

平成17年マアジ太平洋系群の資源評価

責任担当水研：中央水産研究所(谷津明彦、石田 実、建田夕帆、赤嶺達郎)

参画機関：東北区水産研究所、青森県水産総合研究センター、岩手県水産技術センター、宮城県水産研究開発センター、福島県水産試験場、茨城県水産試験場、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター、静岡県水産試験場、愛知県水産試験場、三重県科学技術振興センター水産研究部、和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究所、高知県水産試験場、愛媛県水産試験場、愛媛県中予水産試験場、大分県農林水産研究センター水産試験場、宮崎県水産試験場

要 約

資源量は1986年以降顕著に増大し、1990年代半ばは15万トンから16万トンと高水準であった。しかし1997年から減少し、2000年から2001年にやや増加したものの、2002年から再び減少し、2004年に10万4千トンとなり現在は中水準で減少傾向にある。Blimitは加入量が増加した1986年水準の産卵親魚量（2万4千トン）とした。2004年の水準（3万7千トン）はBlimitを上回っている一方、漁獲圧は近年やや上昇し、持続的でないと見られる。そのため、現状の漁獲圧をやや削減し、資源が維持できる漁獲係数Fとした場合の漁獲量をABClimit、不確実性を見込んだ漁獲量をABCtargetとした。

	2006年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC limit	42 千トン	Fmed	1.10	48%
ABC target	37 千トン	0.8 Fmed	0.88	41%

F値(漁獲係数)は年齢の単純平均、漁獲割合はABC/資源量

許容漁獲量

管理の考え方	管理基準	許容漁獲量	評 価
親魚量の維持	Fmed	ABClimit 42千トン	A: 44%, A': 30%, B: 33千トン, C: 42千トン
親魚量の維持 予防的措置をとる	0.8 Fmed	ABCtarget 37千トン	A: 99%, A': 97%, B: 72千トン, C: 74千トン

A: 再生産成功率の変動を考慮した1000回のシミュレーションにより、2008年～2014年の平均産卵親魚量が2006年の予測値（32千トン）を上回った率、A': 同じく2004年の値（37千トン）を上回った率、B: 2008年～2014年の平均産卵親魚量、C: 2008年～2014年の平均漁獲量

参考値

管理の考え方	管理基準	漁獲量	評 価
現状の漁獲圧を継続する	Fcurrent (Fave 5yr)	47千トン	A: 0%, A': 0%, B: 11千トン, C: 16千トン

年	資源量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F値	漁獲割合
2003	106	51	1.55	48%
2004	104	54	1.26	52%
2005	93			

	指標	値 (千トン)	
Bban	産卵親魚量	未設定	
Blimit	産卵親魚量	24	加入量が増加した1986年水準
2004年	産卵親魚量	37	

水準：中位 動向：減少

1. まえがき

マアジ太平洋系群はまき網漁業により約90%と最も多く漁獲され、次いで定置網により約10%が漁獲されている。漁獲量と資源量は1986年に顕著に増加し始め、1993年から高水準となった。しかし1997年から1999年にかけてやや低下し、2000年と2001年には高くなったものの、2002年以降は再び低下して中水準となった。

2. 生態

(1) 分布・回遊 (図1、2)

日本近海に分布するマアジには、東シナ海を主産卵場とするものと本州中部以南で産卵する地先群がある。太平洋沿岸中部以東の海域では加入時期の異なる群が見られ、2～4月に東シナ海で生まれたものと5月以降に太平洋沿岸域で生まれたものが主体になると考えられている(木幡1972)。また、東シナ海からの加入群(横田・三田1958)の多寡が資源水準を左右すると考えられている(古藤1990)。しかし、太平洋系群の親魚が東シナ海に産卵回遊する情報はなく、その可能性は肯定も否定もされていない。

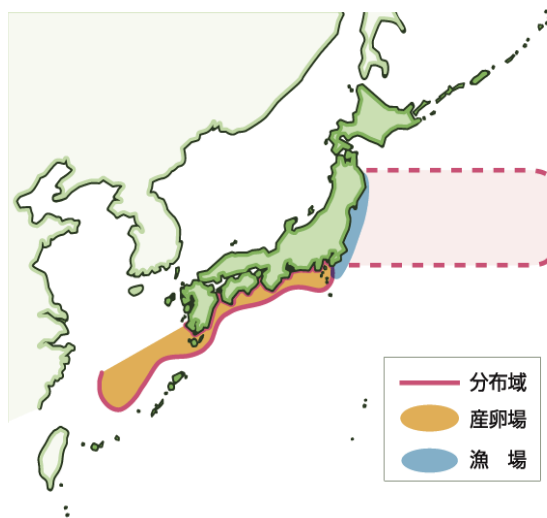


図1 マアジ太平洋系群の分布・回遊図

このように我が国近海のマアジ資源は東シナ海が共通の主産卵場であると考えられているので、対馬暖流系群とあわせて評価することも想定されるが、結論は得られていない。

(2) 年齢・成長 (図3)

1年で尾又長18cm、2年で24cm程度に成長する。寿命は5歳前後と考えられるが、4歳魚以上の漁獲は少ない。

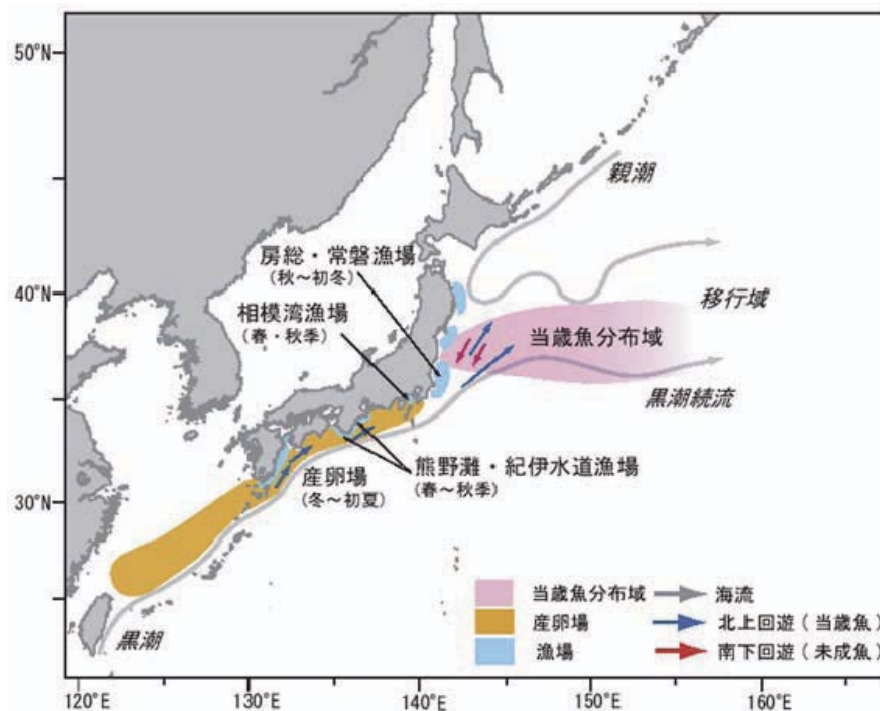


図2 マアジ太平洋系群の生活史と漁場形成模式図

(3)成熟・産卵

産卵期は南部ほど早く豊後水道、紀伊水道外域などでは冬から初夏で(阪本ほか 1986、薬師寺 2001、阪地 2001)、相模湾では春から初夏である(木幡 1972、澤田 1974)。1歳で50%、2歳以上で100%が成熟する(図4)。

(4)被捕食関係

仔稚魚は成長するにつれて大型の動物プランクトンを摂餌し、幼魚では魚食性が強くなる。稚幼魚はマルソウダ、ヒラソウダ、クロタチカマス、フウライカマス等により捕食される。

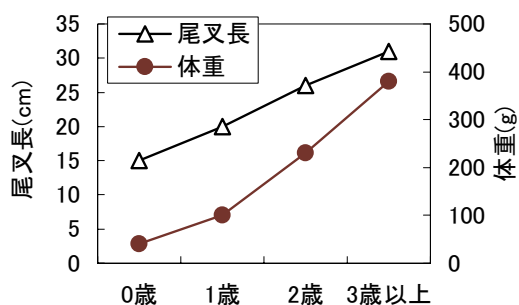


図3 マアジ太平洋系群の年齢と成長の関係

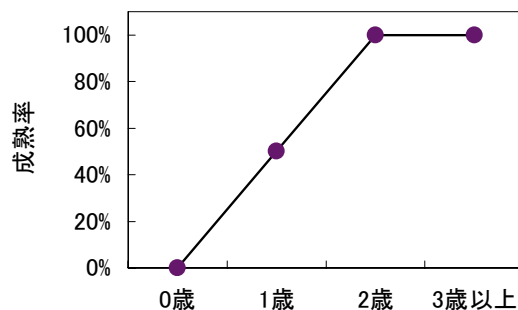


図4 マアジ太平洋系群の年齢と成熟割合の関係

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

まき網による漁獲量が全体の約90%を占め、定置網が約10%でこれに次ぐ。日向灘、豊後水道、紀伊水道から熊野灘では春から秋までの漁獲が多く、相模湾では春が主体である。これらの海域では春から0歳魚が、年初から1歳魚が漁獲される。千葉県以北の海域では秋から初冬が主漁期で1歳魚以上の漁獲が多い。

(2) 漁獲量の推移(図5)

1986年に急増して3万トンを超え、1993年に再び急増して8万トン近くになった。1996年に8万トンと最高に達した後、1999年に約5万トンに減少した。2000年と2001年はやや多かったが、2002年以降は5万トン前後と再び少なくなった。外国漁船による漁獲はない。

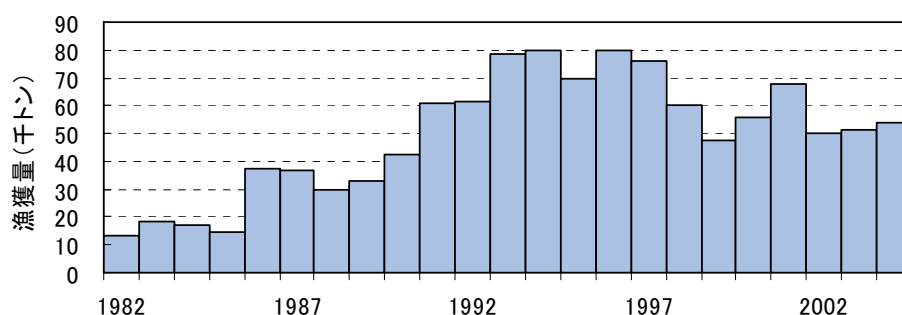


図5 マアジ太平洋系群の漁獲量の経年変化

4. 資源の状況

(1) 資源評価の方法

年齢別漁獲尾数に基づいて、コホート解析により、年齢別資源尾数、資源量、漁獲係数を計算した(補足資料 1、付表 1)。チューニングは0歳魚の資源尾数を(1)九州南東岸における稚魚網CPUEおよび(2)宮崎県南部の大型定置網の幼魚漁獲尾数(下記)と整合するように本年度から行った。チューニングによる昨年度の方法との差は、2004年の資源量は11%少なくF値は11%増加、2003年の資源量は2%少なくF値は1%増加、2002年以前は差はなかった。自然死亡係数Mは、寿命とMの経験的な関係から0.5とした。

(2) 資源量指標値の推移(図6、補足資料 2)

九州南東岸における方形稚魚網による曳網当たり仔稚魚の採集数は2000年、2001年が多く、2002年は少なかった。2003年はやや増加し、2004年は再びやや減少し、2005年は極めて低かった(中央水産研究所)。宮崎県南部の大型定置網に入網する幼魚数は1998年と1999年には少なく、2000年、2001年と増加し、2002年、2003年は減少し、2004年は過去最大を記録したが、2005年は極めて少なかった(宮崎県水産試験場)。黒潮続流域における表中層トロールによる曳網当たりの幼魚採集数は2000年を頂点として減少してきたが、2005年は多かった(中央水産研究所)。2001年～2003年生まれの北部太平洋大中型まき網漁業への来遊資源量指数は減少した(漁業情報サービスセンター)。

(3) 漁獲物の年齢組成

主体は0歳魚と1歳魚である(図7)。

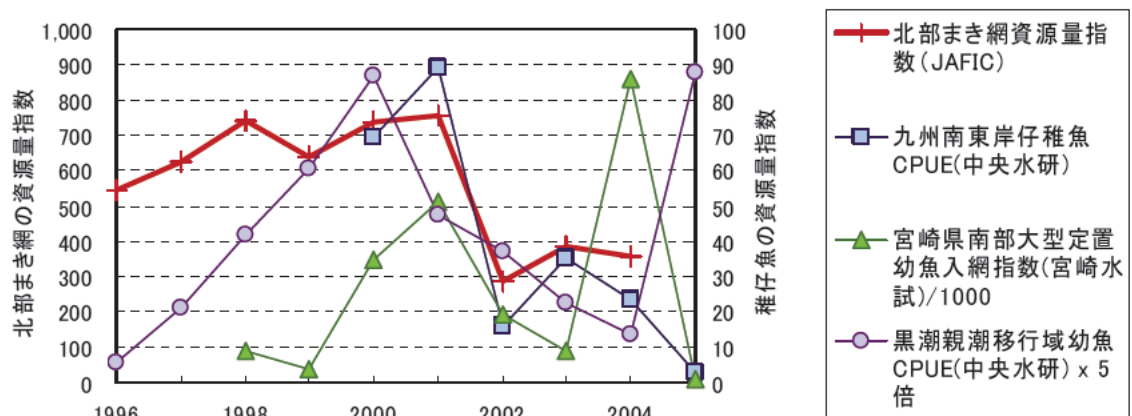


図6 資源量指標値の経年変化

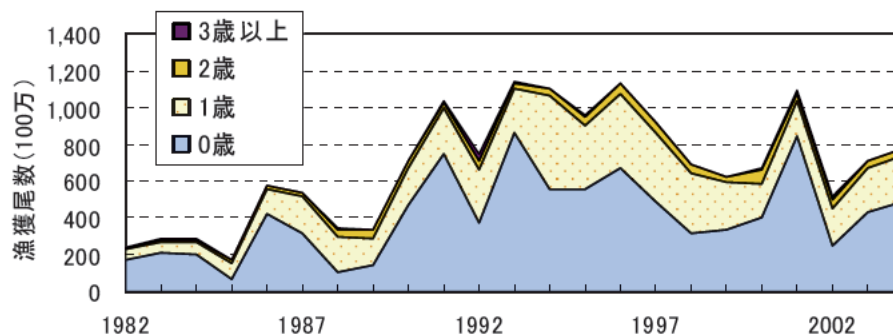


図7 年齢別漁獲尾数の経年変化

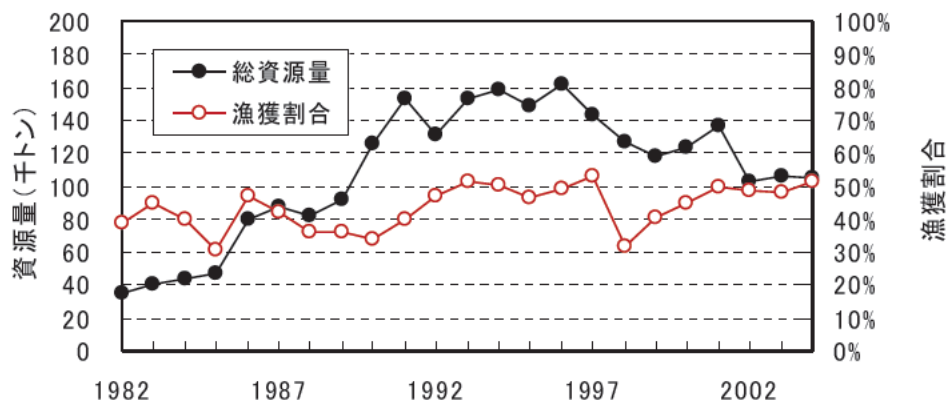


図8 資源量と漁獲割合(=漁獲量/資源量)の経年変化

(4) 資源量の推移

1982年から1990年代はじめまで資源量は増加し高水準になったが、1996年の16万トンを経頂点に減少し、2000年と2001年はやや増加したものの、2002年以降は10万トン程度で推移している(図8)。自然死亡係数Mを標準値である0.5から0.4としてコホート解析を行った場合、資源量と親魚量の推定値は若干増減し、0.6とした場合は若干増加する(図9)。

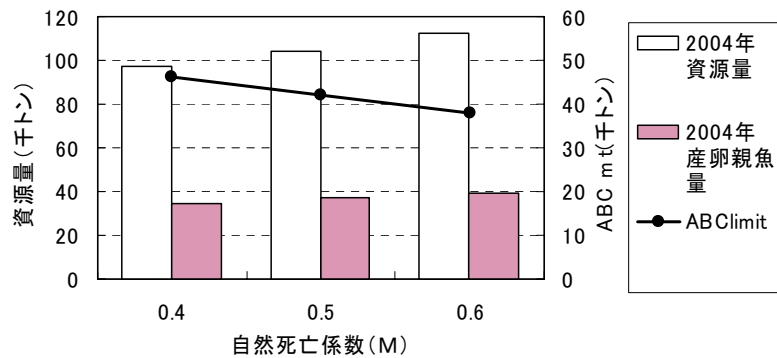


図9 自然死亡係数Mの違いによる2004年の資源量と産卵親魚量および2006年のABClimit

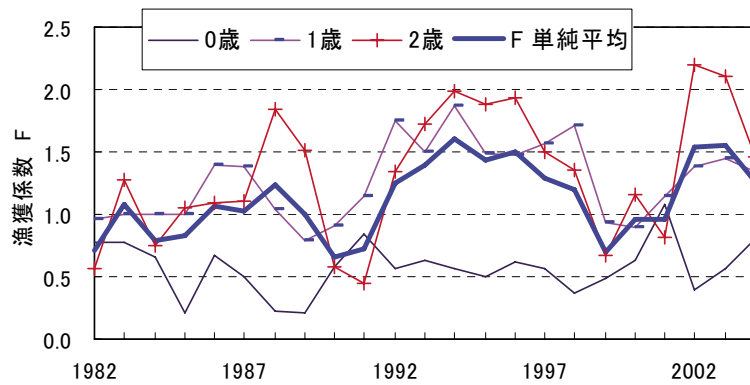


図10 年齢別漁獲係数Fと年齢別Fの単純平均値(Fbar)の経年変化

各年齢を単純平均した漁獲係数F (Fbar) は0.66から1.60の間を推移し、コホート解析を行った期間を通じてやや増加傾向が認められる(図10)。1999年～2000年のFbarは低かったが、近年増加し、2004年のFbarは1.26と推定される。漁獲係数と資源量には弱い正の相関が見られる(図11)。なお、1977年級～1983年級に対する漁獲圧は低水準にある資源をさらに悪化させるほど強いものではなかったとされている(古藤 1990)。

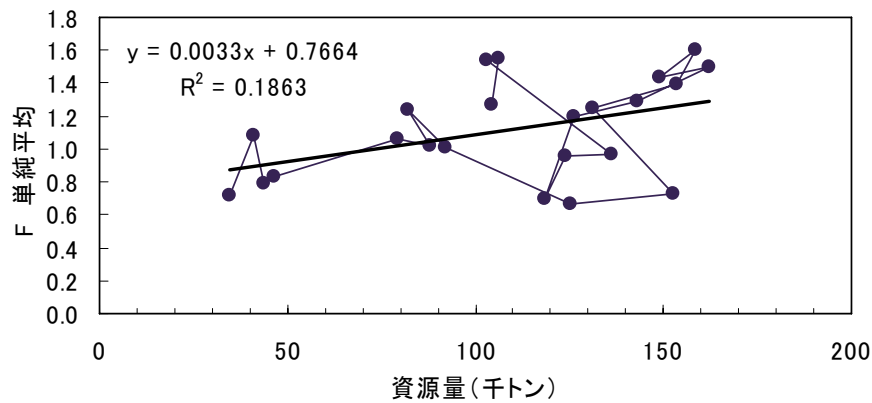


図11 資源量と漁獲係数の関係

(5) 資源の水準・動向

2004年の推定資源量は10万4千トンで、水準は過去20年の最低の3万4千トンから最高の16万2千トンの範囲を三分した中で中位である。動向は過去5年の資源量と漁獲量の推移から減少と考えられる。

5. 資源管理の方策

(1) 再生産関係

親魚の回遊経路など生活史に不明な点が多いが、親魚量と加入量に正の相関関係が認められる(図12)。再生産関係がないことを前提とすると、親魚が東シナ海に産卵回遊している場合や、地先の発生群が資源の維持に重要な役割を果たしている場合には、管理に失敗する危険性がある。また、前述のように漁獲圧がやや増加する傾向が見られた。そこで資源管理の方策として、現在の漁獲圧をやや減じて親魚量を維持し加入量の確保を目指す。なお、親魚量と再生産成功率には弱い負の相関関係が見られる(図13)。図12の関係に基づいて資源の回復措置が必要な親魚量の下限(Blimit)をいくつか検討した結果、加入量が急増した1986年水準の産卵親魚量(2万4千トン)とした。これ以上の産卵親魚量では加入量は7億尾(1988年水準)以上が得られている。現在の親魚量水準(3万7千トン)はBlimitを上回っているため、資源の回復措置は不要と考えられる。

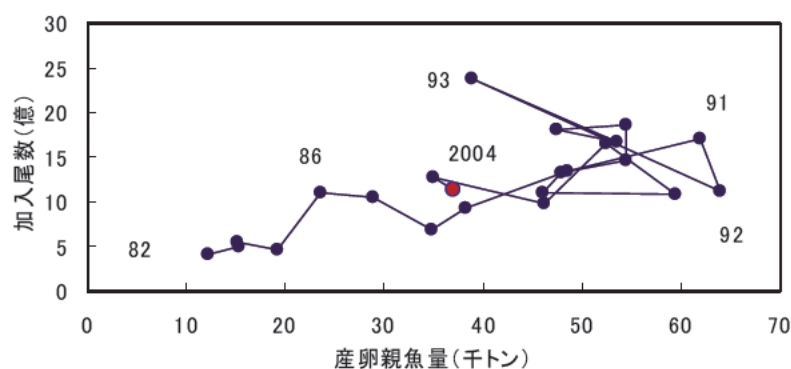


図12 親魚量と加入量(=0歳魚尾数)の関係(再生産関係)

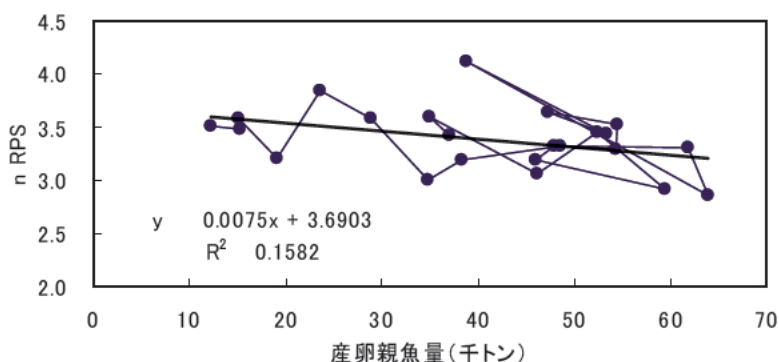


図13 親魚量と再生産成功率(RPS、対数)の関係

(2) 今後の加入量の見積もり

今後の加入量は基本的に再生産成功率（ $RPS=0$ 歳魚尾数/親魚量）と親魚量の積として見積もった。但し、RPSと親魚量に弱い負の関係が見られることから、将来予測における加入量は過去最高の24億尾を越えないものとした。1982年～2004年のRPSは17～61で、中央値（メジアン）と平均値は共に31である（図14）。また、2000年～2004年のRPSの中央値および1992年～2004年のRPSの平均値も31である。従って、将来予測に用いるRPSとしては31を基本とした。再生産成功率は1～3月の東シナ海の水温、4～6月の太平洋沿岸の水温と負の相関を示した（図15）。これらのことは本系群に東シナ海および太平洋沿岸の2つの加入経路があるとの知見と矛盾しない。

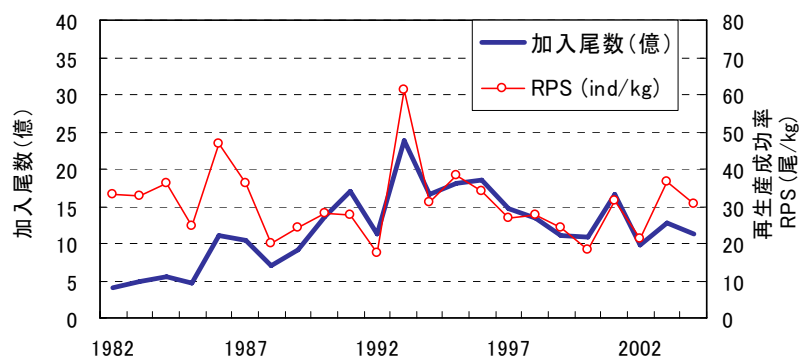


図14 再生産成功率RPSと加入尾数の経年変化

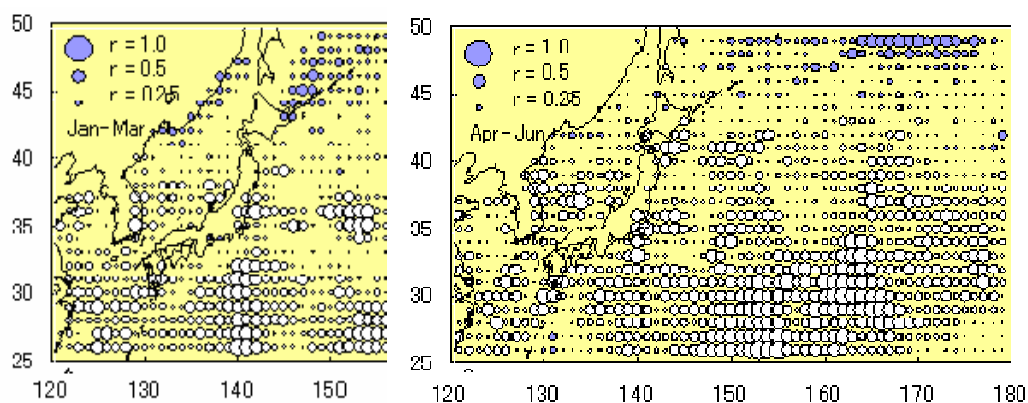


図15 再生産成功率と冬季(左)と春季(右)の表面水温の相関係数マップ
(●正相関、○負相関)

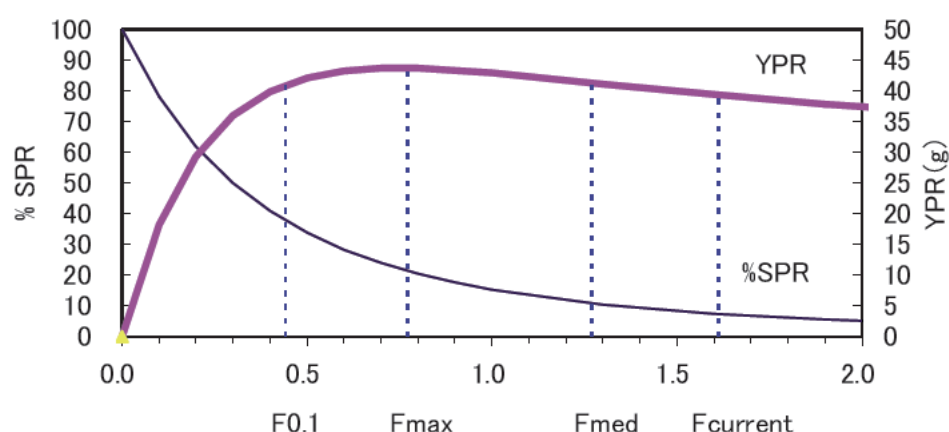


図16 完全加入年齢における漁獲係数FとYPRおよび%SPRの関係

(3) 加入量当り漁獲量

現状の漁獲係数(F_{current} 、2000年～2004年の平均、 $F_{\text{ave 5yr}}$)は加入当たり漁獲量を最大化する漁獲係数(F_{max})よりかなり大きいので、少しでも漁獲係数を削減することがYPR管理においては望ましい(図16)。また、過去のRSPの中央値に対応する漁獲係数(F_{med})により資源量が中期的に維持されると期待されるが、現状のFは F_{med} も上回っている(図16)。0歳魚の漁獲を削減すると資源量と漁獲量の予測値は増加する(図17、表1)。

表1 未成魚(0歳)に対する漁獲係数を現状の40%～140%とした場合の漁獲量と産卵親魚量の将来予測

F bar	基準値	漁獲量(千トン)							産卵親魚量(SSB, 千トン)						
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1.27	未成魚の $F \times 0.4$	54	46	39	43	48	53	58	37	35	32	34	38	42	46
1.31	未成魚の $F \times 0.6$	54	46	42	42	41	40	39	37	35	32	31	30	30	29
1.35	未成魚の $F \times 0.8$	54	46	45	40	35	30	27	37	35	32	28	25	21	19
1.40	未成魚の $F \times 1.0$	54	46	48	38	29	23	18	37	35	32	26	20	16	12
1.44	未成魚の $F \times 1.2$	54	46	50	35	25	18	12	37	35	32	24	17	12	8
1.49	未成魚の $F \times 1.4$	54	46	52	34	21	14	9	37	35	32	22	14	9	6

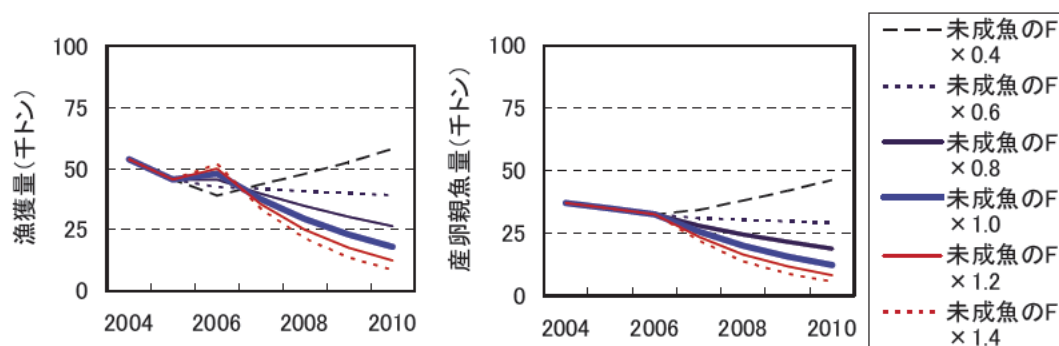


図17 未成魚(0歳)に対する漁獲係数を現状の40%～140%とした場合の漁獲量と産卵親魚量の将来予測

表2 漁獲係数を現状の60%~120%とした場合の漁獲量と産卵親魚量の将来予測

F bar	基準値	漁獲量(千トン)							産卵親魚量(SSB, 千トン)						
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0.84	0.6Fcurrent = ほぼFtarget	54	46	36	44	55	68	84	37	35	32	42	51	64	79
0.98	0.7Fcurrent	54	46	39	44	48	53	59	37	35	32	37	41	45	50
1.12	0.8Fcurrent = ほぼFlimit	54	46	42	42	41	41	40	37	35	32	33	32	32	31
1.26	0.9Fcurrent	54	46	45	40	35	31	27	37	35	32	29	25	22	20
1.40	Fcurrent	54	46	48	38	29	23	18	37	35	32	26	20	16	12
1.68	1.2Fcurrent	54	46	52	33	20	13	8	37	35	32	20	13	8	5

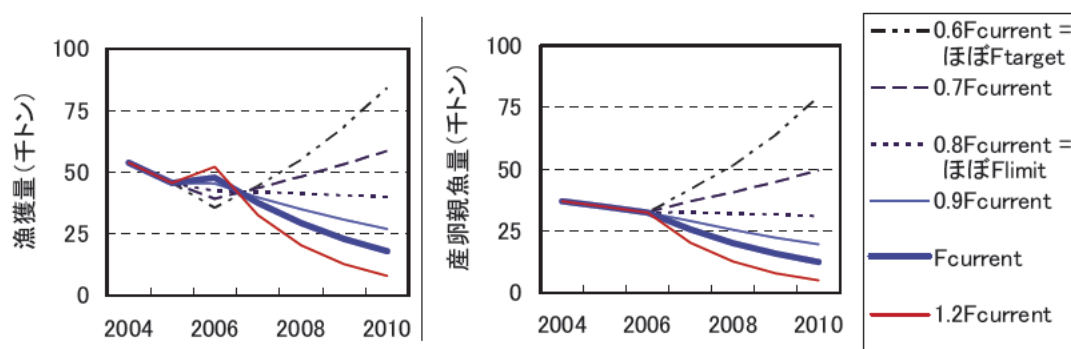


図18 漁獲係数を現状の60%~120%とした場合の
漁獲量と産卵親魚量の将来予測

(4) 漁獲圧と資源動向

現状の漁獲係数 (Fcurrent) を2006年以降制御した場合の2010年までの予測漁獲量と資源量を図18と表2に示す。Fcurrentで漁獲を継続すると漁獲量と資源量はともに減少する。漁獲係数をFcurrentの80%よりやや弱めた場合、漁獲量と資源量はほぼ安定する。

(5) 不確実性を考慮した検討

本系群の再生産成功率RPSは年々海洋環境の影響などで大きく変化してきたが、このRPSの変動の不確実性を検討するために以下のシミュレーションを行った。2006年以降のRPSを1992年~2004年に観測されたRPSから重複を許して無作為 (ランダム) に抽出し、FlimitとFtargetおよびFcurrentで漁獲した場合の漁獲量と親魚量の動向をコホート解析の前進法で予測した。このシミュレーションを1,000回行ったところ、2008年~2014年の親魚量の平均値が2006年の親魚量 (32千トン) を上回る率は、Flimitで44%、Ftargetでは99%、Fcurrentでは0% (図19, 表3)、同じく2004年の親魚量 (37千トン) を上回る率は、Flimitで30%、Ftargetでは97%、Fcurrentでは0%であった。

(6) 漁獲制御方法の提案

近年に漁獲圧がやや高まりFcurrent は持続的でないと考えられるが、現在の親魚量はBlimitを上回っている。そのため回復措置は必要なく、Fcurrentを20%程度減じる (Fmed) ことで資源は維持できると判断した。現在の資源の利用形態 (選択率) を変えない前提の下で、現在の親魚量を維持するFmedをFlimit、不確実性に対応するために予防的措置をとる場合のFtargetを0.8×Fmedとした。将来予測はコホート解析の前進法で行った (付表2)。

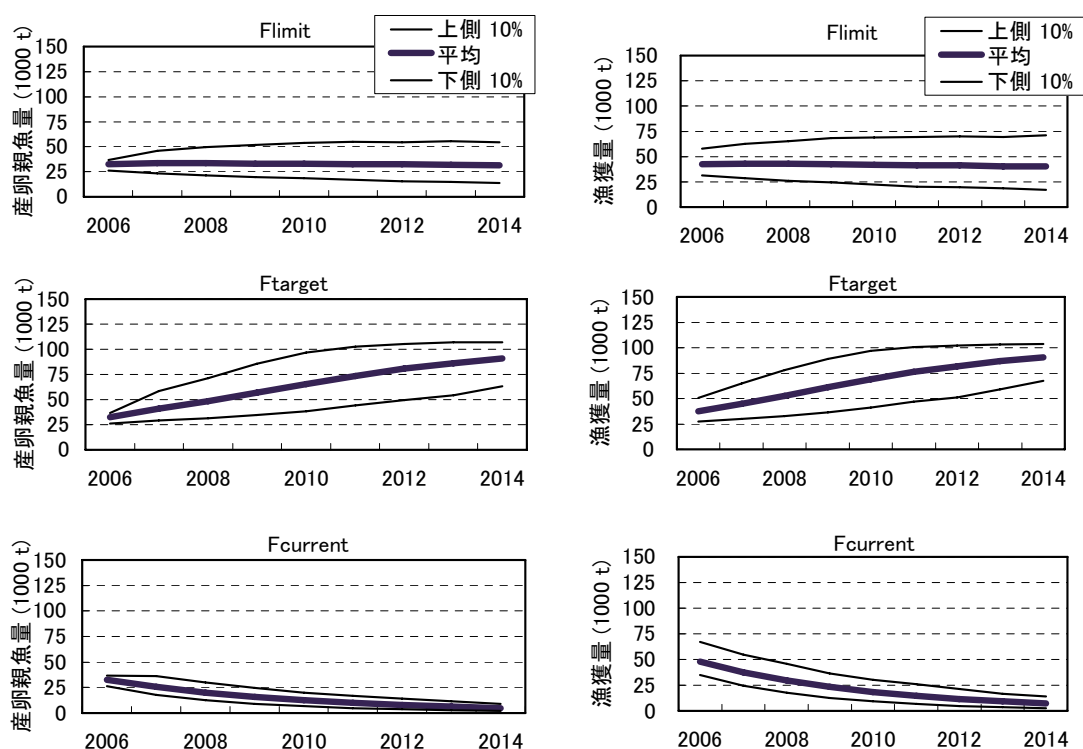


図19 1992年～2004年の再生産成功率を1000回無作為に抽出し、*Flimit*、*Ftarget*、*Fcurrent*で漁獲した場合の漁獲量と産卵親魚量の将来予測

表3. *Flimit*、*Ftarget*、*Fcurrent*による産卵親魚量(SSB,上)と漁獲量(下)の予測幅
(SSB<SSB2006は1000回の試算で2008～2014年の平均SSBが2006年SSBを下回った回数)

		SSB (1000t)										SSB<SSB2006	
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		2008 14 年平均	
<i>Flimit</i> = <i>Fmed</i>	平均	33	33	33	33	33	33	32	32	32	565	33	
	上側 10%	37	46	50	52	54	55	54	56	54			
	下側 10%	26	24	21	20	19	17	16	15	14			
<i>Ftarget</i> =0.8 <i>Fmed</i>	平均	33	41	48	57	65	73	81	86	91	10	72	
	上側 10%	37	58	71	85	97	103	105	107	107			
	下側 10%	26	29	31	34	38	44	50	54	63			
<i>Fcurrent</i>	平均	33	26	20	16	12	10	8	6	5	996	11	
	上側 10%	37	36	30	25	20	17	14	11	9			
	下側 10%	26	18	12	9	7	5	3	3	2			
		漁獲量 (1000t)										2008 14 年平均	
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014			
<i>Flimit</i> = <i>Fmed</i>	平均	42	43	43	42	42	42	41	41	40		42	
	上側 10%	58	62	65	68	69	69	70	69	71			
	下側 10%	31	29	26	24	22	20	19	18	17			
<i>Ftarget</i> =0.8 <i>Fmed</i>	平均	37	45	53	61	69	76	82	87	91		74	
	上側 10%	51	65	78	89	97	100	102	103	104			
	下側 10%	27	30	33	36	41	47	51	59	67			
<i>Fcurrent</i>	平均	48	38	30	23	18	15	12	9	7		16	
	上側 10%	67	55	46	37	30	26	21	17	14			
	下側 10%	35	24	18	13	9	7	5	4	3			

6. 2006年のABCの設定

(1) 資源評価のまとめ

資源動向は減少、水準は中位で、 B_{limit} を上回っている。現在の漁獲圧は持続的でなく、やや減じる必要がある。そのため、現在の親魚量を維持できる漁獲係数 (F_{med}) を F_{limit} 、予防的措置として安全率0.8を採用する場合を F_{target} とする。

(2) ABC算定

平成17年ABC算定のための基本規則の1 1) (1)によって生物学的許容漁獲量(ABC)を算定した。 F_{limit} を親魚量SSBを維持する F_{med} 、 F_{target} を $F_{med} \times 0.8$ とした。 F_{limit} と F_{target} および2006年の推定資源量からABCを算定した。なお、管理が2006年から開始されるため、維持するSSBは2006年の値(32千トン)を基本とした。 F_{med} は2000年～2004年の漁獲係数の平均($F_{current}$ 、 $F_{ave\ 5yr}$)の約80%である。 F_{limit} 、 F_{target} および $F_{current}$ で漁獲した場合の資源量と漁獲量の予測を付表2に示す。

	2006年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC limit	42 千トン	F_{med}	1.10	48%
ABC target	37 千トン	0.8 F_{med}	0.88	41%

F値(漁獲係数)は年齢の単純平均、漁獲割合はABC/資源量

(3) 管理の考え方と許容漁獲量

2006年の親魚量を維持する F_{med} を F_{limit} とする。参考までに2004年の親魚量(37千トン)が維持される割合も示した。

許容漁獲量

管理の考え方	管理基準	許容漁獲量	評 価
親魚量の維持	F_{med}	ABC _{limit} 42千トン	A: 44%, A': 30%, B: 33千トン, C: 42千トン
親魚量の維持 予防的措置をとる	0.8 F_{med}	ABC _{target} 37千トン	A: 99%, A': 97%, B: 72千トン, C: 74千トン

A: 再生産成功率の変動を考慮した1000回のシミュレーションにより、2008年～2014年の平均産卵親魚量が2006年の予測値(32千トン)を上回った率, A': 同じく2004年の値(37千トン)を上回った率, B: 2008年～2014年の平均産卵親魚量, C: 2008年～2014年の平均漁獲量

参考値

管理の考え方	管理基準	漁獲量	評 価
現状の漁獲圧を継続する	$F_{current}$ ($F_{ave\ 5yr}$)	47千トン	A: 0%, A': 0%, B: 11千トン, C: 16千トン

(4) ABCの再評価

2004年及び2005年のABCについて、最新の情報と今年度の算定方法で再計算した結果は次の通り。

評価対象年 (当初・再評価)	評価年	管理基準	資源量 (千トン)	ABClimit (千トン)	ABCtarget (千トン)	漁獲量 (千トン)
2004年当初	2003	0.9 Fcurrent	109	44	38	
2004年再評価	2004	0.86 Fcurrent	97	40	34	
2004年再評価	2005	Fmed	104	50	43	54
2005年当初	2004	Fsus	89	38	33	
2005年再評価	2005	Fmed	93	44	38	

7. ABC以外の管理方策への提言

漁獲開始年齢を1歳に引き上げた場合、加入量当たり漁獲量はやや増加する(図17、表1)。また、FをFmedよりも引き下げFmaxとするとYPRはさらに増加するが、その程度は小さい(図16)。

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, 20: 9 28.
- 木幡 孜 (1972) 相模湾重要魚種の生態II. マアジ *Trachurus japonicus* (Temminck et Schlegel) について. 神奈川県水産試験場相模湾支所報告昭和46年度事業報告: 55 72.
- 松宮義晴 (1998) 水産資源管理論, 水産研究叢書46, 日本水産資源保護協会, 77p.
- 落合 明・田中 克 (1986) マアジ. 新版魚類学(下), 恒星社厚生閣, pp. 788 797.
- Pope, J.G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population using cohort analysis. Res. Bull. inst. Comm. Northw. Atlant. Fish., (9): 65 74.
- 阪地英男 (2001) 高知県宿毛湾におけるマアジ(「きあじ」タイプ)の産卵期と成熟年齢. 黒潮の資源海洋研究, (2): 39 44.
- 阪本俊雄・武田保幸・竹内淳一 (1986) 沿岸重要資源の管理に関する研究(概報). 昭和59年度和歌山県水産試験場事業報告: 43 52.
- 澤田貴義 (1974) 伊豆近海におけるマアジの成長と成熟について. 静岡県水産試験場研究報告, (7): 25 31.
- 田中昌一 (1960) 水産生物のPopulation Dynamicsと漁業資源管理. 東海水研報, 28: 1 200.
- 葉師寺房憲 (2001) 豊後水道におけるマアジ *Trachurus japonicus* (Temminck et Schlegel) の成熟と相対成長. 黒潮の資源海洋研究, (2): 17 21.
- 横田滝雄・三田典子 (1958) 太平洋南区のアジ、サバ類の研究に関する諸説. 南海区水産研究所研究報告, (9): 1 59.
- 古藤 力 (1990) 太平洋岸におけるマアジ資源の動向について. 水産海洋研究会報, 54: 47 49.

補足資料1 資源量計算方法

主要港の水揚量と体長組成、成熟度などは太平洋側の各道府県試験研究機関が把握した。太平洋側各道府県主要港の水揚量と体長組成から月毎に体長階級別漁獲尾数を求め、体長と年(月)齢の関係に基づいて主要港における年齢別漁獲尾数を計算した。この年齢別の尾数比を漁業養殖業生産統計年報の太平洋南区、中区、北区の合計の漁獲量(属人統計)から東シナ海での漁獲量を差し引いた値に合うように引き延ばして系群全体の年齢別漁獲尾数を求めた(表3、図7)。なお、年齢分解困難な3歳以上は一括した。

コホート解析により年齢別資源尾数、資源重量、漁獲係数を推定した。コホート解析ではマアジの生活史に基づき1月を起点とした。使用した生物学的パラメーターは図2と3および付表1の通りである。0歳～3+歳(3歳以上をまとめて3+(プラスグループ)と表記する)別に求めた(付表1)。年齢別資源尾数 N の計算にはPopeの近似式を用い、プラスグループの資源尾数については平松(1999)の方法を用いた。自然死亡係数は、 $M=2.5/\text{寿命}$ (田中, 1960)より0.5とした。具体的な計算式は以下のとおりである。コホート解析の考え方と実際については平松(1999)を参照されたい。

ステップ1

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

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 a 歳魚の漁獲尾数である。

ただし、最近年、最高齢(プラスグループ、添え字 p)、最高齢1歳($p-1$)は(2)～(4)式によった。

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

$$N_{p,y} = \frac{C_{p,y}}{C_{p,y} + C_{p-1,y}} N_{p,y+1} \exp(M) + C_{p,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (3)$$

$$N_{p-1,y} = \frac{C_{p-1,y}}{C_{p,y} + C_{p-1,y}} N_{p,y+1} \exp(M) + C_{p-1,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (4)$$

漁獲死亡係数 F の計算は、ターミナル F (F_t)以外は(5)式によった。

$$F_{a,y} = -\ln \left(1 - \frac{C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{N_{a,y}} \right) \quad (5)$$

F_t の内、①最近年の F_t は過去4年間の F の平均、②プラスグループの F は最高齢1歳の F と等しいとした(プラスグループは定常状態が仮定できない場合における $\alpha=1$ 法(プラスグループの F と最高齢1歳の F が等しい)によった(平松, 1999)。すなわち、(6)、(7)式である。

$$F_{a,y} = \frac{(F_{a,y\ 5} + F_{a,y\ 4} + F_{a,y\ 3} + F_{a,y\ 2} + F_{a,y\ 1})}{5} \quad (6)$$

$$F_{p,y} = F_{p-1,y} \quad (7)$$

ステップ 2

ステップ 1 で得た年別年齢別 F から各年における選択率 $S_{a,y}$ （ある年の最高の年齢別 F で、その年の各年齢の F を除いた値）を求めた。選択率はデータの得られている1995年からの平均とした。この選択率の下で、最近年の F （選択率=1の F_t ）を調整し、コホート解析により得られる0歳魚資源尾数が資源量指数（九州南東岸の稚魚調査（中央水研）および宮崎県南部大型定置幼魚入網指数（宮崎水試））に最も良く適合するようにした。

資源量指数では

（資源量指数 = 比例係数 $\times$ ある F_t の下でコホート解析から計算された資源尾数）の対数の2乗の和を最小にするような F_t の値を求める。すなわち、目的関数

$$\sum_y (\ln(I_y) - \ln(qN_y))^2 \quad (8)$$

を最小にする F_t を推定した。ここで I は資源量指数、 N は資源尾数、 q は漁具能率（比例係数）である。漁具能率 q_i は（9）式を用いた。

$$\hat{q}_i = \exp \left(\frac{\sum_{y=1}^n \ln \left(\frac{I_{i,y}}{N_{i,y}} \right)}{n} \right) \quad (9)$$

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法（10式）に加え加入量を仮定した。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad (10)$$

漁獲尾数は(11)式によった。

$$C_{a,y} = N_{a,y} \left(1 - \exp(-F_{a,y}) \right) \exp\left(-\frac{M}{2}\right) \quad (11)$$

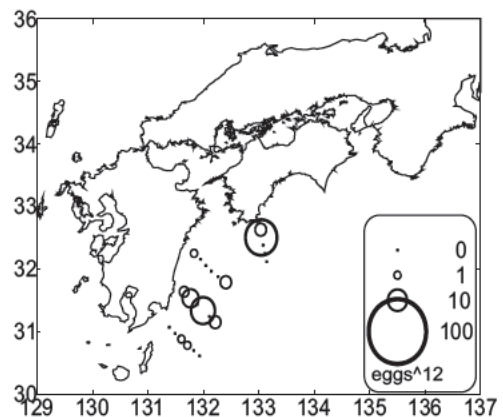
補足資料2 調査船調査の経過及び結果

担当機関	時期	海域・港等	データの種類
中央水研高知黒潮研究拠点	周年	土佐湾調査船調査試料	体長組成、生物測定、成熟状況、年齢査定

新規加入量調査

担当機関	時期	海域等	データの種類	手法等	船名
中央水研高知黒潮研究拠点	4月3日～14日	日向灘・熊野灘	稚幼魚分布量 プランクトン CTD観測結果	方形枠稚魚ネット、表中層トロール等、層別採集等海洋環境	第七開洋丸
中央水研高知黒潮研究拠点	産卵期 毎月1日	土佐湾	仔稚魚分布量	IKMT、ニューストンネット	こたか丸
中央水研	5月23日～6月13日	相模湾・伊豆近海・黒潮続流域	稚幼魚分布量	大型稚幼魚ネット類、海洋観測	蒼鷹丸
中央水研	5月～6月	黒潮続流域・黒潮親潮移行域	稚幼魚分布量	表中層トロール	北鳳丸 (但州丸)

第七開洋丸により2005年4月3日から14日にかけて実施した「マアジ等黒潮重要浮魚類幼魚加入調査」の中で、九州南東海域で方形枠稚魚ネットの20分間表層曳きを行った。採集されたマアジ仔稚魚の分布を附図示す。2003年、2004年と同様に、種子島東方での採集数が少なかった。都井岬南東と足摺岬南方でややまとまって採集されたが、採集数全体は2004年よりはるかに少なかった。なお、2004年4月にはマアジの主要輸送路である黒潮流軸がはなはだ沖合を流れていたため、採集数から計算した指数が過少評価となった可能性がある。



付表 2－1．コホート解析の前進法によるABC算定

Flimit = Fmed	1.27	抑制後選択率	選択率	平均体重	成熟割合
M	0.5	0.55	0.55	40	0
		0.92	0.92	100	0.5
RPSmed	30.6 (尾/kg)	1.00	1.00	230	1
Rmax	2,381	1.00	1.00	380	1

2000-2004年の平均											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	0.80	0.69	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
1歳	1.34	1.24	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
2歳	1.46	1.55	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
3歳以上	1.46	1.55	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
平均	1.26	1.26	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10

資源尾数(百万尾) R=RPSmed*SSB 但し SSB>65 では23億尾(過去の最大値)											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	1,134	1,066	995	1,015	1,008	1,007	1,005	1,003	1,000		
1歳	440	309	324	300	306	304	304	303	302		
2歳	58	70	54	61	56	58	57	57	57		
3歳以上	4	9	10	11	12	12	12	12	12		
計	1,636	1,453	1,382	1,387	1,383	1,380	1,377	1,374	1,371		

資源量(千トン)											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	45	43	40	41	40	40	40	40	40		
1歳	44	31	32	30	31	30	30	30	30		
2歳	13	16	12	14	13	13	13	13	13		
3歳以上	2	3	4	4	5	4	4	4	4		
計	104	93	88	89	89	88	88	88	88		
親魚量	37	35	32	33	33	33	33	33	33		

漁獲尾数(百万尾)											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	487	415	390	398	395	394	393	393	392		
1歳	253	171	174	161	164	163	163	163	162		
2歳	35	43	30	34	32	32	32	32	32		
3歳以上	3	5	6	6	7	7	7	7	7		
計	777	634	599	599	598	596	595	594	593		

漁獲量(千トン)											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	19	17	16	16	16	16	16	16	16		
1歳	25	17	17	16	16	16	16	16	16		
2歳	8	10	7	8	7	7	7	7	7		
3歳以上	1	2	2	2	3	2	3	2	2		
計	54	46	42	42	42	42	42	42	42		
漁獲割合	52%	49%	48%	48%	48%	48%	48%	48%	48%		

ABCLimit

Ftarget	1.02	抑制後選択率	選択率	平均体重	成熟割合
0.8 Fmed	0.8	0.55	0.55	40	0
M	0.5	0.92	0.92	100	0.5
RPSmed	30.6 (尾/kg)	1.00	1.00	230	1
Rmax	2,381	1.00	1.00	380	1

2000-2004年の平均											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	0.80	0.69	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66		
1歳	1.34	1.24	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94		
2歳	1.46	1.55	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02		
3歳以上	1.46	1.55	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02		
平均	1.26	1.26	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88		

資源尾数(百万尾) R=RPSmed*SSB 但し SSB>65 では23億尾(過去の最大値)											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	1,134	1,066	995	1,234	1,465	1,755	2,381	2,381	2,381		
1歳	440	309	324	345	428	508	608	826	826		
2歳	58	70	54	77	82	102	121	145	196		
3歳以上	4	9	10	14	20	22	27	32	39		
計	1,636	1,453	1,382	1,670	1,995	2,387	3,138	3,384	3,442		

資源量(千トン)											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	45	43	40	49	59	70	95	95	95		
1歳	44	31	32	34	43	51	61	83	83		
2歳	13	16	12	18	19	23	28	33	45		
3歳以上	2	3	4	5	8	9	10	12	15		
計	104	93	88	107	128	153	194	223	238		
親魚量	37	35	32	40	48	57	69	87	101		

漁獲尾数(百万尾)											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	487	415	332	412	489	585	794	794	794		
1歳	253	171	153	163	203	241	288	391	391		
2歳	35	43	27	38	41	51	60	72	98		
3歳以上	3	5	5	7	10	11	14	16	19		
計	777	634	517	620	742	887	1,156	1,273	1,302		

漁獲量(千トン)											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	19	17	13	16	20	23	32	32	32		
1歳	25	17	15	16	20	24	29	39	39		
2歳	8	10	6	9	9	12	14	17	22		
3歳以上	1	2	2	3	4	4	5	6	7		
計	54	46	37	44	53	63	80	94	101		
漁獲割合	52%	49%	41%	41%	41%	41%	41%	42%	42%		

ABCtarget

付表2－2．コホート解析の前進法による参考値算定

Fcurrent	1.61										
ave 2000-04											
M	0.5	抑制後選択率 選択率 平均体重 成熟割合									
		0.55	0.55	40	0						
RPSmed	30.6 (尾/kg)	0.92	0.92	100	0.5						
Rmax	2,381	1.00	1.00	230	1						
		1.00	1.00	380	1						

2000-2004年の平均											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	0.80	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
1歳	1.34	1.24	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49
2歳	1.46	1.55	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
3歳以上	1.46	1.55	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
平均	1.26	1.26	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40

資源尾数(百万尾) R=RPSmed*SSB 但し SSB>65 では23億尾(過去の最大値)											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	1,134	1,066	995	784	614	481	377	296	232		
1歳	440	309	324	249	196	153	120	94	74		
2歳	58	70	54	44	34	27	21	17	13		
3歳以上	4	9	10	8	6	5	4	3	2		
計	1,636	1,453	1,382	1,085	850	667	523	410	321		

資源量(千トン)											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	45	43	40	31	25	19	15	12	9		
1歳	44	31	32	25	20	15	12	9	7		
2歳	13	16	12	10	8	6	5	4	3		
3歳以上	2	3	4	3	2	2	1	1	1		
計	104	93	88	69	54	43	33	26	21		
親魚量	37	35	32	26	20	16	12	10	8		

漁獲尾数(百万尾)											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	487	415	455	359	281	220	173	135	106		
1歳	253	171	195	150	118	92	72	57	45		
2歳	35	43	34	28	21	17	13	10	8		
3歳以上	3	5	6	5	4	3	2	2	1		
計	777	634	690	541	424	333	261	204	160		

漁獲量(千トン)											
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
0歳	19	17	18	14	11	9	7	5	4		
1歳	25	17	19	15	12	9	7	6	4		
2歳	8	10	8	6	5	4	3	2	2		
3歳以上	1	2	2	2	2	1	1	1	1		
計	54	46	48	38	29	23	18	14	11		
漁獲割合	52%	49%	54%	54%	54%	54%	54%	54%	54%		