平成15年マダイ瀬戸内海中・西部系群の資源評価

責任担当水研：瀬戸内海区水産研所（銭谷 弘、塚本洋一）

参画機関：広島県水産試験場，山口県水産研究センター内海研究部，大分県海洋水産研究センター，愛媛県中予水産試験場および同東予分場

要 約

瀬戸内海中・西部系群のマダイ資源量は1977年より20年間は安定していたが、1997年以降増加傾向があり、2002年には14,434トンと推定された。過去26年間のコホート解析では、資源水準は高位であるが、より長期のデータがある漁獲量の推移からみて資源水準は中位で、過去5年の資源動向は増加と判断した。

管理方策として、種苗放流数を過去5年間（1997～2001年）の平均値、種苗放流したものが漁業に加入する割合（0歳魚の添加効率）を0.65と仮定した条件下において資源水準が中位で、増加傾向であることからABC算定の資源管理基準と漁獲制御ルール（平成15年度）の1-3)-(2)を適用して $F_{limit} = \text{現状の } F \times 1.0$ のときの漁獲量を ABC_{limit} 、 $F_{target} = F_{limit} \times 0.8$ のときの漁獲量を ABC_{target} とした。

	2004年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC_{limit}	25百トン	$F_{current}$	0.37	20%
ABC_{target}	20百トン	$0.8 F_{current}$	0.30	16%

F 値については完全加入年齢1歳における値

年	資源量（百トン）	漁獲量（百トン）	F値	漁獲割合
2001	121	26	0.21	21.7%
2002	144	27	0.37	18.5%
2003	151	-	-	-

（水準・動向）

水準：中位 動向：増加

1. まえがき

瀬戸内海中・西部海域は日本におけるマダイの種苗放流事業発祥の海域であり、栽培漁業の調査、研究がさかんで栽培漁業に関する関心が高い。

瀬戸内海のマダイ種苗放流量は1989年以降、3,609～4,619千尾にのぼり、この間平均4,128千尾でほぼ安定している。中・西部における放流量は1989年以降、2,549～3,160千尾にのぼる（図1；水産庁・（社）日本栽培漁業協会：栽培漁業種苗生産、入手・放流実績より）。

1997年1月から12月までの遊漁調査では120トンのマダイ採捕が報告されており、これは同年の瀬戸内海マダイ漁獲量3,900トンの3%に当たる。この内、中・西部（広島，山口，福岡，大分，愛媛）の採捕量は48トンで、漁獲量2.8千トンの1.7%を占める（農林水産省統計情報部 1998）。

瀬戸内海漁業取締規則は毎年7月1日から9月30日までの3カ月間、体長12cm以下のマダイの採捕を禁じている。

2. 生態

(1) 分布・回遊(図2、3)

瀬戸内海中・西部系群のマダイは、体長10cm前後の幼魚期までは産卵場に近い育成場で生息する。その後成長に伴って次第に生息範囲を拡大し、燧灘、備後芸予瀬戸、安芸灘、伊予灘、周防灘の全域及び豊後水道にも分布が広がる。産卵期は春季で、内海中央部の燧灘、備後芸予瀬戸、及び安芸灘では5月中旬～6月中旬。伊予灘では3月～4月上旬。親魚が主要な産卵場に回遊して多回産卵を行う(広島県 1983)。

(2) 年齢・成長(図4)

1年で10.7～13.1cm、2年で17.0～20cm、3年で22.5～24.1cm、4年で26.2～27.5に成長する(高場 1997)。寿命は15～20年である。

(3) 成熟・産卵生態(図5)

3歳で約半数が産卵に加わり、4歳以上で完全に成熟する。

(4) 被捕食関係

甲殻類のほか多毛類、尾虫類、魚類を主な餌とする(高場 1992)。稚幼魚期には魚食性魚に捕食される。

3. 漁業の状況

(1) 主要漁業の概要

瀬戸内海中・西部海域におけるマダイは主に小型底曳網、吾智網、釣りによって漁獲されている。瀬戸内海東部と比較して吾智網漁業の比率が高い。

2002年においては小型底曳網での漁獲が全体の37%を占め、吾智網(29%)、釣り(15%)、刺網(11%)、小型定置網(7%)と続く。

(2) 漁獲量の推移(図6)

瀬戸内海中・西部系群のマダイ漁獲量は1953年の4,552トンから減少傾向が続き、1970年には過去最低の1,715トンまで低下した。その後1984年までに3,351トンに回復したが、2002年には2,677トンとなった(附表1)。

4. 資源状態

(1) 資源評価方法

資源量推定はコホート解析(Popeの近似式を用いた)でおこなった。プラスグループ(6歳以上)の資源尾数推定は平松(1999)の方法を用いた。5歳魚と6歳以上魚の漁獲死亡係数は同じ年では等しいと仮定した。各年の6歳以上魚の $F(F_{6+})$ は1977～1998年級群について年齢と漁獲尾数の対数値の回帰係数から全減少係数を推定し、1977～1998年の平均全減少係数(0.36)を求め、これから自然死亡係数(0.17)を差し引いた値0.19を各年の6歳以上魚の F とした(詳細は補足資料1参照)。

(2) CPUE・資源量指数

主要漁業種のCPUE(図7、附表1)

小型底曳網のCPUE(kg/出漁日数)の変遷(1968～2001年)を図7に示す。CPUEは1970年に0.27(kg/出漁日数)であったが、1975年には0.95(kg/出漁日数)と急増し、その後、1996年には3.03(kg/出漁日数)となったが、それ以降はやや減少気味である。

(3) 漁獲物の年齢(体長)組成の推移(図8)

2000～2001年に愛媛県が大浜、小部、下灘、上灘で調査した精密測定データ(尾叉長年齢データ)をもとに、尾叉長別の年齢組成割合を作成した(附表2)。2001年、2002年の漁法別漁獲尾数割合は附表3に示した。上記で作成した漁法別年齢別漁獲尾数割合および漁法別漁獲量をもとに1977～2002年の年別年齢別漁獲尾数を算出した。

年齢別漁獲尾数および年齢別漁獲重量の推移を図8に示す。未成魚の0、1歳魚が漁獲物の70%以上を占めている(附表4)。

(4) 資源量の推移 (図9)

瀬戸内海中・西部系群のマダイ資源量は1977年より20年間は安定していたが、1997年以降増加傾向があり、2002年には14,434トンと推定された(図9)。

2002年の瀬戸内海中・西部系群マダイの資源尾数は4,129万尾と推定された。年齢別の資源尾数割合は、0歳：27.6%、1歳：34.5%、2歳：20.1%、3歳：8.0%、4歳：4.0%、5歳：3.2%、6歳以上：2.6%となっており、0~2歳の未成熟個体で全体の82.2%を占めている(附表5)。

0歳魚の資源尾数を加入量の指標とした場合、1977~1984年まで加入量は増加傾向があったが、1986~1996年は1,509~1,708万尾で安定していた。1997~1998年以降はやや減少傾向が見られたが、2000、2001年には2,297万尾、2,420万尾と増加した。2002年は1,142万尾に減少した。産卵親魚量(3歳魚の資源重量×0.5+4歳魚以上の資源重量)は1979年より急増しており1984年は4,871トンに達している。1999年以降は増加傾向があり2002年は6,719トンと推定された(図10)。RPS(加入量/産卵親魚量)は2000年、2001年とやや高かったが、2002年は減少した(附表5、図11)。

マダイ瀬戸内海中・西部系群については毎年約242万尾の種苗放流が行われており、ここでは放流種苗の資源添加を考慮して再生産関係の検討を行った。産卵親魚量(SSB)と0歳魚の資源尾数との関係を図12に示した。ここで0歳魚資源尾数には天然海域での再生産による個体に加え、資源添加した放流個体が含まれている。

1983~1987年の広島、愛媛県の調査(昭和62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)からとりまとめた0歳魚の混獲率は2.4~19.0%であった(1983年は6.7%、1984年は2.4%、1985年は16.8%、1986年は14.2%、1987年は19.0%)。

0歳時の添加効率 = (0歳魚の混獲率) / 種苗放流尾数 × 新規加入量

より各年の0歳時の添加効率を計算した。1983年以前は0歳時の添加効率を0.32、1984年は0.16、1985年は1.00、1986年は0.73、1987年以降は0.65として、親魚資源量と再生産加入量との関係を検討したところ明確な再生産関係は見られなかった(図12)。なお、自然死亡係数*M*を大きい値に仮定すると資源量、加入量、親魚資源量の推定値は大きくなる傾向がある(図13)。

(5) 資源水準・動向の判断

過去26年間のコホート解析では、資源水準は高位であるが、より長期のデータがある漁獲量の推移からみて資源水準は中位で、過去5年の資源動向は増加と判断した。

5. 資源の変動要因

(1) 資源と漁獲の関係

附表5、図14に*F*値の年齢別の経年変化を示す。0~4歳魚の*F*値は近年減少傾向が見られた。Precautionary approach plotを図15に示す。3、4歳魚の*F*値の減少に伴い産卵親魚量は増加傾向があった。

附表6の設定に基づいて計算した%SPR、YPRと1歳魚の漁獲死亡係数の関係を図16に示した。過去3年(1999~2001年)の1歳魚の漁獲死亡係数(*F*_{current})は0.37であり、30%SPRの推奨値と比較すると漁獲圧が高い状態である。また、加入量当たり漁獲量で見ると漁獲死亡係数が高く成長乱獲の状態である。しかし、資源量水準が増加傾向を保っていることから判断して、漁獲が資源に壊滅的な悪影響を及ぼしているとは判断できない。

(2) 資源と海洋環境の関係

海況とRPSの変動について確たる仮説は未だにないが、産卵期直後の6月における中・西部海域の平均0m層水温とRPSについて関係(図11)を見ると、高水温時にRPSが低い傾向があった。なお、高場(1997)によると高温傾向の年には0歳魚の成長が良い。

(3) 種苗放流効果

0歳時の添加効率は1983年は0.36、1984年は0.18、1985年は1.00、1986年は0.83、1987年は0.74と計算された。ただし、1982年以前および1988年以降のデータは未整理である(図

17)。

6. 管理目標・管理基準値・2004年ABCの設定

(1) 資源評価のまとめ

新規加入量の減少が見られるものの、2、3歳魚が高水準であり、資源量は増加傾向にある。

(2) 資源管理目標

年齢別漁獲尾数の時系列データが不十分であり、また明確な再生産関係も見いだせていない。 F_{med} を F_{msy} の代替値として使用する案もあったが、 F_{med} が $F_{current}$ よりも大きい値であること、資源水準が中位で、増加傾向であることから判断して、 $F_{current}$ での管理を想定した。

(3) 2004年ABCの設定

毎年約242万尾の種苗放流が行われ、0歳時の添加効率が0.65であると仮定した条件下において、資源水準が中位で、増加傾向であることから、ABC算定の資源管理基準と漁獲制御ルール（平成15年度）の1-3)-(2)に基づいて漁獲死亡係数 F_{limit} 、 F_{target} （1歳魚の値で代表）を算出すると

$$F_{limit} = F_{current} \times \beta_1 \text{ (資源が中位水準・増加傾向にあるので1.0とした)}$$

$$= 0.37 \times 1.0 = 0.37$$

$$F_{target} = F_{limit} \times \alpha \text{ (標準値の0.8を使用)}$$

$$= 0.37 \times 0.8 = 0.30$$

ABC_{limit} 、 ABC_{target} を計算すると $ABC_{limit} = 2,546$ トン（漁獲割合19.6%）、 $ABC_{target} = 2,087$ （漁獲割合15.9%）となる。

	2004年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC_{limit}	25百トン	$F_{current}$	0.37	19.6%
ABC_{target}	21百トン	$0.8F_{current}$	0.30	15.9%

F 値については完全加入年齢1歳における値

(4) F 値の変化による資源量（産卵親魚量）及び漁獲量の推移（図18）

前提：すべての年齢について F （2003年）= $F_{current}$ とする。漁獲量（2003年）=2,715トン、加入量（2003年以降）は{過去のRPSのメジアン値 (=3,412尾/トン)} × {各年SSB}で計算する。ただし、過去最大の2,420万尾を上限値とする。

F	基準値	漁獲量（トン）					産卵親魚量（SSB、トン）				
		2004	2005	2006	2007	2008	2004	2005	2006	2007	2008
0		0	0	0	0	0	9067	12456	16453	22153	29987
0.06	$0.1F_{sus}$	443	541	656	852	1034	9067	12001	15288	19870	26013
0.12	$0.2F_{sus}$	870	1024	1206	1515	1790	9067	11563	14209	17824	22572
0.17	$0.3F_{sus}$	1279	1454	1662	2022	2328	9067	11142	13207	15990	19591
0.23	$0.4F_{sus}$	1672	1836	2036	2401	2694	9067	10738	12278	14345	17009
0.29	$0.5F_{sus}$	2050	2174	2341	2675	2928	9067	10349	11416	12871	14771
0.35	$0.6F_{sus}$	2414	2472	2585	2863	3060	9067	9975	10616	11550	12832
	F_{limit}										
0.37	$=F_{current}$	2546	2574	2662	2915	3088	9067	9839	10332	11091	12174
0.41	$0.7F_{sus}$	2763	2733	2776	2983	3114	9067	9615	9874	10365	11150
0.45	F_{med}	3019	2909	2890	3036	3116	9067	9352	9347	9548	10025
0.46	$0.8F_{sus}$	3099	2961	2921	3047	3111	9067	9270	9185	9302	9691
0.52	$0.9F_{sus}$	3422	3159	3028	3067	3065	9067	8937	8546	8349	8426
0.58	$1.0F_{sus}$	3733	3330	3101	3052	2989	9067	8617	7952	7495	7328

F 値および管理基準は1歳魚の値で代表

毎年約242万尾の種苗放流が行われ、0歳時の添加効率を0.65と仮定

2004年以降、 F_{limit} で管理した場合、期待される生物学的許容漁獲量は2004年において

は F_{med} での漁獲量(3,019トン)を16%下回る。しかし再生産関係が不明確であるので親魚量の増加がより期待できる F_{limit} での管理の方が安全であろう。

(5) ABC_{limit} の検証

代表的な管理基準の M による感度解析結果を附表7に示した。 ABC_{limit} の感度解析結果を図18に示す。 $MD \pm 30\%$ の変動に対し管理基準の変動は16%以内に収まっていた。 $MD \pm 30\%$ の変動に対し ABC_{limit} の変動は1%以内に収まっていた。 M に対するそれぞれの値の感度はやや高いが、 ABC_{limit} 算出に対する影響は少ない。

(6) 過去の管理目標・基準値、 ABC (当初・再評価)のレビュー

評価対象年	(当初・再評価)	管理基準	資源量	ABC_{limit}	target	漁獲量	管理目標
2002年	(当初)	$F_{rec}(0.63)$	4858	1835	1537		長期的に資源を安定させる管理目標
2002年	(2002年再評価)	$F_{msy}(0.29)$	12657	2106	1760	2677	最大持続漁獲量の実現
2002年	(2003年再評価)	$F_{current}(0.37)$	14434	2677	2207		現状維持
2003年	(当初)	$F_{msy}(0.29)$	11910	1972	1607		最大持続漁獲量の実現
2003年	(再評価)	$F_{current}(0.37)$	15144	2546	2087		現状維持

資源量、 ABC の単位：トン

F 値および管理基準は1歳魚の値で代表

- ・2002年(当初)と2002年(再評価)では年齢別漁獲尾数推定のパラメータが異なる。2002年(当初)では瀬戸内海東部で使用したパラメータを用いている。
- ・2002年の新規加入量が前年と比較して極端に低く推定されている。2003年以降のデータがそろった段階で値が変わる可能性がある。

7. ABC 以外の管理方策への提言

若齢魚規制について検討した。例として、0歳魚を全面禁漁とした場合に $F_{current}=0.37$ の規制を実施した時の予測漁獲量、予測産卵親魚量は以下ようになる。

F	基準値	漁獲量(トン)					産卵親魚量(SSB , トン)				
		2004	2005	2006	2007	2008	2004	2005	2006	2007	2008
0.37		2475	2579	2706	3068	3387	9067	9839	10333	11367	13026

$F_{current}$ (0歳規制)

F 値および管理基準は1歳魚の値で代表

- ・漁獲量の増加、産卵親魚の回復は0歳規制しない $F_{current}$ よりも迅速であるが、漁業形態の改変を伴う管理施策の提言を現時点では提示する段階ではない。

8. 引用文献

平松一彦(1999)VPAの入門と実際.水産資源管理談話会報, 19: 25-40.
 広島県(1983) 斎島地区人工礁漁場造成事業調査報告書. pp.74.
 農林水産省統計情報部(1998) 遊漁採捕量調査報告書. pp.115.
 高場 稔(1992) 広島県東部、中部海域の放流マダイ幼魚の食性. 広島水試研報, 17: 59-70.
 高場 稔(1997) マダイの年成長量の年変動. 日水誌, 63: 563-569.

補足資料 1

(1) 漁法別漁獲尾数割合

2001年まで

小型底曳網については小部、上灘の各水揚げ地の2001年月別水揚げ量で重み付けした尾又長組成を尾又長別年齢組成割合を用いて年齢組成に変換した。吾智網については小部の2001年月別水揚げ量で重み付けした尾又長組成を尾又長別年齢組成割合を用いて年齢組成に変換した。釣りについては大浜の2001年月別水揚げ量で重み付けした尾又長組成を尾又長別年齢組成割合を用いて年齢組成に変換した。小底、吾智網、釣り以外の漁法の年齢組成については瀬戸内海栽培漁業協会(1973)から引用した。

2002年

小型底曳網については小部、上灘、伊予の各水揚げ地の2002年月別水揚げ量で重み付けした尾又長組成を尾又長別年齢組成割合を用いて年齢組成に変換した。吾智網については下灘、小部の2002年月別水揚げ量で重み付けした尾又長組成を尾又長別年齢組成割合を用いて年齢組成に変換した。釣りについては大浜の2002年月別水揚げ量で重み付けした尾又長組成を尾又長別年齢組成割合を用いて年齢組成に変換した。小底、吾智網、釣り以外の漁法の年齢組成については瀬戸内海栽培漁業協会(1973)から引用した。

(2) 資源量等推定方法

近年の漁獲動向及び漁法別年齢別漁獲尾数データをもとにして瀬戸内海中・西部系群マダイの年齢別漁獲尾数をもとめ、平松(1999)のコホートにより年齢別資源尾数、資源重量、漁獲係数を算定した。

計算に使用した漁獲物の年齢別平均体重

年齢	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳	5歳	6歳以上
体重(g)	35	223	378	607	828	1133	2692

資源量計算に際し、自然死亡係数(M)は島本(1999)より年齢別に $M=0.39$ (0歳魚)、 0.24 (1歳魚)、 0.17 (2歳以降)とした。6歳魚以上をプラスグループとしてあつかっており、5歳魚と6歳魚以上の漁獲死亡係数は同じ年では等しいと仮定した。コホート計算の基本式は以下に示したPopeの近似式を用いた

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \times \exp(M) + C_{a,y} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)$$

ここで、 $N_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の漁獲尾数である。

最近年(2002年)、6歳以上魚(プラスグループ)、5歳魚の資源尾数は以下の式で計算した。

$$N_{a,2002} = \frac{C_{a,2002} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{1 - \exp(-F_{a,2002})}$$

$$N_{6+,y} = \frac{C_{6+,y}}{C_{6+,y} + C_{5,y}} \times N_{6+,y+1} \times \exp(M) + C_{6+,y} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)$$

$$N_{5,y} = \frac{C_{5,y}}{C_{6+,y} + C_{5,y}} \times N_{6+,y+1} \times \exp(M) + C_{5,y} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)$$

漁獲死亡係数 F の計算は、ターミナル F_t 以外は以下の式による。

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

0~5歳魚のターミナル F は各年齢の過去3年間の F の平均とした。6歳以上魚のターミナル F

は5歳魚のターミナル F と等しくなるようエクセルのソルバーを使用して探索的に求めた。しかし、5歳および6歳以上魚の F は非常に高い値となり非現実的であった。そのため、各年の6歳以上魚の F (F_{6+})は、1977~1998年級群について年齢と漁獲尾数の対数値の回帰係数から全減少係数を推定し、1977~1998年の平均全減少係数(0.36)を求め、これから自然死亡係数(0.17)を差し引いた値0.19を各年の6歳以上魚の F とした。

(2) SPR , YPR 計算

SPR , YPR は次式を用いた。

$$SPR = \sum_{a=0}^{15} \left[\prod_{k=0}^a \exp\{-(F_k + M_k)\} \right] \times W_a \times SR_a$$

$$YPR = \sum_{a=0}^{15} \left[\prod_{k=0}^a \exp\{-(F_k + M_k)\} \right] \times W_a \times \frac{F_a}{F_a + M_a}$$

以下に SPR , YPR 計算のための仮定を示す(附表3)。

- ・年齢(a)別体重(W_a)は広島県(1983)の関係式より

$$W_a = 4231 \times [1 - \exp\{-0.165 \times (a + 0.5 + 0.417)\}]^{3.00} \quad \text{を用いた。}$$

- ・漁業への加入年齢(a_r)は0歳。
- ・産卵寄与率(SR_a)は成熟に関する情報をもとに2歳以下は0、3歳は0.5、4歳以上が1と仮定する。

・ある年齢 a の漁獲死亡係数(F_a)と1歳魚の漁獲死亡係数(F_1)の比(年齢別漁獲選択性: $s_a = F_a / F_1$)が1999~2001年で同じと仮定する。

- ・1歳魚の漁獲死亡係数(F_1)により資源を管理する。各年齢毎の漁獲死亡係数(F_a)は $F_a = F_1 \times s_a$ で計算する。

(3) 漁獲量(ABC含む)予測の方法

2002年以降、現状の F (1歳魚の F で代表)および年齢別漁獲選択性が1999~2001年の平均値として一定と仮定する。2003年における1歳魚以上の資源尾数を2002年における資源尾数と現状の漁獲死亡係数をもとに計算する。また2003年以降における0歳魚の資源尾数を当該年の3歳魚以上の資源重量をもとに{過去の $RPSD$ のメジアン値(=3,412尾/トン)} $\times$ {各年 SSB }で計算する。ただし、0歳魚の資源尾数は過去最大の2,420万尾を上限値とする。また、毎年約242万尾の種苗放流が行われ、0歳時の添加効率を0.74と仮定する。2004年初めの資源量は2003年も2002年と同じ漁獲圧($F_{current}$)をかけたとして13,182トンと予測する(附表8)。さらに2004年以降における予測資源尾数に対して F_{limit} , F_{target} の漁獲圧をかけるとして ABC_{limit} , ABC_{target} を計算する。

引用文献

平松一彦(1999)VPAの入門と実際.水産資源管理談話会報, 19: 25-40.

広島県(1983) 斎島地区人工礁漁場造成事業調査報告書. pp.74.

瀬戸内海栽培漁業協会(1973) 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. pp.13.

島本信夫(1999) 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.兵庫水試研報, 35: 43-112.