

平成18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(建田夕帆、赤嶺達郎、西田 宏、石田 実、勝川木綿)

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16万トンと高位水準であった。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年からは再び減少し、現在の資源量は2005年に10万トンと中位水準になっている。近年の資源動向は減少傾向にあるがその減少幅はわずかである。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、2005年の水準(3万7千トン)はBlimitを上回っている。これらから、資源の維持が期待できる漁獲係数Fを用いた場合の漁獲量をABClimit、不確実性を見込んだ漁獲量をABCtargetとした。また、FlimitはFcurrentとほぼ等しい値となった。

漁獲シナリオ (管理基準)	管理の考え方	2007年 漁獲量 (千トン)	F値	漁獲 割合 (%)	評価		
					A (%)	B (千トン)	C (千トン)
ABClimit (Fmed)	親魚量を2007年の水準(3万5千トン)に維持する	43	1.26	46	39	34	41
ABCtarget (0.8Fmed)	親魚量を2007年の水準に維持する(予防的措置をとる)	38	1.01	40	100	75	76
現状の漁獲圧 維持 (Fcurrent)	現状(2001～2005年)の漁獲圧を維持する	43	1.27	46	33	33	40

F値(漁獲係数)は各年齢の単純平均、漁獲割合は漁獲量/資源量。

Fcurrentは2001年～2005年のFの平均値。

評価欄：加入量変動を考慮した1000回のシミュレーションにおいて、A：2007年のSSB(35千トン)を2009～2015年の平均が上回った確率、B：2009～2015年の平均SSB(千トン)、C：2009～2015年の平均漁獲量(千トン)

年	資源量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F値	漁獲割合
2004	111	54	1.37	49%
2005	100	48	1.36	48%
2006	94			

F値(漁獲係数)は各年齢の単純平均、漁獲割合は漁獲量/資源量。

	指 標	値	設定理由
Bban	未設定		
Blimit	親魚量	24千トン	これ以下の親魚量だと良好な加入量があまり期待できなくなる (1986年水準)
2005年	親魚量	37千トン	

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年から高位水準となった。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中位水準となった。

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)。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ため対馬暖流系群とあわせて評価することも想定されるが、太平洋系群の親魚が東シナ海に産卵回遊する情報もないため結論は得られていない。

(2) 年齢・成長(図3)

1年で尾叉長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。

(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。

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、1990年以降に再び急増して1994年に8万3千トンと最高に達した。しかし、1997年以降は減少に転じ1999年には4万7千トンとなった。2000年と2001年に再び増加したが、2002年以降は5万トン前後を推移している。外国漁船による漁獲はない。

4. 資源の状態

(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)。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。チューニングに関しては、資源量指標値(下記)が大幅に減少したため本年度は行えなかった。この原因としては、チューニングに用いている指標が限られた調査からのみ得られているため値のばらつきが大きくなりやすいこと、また手法としてのチューニング方法がまだ完成されていないことが挙げられ、今後、指標値の収集や計算方法についてのさらなる精査が必要であると言える。

(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年はやや増加したが、2004年に再び減少し、2005年、2006年は極めて少なかった(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、2005年に増加したものの2006年は減少し2003年程度の値となった(中央水産研究所)。北部太平洋大中型まき網漁業への来遊資源量指数は、1996年生まれから2000年生まれまでは高水準にあったが2001年以降生まれは低水準となった(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)。

(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位水準になったが、1996年の16万トン
を頂点に減少し、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へ変更してコホート解析を行
った場合の資源量と親魚量の推定値は若干減少し、0.6とした場合は若干増加する(図9)。

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目立った傾向は見られない(図10)。2005年のFbarは1.36と推定され、
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
る漁獲圧は低位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考えられ
ている(古藤 1990)。

(5) 資源の水準・動向

2005年の推定資源量は10万トンで、水準は過去24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。そこで資源管理の方策としては、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の關係に
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。

(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相関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。また、資源量は1996年以降減少傾向にあり
(図8)、RPSも低い傾向にあるため(図14)、将来予測におけるRPSの値としては1996年か
ら2005年のRPSの中央値(メジアン)である26.7を用いた。なお1996年～2005年のRPSの範
囲は18.4～35.0で平均値は27.2、1982年～2005年のRPSの範囲は17.5～61.3で中央値は27.9、
平均値は30.4であった。

再生産成功率は東シナ海、日本海または太平洋の海面水温と相関を示した(図15)。1～3
月では東シナ海の水温、4～6月では太平洋沿岸の水温と負の相関が見られた。このことか
ら、本系群の加入に対し東シナ海が何らかの影響を与えていることが考えられ、これは太
平洋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も合致する。

(3) 加入量当り漁獲量

過去のRPS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、現状の漁獲係数 ($F_{current}$ 、2001年～2005年の平均、 $F_{ave-5yr}$) は F_{med} とほぼ等しい (図16)。このため、現状の漁獲を維持しても資源量はそれほど変化しないと考えられる。また、現状の F は加入当たり漁獲量を最大化する漁獲係数 (F_{max}) より大きいため、漁獲係数の削減はYPR管理においては望ましい。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)。

(4) 漁獲圧と資源動向

現状の漁獲係数 ($F_{current}$) を2007年以降制御した場合の2011年までの予測漁獲量と資源量を図18と表2に示す。 $F_{current}$ で漁獲を継続した場合の漁獲量と資源量はほぼ安定し、漁獲係数を $F_{current}$ から削減した場合、2008年以降の漁獲量と親魚量は増加する。

(5) 漁獲制御方法の提案

現在の資源の利用形態 (選択率) を変えない前提の下で、2007年の親魚量を維持する F_{med} を F_{limit} 、不確実性に対応するために予防的措置をとる場合の F_{target} を $0.8F_{med}$ とし、将来予測をコホート解析の前進法で行った (付表2)。近年の漁獲圧は比較的高めの値であるが、 $F_{current}$ は F_{med} とほぼ等しい。また現在の親魚量は B_{limit} を上回っている。このため、現時点において $F_{current}$ の積極的な削減を行う必要はないと考えられる。

(6) 不確実性を考慮した検討

本系群の再生産成功率RPSは海洋環境の影響などで大きく変化する。このRPSの変動の不確実性を検討するため以下のシミュレーションを行った。2006年以降のRPSを、平均値が1996年～2005年の中央値 (26.7) に近い値を示す期間から重複を許して無作為 (ランダム) に抽出し、 F_{limit} と F_{target} および $F_{current}$ 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。シミュレートのRPS値に用いた期間は1997年～2005年 (平均26.4) である。このシミュレーションを1,000回行ったところ、2009年～2015年の親魚量の平均値が2007年の親魚量 (平均3万5千トン) を上回る確率は、 F_{limit} で39%、 F_{target} で100%、 $F_{current}$ でも33%となった (図19、表3)。また、 $F_{current}$ をわずかに削減すると2007年の親魚量をその後の平均親魚量が上回る確率は大幅に増加した (補足資料3)。

6. 2007年のABCの設定

(1) 資源評価のまとめ

資源動向は減少、水準は中位で親魚量は B_{limit} を上回っているため、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} とした。現状の漁獲圧は F_{med} とほぼ等しいため、現状の漁獲圧でも資源はほぼ維持できると考えられる。

(2) ABCと参考値の算定、管理の考え方と許容漁獲量

平成18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。管理が2007年から開始するため、Flimitを2007年の親魚量を維持するFmed、Ftargetを0.8Fmedとした。FlimitとFtargetおよび2007年の推定資源量からABCを算定した。なおFmedは2001年～2005年の漁獲係数の平均（Fcurrent、Fave-5yr）とほぼ等しい。Flimit、FtargetおよびFcurrentで漁獲した場合の管理効果の評価は次の通りである（2013年までの資源量と漁獲量の予測は付表2に示す）。

漁獲シナリオ (管理基準)	管理の考え方	2007年 漁獲量 (千トン)	F値	漁獲 割合 (%)	評価		
					A (%)	B (千トン)	C (千トン)
ABClimit (Fmed)	親魚量を2007年の 水準(3万5千トン) に維持する	43	1.26	46	39	34	41
ABCtarget (0.8Fmed)	親魚量を2007年の 水準に維持する (予防的措置をと る)	38	1.01	40	100	75	76
現状の漁獲圧 維持 (Fcurrent)	現状(2001～2005 年)の漁獲圧を維 持する	43	1.27	46	33	33	40

F値(漁獲係数)は各年齢の単純平均、漁獲割合は漁獲量/資源量。

Fcurrentは2001年～2005年のFの平均値。

評価欄：加入量変動を考慮した1000回のシミュレーションにおいて、A：2007年のSSB（35千トン）を2009～2015年の平均が上回った確率、B：2009～2015年の平均SSB（千トン）、C：2009～2015年の平均漁獲量（千トン）

(3)ABCの再評価

2005年及び2006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)	管理基準	資源量 (千トン)	ABClimit (千トン)	ABCtarget (千トン)	漁獲量 (千トン)
2005年(当初)	Fsus	89	38	33	-
2005年(2005年再評価)	Fmed	93	44	38	-
2005年(2006年再評価)	Fmed	100	46	41	48
2006年(当初)	Fmed	88	42	37	-
2006年(2006年再評価)	Fmed	94	43	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)。FをFmedよりも引き下げFmaxとするとYPRは増加するが、その程度は小さい(図16)。また浮魚類では資源量が長期的な変動を行うことが知られているため、マアジにおいてもこの変動を考慮した管理を行うことも有効であると考えられる。

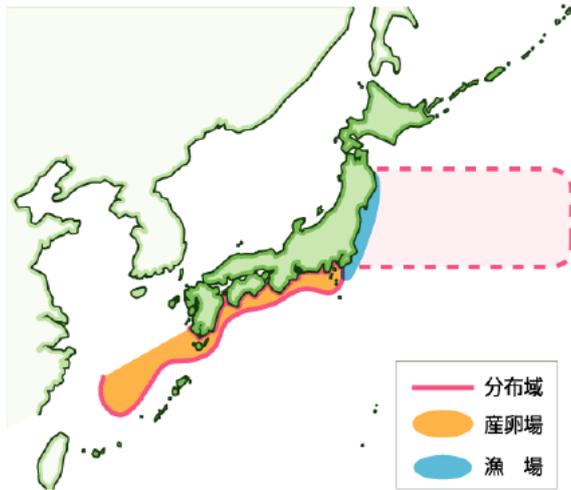


図1 マアジ太平洋系群の分布・回遊図

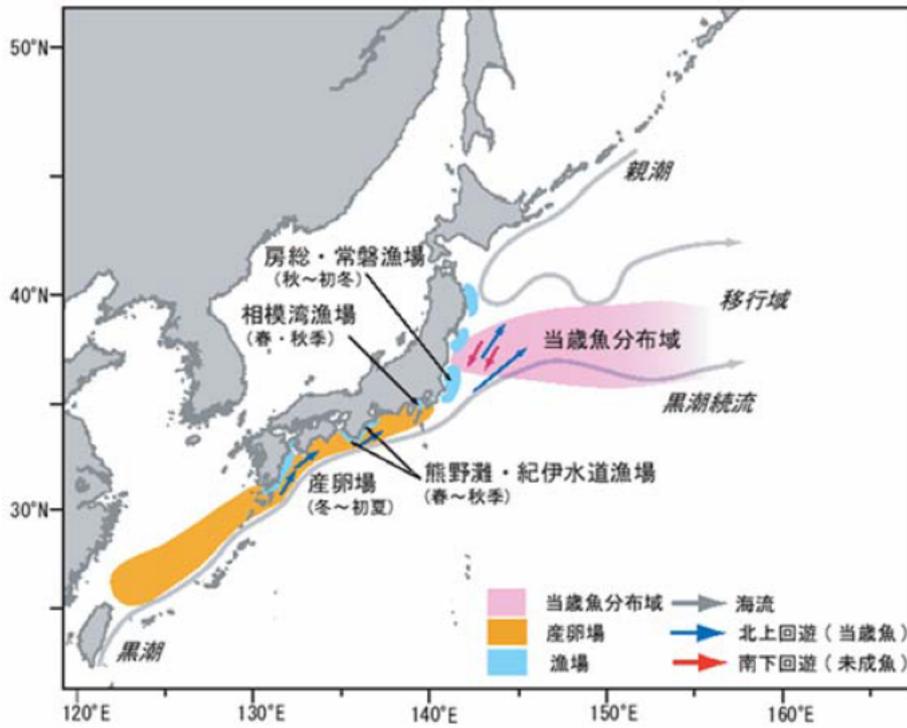


図2 マアジ太平洋系群の生活史と漁場形成模式図

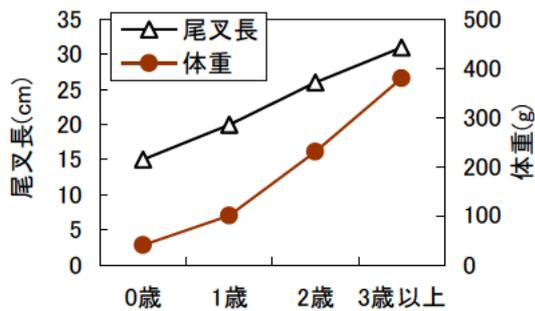


図3 マアジ太平洋系群の年齢と成長の関係

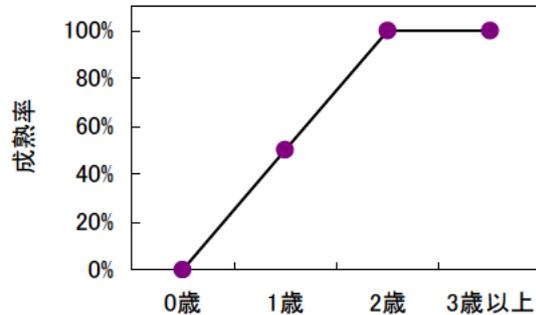


図4 マアジ太平洋系群の年齢と成熟割合の関係

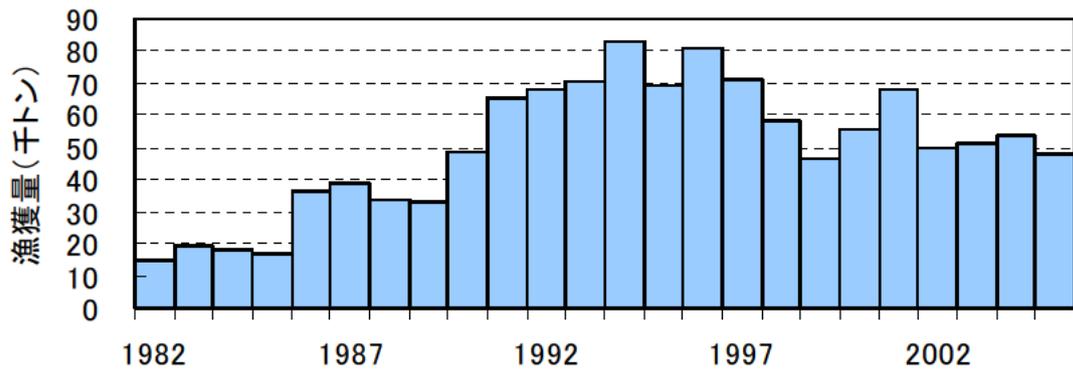


図5 マアジ太平洋系群の漁獲量の経年変化

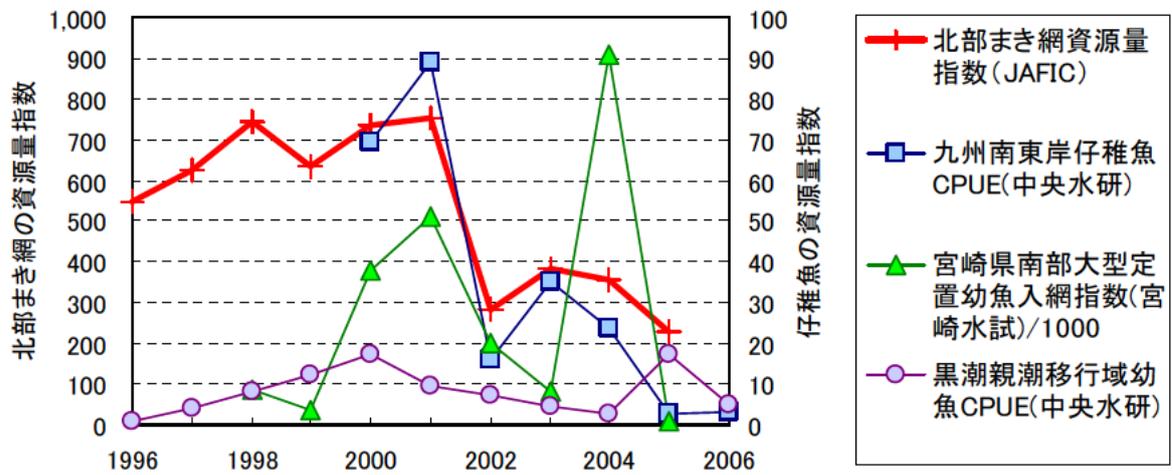


図6 資源量指標値の経年変化

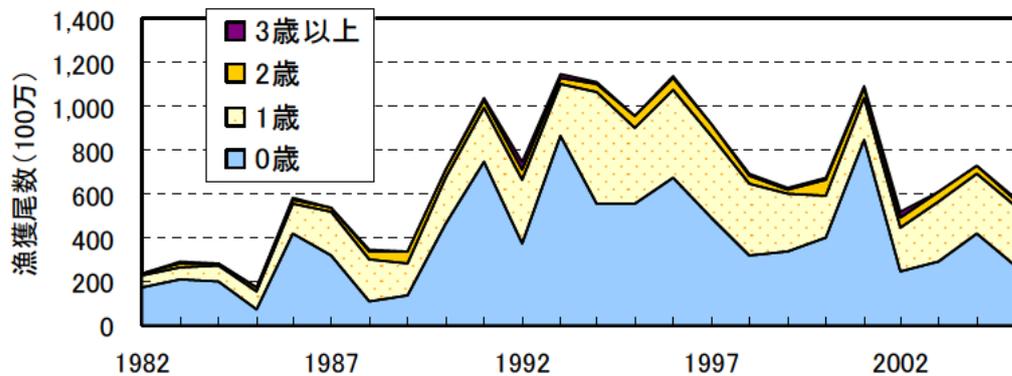


図7 年齢別漁獲尾数の経年変化

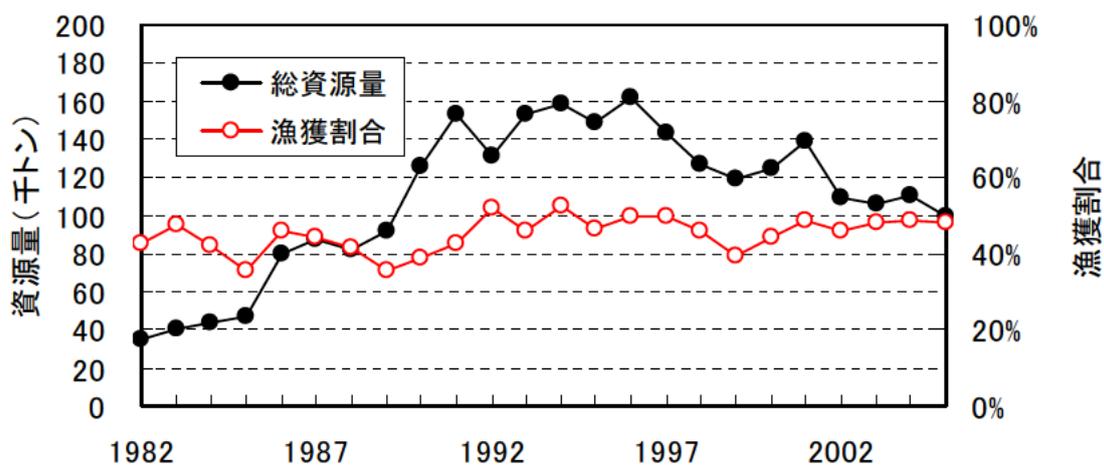


図8 資源量と漁獲割合(=漁獲量/資源量)の経年変化

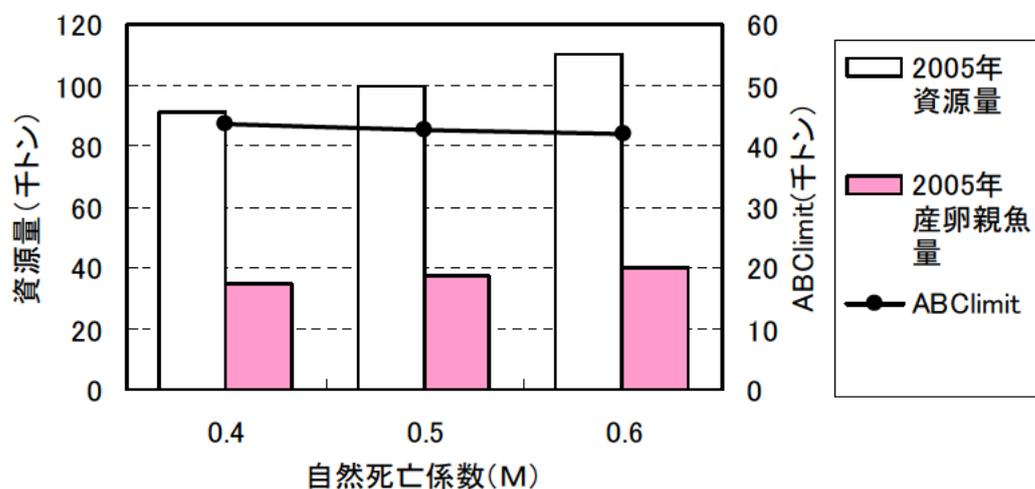


図9 自然死亡係数Mの違いによる2005年の資源量と産卵親魚量および2007年のABClimit

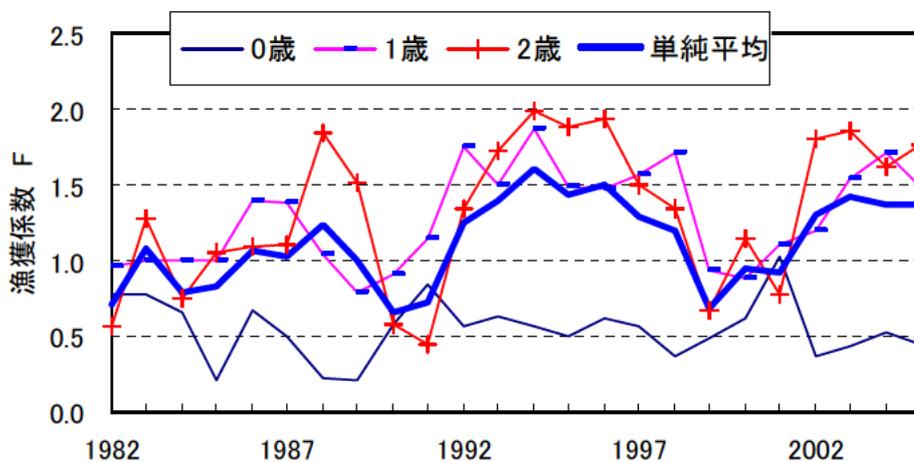


図10 年齢別漁獲係数Fと年齢別Fの単純平均値(Fbar)の経年変化

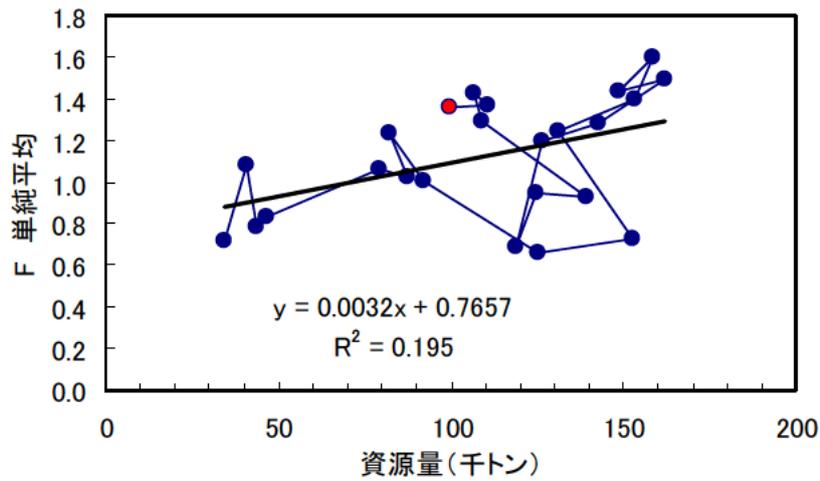


図11 資源量と漁獲係数の関係

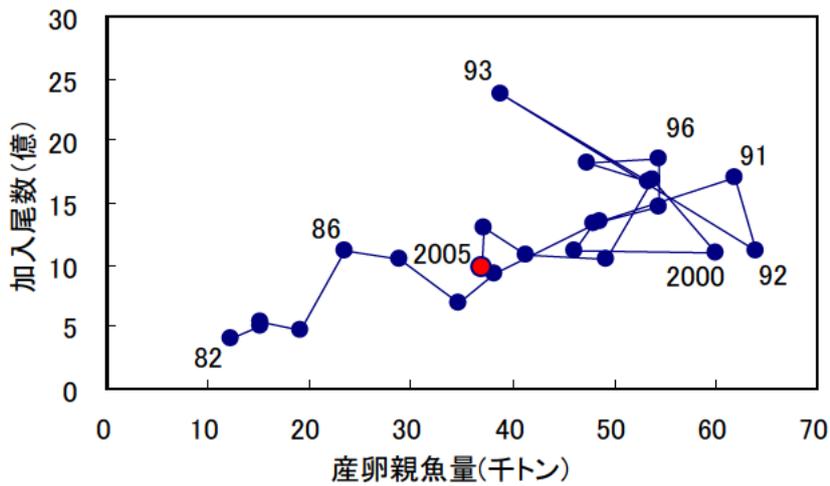


図12 親魚量と加入量(=0歳魚尾数)の関係(再生産関係)

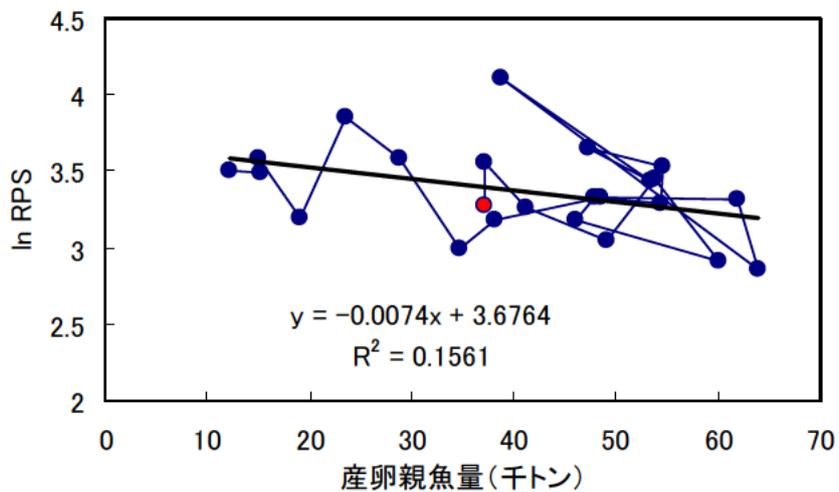


図13 親魚量と再生産成功率(RPS、対数)の関係

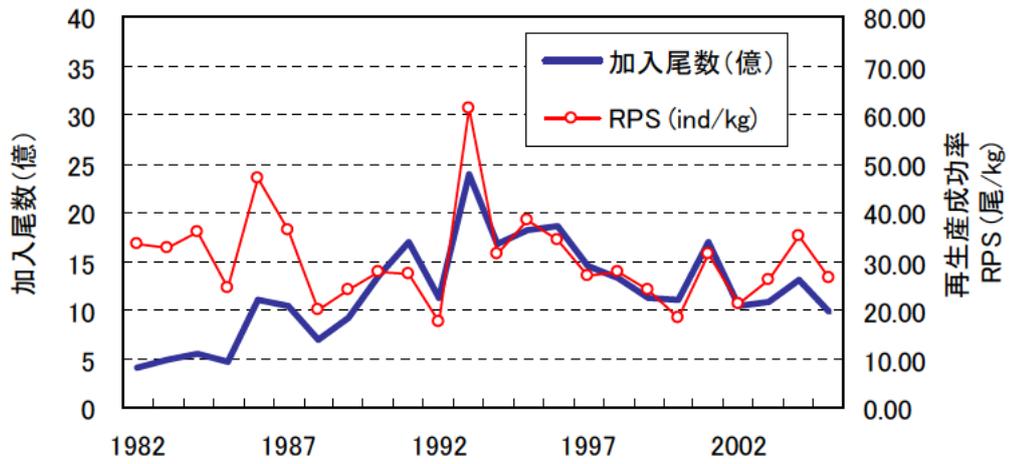


図14 再生産成功率RPSと加入尾数の経年変化

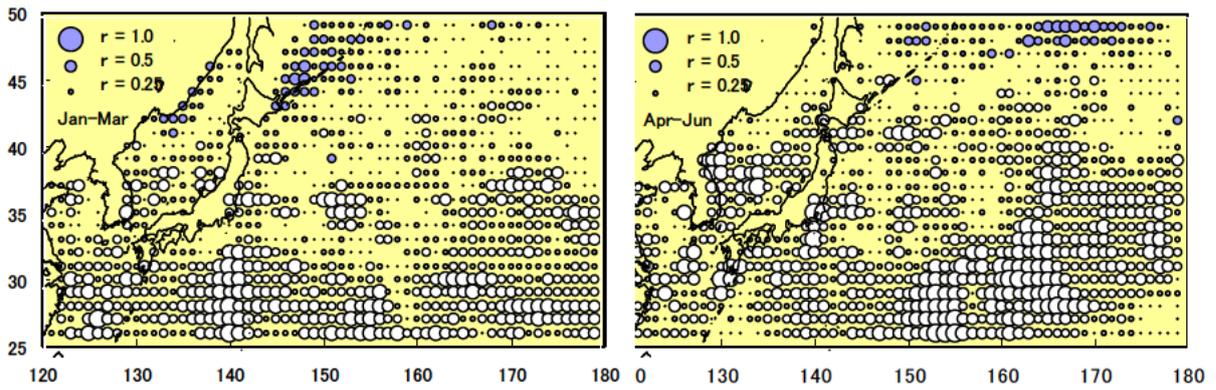


図15 再生産成功率と1-3月(左図)、4-6月(右図)の海面水温の相関係数マップ
(●正相関、○負相関)

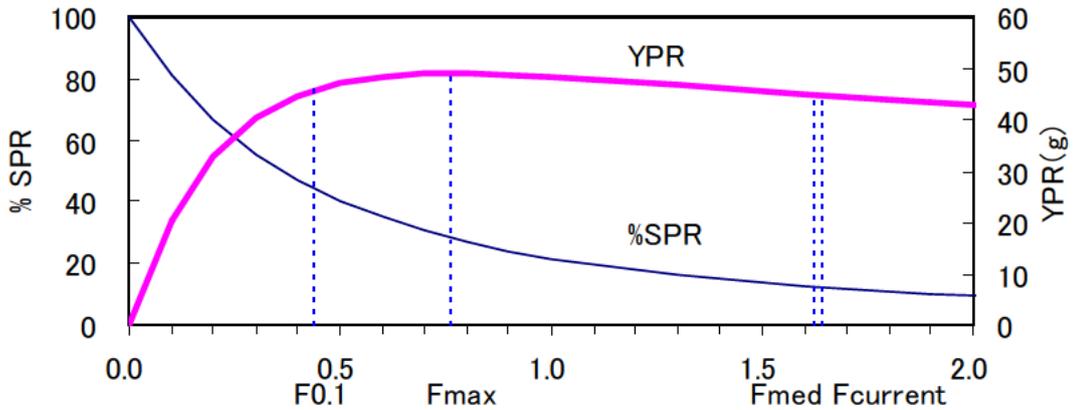


図16 完全加入年齢における漁獲係数FとYPRおよび%SPRの関係

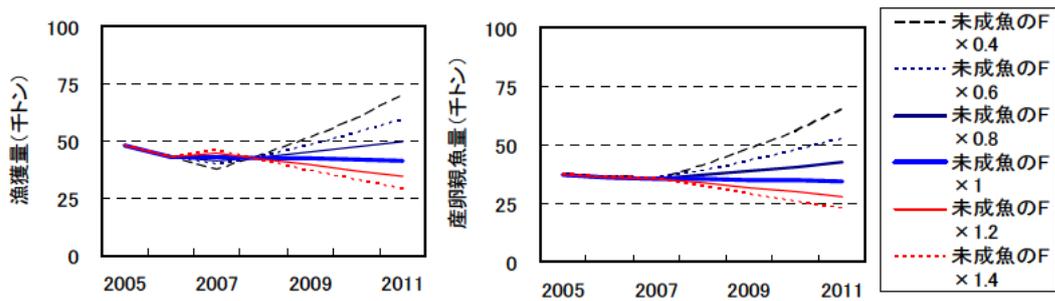


図17 未成魚(0歳)に対する漁獲係数を現状の40%~140%とした場合の漁獲量と産卵親魚量の将来予測

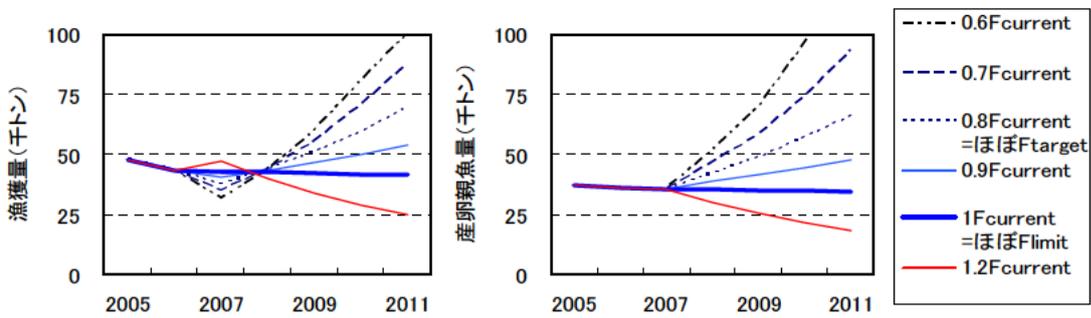


図18 漁獲係数を現状の60%~120%とした場合の漁獲量と産卵親魚量の将来予測

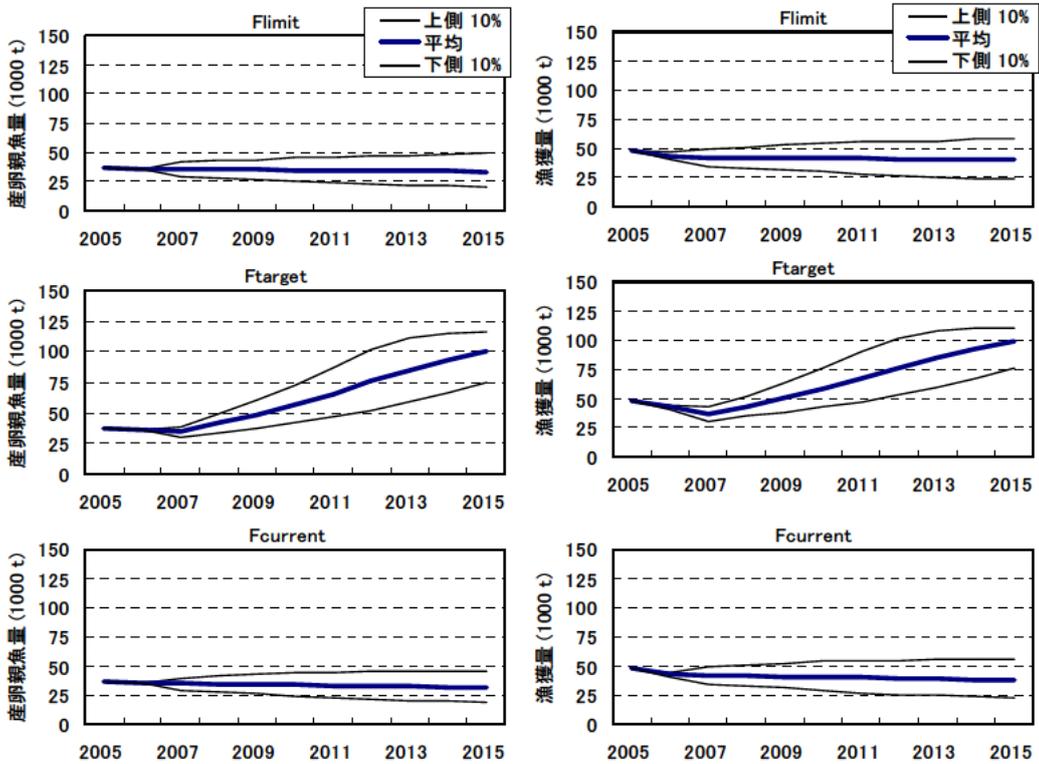


図19 1997年~2005年の再生産成功率を1000回無作為に抽出し、Flimit、Ftarget、Fcurrentで漁獲した場合の親魚量と漁獲量の将来予測

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)						
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1.21	未成魚のF×0.4	48	43	37	44	51	60	70	37	36	36	41	48	56	65
1.23	未成魚のF×0.6	48	43	39	44	48	53	59	37	36	36	39	43	48	53
1.25	未成魚のF×0.8	48	43	41	43	45	47	50	37	36	36	37	39	41	42
1.27	未成魚のF×1	48	43	43	43	42	42	42	37	36	36	35	35	35	35
1.30	未成魚のF×1.2	48	43	45	42	39	37	35	37	36	36	34	32	30	28
1.32	未成魚のF×1.4	48	43	46	41	37	33	29	37	36	36	32	29	26	23

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)						
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0.83	0.6Fcurrent	48	43	32	44	60	81	101	37	36	36	52	70	96	127
0.97	0.7Fcurrent	48	43	35	44	56	70	88	37	36	36	47	58	74	93
1.11	0.8Fcurrent =ほぼFtarget	48	43	38	44	51	60	69	37	36	36	42	49	57	66
1.25	0.9Fcurrent	48	43	41	44	47	50	54	37	36	36	39	41	44	48
1.38	Fcurrent =ほぼFlimit	48	43	43	43	42	42	42	37	36	36	35	35	35	35
1.66	1.2Fcurrent	48	43	47	40	34	29	25	37	36	36	30	25	22	18

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>SSB2007:1000回の試算で2009年~2015年の平均SSBが2007年SSBを上回る回数)

		SSB (1000t)											SSB>
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2009-15 年平均	SSB2007	
Flimit = Fmed	平均	35	35	35	35	35	34	34	34	34	34	390	
	上側 10%	42	43	44	45	46	47	47	48	49			
	下側 10%	30	28	27	26	24	23	22	21	20			
Ftarget =0.8Fmed	平均	35	42	49	57	66	76	85	93	101	75	999	
	上側 10%	39	50	61	72	88	101	111	114	116			
	下側 10%	30	34	38	42	47	52	59	67	75			
F current =Fave5-yr	平均	35	35	34	34	33	33	33	32	32	33	333	
	上側 10%	39	41	43	45	45	46	46	46	46			
	下側 10%	30	28	26	25	23	22	21	20	19			
		漁獲量 (1000t)											
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2009-15 年平均		
Flimit = Fmed	平均	42	42	42	42	41	41	41	40	40	41		
	上側 10%	50	51	53	55	56	56	56	58	59			
	下側 10%	34	34	32	30	29	27	26	25	24			
Ftarget =0.8Fmed	平均	37	43	50	59	68	77	85	93	99	76		
	上側 10%	44	52	64	76	90	101	108	110	111			
	下側 10%	31	35	39	43	47	53	60	68	76			
F current =Fave5-yr	平均	42	42	41	41	40	40	39	38	38	40		
	上側 10%	49	51	53	54	54	55	55	56	56			
	下側 10%	35	33	31	29	27	26	25	24	23			

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.
- 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.
- 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.
- 薬師寺房憲 (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.

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都県試験研究機関が把握した。太平洋側各都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(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3と4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(1972)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3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。

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

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

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。最近年（2005年）の選択率は2002年から2004年の平均値の選択率であるが、将来予測においてもこの選択率を続けて用いた。Fcurrentはこの選択率のもとで F の各年齢単純平均値（Fbar）が過去5年の平均と等しくなる値として求め、2006年の F はFcurrentであるとした。

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法((8)式)に加え加入量を仮定した。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad (8)$$

漁獲尾数は(9)式によった。

$$C_{a,y} = N_{a,y} \left(1 - \exp(-F_{a,y})\right) \exp\left(-\frac{M}{2}\right) \quad (9)$$

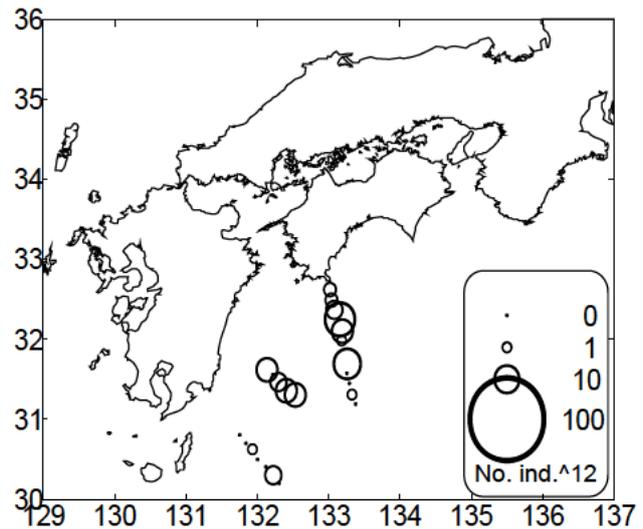
補足資料2 調査船調査の経過及び結果

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5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9日 ～31日	黒潮統流域・黒潮親潮移行域	稚幼魚分布量	表中層トロール	北鳳丸

第七開洋丸により2006年4月5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右図に示す。2003年～2005年と同様に種子島東方での採集数は少なかった。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、最高密度は2005年より低い値を示した。平均密度は2005年よりやや増加したものの、依然として低水準のままである。



補足資料3 マアジ太平洋系群に対する漁獲係数Fのリスク評価

2007年から一定の漁獲圧に制御する管理を行った場合、次に示す2つの管理目標の目標達成確率を数値計算によって求めた。

- (A) 2009年から2016年までの平均産卵親魚量が2007年の値(35,000トン)を上回る確率
- (B) 10年後(2016年)に産卵親魚量がBlimit(24,000トン)を上回る確率

【数理モデル】

資源動態は齢構成のある個体群動態モデルを適用し、加入変動による確率変動を仮定した。 y 年の t 歳魚の個体数を $N_{t,y}$ 、漁獲量を $C_{t,y}$ とすると、資源動態は以下の式で表現できる。

$$N_{t+1,y+1} = N_{t,y} \exp(-M - q_t F) \quad (10)$$

3+プラスグループでは

$$N_{3+,y+1} = N_{3+,y} \exp(-M - q_{3+} F) + N_{2,y} \exp(-M - q_2 F) \quad (11)$$

$$SSB_y = \sum_t m_t w_t N_{t,y} \quad (12)$$

$$N_{0,y+1} = RPS_{y+1} SSB_{y+1} \quad (13)$$

$$C_{t,y} = (1 - \exp[-q_t F - M]) \frac{q_t F}{q_t F + M} w_t N_{t,y} \quad (14)$$

ただし、 m_t 、 w_t 、 q_t は年齢 t の成熟率、体重、選択率。 F は完全加入の漁獲係数を表す。 RPS_{y+1} は、 $y+1$ 年の産卵親魚重量当たり加入尾数(再生産成功率)である。再生産成功率は毎年変動するとし、1997年～2005年のコホート計算から得られたRPSの値(27, 28, 24, 18, 31, 21, 26, 35, 26)をランダム抽出した。新規加入量 $N_{0,y+1}$ は過去の最大値2,381百万尾を超えないと仮定した。体重と成熟率は、齢別選択係数は2003～2005年の平均値を用いた(補足表3-1)。また、自然死亡係数は $M=0.5$ と仮定した。

2007年から2016年まで、体重と成熟率が変化しないと仮定し、一定の齢別選択係数と漁獲係数で漁獲した場合の産卵親魚量と資源重量を求めた。このような試行を10000回おこない、管理目標(A)(B)の確率を求めた。

【結果】

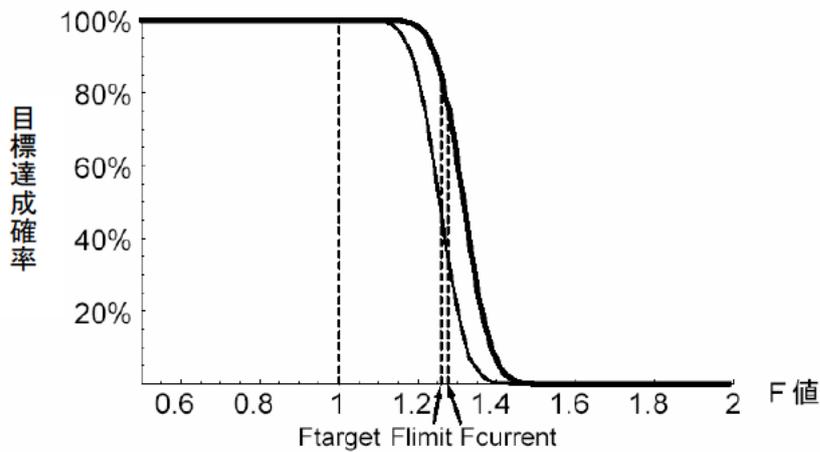
補足図3-1に目標達成確率を示す。横軸は齢別漁獲係数の平均(F値)である。現状の漁獲係数(F値=1.27)で漁獲を続けた場合、(A)と(B)の目標達成確率はそれぞれ、39%、79%となった。目標(A)の達成確率をF値=1.27のときのほぼ倍となる80%にするF値は1.20であり、F値=0.07の差で目標達成確率が大きく変化することが示された。また目標(A)と(B)はそれぞれF値が1.07、1.11より大きくなると達成確率が100%から減少し始め、F値がそれぞれ1.40、1.46のとき目標(A)と(B)の達成確率が0%となった。

補足表3-1 数値計算で用いたパラメタ

t	0歳	1歳	2歳	3歳+
体重(g) w_t	40	100	230	380
成熟率 m_t	0	0.5	1	1
選択率 q_t	0.25	0.85	1	1
2005年の資源尾数 (百万尾) $N_{t,0}$	985.8	467.4	46.8	7.7
自然死亡係数 M	0.5	0.5	0.5	0.5

補足表3-2 漁獲係数と管理目標(A)(B)を達成する確率

齢別漁獲係数の平均F値	(A)	(B)
1.01 (F_{target})	100%	100%
1.26 (F_{limit})	47%	85%
1.27 ($F_{current}$)	39%	79%



補足図3-1 管理目標AとBの達成確率。目標Aは実線、目標Bは太線で表す。横軸は齢別漁獲係数の平均値(F値)。達成確率は補足表3-2を参照。

付表1. マアジ太平洋系群のコホート解析(後退法)

年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歳	170	211	204	70	420	317	108	140	466	750	375	867	558	556	672	489	320	335	398	847	249	295	414	274
1歳	57	56	68	84	135	200	194	144	210	244	287	233	507	348	403	372	322	264	190	187	200	266	274	282
2歳	7	16	10	16	20	18	35	50	32	31	51	30	35	47	53	56	44	21	71	45	47	44	35	30
3歳以上	1	5	3	5	4	4	6	4	4	10	32	15	5	3	5	5	8	5	11	13	25	7	5	5
計	236	287	285	175	579	541	342	338	712	1,035	746	1,145	1,105	955	1,132	921	694	625	671	1,091	520	612	727	488

年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歳	7	8	8	3	17	13	4	6	19	30	15	35	22	22	27	20	13	13	16	34	10	12	17	11
1歳	6	6	7	8	13	20	19	14	21	24	29	23	51	35	40	37	32	26	19	19	20	27	27	28
2歳	2	4	2	4	5	4	8	12	7	7	12	7	8	11	12	13	10	5	16	10	11	10	8	7
3歳以上	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	4	12	6	2	2	2	3	2	4	5	9	3	2	2
計	15	19	18	17	37	39	34	33	48	65	68	70	83	69	81	71	58	47	56	68	50	51	54	48

年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歳	406	499	544	470	1,107	1,043	697	924	1,353	1,699	1,118	2,381	1,669	1,818	1,858	1,459	1,336	1,119	1,104	1,691	1,037	1,085	1,302	986
1歳	120	114	139	172	230	344	386	339	452	458	447	385	769	578	670	604	504	561	418	359	366	435	429	467
2歳	20	28	25	31	38	35	53	83	93	110	88	47	52	72	80	93	76	55	134	106	72	67	57	47
3歳以上	4	8	6	9	8	9	9	6	12	36	56	23	8	5	7	8	14	14	22	30	38	11	7	8
計	550	649	714	681	1,384	1,432	1,144	1,351	1,910	2,303	1,708	2,837	2,498	2,473	2,614	2,163	1,930	1,749	1,678	2,186	1,513	1,598	1,795	1,508

年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歳	0.77	0.78	0.65	0.21	0.67	0.49	0.22	0.22	0.58	0.84	0.56	0.63	0.56	0.50	0.62	0.56	0.37	0.48	0.62	1.03	0.37	0.43	0.52	0.44
1歳	0.95	1.00	1.00	1.00	1.40	1.38	1.04	0.79	0.91	1.15	1.74	1.49	1.87	1.48	1.48	1.57	1.71	0.93	0.88	1.11	1.20	1.54	1.72	1.49
2歳	0.57	1.28	0.75	1.05	1.10	1.11	1.85	1.51	0.58	0.45	1.34	1.73	1.99	1.88	1.94	1.51	1.35	0.67	1.14	0.78	1.81	1.86	1.61	1.76
3歳以上	0.57	1.28	0.75	1.05	1.10	1.11	1.85	1.51	0.58	0.45	1.34	1.73	1.99	1.88	1.94	1.51	1.35	0.67	1.14	0.78	1.81	1.86	1.61	1.76
平均	0.72	1.08	0.79	0.83	1.06	1.02	1.24	1.01	0.66	0.72	1.25	1.39	1.60	1.44	1.49	1.28	1.19	0.69	0.94	0.93	1.30	1.42	1.37	1.36
漁獲割合	43%	47%	42%	36%	46%	44%	41%	36%	39%	43%	52%	46%	52%	46%	50%	50%	46%	39%	45%	49%	46%	48%	49%	48%

年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歳	16	20	22	19	44	42	28	37	54	68	45	95	67	73	74	58	53	45	44	68	41	43	52	39
1歳	12	11	14	17	23	34	39	34	45	46	45	39	77	58	67	60	50	56	42	36	37	44	43	47
2歳	5	6	6	7	9	8	12	19	21	25	20	11	12	17	18	21	18	13	31	24	17	15	13	11
3歳以上	2	3	2	3	3	4	3	2	5	14	21	9	3	2	3	3	5	5	8	11	14	4	3	3
計	34	41	44	46	79	88	82	92	125	153	131	153	159	149	162	143	127	119	125	139	109	106	111	100
親魚量	12	15	15	19	24	29	35	38	49	62	64	39	53	47	54	54	48	46	60	54	49	41	37	37
0歳尾数/親魚	33	33	36	25	27	36	20	24	28	27	17	61	31	38	34	27	28	24	18	31	21	26	35	27

* 年齢別平均体重は各年とも0歳魚が40g、1歳魚が100g、2歳魚が230g、3歳魚以上が380gとして計算した。

付表2-1. コホート解析の前進法によるABC算定

Flimit (=Fmed)	年齢		選択率		平均体重④		成熟割合	
	M	0	0.25	40	0	0.5	0	
		1	0.85	100	0.5			
RPSmed	26.7	2	1.00	230	1.0			
Rmax	2,381	3+	1.00	380	1.0			

Ftarget (=0.8Fmed)	年齢		選択率		平均体重④		成熟割合	
	M	0	0.25	40	0	0.5	0	
		1	0.85	100	0.5			
RPSmed	26.7	2	1.00	230	1.0			
Rmax	2,381	3+	1.00	380	1.0			

年齢別漁獲尾数(百万尾)											
年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
0歳	274	254	249	250	250	250	250	250	250	250	
1歳	282	225	225	224	224	224	224	224	224	224	
2歳	30	40	36	37	37	37	37	37	37	37	
3歳以上	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	
計	592	523	516	515	516	516	516	516	516	516	516

年齢別漁獲量(千トン)											
年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
0歳	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
1歳	28	23	23	22	22	22	22	22	22	22	
2歳	7	9	8	8	8	8	8	8	8	8	
3歳以上	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
計	48	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43

年齢別資源尾数(百万尾) R=RPSmed x SSB 但し SSB>89 では24億尾											
年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
0歳	986	963	953	955	954	955	955	955	955	955	
1歳	467	384	386	384	385	384	384	384	384	384	
2歳	47	64	58	59	59	59	59	59	59	59	
3歳以上	8	6	8	8	8	8	8	8	8	8	
計	1,508	1,417	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406	1,406

年齢別漁獲係数と漁獲割合											
年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
0歳	0.44	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	
1歳	1.49	1.40	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	
2歳	1.76	1.65	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	
3歳以上	1.76	1.65	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	
平均	1.36	1.27	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	
漁獲割合(%)	48	46	46	46	46	46	46	46	46	46	

2001-2005年の平均											
年齢別資源量と親魚量(千トン)											
年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
0歳	39	39	38	38	38	38	38	38	38	38	
1歳	47	38	39	38	38	38	38	38	38	38	
2歳	11	15	13	14	13	13	13	13	13	13	
3歳以上	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	
計	100	94	93	93	93	93	93	93	93	93	
親魚量	37	36	36	36	36	36	36	36	36	36	

年齢別漁獲尾数(百万尾)											
年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
0歳	274	254	207	249	290	339	397	465	518		
1歳	282	225	201	217	260	303	355	416	486		
2歳	30	40	33	44	48	57	66	78	91		
3歳以上	5	4	5	6	8	9	11	13	15		
計	592	523	446	516	606	709	830	971	1,110		

年齢別漁獲量(千トン)											
年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
0歳	11	10	8	10	12	14	16	19	21		
1歳	28	23	20	22	26	30	36	42	49		
2歳	7	9	8	10	11	13	15	18	21		
3歳以上	2	1	2	2	3	3	4	5	6		
計	48	43	38	44	52	60	71	83	96		

年齢別資源尾数(百万尾) R=RPSmed x SSB 但し SSB>89 では24億尾											
年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
0歳	986	963	953	1,144	1,331	1,560	1,826	2,137	2,381		
1歳	467	384	386	417	500	582	682	798	934		
2歳	47	64	58	78	84	101	117	137	160		
3歳以上	8	6	8	11	15	16	19	22	26		
計	1,508	1,417	1,406	1,650	1,930	2,259	2,644	3,095	3,502		

年齢別漁獲係数と漁獲割合											
年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
0歳	0.44	0.41	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
1歳	1.49	1.40	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	
2歳	1.76	1.65	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	
3歳以上	1.76	1.65	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	
平均	1.36	1.27	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	
漁獲割合(%)	48	46	40	40	40	40	40	40	40	40	

2001-2005年の平均											
年齢別資源量と親魚量(千トン)											
年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
0歳	39	39	38	46	53	62	73	85	95		
1歳	47	38	39	42	50	58	68	80	93		
2歳	11	15	13	18	19	23	27	32	37		
3歳以上	3	2	3	4	6	6	7	9	10		
計	100	94	93	109	128	150	175	205	236		
親魚量	37	36	36	43	50	58	68	80	94		

付表2-2. コホート解析の前進法による参考値算定

Fcurrent (= Fave-5yr)	1.65	年齢	選択率	平均体重(%)	成熟割合
M	0.5	0	0.25	40	0
		1	0.85	100	0.5
RPSmed	26.7	2	1.00	230	1.0
Rmax	2,381	3+	1.00	380	1.0

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
0歳	274	254	252	250	247	245	243	241	239
1歳	282	225	226	224	222	220	218	217	215
2歳	30	40	36	36	36	36	35	35	35
3歳以上	5	4	5	5	5	5	5	5	5
計	592	523	519	515	511	506	502	498	494

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
0歳	11	10	10	10	10	10	10	10	10
1歳	28	23	23	22	22	22	22	22	21
2歳	7	9	8	8	8	8	8	8	8
3歳以上	2	1	2	2	2	2	2	2	2
計	48	43	43	43	42	42	42	41	41

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
0歳	986	963	953	946	938	930	922	914	906
1歳	467	384	386	382	379	376	373	370	367
2歳	47	64	58	58	57	56	56	56	56
3歳以上	8	6	8	8	8	8	8	8	7
計	1,508	1,417	1,406	1,394	1,382	1,370	1,359	1,347	1,336

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
0歳	0.44	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
1歳	1.49	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
2歳	1.76	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
3歳以上	1.36	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
漁獲割合(%)	48	46	46	46	46	46	46	46	46

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
0歳	39	39	38	38	38	37	37	37	36
1歳	47	38	39	38	38	38	37	37	37
2歳	11	15	13	13	13	13	13	13	13
3歳以上	3	2	3	3	3	3	3	3	3
計	100	94	93	92	92	91	90	89	89
親魚量	37	36	36	35	35	35	35	34	34