殖，40(1)，7-13(1992)。
- 31) 三尾真一：鱗中心部における隆起線の形成密度。日本海区水研報，15，99-100(1965)。
- 32) 古賀文洋：マダイ種苗生産技術の現状と問題点 I - 2 採卵，九州・山口ブロック水試マダイ種苗生産研究会編，日本水産資源保護協会，東京，1977，pp. 13-22。
- 33) 山口正男：タイ養殖の基礎と実際，恒星社厚生閣，東京，1978，28-35。
- 34) 原田輝雄：海産魚，魚類の成熟と産卵（日本水産学会編），水産学シリーズ6，恒星社厚生閣，東京，1979，pp. 66-75。
- 35) 北島力：マダイの採卵と稚魚の量産に関する研究。長崎水試論文集，5，1-92(1978)。
- 36) 島本信夫・堀知寛：明石海峡周辺海域におけるマダイの成長と成熟。兵庫水試研報，23，1-12(1985)。
- 37) 北島力・伏見徹：養成マダイ2年魚の産卵について。水産増殖，17(1)，11-18(1969)。
- 38) 鈴木重善・桑原昭彦：若狭湾西部海域におけるマダイ仔魚の鉛直分布と食性。水産海洋研究会報，42，10-16(1983)。
- 39) 野口弘三・谷雄策：唐津湾における浮遊生活期マダイ仔稚魚の食性の一例。西海区ブロック浅海開発会議魚類研究会報，3，27-31(1985)。
- 40) M. Tanaka: Factors affecting the inshore migration of pelagic larval and demersal juvenile red sea bream *Pagrus major* to a nursery ground. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 114, 471-477(1985)
- 41) 岡田啓介：黄海産若齢マダイの摂餌生態について。日水誌，31，999-1005(1965)。
- 42) 花岡資・今林博道：マダイ幼稚魚の食性，浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究3（備後灘周辺漁場開発プロジェクトチーム編），南西海区水研，広島，1973，pp. 231-236。
- 43) 木曾克裕：平戸島志々伎湾におけるマダイ当歳魚個体群の摂餌生態 - I 成長に伴う餌料の変化とその年変動。西海区水研報，54，291-306(1980)。
- 44) 木曾克裕：平戸島志々伎湾におけるマダイ未成魚の分布様式と摂餌生態。西海区水研報，62，1-17(1985)。
- 45) 大森迪夫：油谷湾におけるマダイ当歳魚の食性。西海区水研報，54，93-109(1980)。
- 46) 大内康敬：マダイ幼魚の生態及び漁獲変動に関する研究，福岡水試特別研究報告，福岡，1985，pp. 1-29。
- 47) 窪田亮二：マダイを中心とした食物連鎖，日本海栽培漁業事前調査結果，日本海栽培漁業推進協議会，新潟，1974，pp. 17-20。
- 48) 金丸昌洋・松本正勝：昭和56年度回遊性魚類共同放流実験調査事業瀬戸内海西部海域総合報告書，愛媛水試，宇和島，1982，pp. 52-53。
- 49) 島本信夫・渡辺淳：瀬戸内海東部海域におけるマダイの食性とその季節変化。日水誌，60，65-71(1994)。
- 50) M. Anraku: Microdistribution of marine copepods in a small inlet. *Mar. Biol.*, 30, 79-87(1975).
- 51) 上田拓史：本邦沿岸内湾域において *Acartia clausi* として知られる橈脚類の分類学的見直しと地理的分布。日本海洋学会誌，42，134-138(1986)。
- 52) M. Tanaka, H. Ueda, and M. Azeta: Near-bottom copepod aggregations around the nursery ground of the juvenile red sea bream in Shijiki Bay. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53, 1537-1544(1987).
- 53) 田中克：稚仔魚の生態，マダイの資源培養技術（田中克・松宮義晴編），水産学シリーズ59，恒星社厚生閣，東京，1986，pp. 59-74。
- 54) A. L. Alldredge: Aggregation of spawning appendicularians in surface windrows. *Bull. Mar. Sci.*, 32, 250-254(1982).
- 55) 桑原昭彦：内湾におけるプランクトンの集中分布パターンの形成に及ぼす水温躍層の影響。京都府立海洋センター研究論文，1，1-46(1982)。
- 56) H. Seki: Red tide of *Oikopleura* in Saanich Inlet. *La Mer*, 11, 153-158(1973).
- 57) 久保伊津男：本邦産 *Leptochela* 属エビ類およびその分布について。日本生物地理学会会報，16-19，98-106(1955)。
- 58) Y. Hanamura: Records of Pasiphaeid shrimp *Leptochela* (Decapoda; Caridea; Pasiphaeidae) from northern Japan. *Bull. Coll. Arts and Sciences at Sapporo, Tokai Univ.*, 5, 79-83(1986).

- 59) 林健一：日本産エビ類の分類と生態(52)オキエビ科—ソコシラエビ属①, 海洋と生物, 12, 122-125(1990).
- 60) 林健一：日本産エビ類の分類と生態(53)オキエビ科—ソコシラエビ属②・ショウジョウエビ属, 海洋と生物, 12, 208-211(1990).
- 61) 池末弥：有明海におけるエビ・アミ類の生活史, 生態に関する研究, 西海区水研報, 30, 1-124(1963).
- 62) 小坂昌也：仙台湾産マルソコシラエビ *Leptochela aculeocaudata* PAULSON の二, 三の生態学的知見, 東海大学紀要海洋学部, 9, 47-52(1976).
- 63) 阪本俊雄：紀伊水道におけるタチウオの漁業生物学的研究, 和歌山水試, 串本, 1982, pp. 37-56.
- 64) 水産庁振興部沖合課監修：小型機船底びき網漁業, 地球社, 東京, 1983, pp. 1-638.
- 65) 田中小治郎：タイ資源維持増進に関する今後の研究問題に就いて, 香川水試報告, 7, 24-28(1953).
- 66) 門谷茂：瀬戸内海の環境と漁業の関わり, 瀬戸内海の生物資源と環境 (岡市友利・小森星児・中西弘編), 恒星社厚生閣, 東京, 1996, pp. 1-40.
- 67) 阪本俊雄：瀬戸内海の水産と海洋環境, 海と空, 56 (2-3), 115-133(1980).
- 68) 永井達樹：望ましい漁業, 持続可能な開発に向けて, 瀬戸内海の生物資源と環境 (岡市友利・小森星児・中西弘編), 恒星社厚生閣, 東京, 1996, pp. 83-95.
- 69) 永井達樹：沿岸漁業の生産構造—瀬戸内海—, 月刊海洋, 29(9), 536-540(1997).
- 70) 多々良薫：内海・内湾漁業生物の生産力について—瀬戸内海漁業資源の生産力—, 南西海区水研報, 13, 135-169(1981).
- 71) 橋本博明：近年における瀬戸内海の漁獲量の動向, 生物生産学研究, 31, 143-154(1992).
- 72) 赤嶺達郎・加藤史彦：複合正規分布のパラメータ推定, パソコンによる資源解析プログラム集, 東海区水研数理統計部編, 東京, 1988, pp. 177-188.
- 73) 堤裕昭・田中雅生：体長頻度分布データからの世代解析, パソコンによる資源解析プログラム集, 東海区水研数理統計部編, 東京, 1988, pp. 189-207.
- 74) 島本信夫：放流効果評価モデルのための年齢別初期資源尾数の推定方法, 栽培資源調査検討資料No. 4, 日本栽培漁業協会, 東京, 1990, pp. 157-194.
- 75) 石川県・福井県・京都府・兵庫県・鳥取県・島根県・山口県：平成元年度広域資源培養管理推進事業報告書, 日本海西ブロック, 1990, pp. 76-81.
- 76) 石川県・福井県・京都府・兵庫県・鳥取県・島根県・山口県：平成2年度広域資源培養管理推進事業報告書, 日本海西ブロック, 1991, pp. 44-50.
- 77) 千葉県・東京都・神奈川県・静岡県・愛知県・三重県：平成4年度資源管理型漁業推進総合対策事業栽培資源調査(マダイ)報告書, 太平洋中ブロック, 1993, 焼津, pp. 2-27.
- 78) 広島県・山口県・福岡県・大分県・宮崎県・高知県・愛媛県：平成元年度広域資源培養管理推進事業報告書, 瀬戸内海西ブロック, 1990, pp. 118-141.
- 79) 王貽観：瀬戸内海に於けるマダヒのStockに関する一二の知見, 日水誌, 6, 175-178(1937).
- 80) J. A. Gulland: Estimation of mortality rates. *Annex to Arctic Fisheries Working Group Rept. ICES, C. M. Doc. No.3, (1965)(mimeo)*
- 81) J. G. Pope: An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Int. Comm. Northwest Atl. Fish. Res. Bull.*, 9, 65-74(1972).
- 82) 加藤史彦：Virtual Population Analysis 及びCohort analysis による資源尾数と漁獲死亡係数の推定, 漁業資源解析のための電子計算機プログラム集, 水産庁, 東京, 1978, pp. 167-173.
- 83) 石岡清英：逐次代入法を用いたコホート解析の計算, パソコンによる資源解析プログラム集, 東海区水研数理統計部編, 東京, 1988, pp. 124-133.
- 84) 島本信夫：複数年級群のための Virtual Population Analysis—I, パソコンによる資源解析プログラム集, 東海区水研数理統計部編, 東京, 1988, pp. 134-143.
- 85) 久米漸：コホート解析—同時計算, パソコンによる資源解析プログラム集, 東海区水研数理統計部編, 東京, 1988, pp. 159-167.
- 86) T. M. Widrig: Method of estimating fish populations, with application to Pacific sardine. *U. S. Fish. and Wildl. Serv. Fish. Bull.*, 56(94), 141-166(1954).

- 87) T. Doi: Practical and rapid diagnosis method exemplified by red sea bream, *Pagrus major*, in the Seto Inland Sea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 28, 127-145(1982).
- 88) 河井智康：資源解析のための魚類の比較生物学的研究-IV 一年級群の生物生産に関する数量解析. 東海区水研報, 103, 31-40(1980).
- 89) 田中昌一：水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海区水研報, 28, 1-200(1960).
- 90) 北田修一・平野勝臣：期間毎の標識再捕データに基づく死亡係数の推定について. 日水誌, 53, 1765-1770(1987).
- 91) 北田修一：標識再捕時間に基づく死亡係数の推定, 最近における理論展開と実際の解析上の問題. 栽培技研, 18(2), 145-161(1989).
- 92) 永井達樹：瀬戸内海産マダイの資源動向. 日水誌, 61, 679-683(1995).
- 93) 島本信夫：瀬戸内海東部群マダイの資源評価, 資源評価のための数値解析 (嶋津靖彦編), 水産学シリーズ66, 恒星社厚生閣, 東京, 1987, pp. 88-101.
- 94) 佐原雄二：魚の採餌行動, 東京大学出版会, 東京, 1987, pp. 1-121.
- 95) D. Rivard: APL programs for stock assessment (revised). *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 1091, 1-146(1982).
- 96) 平松一彦・松宮義晴：再生産式の選択, 種苗放流効果に関する計算ツール集, 資源管理型漁業推進総合対策事業栽培資源調査 (マダイ) 資料, 太平洋中ブロック編, 1993, pp. 91-96.
- 97) K. Hiramatsu, Y. Matsumiya, and S. Kitada: Introduction of suitable stock-recruitment relationship by a comparison of statistical models. *Fisheries Science*, 60, 411-414(1994).
- 98) 北田修一・大河内裕之：栽培資源の管理方式評価のためのシミュレーション, 放流効果評価モデル (バージョン4.0) 総括報告書, 栽培資源調査検討資料No.10, 日本栽培漁業協会, 東京, 1992, pp. 1-112.
- 99) P. M. Mace: Relation between common biological reference points used as thresholds and targets of fisheries managements strategies. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51, 110-122(1994).
- 100) 勝川俊雄・松宮義晴：産卵ポテンシャルに基づく水産資源の管理理論. 水産海洋研究, 61, 33-43(1997).
- 101) 松宮義晴：水産資源管理概論, 水産研究叢書46, 日本水産資源保護協会, 東京, 1996, pp. 1-77.
- 102) 北田修一：栽培漁業の資源論, さいばい叢書No.3, 日本栽培漁業協会, 東京, 1996, pp. 1-112.
- 103) 西川哲也・反田實・長浜達章：大阪湾の小型底曳網 (板曳網) におけるサルエビの網目選択性. 兵庫水試研報, 31, 1-8(1994).
- 104) 西川哲也・反田實・長浜達章・東海正：大阪湾の小型底曳網におけるマアナゴの網目選択性. 日水誌, 60, 735-739(1994).
- 105) 和歌山県・大阪府・兵庫県・岡山県・香川県・徳島県：平成2年度広域資源培養管理対策推進事業報告書, 瀬戸内海東ブロック, 1991, pp. 1-171.
- 106) 大谷徹也・反田實・西川哲也・佐藤泰弘：小型底曳網混獲幼稚魚の生残率を高めるための流水式選別水槽の使用例とその効果. 月刊海洋, 29(6), 380-384(1997).
- 107) 秋元聡・内田秀和：筑前海域におけるマダイ資源の現状と問題点. 水産海洋研究, 62, 128-131(1998).
- 108) 吉岡武志・濱田弘之：小型底びき網で漁獲されるマダイ幼魚とエビ類の網内における通過経路. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 7, 47-52(1997).
- 109) 瀬戸内海東ブロック資源培養管理対策推進協議会：瀬戸内海東ブロック資源管理指針, 1991, pp. 1-59.
- 110) 北田修一・大河内裕之：放流効果評価モデルの構築とその適用例. 日水誌, 60, 235-240(1994).
- 111) 北田修一：標識再捕に基づく種苗放流効果の評価に関する統計学的研究, 栽培資源調査検討資料No. 6, 日本栽培漁業協会, 東京, 1991, pp. 13-45.
- 112) S. Kitada, Y. Taga, and H. Kishino: Effectiveness of a stock enhancement program evaluated by a two-stage sampling survey of commercial landings. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49, 1573-1582(1992).
- 113) 北田修一：RECOVERY：パソコンによる放流効果評価のための標識再捕データ解析プログラム集, 栽培資源調査検討資料No. 8, 日本栽培漁業協

- 会, 東京, 1992, pp. 4-12.
- 114) 林泰行・檜山節久・木村博: マダイ種苗放流における腹鰭抜去標識の弊害について. 栽培技研, 20(1), 41-45(1991).
- 115) 大河内裕之・北田修一・森岡泰三・今村茂生: 標識放流から推定した死亡率によるマダイ人工種苗の種苗性の比較. 日水誌, 60, 229-233(1994).
- 116) 南西海区水産研究所・瀬戸内海栽培漁業協会: 瀬戸内海におけるマダイ資源の培養と種苗放流事業の在り方, 瀬戸内海栽培漁業協会, 神戸, 1973, pp. 1-13.
- 117) 瀬戸内海栽培漁業協会: 栽培漁業技術開発の歩み, 瀬戸内海栽培漁業協会, 神戸, 1978, pp. 155-170.
- 118) 米田博貴・池上健夫: マダイ稚魚の仕切り網による保護育成について. 栽培技研, 8(1), 25-32(1979).
- 119) 丸山敬悟・津村誠一・森岡泰三: マダイ種苗の健全性に関する試験-I 粗放的生産魚と集約的生産魚の比較. 栽培技研, 15(2), 157-167(1986).
- 120) 中野広・小野木博一・大橋誠之・丸山敬悟: マダイの空中乾出時の生化学的变化に関する研究 粗放的生産魚と集約的生産魚との比較-I. 栽培技研, 17(2), 107-113(1989).
- 121) 大野淳: マダイの粗放的種苗生産に関する研究, 特別研究報告2号, 日本栽培漁業協会, 東京, 1992, pp. 1-110.

Summary

Study on Population Dynamics and Stock Enhancement of the Red Sea Bream, *Pagrus major*, in Eastern Waters of the Inland Sea of Japan

Nobuo SHIMAMOTO

The red sea bream, *Pagrus major*, is one of the most important fishery resources, that is widely distributed along the continental shelf from the South China Sea to the Korean Peninsula, and the coasts of Taiwan and Japan except the Ryukyu Islands. In the eastern waters of the Inland Sea of Japan, annual catches of red sea bream have fluctuated considerably due to damage to the habitat and modernization of fishing boats after World War II. In recent years, artificial seeds of red sea bream of over a million individuals each year are released as a main species for stock enhancement in the eastern waters of the Inland Sea. In this study I wish to clarify the biological characteristics, properties of the fishery, fluctuations of the population and effectiveness of the stock enhancement program for red sea bream in the eastern waters of the Inland Sea, and consider the necessary stock management strategies and measures of stock enhancement for the conservation and sustainable use of this commercially important population.

The local red sea bream fishery utilizes a unique population that lives in waters covering Kii Suido, Osaka Bay, Harima Nada and Bisan Seto. This population is called "the east Inland Sea stock". Growth of red sea bream in this stock follows the following equation:

$$L(t)=72.90(1-\exp(-0.1563(t+0.4412))),$$

where L is the fork length in cm, and t is the age in years. Some specimens of red sea bream mature at Age 3, and all specimens are mature by Age 4. The spawning season is in the months from April to June, and the high season is in May. Spawning grounds are formed in a wide range of waters covering channels around Awaji Island, Ieshima Islands and an archipelago in Bisan Seto etc.

Juveniles grow to reach 30 mm in total length by June, and form shoals over sand bottom areas of less than 10 m depth around each spawning ground. The distribution of young fish of 90 mm in fork length expands offshore after September, and later are found in offshore waters as a whole. With the decline of temperature in November, the shoals begin to move to overwinter usually towards Kii Suido. Major overwintering areas are rather deep rocky shores washed by well flowing currents in coastal waters in channel areas of Awaji Island, Nushima Island and outside of Yuasa Bay etc. Immature fish increase their distributional range with the rising temperature in spring, but their movement may be limited anyhow to a rather narrow extent. On the other hand, as soon as the temperature rises up to 14°C in springtime, adults begin to move over a broader distribution in preparation for spawning.

Regarding feeding conditions, juveniles feed selectively on particular zooplankton swarming on the bottom during the months of June and July. Post-juveniles show lesser food selectivity after August, and still feed heavily on crustaceans such as *Leptochela* shrimps throughout their life around the Kitan Channel. The population is euryphagous with a diet mainly composed of crustaceans, and this seems to suggest that the population is in rich nutritive environment where they are able to select particular favorite prey animals except during the overwintering period.

Red sea bream from the local population are in high demand and expensive. Many types of fishery are carried out throughout the year, and use to a high degree all the size range of fish in the fishing grounds. Types of fishery include: pole and line, small-scale Danish seine, set net, sea bream surrounding seine, gill net and longline. Annual catches reached a level of 1,500 tons around 1920, and at that time included mostly large-sized fish. After World War II catches have declined every year, and dropped to 234 tons in 1971. Such a declining trend stopped with catches increasing after 1972, and reached more than 1,000 tons in 1983. The recent trend is stagnant at a level of 1,000 tons.

The increase in catch since 1972 may have occurred due to a recovery of developing potentiality of the fish population and the increase of fishing power on younger year classes with deregulation of the small-scale Danish seine fishery as a turning point. In particular, the spread of the small otter trawl fishery with a high speed function and large mobility led to a rapid increase of fishing power on the population, as it catches Age 0 fish in large quantities as soon as the young fish expand their range to offshore waters after September.

Annual catch by number of red sea bream individuals taken by the small-scale Danish seine fishery in the late 1970's was about one million, comparable to the pole and line fishery. The small-scale Danish seine fishery increased its power rapidly during the 1980's, and captured annually about 6 million individuals, that is equivalent to about 80% of total catch in number at that time. Concerning catch by age, a conspicuous increase was observed in the catch number of Age 0 fish, and the annual catch in number was less than one million in 1977, but reached up to 4-5 million in the late 1980's.

Virtual population analysis is applicable for stock assessment on the local population for the years from 1977 to 1994. According to this analysis, average fishing mortality coefficients ranged between 0.66 and 0.86 through all ages. It is noted here that the coefficients for Age 0 fish fluctuated considerably; it sharply increased each year from 0.28 in 1977 to 0.87 in 1987. This trend decreased thereafter. Recruits increased rapidly in number from 3.8 million in 1977 to more than 10 million in 1983, and remained at a high level of 10 million thereafter. Depending on such an increase of recruits, adults increased gradually from 170 thousand in 1977 to 400 thousand after the early 1990's. It may be assumed as the first cause of such a rapid increase in recruits from the late 1970's that the reproductive success of the population, in which the density of reproductive size specimens had been reduced due to damage to the environment, increased with the stability of environment. As a second cause, it might be assumed that the decrease in fishing effort due to the rapid development for the nori culture fishery at the time, promoted the recovery of the population.

The spawner-recruit relationship for the 18 year period provides data for the Ricker and Beverton-Holt reproduction formulae. The results of these analyses may not be overly reliable, but suggest that the present quantity in number of adults has not yet reached the level of MSY. Concerning the stock size, it was apparently higher in the 1920-30's than in the 1980's. In this connection, fish in the 1980's were observed to be heavier in body weight at the same age, and 1 year earlier in age at first maturity than those in the 1920-30's. Furthermore, it is noted here that the scale of spawning migration has recently been recognized as rather large and expanded. All such biological information indicates that the local population remains still within the environmental capacity, which may allow further development of the population.

Yield per recruitment (YPR) analysis shows that the present condition of the fishing mortality coefficient (0.78/year) is excessive, and the age at first capture (Age 0.4) is much too young. This analysis also indicates that a maximum of 1.85 times increase in the YPR may be expected by the conservation management for Age 0 fish, even when the coefficient is kept at the present condition for fish of more than Age 1. Spawning per recruitment (SPR) analysis reveals that the present level of fishing mortality coefficient does not necessarily reach the threshold for reproduction. However %SPR at the present condition is at a low level of about 1%, if the fishing mortality coefficient declines by the level of 0.4, %SPR may rise beyond 5%, and this increasing trend should accelerate thereafter. After all, at the present condition, the stock structure without a sufficient number of old-aged fish should not be reasonable from the viewpoint of exploitation, while recruitment is maintained still at a high level. It is added here that the mass capture of Age 0 fish which have the highest spawning potential in particular is not reasonable from the viewpoint of stock management. According to these estimations, a basic problem for stock management should be regulation of fishing mortality coefficient for Age 0 fish in order to raise the average age of catch,

and should reflect a higher recruitment on a reasonable production of fishery. In addition, it may be necessary to develop and stabilize the reproductive potentiality by increase of adult fish. For this purpose, I propose the following stock management strategies based on biological reference points; i) For the short term aspect, the age at first capture should be raised from the present Age 0.4 to Age 1. ii) For the mid-long term aspect, the fishing mortality coefficient should be lowered from the present 0.78 to 0.4.

A project of artificial seeds release of red sea bream started in 1973 in the eastern waters of the Inland Sea. More than a million individuals of artificial seeds have been released every year since 1983. This long-term project has provided the technical development of stock enhancement, and has promoted consciousness of necessity for resource conservation among fishermen. Stock enhancement has brought scientific and industrial aspects on previous types of fishery, and has had a decisive impact on the way in which the fishery has to open for their development.

Actually, the release project has technically advanced to a higher level the primary stage of seed production, but remains yet on a systemically immature level in the succeeding stages that begin with intermediate breeding. Therefore, the higher technology of seed production has not necessarily caused any expected increase in harvest. Using data from stocks released at Ages 0-5 during the years from 1985 to 1989, the direct effectiveness at landings is estimated at about 10 tons and 20 million Yen per one million individuals of fish released. Assuming that the cost per seed until the stage of release is 30-50 Yen, this output corresponds to a recovery of only approximately half against the costs necessary until the stage of release. The deficit balance resulted from the following, that is, the efficiency of recruitment of released fish is low at about 20%, and more than 80% of recoveries is of low-valued fish of Age 0 under the actual fishing condition. Current release and recapture systems are not effective to realize any profit over costs, as long as the apparently low efficiency of recruitment and dominant recapture of low-valued Age 0 fish are together continued for the future.

Finally, a reformed system of the release project is needed for the future. For such a change, it should be realized that seeds that are expected to have a high efficiency of recruitment are released on a large scale in their optimal environment. As the exploitation system for the resource depending on fish released, it is desirable that they are managed to the standby-reserved fish as potential adults as much as possible after release. Furthermore, it may be necessary to centralize the finance and technology to support the release project in the reformed system. For a stock enhancement to fulfill its function effectively for fishery resources, it will be important that the two measures are carried out with cooperation, that is, a measure for raising efficiency of recruitment of released fish and an integrated management of natural and released fish resources.