

平成18年マダイ瀬戸内海東部系群の資源評価

責任担当水研：瀬戸内海区水産研究所（銭谷 弘）

参画機関：和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場、大阪府立水産試験場、兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター、岡山県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究所、香川県水産試験場

要 約

瀬戸内海東部系群のマダイ資源量は1977年以降増加傾向が続き、1984年に2,267トンまで増加した。1992年に1,909トンまで低下したものの、1994年以降急増し、1999年には4,022トンとなった。2005年には4,500トンと推定された。資源水準は高位、資源動向は横ばいと判断した。

管理方策として、最大持続漁獲量MSYを実現するための管理基準 F_{msy} を採用した。ABC算定のための基本規則（平成18年度）の1-1)-(1)を適用して $F_{limit} = F_{msy}$ のときの漁獲量を ABC_{limit} 、 $F_{target} = F_{msy} \times 1.0$ のときの漁獲量を ABC_{target} とした。なお種苗放流数を過去5年間（2000～2004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0.17と仮定した。

	2007年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC_{limit}	19百トン	F_{msy}	0.70	40.9%
ABC_{target}	19百トン	1.0 F_{msy}	0.70	40.9%

漁獲割合は $ABC / \text{資源量}$ 、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
2004	41	16	0.66	39.3%
2005	45	19	0.74	42.3%
2006	46			

F値は完全加入年齢1歳における値

水準：高位

動向：横ばい

1. まえがき

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ている。種苗放流が盛んに行われており、瀬戸内海東部における放流量は1986年以降、880～1,767千尾にのぼる（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）。また、漁獲量に匹敵する養殖量がある（2004年1,421トン、うち香川県が1,332トン）。

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3.9千トンの3%に当たる。この内、東部（和歌山、大阪、兵庫、岡山、徳島、香川）の採捕量は72トンで、漁獲量1.1千トンの6.5%を占めるにすぎない（農林水産省統計情報部 1998）。2002年1月から12月までの遊漁調査では195トンのマダイ採捕が報告されている（農林水産省統計情報部 2003）。これは同年の瀬戸内海マダイ漁獲量4.5千トンの4%に当たる。

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、全長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)

瀬戸内海東部系群のマダイは、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、大阪湾、播磨灘、備讃瀬戸の全域及び紀伊水道にも分布が広がる。産卵期は春季で、紀伊水道、大阪湾、播磨灘では4月中旬～5月上旬、瀬戸内海中央部の備讃瀬戸では5月中旬～6月中旬である。親魚は主要な産卵場に回遊して多回産卵を行う(島本 1999)。

(2) 年齢・成長(図4)

ふ化後6ヶ月で10cm、1年で15～23cm、2年で23～30cm、3年で30～37cmに成長する。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(島本 1999)。稚幼魚期には魚食性魚に捕食される。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

戦前は主に一本釣り、吾智網、しばり網などによって大型サイズのことを漁獲していたが戦後は主に小型底曳網、吾智網、釣、刺網、小型定置網によって漁獲され、小型サイズのマダイが漁獲対象となっている。2005年においては小型底曳網での漁獲が全体の46%を占め、小型定置網(20%)、刺網(12%)、釣り(11%)、吾智網(11%)と続く。

(2) 漁獲量の推移(図6)

瀬戸内海東部系群のマダイ漁獲量は1956年の1,076トンから減少傾向が続き、1971年には過去最低の234トンまで低下した。その後1984年までに1,219トンに回復した。1986～1998年の漁獲量は754～1,196トンでほぼ安定していたが、1999年に1,667トンに急増し、2005年には1,902トンとなった(附表1)。

(3) 主要漁業の漁獲努力量

小型底曳網の出漁日数を努力量とした(附表1)。努力量は経年的に減少傾向にある。後述するコホート解析で推定された各年齢毎のFの推移は附表5に示した。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

資源量推定はコホート解析(Popeの近似式を用いた)で行った。プラスグループ(6歳以上)の資源尾数の推定は平松(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。2005年の0～5歳魚の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と等しくなるようにエクセルのソルバーを使用して探索的に求めた(詳細は補足資料1参照)。

(2) 資源量指標値の推移

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 ~ 2004年) を図 7 に示す。CPUEは1970年に0.09 (kg / 出漁日数) であったが、1984年には1.27 (kg / 出漁日数) と急増し、2004年には2.20 (kg / 出漁日数) となった。

小型底曳網では0、1歳魚を主体に漁獲しており、小型魚の増加がCPUEの増加に反映している。

(3) 漁獲物の年齢組成 (図 8)

1977 ~ 1994年までは島本 (1999) が作成した漁法別年齢別漁獲尾数割合と漁法別漁獲量をもとに年齢別漁獲尾数を算出した。1995年は1996年の漁法別年齢別漁獲尾数割合を用いた。1996 ~ 2003年は和歌山県が加太 (一本釣、刺網) 雑賀崎 (小型底曳網) で調査した年齢別漁獲尾数を漁法別年齢別漁獲尾数割合算出に、2004 ~ 2005年は和歌山県が加太 (一本釣、刺網) 湯浅 (小型底曳網) で調査した年齢別漁獲尾数を漁法別年齢別漁獲尾数割合算出に使用した (附表 2)。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72%を占めている (附表 3)。

(4) 資源量の推移 (図 9)

瀬戸内海東部系群のマダイ資源量は1977年以降増加傾向が続き、1984年に2,267トンまで増加した。1992年に1,909トンまで低下したものの、1994年以降急増し、1999年には4,022トンとなった。2005年には4,500トンと推定された (図 9)。

2005年の瀬戸内海東部系群マダイの資源尾数は2,043万尾と推定された (附表 4)。年齢別の資源尾数割合は、0歳 : 54.3%、1歳 : 25.1%、2歳 : 12.5%、3歳 : 4.9%、4歳 : 1.9%、5歳 : 0.7%、6歳以上 : 0.6%となっており、0 ~ 2歳の未成熟個体で全体の91.9%を占めている。漁獲割合は34.8 ~ 53.8%である (附表 5)。

0歳魚の資源尾数を加入量の指標とした場合、1977 ~ 1989年まで加入量は増加傾向にあったが1990 ~ 1992年に減少した。その後、増加傾向に転じ、1997年には1,330万尾となった。2005年は1,100万尾とやや減少した。

産卵親魚量 (3歳魚の資源重量 $\times$ 0.5 + 4歳魚以上の資源重量) は1997年以降漸増しており2001年は1,722トンに達している。2005年は1,550トンとなった (図10)。

RPS (加入量 / 産卵親魚量) は1994年以降漸減傾向にある (附表 5、図11)。

瀬戸内海東部海域では毎年約111万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。

島本 (1999) により0歳時の混獲率は1985 ~ 1989年において1.20 ~ 2.36%と計算されている (1985年から2.36%、1.20%、1.33%、1.20%、1.62%)。1993 ~ 2002年の和歌山県の調査 (平成14年度複合資源管理型漁業促進対策事業報告書) では0歳魚の放流時の標識率で補正した混獲率は0.60 ~ 6.75%であった (1993年から1.41%、1.01%、1.66%、6.75%、3.19%、1.51%、0.60%、0.80%、1.32%、1.50%)。兵庫県からの情報では2003年は1.2%、2004年は3.3%、和歌山県からの情報では2003年は1.19%、2004年は3.94%であった (平成17年度栽培漁業ブロック会議資料より)。

0歳時の添加効率 = (0歳魚の混獲率 / 種苗放流尾数) $\times$ 新規加入量

より各年の0歳時の添加効率 (K_y) を計算した。

0歳時の添加効率を1985年以前は0.20、1986年は0.08、1987年は0.10、1988年は0.09、1989 ~ 1992年は0.16、1993年は0.09、1994年は0.08、1995年は0.14、1996年は0.42、1997年は0.48、1998年は0.10、1999年は0.04、2000年は0.05、2001年は0.14、2002年は0.16、2003年は0.15、2004年は0.37として、産卵親魚量と当該年の種苗放流以外の加入量との関係を検討したところリッカ - 関数型の再生産関係が最も適合した。天然における再生産関係と人工種苗の添加による y 年における0歳魚資源尾数 (R_y) は以下の式で表せる。

$$R_y = 22,357 \times SSB \times \exp(-0.000749 \times SSB) + A_r \times K_y \quad (1)$$

ここでSSBおよび A_r はそれぞれ y 年における産卵親魚量および放流個体数である。データは放流データが揃っている1977～2004年を使用した。推定された産卵親魚量と加入量の関係は図12に示した。

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、産卵親魚量の推定値は大きくなる傾向がある(図13)。しかし、 M の変動の割に資源量、加入量、産卵親魚量の推定値はそれほど大きな影響を受けない。

(5) 資源水準・動向の判断

過去29年間のコホート計算による資源解析により、平成17年の資源水準は高位であり、資源動向は横ばいと判断した。添加効率を0.17として、再生産式(1)より求められる最大新規加入量(R_{max})の50%である558万尾が得られるSSBを(1)式より求め B_{limit} (=317トン) と考える。資源状態 B (=SSB) は1,550トンであり $B > B_{limit}$ である。

5. 資源管理の方策

式(1)の再生産関係をもとにして、最大持続漁獲量を実現する資源管理目標を設定する。また栽培対象種であるので種苗放流も考慮する。

(1) 資源と漁獲の関係

1977年以降の小型底曳網の出漁日数と産卵親魚量の間には負の相関関係があった(図14；産卵親魚量 = $65,162 \times \exp(-8.60 \times 10^{-6} \times \text{小型底曳網出漁日数})$ 、 $r^2=0.79$)。

産卵親魚量と年齢別の F 値のプロットを図15に示す。産卵親魚量が低いときに2歳魚の漁獲圧が高くなるという傾向があった。

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。2005年の1歳魚の漁獲死亡係数($F_{current}$ 、 $F_{ave3-yr}$)は0.74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、資源量水準が高位を保っていること、努力量の低下と産卵親魚量との関係を考慮すると、資源が漁獲によって壊滅的な影響を受けている状況ではない。より安定で高位の漁獲が得られる管理方を提示することにするが、現在の漁獲圧を早急に低下させる必要はないと考える。

(2) 種苗放流効果

現在の種苗放流数水準では、放流しないときの約1.01倍程度の最大持続漁獲量しか得られず、現時点で資源学的に見て放流効果は認められない(図17)。ただし、種苗放流をしないと高い漁獲圧での資源の持続状態を達成できない。瀬戸内海東部系群のマダイ種苗放流は漁獲圧を高い状態に維持する管理体制では効果があるが、漁獲圧を下げる管理と比較して漁獲量増大の効果が少ない。

6. 2007年ABCの算定

(1) 資源評価のまとめ

過去29年間のコホート解析から判断して資源量は高位、横ばいである。

(2) ABCの算定

資源量および産卵親魚量と加入量の関係が利用でき、現在の産卵親魚量は B_{limit} 以上であると考えられるので、ABC算定のための基本規則1-1)-(1)によってABCを算定する。また栽培対象種であるので種苗放流も考慮する。

F_{limit} 、 F_{target} (1歳魚の値で代表) 及び2006年の資源量の見積もりから、ABCは下表のように算定される。

$$F_{limit} = F_{msy}$$

$$=0.70$$

$$F_{\text{target}} = F_{\text{msy}} \times \alpha$$

$$=0.70 \times 1.0$$

$$=0.70$$

α は資源が高位水準であることから1.0とした。

	2007年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABClimit	19百トン	Fmsy	0.70	40.9%
ABCTarget	19百トン	1.0 Fmsy	0.70	40.9%

漁獲割合はABC / 資源量、F 値については完全加入年齢1歳における値

(3) 漁獲圧と資源動向 (図18)

前提：すべての年齢について2006年のFはFcurrentとする。2006年の漁獲量は = 1,937 トン、2006年以降の加入量は (1) 式の再生産関係に従うとする。

漁獲量 (トン)								
F	基準値	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0.00		1,902	1,937	0	0	0	0	0
0.07	0.1Fcurrent	1,902	1,937	244	403	581	742	862
0.14	0.2Fcurrent	1,902	1,937	473	740	1,020	1,245	1,380
0.21	0.3Fcurrent	1,902	1,937	688	1,020	1,345	1,578	1,678
0.28	0.4Fcurrent	1,902	1,937	890	1,250	1,581	1,792	1,844
0.35	0.5Fcurrent	1,902	1,937	1,080	1,438	1,747	1,922	1,933
0.42	0.6Fcurrent	1,902	1,937	1,259	1,588	1,857	1,994	1,982
0.49	0.7Fcurrent	1,902	1,937	1,426	1,707	1,924	2,025	2,006
0.56	0.8Fcurrent	1,902	1,937	1,584	1,799	1,956	2,024	2,011
0.63	0.9Fcurrent	1,902	1,937	1,732	1,866	1,962	1,999	1,995
0.70	Flimit	1,902	1,937	1,872	1,914	1,946	1,955	1,955
0.74	1.0Fcurrent	1,902	1,937	1,949	1,934	1,929	1,922	1,921
資源量 (トン)								
F	基準値	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0.00		4,500	4,551	4,571	7,843	11,758	15,465	18,434
0.08	0.1Fcurrent	4,500	4,551	4,571	7,433	10,621	13,334	15,132
0.17	0.2Fcurrent	4,500	4,551	4,571	7,047	9,617	11,565	12,549
0.25	0.3Fcurrent	4,500	4,551	4,571	6,685	8,731	10,100	10,544
0.34	0.4Fcurrent	4,500	4,551	4,571	6,344	7,949	8,890	9,004
0.42	0.5Fcurrent	4,500	4,551	4,571	6,024	7,255	7,890	7,833
0.51	0.6Fcurrent	4,500	4,551	4,571	5,721	6,639	7,058	6,944
0.59	0.7Fcurrent	4,500	4,551	4,571	5,437	6,089	6,358	6,255
0.68	0.8Fcurrent	4,500	4,551	4,571	5,168	5,595	5,759	5,695
0.70	0.9Fcurrent	4,500	4,551	4,571	4,914	5,150	5,234	5,211
0.76	Flimit	4,500	4,551	4,571	4,674	4,747	4,765	4,763
0.85	1.0Fcurrent	4,500	4,551	4,571	4,541	4,529	4,512	4,511

F値および管理基準は1歳魚の値で代表

毎年約111万尾の種苗放流が行われ、0歳時の添加効率を0.17と仮定

2007年以降、Flimit で管理した場合、2011年に期待される資源量は現在 (2005年) の漁獲圧を継続した場合の1.05倍の資源水準となり、漁獲量は1.02倍となる。

(4) ABClimitの検証

(1)式で示される再生産関係の誤差変動を考慮してABClimitの検証を行う。加入量 Ry の

実測値と(1)式による計算値の誤差 Er が正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ に従うと仮定して、0歳魚の資源尾数 $= 22,357 \times SSB \times \exp(-0.000749 \times SSB) + \text{種苗放流数} \times 0\text{歳時の添加効率}$ により行い、ABClimitの計算を1000回試行し、ABClimitのばらつきを検証した。ここで、 μ 、 σ はそれぞれ Er の平均と標準偏差。 $\mu=213,045$ 、 $\sigma=1,631,985$ 。FlimitでのABC等の基本統計を附表7に示す。ABClimitの誤差変動は3.6%である(図19)。

(5) ABCの再評価

評価対象年 (当初・再評価)	管理 基準	資源量 (トン)	ABClimit (トン)	ABCtarget (トン)	漁獲量 (トン)
2005年(当初)	Fmsy(0.65)	3,731	1,211	1,012	
2005年(2005年再評価)	Fmsy(0.69)	3,823	1,516	1,516	1,902
2005年(2006年再評価)	Fmsy(0.70)	4,420	1,792	1,792	
2006年(当初)	Fmsy(0.69)	3,559	1,424	1,424	
2006年(2006年再評価)	Fmsy(0.70)	4,551	1,937	1,937	

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

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、Fmsyで0歳魚を全面禁漁とした場合に得られる予測漁獲量、予測資源量は以下ようになる。

漁獲量(トン)								
F	基準値	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0.70	Flimit(0歳規制)	1,819	1,990	2,148	2,261	2,326	1,819	1,990
資源量(トン)								
F	基準値	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0.70	Flimit(0歳規制)	4,571	4,961	5,350	5,611	5,743	4,571	4,961

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Flimit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。

・養殖魚が産卵親魚として機能している可能性もあるが、現在のところ、本資源評価では考慮していない。どの程度養殖が産卵親魚に寄与するかは手法開発も含め今後の課題である。香川県側の卵分布量が和歌山県側の分布量よりも圧倒的に少ないことが判明すれば、養殖の影響を考慮する必要はなくなるかもしれない。現在、マダイ卵の同定技術(大西他2003)が確立したことをうけて予備調査を瀬戸内海中部の燧灘で実施したところである。

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.

日本栽培漁業協会(1989) 栽培漁業技術についての考え方. pp.18.

農林水産省統計情報部(1998) 遊漁採捕量調査報告書. pp.115.

大西庸介, 池田知司, 広石伸互, 沖山宗雄(2003) モノクローナル抗体を用いた浮遊性魚卵の同定. 日水誌, 69:170-177.

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.

補足資料1

(1) 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東部系群マダイの年齢別漁獲尾数をもとめ、平松(1999)のコホート計算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)	27	180	510	860	1,460	1,880	2,496

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扱っており、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(2005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。

$$N_{a,2005} = \frac{C_{a,2005} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{1 - \exp(-F_{a,2005})}$$

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

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

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。

(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7)。

- ・ 年齢(a)別体重(W_a)は島本(1999)の関係式

$$W_a = 7,864 \times [1 - \exp\{-0.1563 \times (a + 0.5 + 0.4412)\}]^{2.906}$$
を参考に補足資料1(1)の値を使用した。
- ・ 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2002～2004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) Fmsyの探索方法

最初に任意の F (1歳魚の F で代表) に対する SPR 値 ($SPR(F)$) を求め、 $SPR(F)$ の逆数の傾きを持ち原点を通る直線と(1)式の再生産曲線の交点 ($SSB(F)$, $R(F)$) を求める (資源の平衡条件)。次にこの F を用いて $YPR(F)$ を計算。持続漁獲量 $SY(F)$ を $SY(F)=R(F) \times YPR(F)$ で計算、 $SY(F)$ が最大となる $F=F_{msy}$ を探索する。

(4) 漁獲量 (ABC含む) 予測の方法

漁獲量はコホート解析でPopeの近似式を使用したことから、

$$C_{a,y} = N_{a,y} \times \{1 - \exp(-F_{a,y})\} \times \exp(-M/2)$$

により計算した。

2005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2002～2004年の平均値として一定と仮定する。2006年における1歳魚以上の資源尾数は2005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2006年以降における0歳魚の資源尾数を当該年の3歳以上魚の資源重量 (SSB) をもとに再生産式

0歳魚の資源尾数 = $22,357 \times SSB \times \exp(-0.000749 \times SSB) + \text{種苗放流数} \times 0\text{歳時の添加効率}$ から推定する。ただし、毎年約126万尾の種苗放流が行われ、0歳時の添加効率が0.17と仮定する。2007年初めの資源量は2006年も2005年と同じ漁獲圧 (F_{current}) をかけたとして4,551トンと予測する。さらに2007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.

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.

附表1 瀬戸内海東部系群マダイの漁獲量(トン)、放流数(千尾)、養殖量(トン)
および小型底曳網のCPUE(1kg/日数)および努力量(出漁日数)

年	漁獲量	放流数	養殖量	CPUE	努力量	年	漁獲量	放流数	CPUE	養殖量	努力量
1952	702	-	-	-	-	1981	631	316	0.41	1,008	572,610
1953	818	-	-	-	-	1982	679	985	0.52	1,190	565,984
1954	782	-	-	-	-	1983	833	1,442	0.75	2,329	553,350
1955	858	-	-	-	-	1984	1,219	1,500	1.27	874	551,228
1956	1,076	-	-	-	-	1985	1,029	1,045	0.98	1,080	572,998
1957	990	-	-	-	-	1986	919	1,413	0.88	1,044	565,795
1958	870	-	-	-	-	1987	1,011	1,345	1.00	1,486	586,364
1959	821	-	-	-	-	1988	960	1,520	1.01	1,403	569,760
1960	704	-	-	-	-	1989	952	1,142	1.16	1,328	551,222
1961	598	-	-	-	-	1990	1,009	1,411	1.06	2,401	546,221
1962	489	-	-	-	-	1991	1,115	1,303	1.49	1,980	534,326
1963	573	-	-	-	-	1992	853	1,351	0.91	2,129	528,019
1964	545	-	-	-	-	1993	754	1,624	0.85	1,987	517,788
1965	406	-	-	-	-	1994	1,164	1,428	1.51	1,958	511,505
1966	498	-	-	-	-	1995	1,176	1,459	1.68	2,255	498,801
1967	378	-	-	-	-	1996	1,161	1,488	1.28	2,641	502,438
1968	314	-	-	0.11	660,358	1997	1,078	880	1.28	2,458	490,787
1969	440	-	-	0.17	630,249	1998	1,196	1,744	1.51	2,739	483,433
1970	299	-	0	0.09	607,289	1999	1,667	1,713	2.08	2,638	476,476
1971	234	-	11	0.13	600,931	2000	1,601	1,767	2.06	2,118	459,344
1972	297	-	159	0.12	603,140	2001	1,694	910	2.01	1,932	451,614
1973	359	-	478	0.26	573,385	2002	1,874	972	2.26	1,699	481,538
1974	328	-	278	0.20	602,378	2003	1,485	944	2.01	1,270	421,714
1975	471	-	589	0.31	619,266	2004	1,627	952	2.20	1,431	398,846
1976	466	-	468	0.32	624,577	2005	1,902	-	-	-	-
1977	440	369	484	0.23	631,060						
1978	577	455	841	0.33	617,706						
1979	528	585	1,076	0.40	538,064						
1980	647	530	1,106	0.47	587,899						

附表2 瀬戸内海東部系群マダイの漁法別漁獲尾数割合

1995-1996年用	小型底曳網	釣	小型定置網	刺網	吾智網	その他
0歳	0.72	0.01	0.47	0.18	0.04	0.13
1歳	0.24	0.39	0.40	0.28	0.71	0.35
2歳	0.02	0.36	0.07	0.34	0.10	0.37
3歳	0.01	0.14	0.02	0.11	0.08	0.08
4歳	0.01	0.06	0.01	0.04	0.04	0.05
5歳	0.00	0.02	0.01	0.04	0.01	0.01
6歳以上	0.00	0.04	0.00	0.02	0.01	0.01

1997年用	小型底曳網	釣	小型定置網	刺網	吾智網	その他
0歳	0.75	0.00	0.47	0.00	0.04	0.13
1歳	0.19	0.17	0.40	0.43	0.71	0.35
2歳	0.02	0.48	0.07	0.39	0.10	0.37
3歳	0.01	0.22	0.02	0.05	0.08	0.08
4歳	0.01	0.06	0.01	0.07	0.04	0.05
5歳	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01
6歳以上	0.00	0.04	0.00	0.05	0.01	0.01

1998年用	小型底曳網	釣	小型定置網	刺網	吾智網	その他
0歳	0.54	0.00	0.47	0.01	0.04	0.13
1歳	0.40	0.22	0.40	0.26	0.71	0.35
2歳	0.02	0.51	0.07	0.49	0.10	0.37
3歳	0.02	0.18	0.02	0.16	0.08	0.08
4歳	0.01	0.05	0.01	0.03	0.04	0.05
5歳	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
6歳以上	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.01

1999年用	小型底曳網	釣	小型定置網	刺網	吾智網	その他
0歳	0.52	0.00	0.47	0.01	0.04	0.13
1歳	0.36	0.25	0.40	0.05	0.71	0.35
2歳	0.06	0.45	0.07	0.54	0.10	0.37
3歳	0.03	0.15	0.02	0.29	0.08	0.08
4歳	0.02	0.07	0.01	0.06	0.04	0.05
5歳	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01
6歳以上	0.00	0.03	0.00	0.02	0.01	0.01

2000年用	小型底曳網	釣	小型定置網	刺網	吾智網	その他
0歳	0.60	0.00	0.47	0.02	0.04	0.13
1歳	0.25	0.17	0.40	0.19	0.71	0.35
2歳	0.06	0.53	0.07	0.54	0.10	0.37
3歳	0.04	0.20	0.02	0.18	0.08	0.08
4歳	0.02	0.05	0.01	0.04	0.04	0.05
5歳	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
6歳以上	0.01	0.03	0.00	0.02	0.01	0.01

2001年用	小型底曳網	釣	小型定置網	刺網	吾智網
0歳	0.42	0.00	0.47	0.02	0.05
1歳	0.41	0.18	0.40	0.18	0.71
2歳	0.07	0.42	0.07	0.43	0.10
3歳	0.04	0.25	0.02	0.24	0.08
4歳	0.03	0.08	0.01	0.08	0.04
5歳	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01
6歳以上	0.01	0.04	0.00	0.02	0.01

2002年用	小型底曳網	釣	小型定置網	刺網	吾智網
0歳	0.36	0.00	0.47	0.00	0.04
1歳	0.45	0.20	0.40	0.07	0.71
2歳	0.09	0.46	0.07	0.48	0.10
3歳	0.04	0.20	0.02	0.29	0.08
4歳	0.03	0.07	0.01	0.09	0.04
5歳	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01
6歳以上	0.01	0.03	0.00	0.03	0.01

2003年用	小型底曳網	釣	小型定置網	刺網	吾智網
0歳	0.45	0.00	0.47	0.00	0.04
1歳	0.41	0.10	0.40	0.11	0.71
2歳	0.06	0.39	0.07	0.46	0.10
3歳	0.03	0.22	0.02	0.30	0.08
4歳	0.02	0.14	0.01	0.05	0.04
5歳	0.01	0.06	0.01	0.04	0.01
6歳以上	0.01	0.09	0.00	0.05	0.01

2004年用	小型底曳網	釣	小型定置網	刺網	吾智網
0歳	0.35	0.00	0.47	0.00	0.04
1歳	0.47	0.14	0.40	0.09	0.71
2歳	0.13	0.47	0.07	0.54	0.10
3歳	0.03	0.22	0.02	0.25	0.08
4歳	0.01	0.08	0.01	0.04	0.04
5歳	0.00	0.04	0.01	0.03	0.01
6歳以上	0.00	0.06	0.00	0.05	0.01

2005年用	小型底曳網	釣	小型定置網	刺網	吾智網
0歳	0.36	0.00	0.47	0.00	0.04
1歳	0.34	0.12	0.40	0.16	0.71
2歳	0.19	0.41	0.07	0.50	0.10
3歳	0.07	0.27	0.02	0.21	0.08
4歳	0.02	0.10	0.01	0.08	0.04
5歳	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01
6歳以上	0.00	0.05	0.00	0.04	0.01

附表3 瀬戸内海東部系群マダいの漁獲尾数(万尾)、漁獲重量(トン)

漁獲尾数									漁獲重量								
年＼ 年齢	0才	1才	2才	3才	4才	5才	6才以上	合計	年＼ 年齢	0才	1才	2才	3才	4才	5才	6才以上	合計
1977	78	79	28	7	3	1	1	197	1977	21	143	143	57	38	17	21	440
1978	113	112	35	8	4	1	1	274	1978	31	202	179	70	50	21	24	577
1979	140	99	30	8	3	1	1	283	1979	38	179	155	65	47	20	25	528
1980	149	127	38	9	4	1	1	329	1980	40	228	192	78	59	23	26	647
1981	235	122	37	8	3	1	1	408	1981	64	220	189	66	48	20	25	631
1982	196	122	37	10	5	1	1	372	1982	53	219	188	89	69	27	34	679
1983	419	165	37	9	6	2	2	640	1983	113	297	189	81	82	32	38	833
1984	404	241	75	14	7	2	2	744	1984	109	434	382	121	92	37	44	1,219
1985	380	242	47	13	5	2	1	691	1985	103	436	241	113	71	29	36	1,029
1986	421	155	32	15	8	3	3	637	1986	114	279	165	126	111	58	67	919
1987	472	200	43	15	6	2	2	741	1987	127	361	220	126	89	38	51	1,011
1988	529	154	42	15	7	2	2	752	1988	143	276	215	131	99	41	55	960
1989	490	181	42	13	6	2	2	735	1989	132	326	216	109	78	41	51	952
1990	239	178	68	13	6	2	2	508	1990	65	320	348	114	79	35	48	1,009
1991	245	154	84	17	6	2	3	511	1991	66	278	426	145	87	42	71	1,115
1992	265	113	44	19	6	2	3	452	1992	72	203	227	159	90	39	63	853
1993	283	86	33	15	8	3	2	431	1993	76	156	170	125	118	56	54	754
1994	457	285	37	14	8	3	3	805	1994	123	512	187	118	108	52	64	1,164
1995	538	222	41	17	9	4	3	835	1995	145	400	210	149	126	79	67	1,176
1996	325	222	45	19	9	4	3	628	1996	88	399	232	164	132	83	63	1,161
1997	467	160	38	17	9	4	4	700	1997	126	287	195	148	134	84	105	1,078
1998	316	259	42	18	9	4	3	651	1998	85	466	214	158	125	78	69	1,196
1999	329	264	67	33	16	8	5	721	1999	89	475	341	283	221	144	114	1,667
2000	324	188	69	32	16	9	6	645	2000	88	339	352	273	231	169	150	1,601
2001	218	234	65	35	18	9	6	585	2001	59	420	330	304	254	172	154	1,694
2002	207	264	77	36	19	10	7	620	2002	56	474	393	307	271	195	177	1,874
2003	204	211	52	28	15	8	7	525	2003	55	380	264	239	215	159	173	1,485
2004	191	271	88	31	12	5	4	602	2004	51	487	451	270	170	88	111	1,627
2005	212	238	105	43	18	6	6	628	2005	57	428	537	366	253	121	139	1,902

附表4 瀬戸内海東部系群マダいの資源尾数(万尾)、資源重量(トン)

資源尾数									資源重量								
年＼ 年齢	0才	1才	2才	3才	4才	5才	6才以上	合計	年＼ 年齢	0才	1才	2才	3才	4才	5才	6才以上	合計
1977	389	166	52	16	6	3	2	635	1977	105	299	265	138	91	49	60	1,006
1978	428	199	60	18	7	3	3	718	1978	115	358	307	155	104	57	65	1,161
1979	516	197	57	19	8	3	3	801	1979	139	354	291	161	109	55	70	1,178
1980	519	234	67	20	9	3	3	854	1980	140	420	339	174	124	65	74	1,337
1981	635	228	71	22	9	4	3	971	1981	171	411	364	186	122	67	84	1,405
1982	738	236	71	26	11	4	4	1,091	1982	199	425	363	225	157	79	99	1,547
1983	1,079	339	78	26	13	5	4	1,544	1983	291	610	397	226	178	92	107	1,900
1984	1,035	386	120	32	14	5	5	1,596	1984	280	694	612	272	191	99	119	2,267
1985	881	369	90	32	14	5	5	1,396	1985	238	664	457	279	195	102	125	2,060
1986	996	284	75	32	15	7	6	1,416	1986	269	510	384	277	215	132	151	1,939
1987	982	328	86	34	14	6	6	1,455	1987	265	591	437	291	194	106	143	2,026
1988	1,167	277	80	33	15	6	6	1,583	1988	315	498	410	280	213	110	147	1,973
1989	1,152	354	81	29	13	6	6	1,642	1989	311	638	415	251	190	119	147	2,070
1990	725	377	118	30	13	6	6	1,275	1990	196	678	603	256	183	118	160	2,194
1991	649	294	139	37	13	6	7	1,145	1991	175	529	709	319	182	108	181	2,203
1992	641	238	95	40	16	5	6	1,041	1992	173	428	482	348	223	98	157	1,909
1993	1,014	216	87	39	17	7	5	1,385	1993	274	388	444	335	242	141	136	1,959
1994	1,142	454	93	43	19	7	6	1,763	1994	308	816	474	369	275	127	155	2,525
1995	1,252	397	104	45	24	9	6	1,837	1995	338	714	532	384	333	177	152	2,631
1996	936	405	115	50	22	12	7	1,547	1996	253	728	587	431	307	221	169	2,696
1997	1,330	366	122	55	25	10	9	1,918	1997	359	660	621	476	349	184	230	2,879
1998	1,159	516	147	68	31	12	8	1,940	1998	313	929	748	582	437	229	202	3,439
1999	1,015	524	176	85	40	18	11	1,870	1999	274	944	899	733	566	338	268	4,022
2000	1,087	417	178	87	42	19	13	1,843	2000	293	750	909	751	588	366	325	3,982
2001	990	469	161	87	45	20	14	1,785	2001	267	844	819	749	628	379	340	4,026
2002	1,005	491	162	76	41	21	14	1,810	2002	271	883	824	654	577	396	359	3,965
2003	1,177	510	152	66	31	17	14	1,967	2003	318	918	776	564	442	318	346	3,681
2004	989	629	214	81	30	12	12	1,967	2004	267	1,133	1,091	696	420	234	295	4,135
2005	1,110	513	255	99	39	14	12	2,043	2005	300	923	1,301	854	557	264	302	4,500

附表5 瀬戸内海東部系群マダイの漁獲死亡係数(1/年)、資源重量(トン)、漁獲割合(%)、産卵親魚量(トン)
 加入量(万尾)、RPS(万尾/トン)

年\年齢	漁獲死亡係数							資源重量	漁獲割合	産卵親魚量	加入量	RPS	添加効率
	0才	1才	2才	3才	4才	5才	6才以上						
1977	0.28	0.77	0.89	0.61	0.60	0.48	0.48	1,006	43.8	268	389	1.45	-
1978	0.39	1.01	1.00	0.68	0.75	0.52	0.52	1,161	49.7	303	428	1.41	-
1979	0.40	0.84	0.87	0.58	0.63	0.49	0.49	1,178	44.8	314	516	1.64	-
1980	0.43	0.95	0.96	0.67	0.73	0.48	0.48	1,337	48.4	351	519	1.48	-
1981	0.60	0.92	0.83	0.49	0.56	0.39	0.39	1,405	44.9	366	635	1.73	-
1982	0.39	0.87	0.83	0.56	0.66	0.47	0.47	1,547	43.9	447	738	1.65	-
1983	0.64	0.80	0.73	0.49	0.70	0.48	0.48	1,900	43.8	489	1,079	2.21	-
1984	0.64	1.22	1.14	0.66	0.74	0.52	0.52	2,267	53.8	545	1,035	1.90	-
1985	0.74	1.35	0.85	0.58	0.51	0.38	0.38	2,060	50.0	562	881	1.57	0.20
1986	0.72	0.96	0.63	0.68	0.83	0.65	0.65	1,939	47.4	637	996	1.56	0.08
1987	0.88	1.17	0.80	0.64	0.69	0.49	0.49	2,026	49.9	588	982	1.67	0.10
1988	0.80	0.98	0.84	0.71	0.70	0.52	0.52	1,973	48.7	610	1,167	1.91	0.09
1989	0.73	0.86	0.84	0.64	0.59	0.47	0.47	2,070	46.0	581	1,152	1.98	0.16
1990	0.51	0.76	0.99	0.67	0.64	0.39	0.39	2,194	46.0	589	725	1.23	-
1991	0.61	0.90	1.06	0.68	0.74	0.55	0.55	2,203	50.6	630	649	1.03	-
1992	0.70	0.76	0.72	0.69	0.58	0.57	0.57	1,909	44.7	652	641	0.98	-
1993	0.41	0.60	0.54	0.52	0.76	0.56	0.56	1,959	38.5	686	1,014	1.48	0.09
1994	0.67	1.23	0.56	0.43	0.56	0.59	0.59	2,525	46.1	742	1,142	1.54	0.08
1995	0.74	1.00	0.56	0.55	0.53	0.66	0.66	2,631	44.7	854	1,252	1.47	0.14
1996	0.55	0.96	0.56	0.53	0.63	0.53	0.53	2,696	43.1	912	936	1.03	0.42
1997	0.56	0.68	0.42	0.41	0.54	0.68	0.68	2,879	37.4	1,001	1,330	1.33	0.48
1998	0.40	0.83	0.37	0.35	0.37	0.46	0.46	3,439	34.8	1,158	1,159	1.00	0.10
1999	0.50	0.84	0.53	0.54	0.55	0.62	0.62	4,022	41.4	1,538	1,015	0.66	0.04
2000	0.45	0.71	0.55	0.50	0.56	0.70	0.70	3,982	40.2	1,654	1,087	0.66	0.05
2001	0.31	0.83	0.58	0.58	0.58	0.68	0.68	4,026	42.1	1,722	990	0.57	0.14
2002	0.29	0.93	0.73	0.72	0.72	0.77	0.77	3,965	47.3	1,660	1,005	0.61	0.16
2003	0.24	0.63	0.46	0.62	0.75	0.79	0.79	3,681	40.3	1,387	1,177	0.85	0.15
2004	0.27	0.66	0.60	0.55	0.58	0.52	0.52	4,135	39.3	1,296	989	0.76	0.37
2005	0.26	0.74	0.60	0.63	0.68	0.69	0.69	4,500	42.3	1,550	1,110	0.72	-

附表6 瀬戸内海東部系群マダイのSPR、YPR計算様式

年齢	体重(g)	産卵寄与率	漁獲選択率	M	Flimit	Ftarget
0	27	0	0.36	0.39	0.25	0.25
1	180	0	1.00	0.24	0.70	0.70
2	510	0	0.81	0.17	0.56	0.56
3	860	0.5	0.85	0.17	0.59	0.59
4	1,410	1	0.92	0.17	0.65	0.65
5	1,880	1	0.94	0.17	0.66	0.66
6-	2,496	1	0.94	0.17	0.66	0.66

附表7 瀬戸内海東部系群マダイの再生産の誤差変動を考慮したシミュレーションから得られるABClimit等の基本統計

	ABClimit	予測漁獲量
平均	1,884	1,961
中央値	1,882	1,960
標準偏差	68	71
範囲	384	399
最小	1,699	1,769
最大	2,082	2,168
試行回数	1,000	1,000
変動係数	3.6	3.6

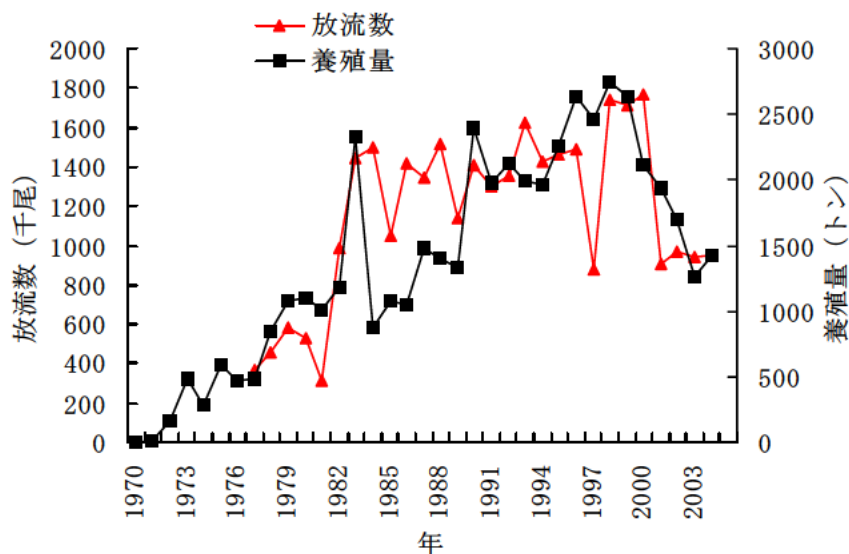


図1 瀬戸内海東部系群マダイの放流数、養殖量



図2 瀬戸内海東部系群マダイの分布・回遊

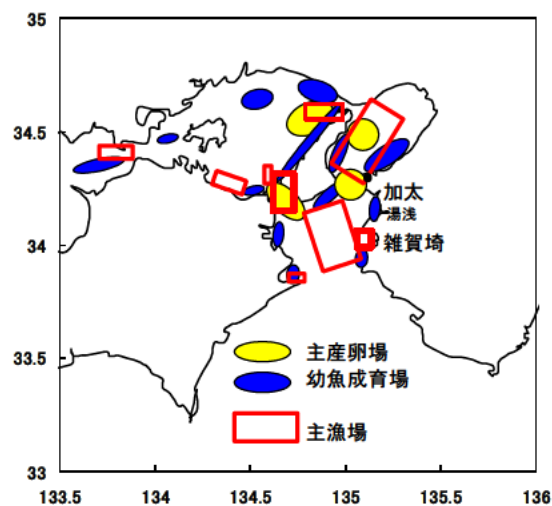


図3 瀬戸内海東部系群マダイの生活史・漁場形成図

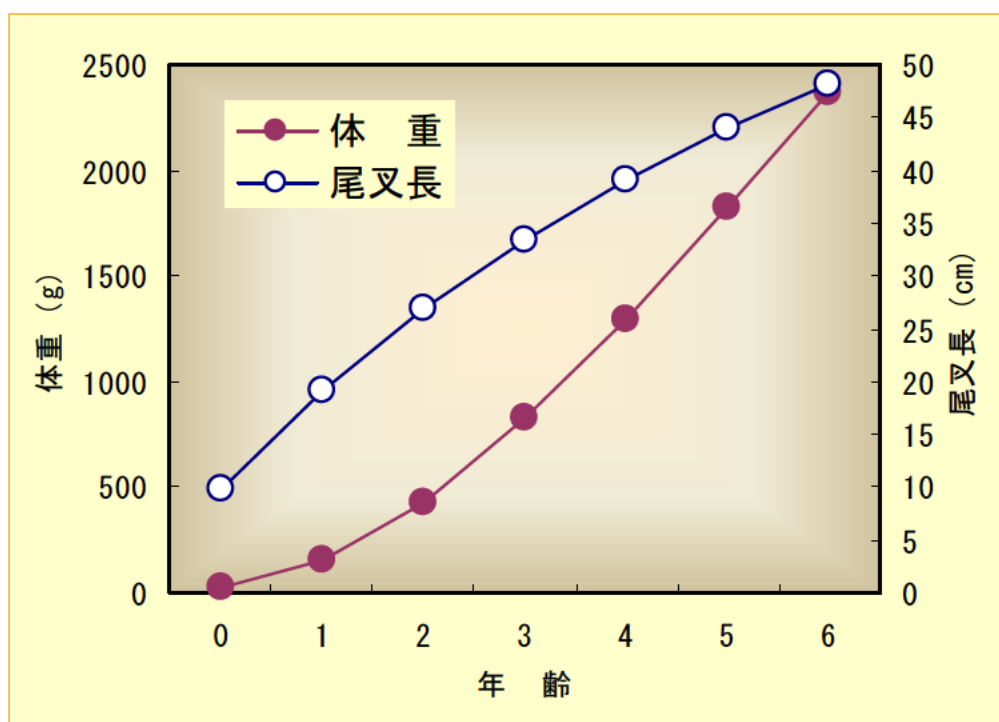


図4 瀬戸内海東部系群マダイの年齢・成長

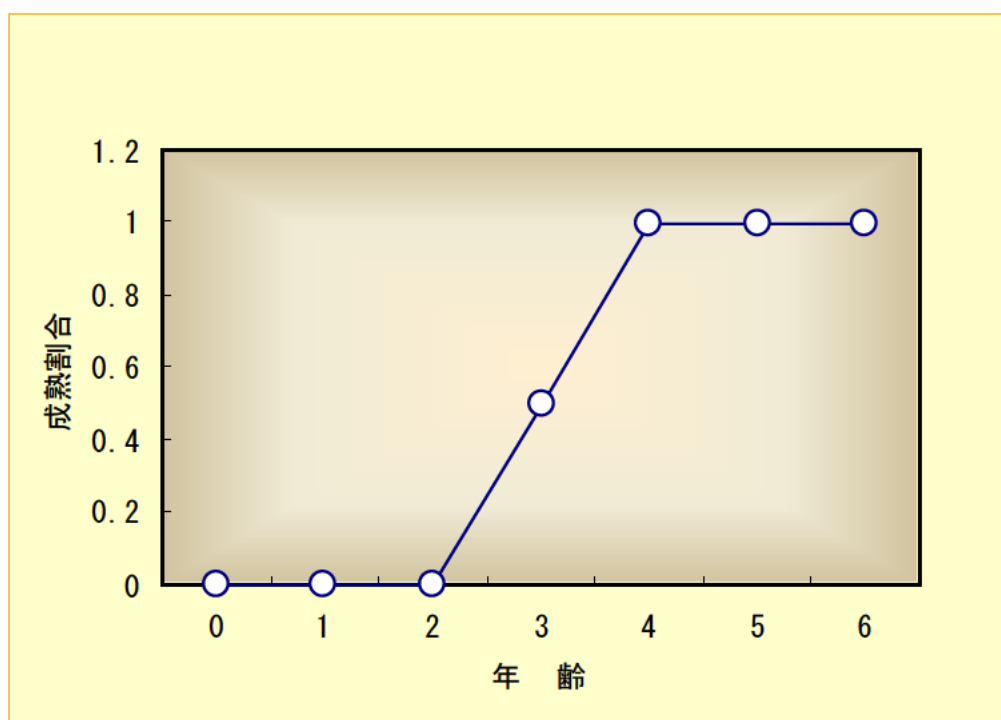


図5 瀬戸内海東部系群マダイの年齢別成熟割合

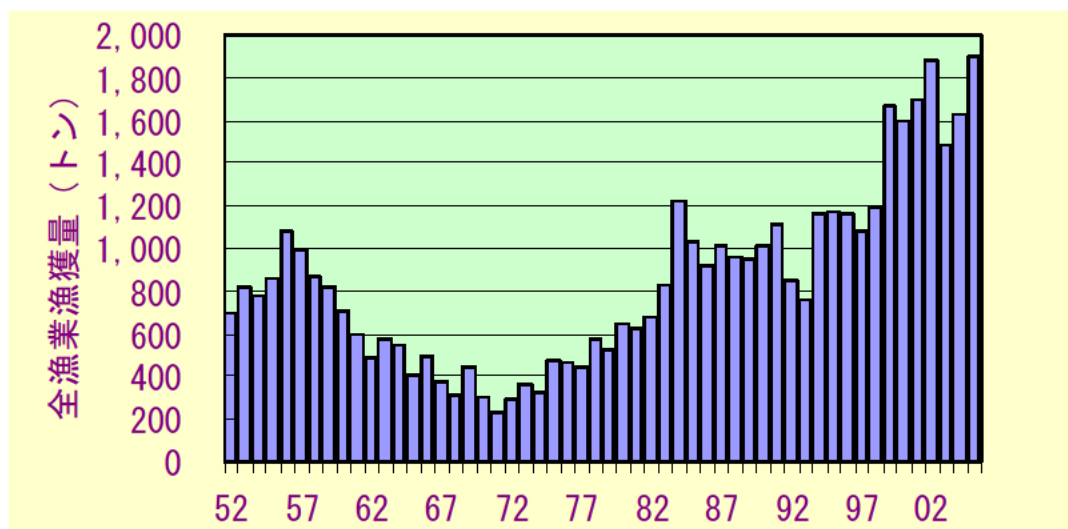


図6 瀬戸内海東部系群マダイの漁獲量経年推移

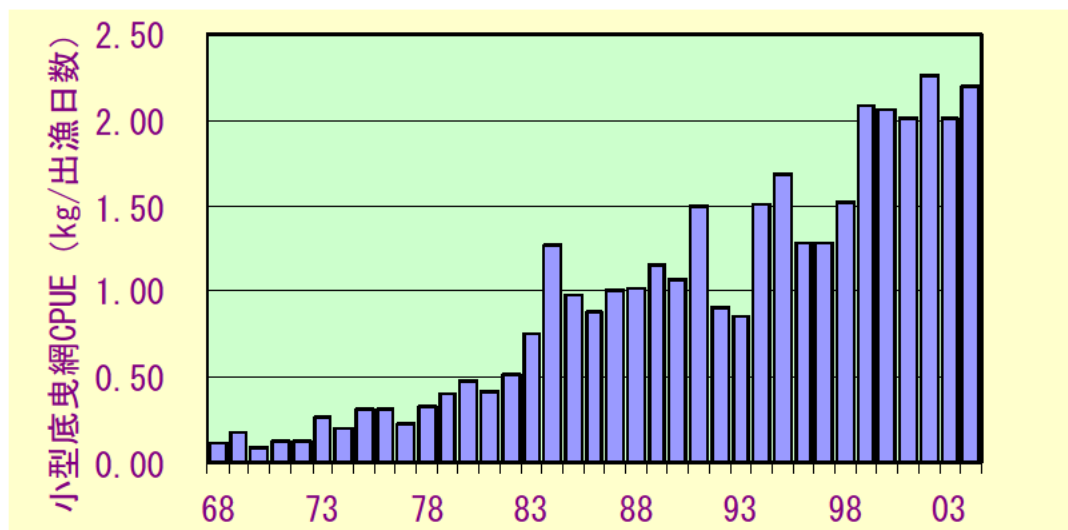


図7 主要漁業種(小型底曳網)のCPUE

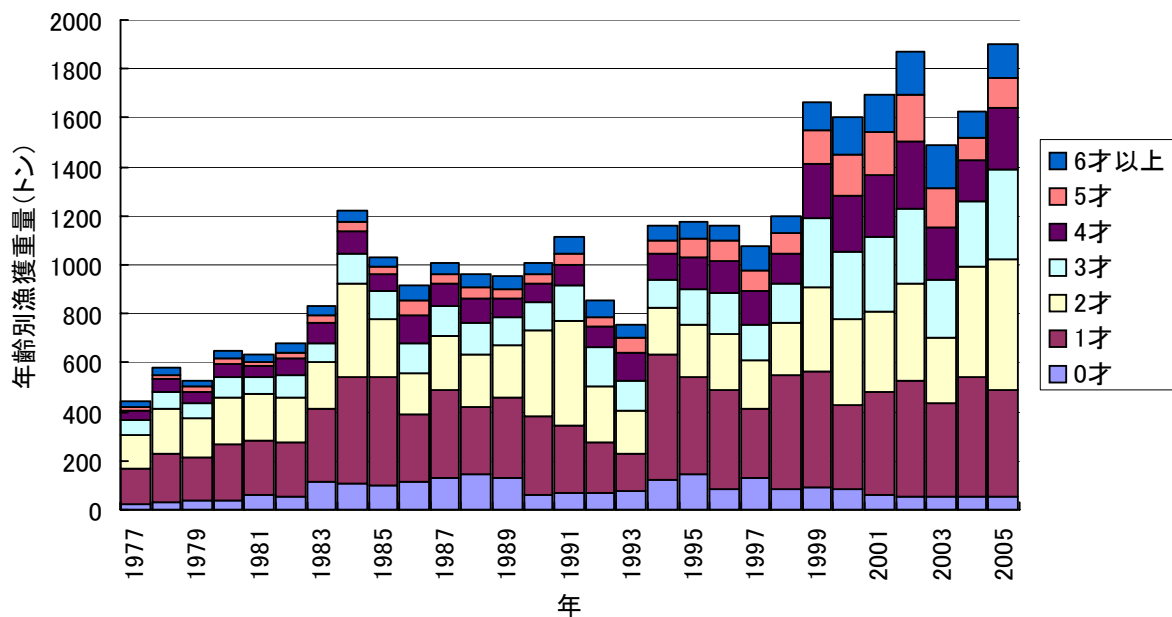
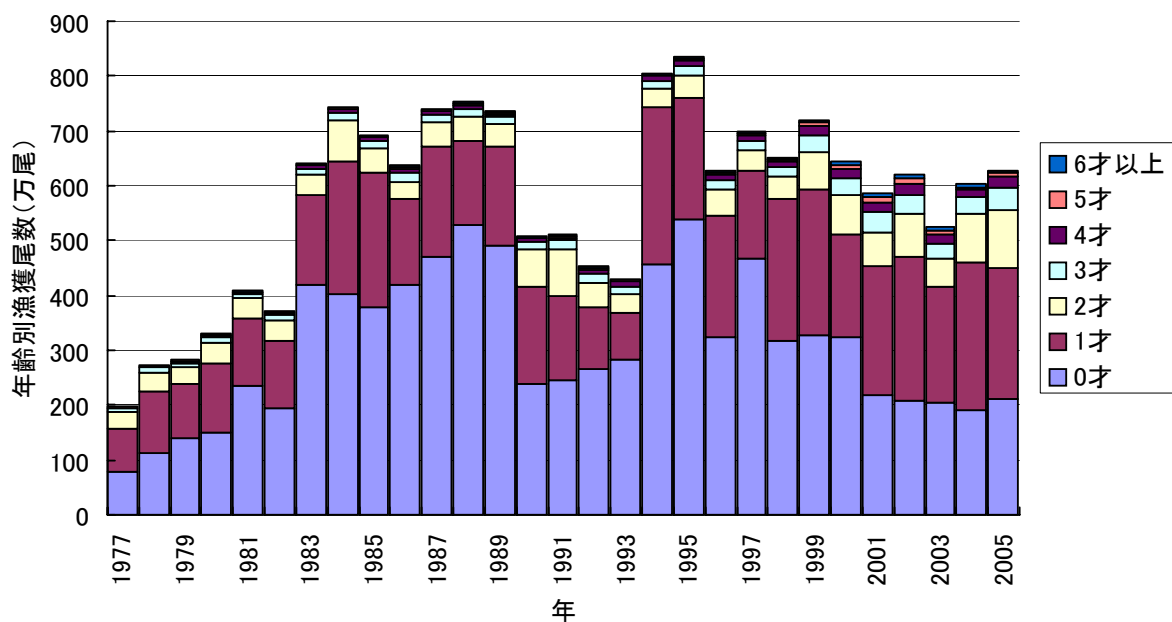


図8 年齢別漁獲尾数(上)・重量(下)の経年推移

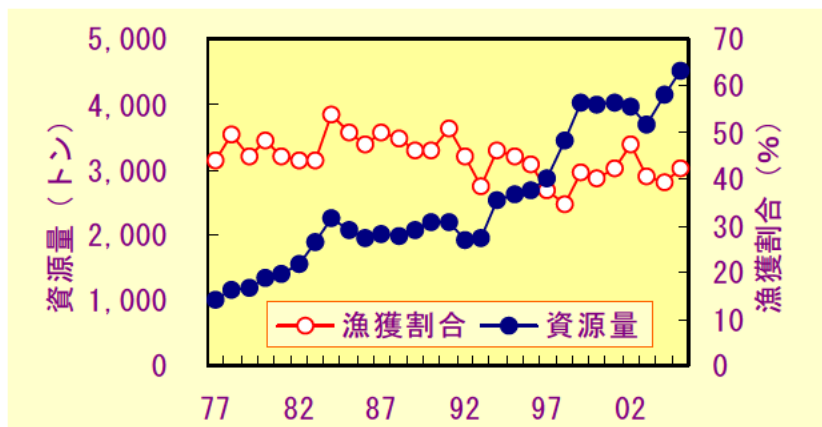


図9 資源量と漁獲割合の経年推移

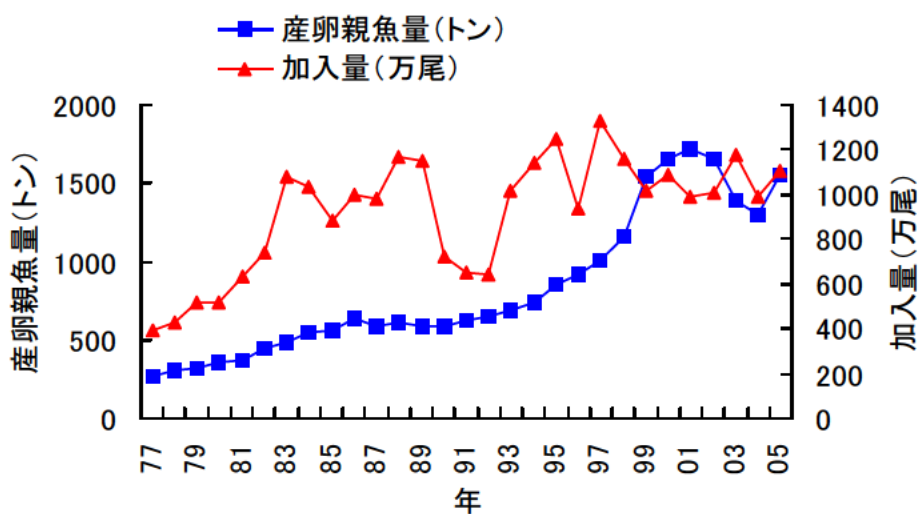


図10 加入量と産卵親魚量の経年推移

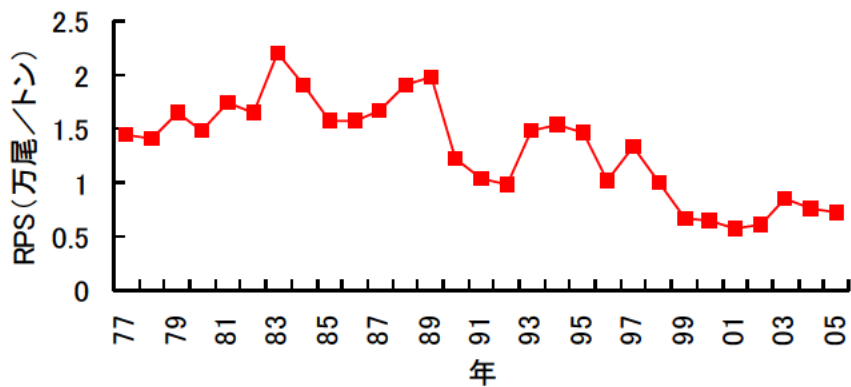


図11 RPSの経年推移

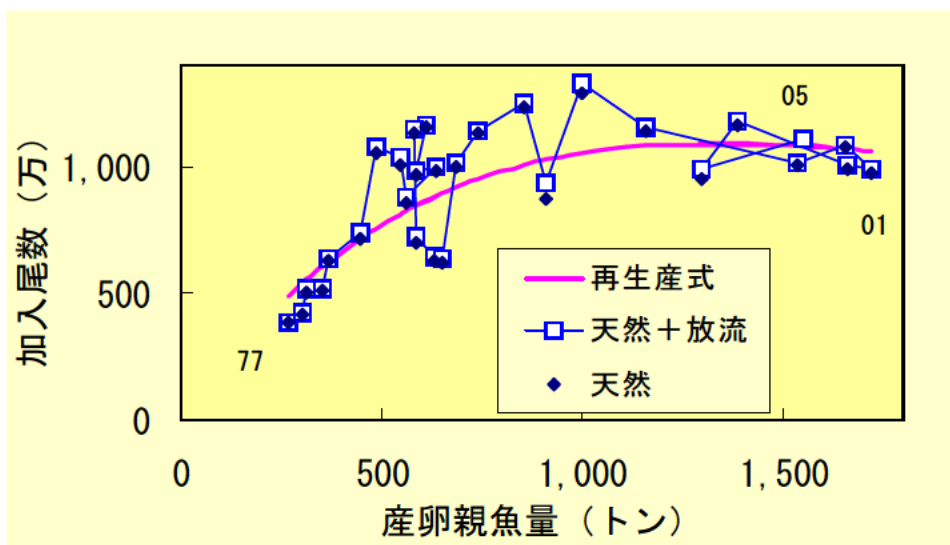


図12 再生産関係

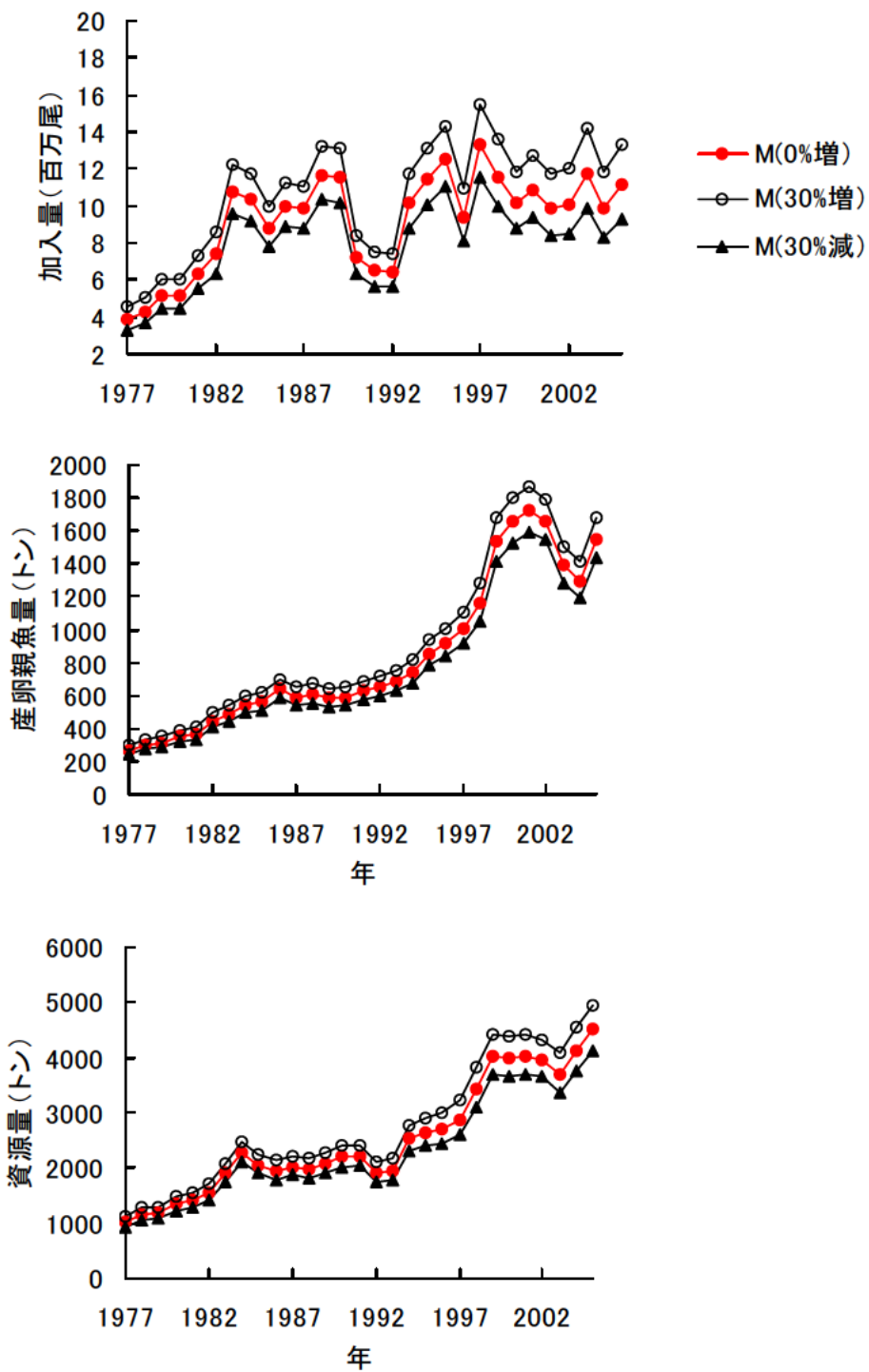


図13 自然死亡係数の変化による各推定結果の変化

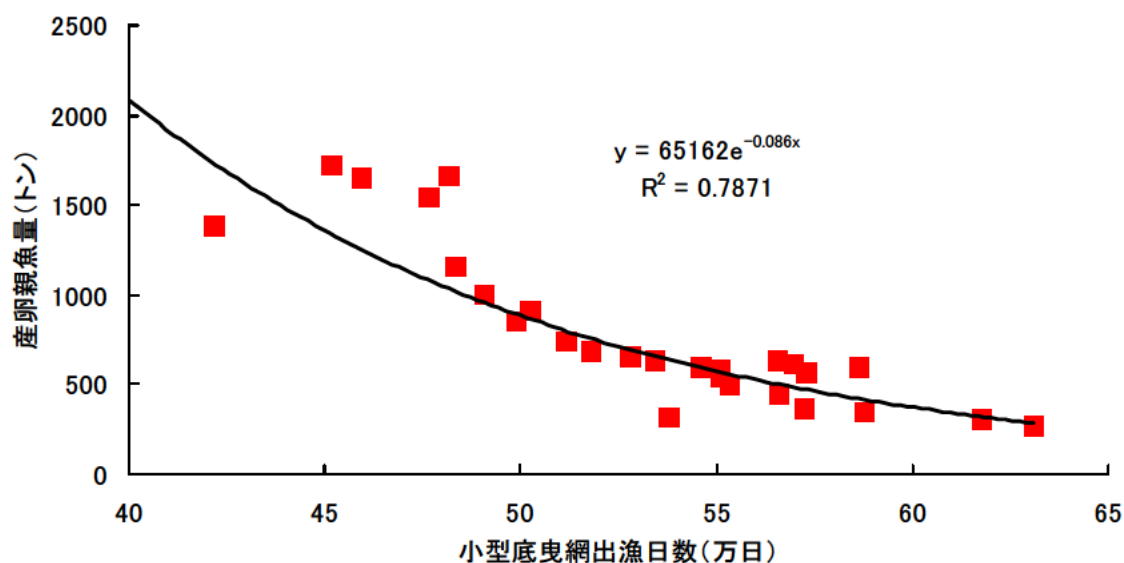


図14 漁獲努力と産卵親魚量との関係

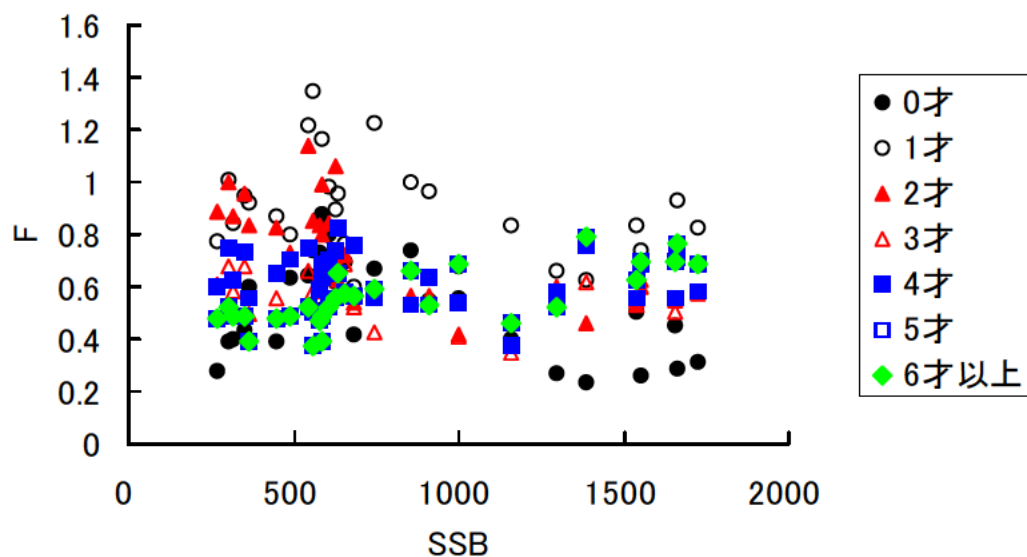


図15 産卵親魚量と漁獲死亡係数の関係

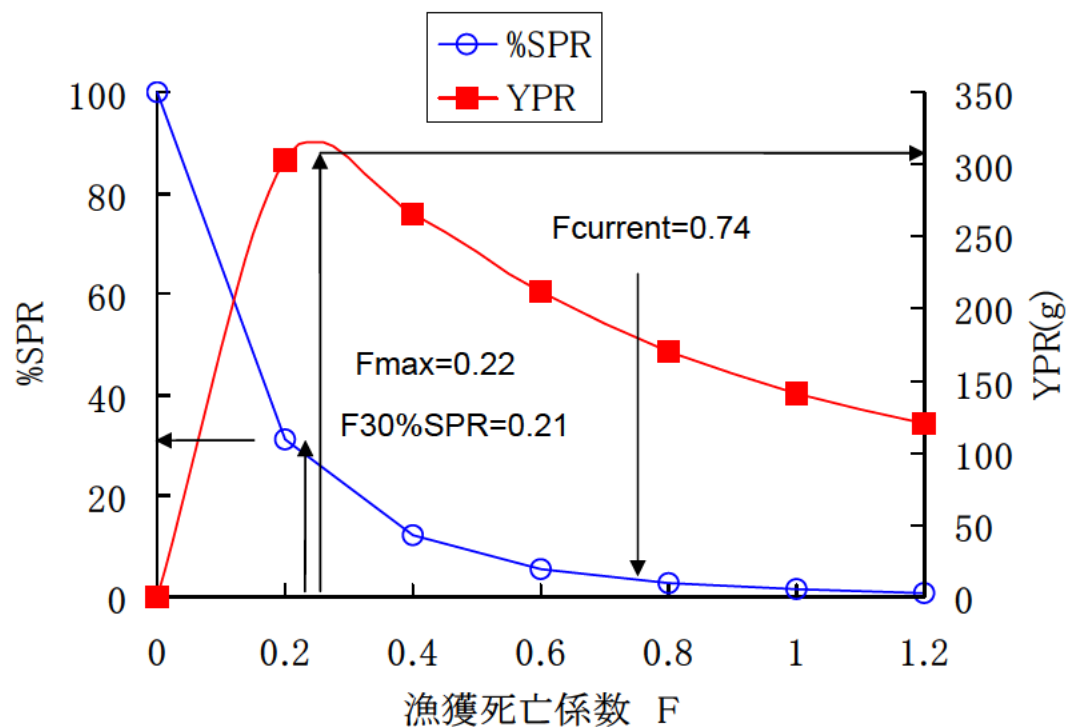


図16 %SPR・YPR

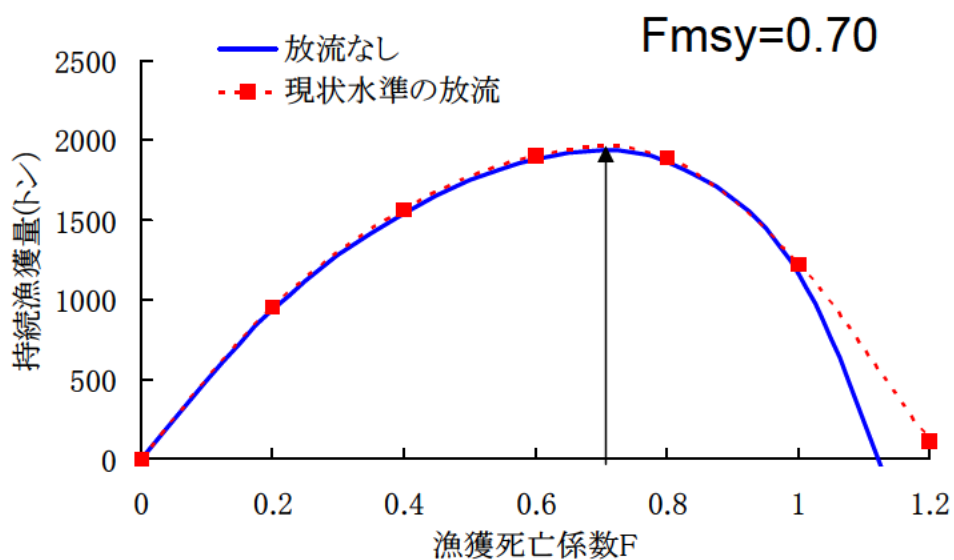


図17 1歳魚のFと持続漁獲量

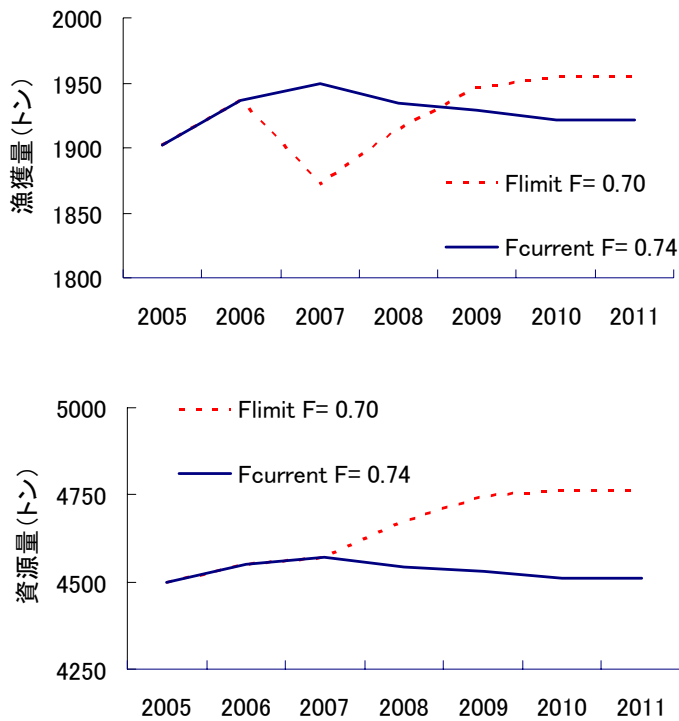


図18 F値(1歳魚)の変化による資源量・漁獲量の推移
期待漁獲量(上)、資源量(下)の変化

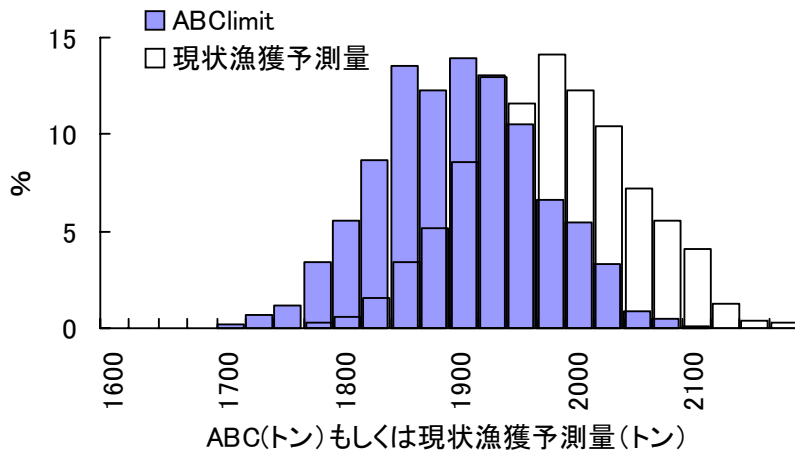


図19 再生産の誤差変動を考慮したシミュレーションから得られるABClimitと現状漁獲予測量の頻度分布