

平成 18 年マイワシ対馬暖流系群の資源評価

責任担当水研：西海区水産研究所（大下誠二）

参画機関：日本海区水産研究所、青森県水産総合研究センター、秋田県農林水産技術センター水産振興センター、山形県水産試験場、新潟県水産海洋研究所、富山県水産試験場、石川県水産総合センター、福井県水産試験場、京都府立海洋センター、兵庫県立農林水産技術総合センター但馬水産技術センター、鳥取県水産試験場、島根県水産技術センター、山口県水産研究センター、福岡県水産海洋技術センター、佐賀県玄海水産振興センター、長崎県総合水産試験場、熊本県水産研究センター、鹿児島県水産技術開発センター

要 約

本資源は 1980 年代後半から 1990 年代前半に漁獲量が多く、その後は急激に減少した。2005 年の漁獲量は 29 百トン（速報値）であり、2001～2003 年の極めて低い水準（10 百～14 百トン）よりは増加している。参考として計算したコホート解析の結果、資源量は 1990 年代に急速に減少し、2001～2003 年に極めて低水準となったが、2004 年以降はやや上向いている。2005 年の資源量は 70 百トンと推定された。その他、産卵調査の卵豊度や各種調査船調査の結果などを総合的に判断し、資源は低位で動向は横ばいとした。再生産成功率は近年上向いているものの、産卵親魚量は依然として少ない。2005 年の資源量は B_{ban} （50 百トン）を超えているものの、2007 年の漁獲量は現状の漁獲量より少なくした方がよい。

（参考）

漁獲シナリオ （管理基準）	管理の考え方	2007 年 漁獲量 （百トン）	F 値	漁獲 割合 （%）	評価		
					A (%)	B	C
ABClimit	—	—	—	—	—	—	
ABCtarget	—	—	—	—	—	—	
現在の資源量 維持 （ F_{sus} ）	今後 5 年程度、 資源量を現在の 水準に維持 する。	—	—	—	—	—	
現在の漁獲圧 維持 （ $F_{current}$ ）	現在の漁獲圧 を維持する。	—	—	—	—	—	

本資源は B_{ban} （後述）を超えているとはいえ、極めて低い資源量で推移しているため、専獲は避け、混獲程度にとどめることが望ましい。 $F_{current}$ は 2005 年の F。

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： B_{ban} を 2007～2011 年で上回る確率、B：2007 年～2011 年の平均資源量（百トン）、C：2007～2011 年の平均漁獲量（百トン）。ここでは、いずれも 1 とした。

注 1：2005 年の資源量は B_{ban} を超えたものの、依然として資源は低水準であり、今後の加

入状況によっては資源が再び悪化する可能性もあるので、資源動向を慎重に監視する必要がある。

年	資源量 (百トン)	漁獲量 (百トン)	漁獲割合	F 値
2004	40	24	59	2.2
2005	70	29	41	1.4
2006	—	—	—	—

	指標	値	設定理由
Bban	資源量	50 百トン	近年の最低漁獲量から推定し、最低限 50 百トン (資源量) 以上にはすべき。
Blimit	未設定	—	—
2005 年	資源量	70 百トン	

Bban は、マイワシの漁獲量が多かった 1980 年代以前の最低漁獲量である 1965 年の漁獲量 (25 百トン) と近年の漁獲割合程度を勘案して決定した。

2005 年の資源量は、年齢別漁獲尾数の精度から考えて、参考値として扱うことが望ましい。

水準: 低位 動向: 横ばい

1. まえがき

マイワシは 1980 年代後半に日本周辺で最も多獲された魚であり、1988 年には約 450 万トンの漁獲量があった。対馬暖流域でも 1980 年代後半から 1990 年代前半にかけて 100 万トンを超える漁獲量があったが、近年では 1 万トン以下の漁獲量である。漁獲量の減少は連続した加入の失敗と、資源の高齢化にあったとされる。この連続した加入の失敗は人為的な影響というより、むしろ自然環境的な影響とされる (Watanabe et al. 1995)。

さらに、マイワシでは数十年規模の資源変動をすることが知られている (Klyashtorin 1998)。したがって、マイワシにとって環境が不適當なため、資源が低水準にとどまっている現在では、漁獲量規制による資源管理を行ったとしても、1980 年代後半のような高水準の資源に回復できるとは限らない。低水準期のマイワシの加入状況に合わせた資源管理を適切に行なうことにより産卵親魚量を増加させて、マイワシの資源回復期に備えることが必要である。

2. 生態

(1) 分布・回遊

日本周辺のマイワシには 4 つの系群 (太平洋・足摺・九州西岸・日本海) があるとされてきた (伊東 1961)。ところが、ミトコンドリア DNA を用いた日本周辺のマイワシの分析結果では、日本海および東シナ海に分布するマイワシ (対馬暖流系群) と、太平洋に分布するマイワシ (太平洋系群) とを分けられず (Okazaki et al. 1996)、資源が増えると二つの海域のマイワシは共に分布域が拡大するため 4 つの系群を想定すること (伊東 1961) は困難である。一方、漁獲の動向や漁況情報などから、日本海や東シナ海で産卵・孵化するマイワシが太平洋側に移動する割合は少ないと判断されるため、二つの海域に分けて管理する

ことは妥当と考える。

資源量の増減によって、分布域を拡大・縮小していると言われる日本海において、本資源の漁獲量が多かった年代には、沖合域に分布が見られたが(檜山 1998)、現在の漁場は沿岸域に限られる(図 1)。

マイワシの資源変動と九州周辺海域における産卵場の変化について、マイワシの資源水準が高い年代には南で、低い年代には北で産卵場が形成された(松岡・小西 2001)。



図 1 マイワシの分布図

(2) 年齢・成長

マイワシは資源状態により成長速度が異なり、資源水準が高いと成長が悪く、低いと成長がよくなる。対馬暖流系のマイワシの近年の成長は、成育場によるが、満 1 年で約 15cm、2 年で 18cm、3 年で 20cm 程度に達する(図 2)。

(3) 成熟・産卵生態

マイワシは資源が高い時には初回成熟年齢が上がり、低いときには初回成熟年齢が下がることが知られている。近年のようにきわめて低い資源水準のときには、1 歳魚から産卵に参加している。図 3 に年齢別成熟率を示した。

(4) 被捕食関係

食性は、仔魚期には動物プランクトンを捕食し、成魚期には珪藻などの植物プランクトンを主体にしている。仔魚期には、動物プランクトンのほか魚類に捕食され、成魚期には魚類の他ほ乳類や海鳥類に捕食される。

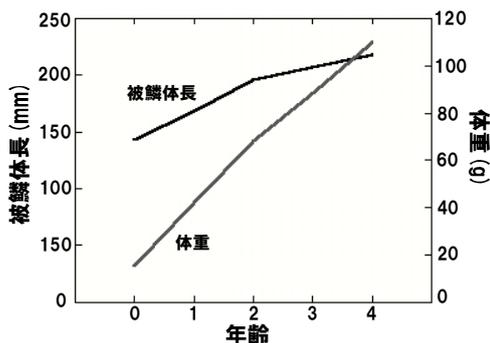


図 2 マイワシの成長

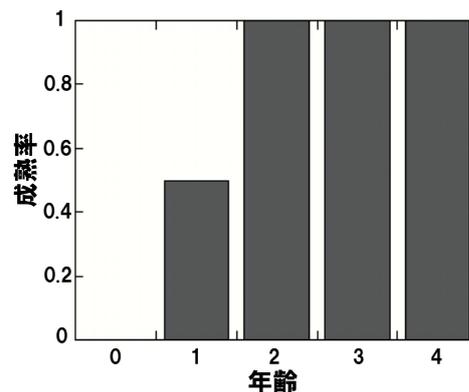


図 3 年齢別成熟率

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

日本周辺では、マイワシは古くから漁獲されていることが知られている。マイワシの漁

獲量は 1930 年代および 1980 年代に増加した。対馬暖流域では、マイワシはまき網や定置網などで漁獲される。資源が高水準の時はまき網による漁獲がほとんどであったが、資源が低水準の近年ではまき網の主要な漁獲対象魚となっていない。

(2) 漁獲量の推移

対馬暖流域でのマイワシの漁獲量の推移を図 4 に示した。日本海北区(青森県～石川県)、日本海西区(福井県～山口県)および東シナ海区(福岡県～鹿児島県)におけるマイワシの総漁獲量は 1986 年に 100 万トンを超え、1991 年までずっと 100 万トン以上の漁獲量であったが、その後急速に減少し、1999 年には 41 千トン、2000 年には 79 百トン、2001 年には 11 百トン、2002 年には 13 百トン、2003 年には 9 百トンであった。2004 年の漁獲量は 22 百トン、2005 年の漁獲量は 29 百トンであった(速報値)。

対馬暖流域では、日本の他に韓国もマイワシを漁獲しており、かつてはロシアによる漁獲もあった。韓国の漁獲量は 1999 年に 17 千トン、2000 年には 22 百トン、2001 年には 1 百トン、2002 年および 2003 年はほとんど漁獲されなかったが、2004 年には 2 百トンの漁獲があった。2005 年は 46 トンであった。ロシアの漁獲量は 1991 年まで 20 万トンを超えてたが、1992 年には 7 万トンとなり、それ以後の漁獲はないと思われる。表 1 に対馬暖流域におけるマイワシの漁獲量を示した。

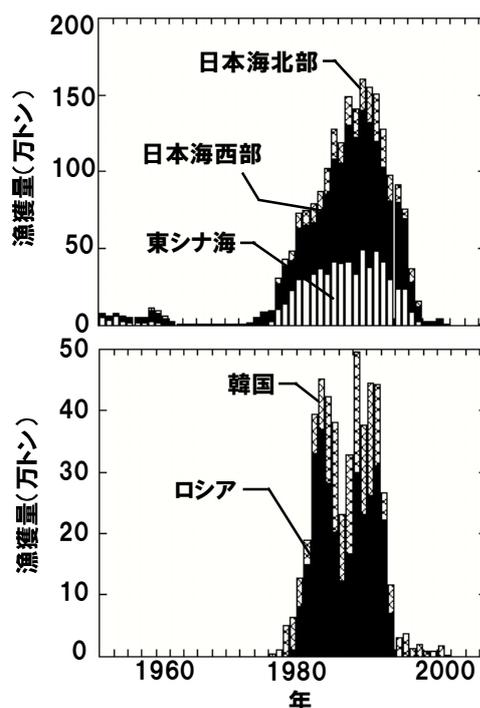


図 4 マイワシ対馬暖流系群の漁獲量
上：日本、下：韓国とロシア

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

資源量調査は次の調査から成る。(1) 卵稚仔調査による卵豊度の推定、(2) 新規加入量調査、(3) 地先における標本船調査、(4) 月別の漁獲量・生物測定データからのコホート解析である。なお、コホート解析においては、資源水準が極めて低いために漁獲量の推定精度が悪く、測定個体数も極めて少ないために、資源量の推定精度は高いと言えない。そのため資源の増減の経年変動傾向をみること、および推定された資源量が B_{ban} 以下かどうかをみるための参考として取り扱うこととする。

(2) 資源量指標値の推移

九州西岸および日本海で実施された卵稚仔調査の結果を図 5 に示した。本資源の卵豊度

は減少しており、2001年には日本海および東シナ海ではまったく卵が採集されなかった。2002年以降には、2001年に比べるとわずかながら増加したものの、依然として極めて低い状態にある。

島根県浜田市の中型まき網によるマイワシのCPUE(kg/日)では、1996年および1999年に若干CPUEが高かったものの、2000年以降2005年までは非常に低い水準で推移した。

(3) 漁獲物の年齢組成

月別の漁獲量・体長組成および鱗などの年齢形質を用いて、1978年～2003年の年齢別漁獲尾数を推定した(図6)。1990年代後半以降、マイワシの高齢魚はほとんど漁獲されていない。また、2005年の漁獲物の大半は0歳魚であった。

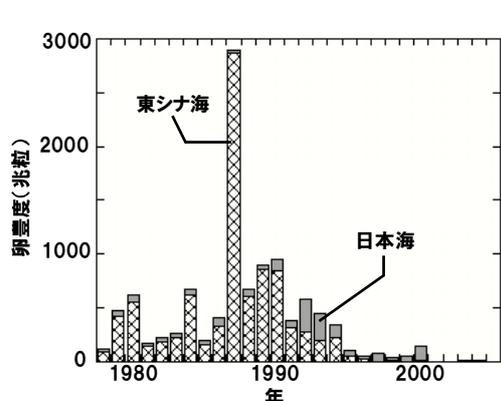


図5 マイワシの卵豊度の経年変化

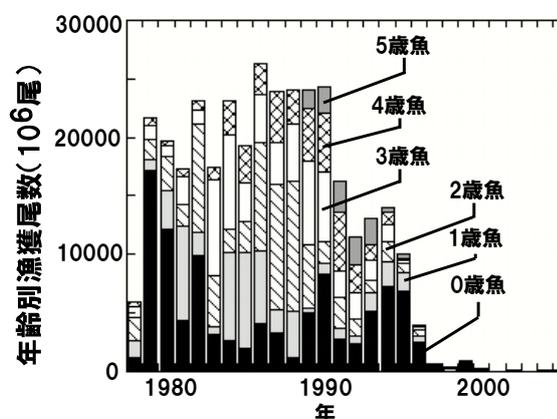


図6 年齢別漁獲尾数

(4) 資源量の推移

卵稚仔調査によって得られた卵豊度を見ると(図5、付表4)、2001年以降極めて少ない水準で推移している。島根県地先の中型まき網は近年においてマイワシを漁獲しておらず、その他の調査船調査による資源調査においてもマイワシはほとんど漁獲されていない。そのため、資源は極めて低位と判断される。なお、参考として試算したコホート解析においても、2005年の資源量はBban(後述、資源量50百トン)に近い70百トンと推定された。

(5) 資源の水準・動向の判断

コホート解析(参考)による資源量推定および各種調査・CPUEなどから資源水準は極めて低位と判断される。資源の動向も、2005年の漁獲量は2004年よりも増加したものの、コホート解析で推定される資源量の5年間の推移から横ばいと判断する。

5. 資源管理の方策

(1) 再生産関係

卵豊度がほとんどないことから、産卵親魚量は極めて低位と判断される。参考として計算したコホート解析の試算による産卵親魚量と加入尾数との関係を示した（図7）。2005年には、産卵親魚量が13百トンと極めて少ないために、加入してくる0歳魚の量も資源を急激に増加させるほどではない。

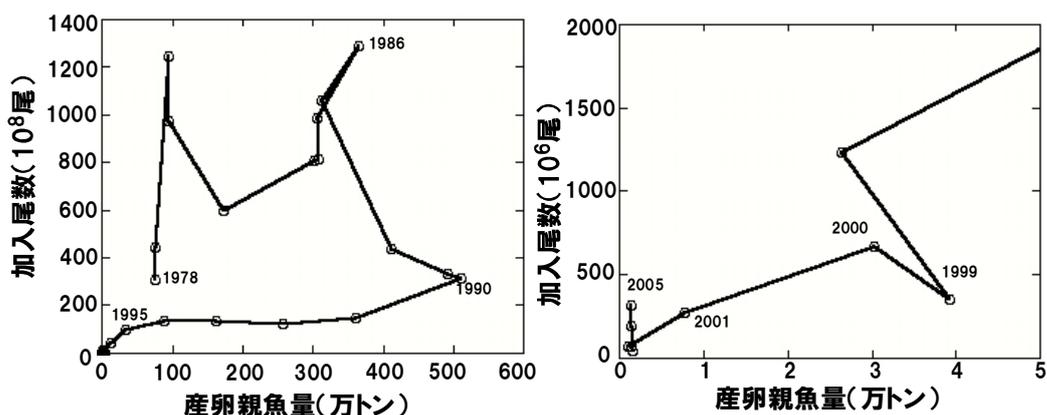


図7 マイワシの再生産関係

左：全解析期間、右：近年の解析期間

(2) 今後の加入量の見積もり

近年は産卵調査で得られるマイワシの卵や仔魚も少なく、またコホート解析（参考）で試算された産卵親魚量も極めて少ないことから、今後すぐに1980年代のように加入が増加するとは言えない。ただし、2004年・2005年は、最低の資源水準であった過去数年に比較してやや加入が良い状態である。

(3) 漁獲圧と資源動向

資源が極めて低水準で、動向は横ばいの現状では、現在の漁獲圧を下げる必要がある。

(4) 漁獲制御方法

日本周辺のマイワシは1990年代後半に漁獲量・資源量とも急激に減少した。その要因は加入の連続的な失敗によるものとされる(Watanabe et al. 1995)。太平洋側では卵豊度も高く、仔魚の栄養状態も良かったにも関わらず、未成魚期以降の加入が悪かったことも知られている。したがって、人為的な影響というよりもむしろ自然環境的な要因によって資源が減少したと考えられている。現在は、産卵親魚が減少したことと、未成魚以上への加入が悪いことから資源が急速に好転する可能性は低い。マイワシ資源の大きな変動が漁獲圧によるものではないとしても、現状のような資源が極めて低い水準では、一時的に形成される漁場で集中的な漁獲圧をかけることは適当ではないと判断する。極めて低水準の状況下でなるべく資源を保護し、加入量を増加させなければならない。

Blimitは現在のように資源が極めて低水準では設定できない。ABClimitおよびABCtarget

は現状の漁獲量よりも引き下げ、2004年以降の加入の上向きを助けるべきである。

なお、禁漁の目安となる Bban について次のような理由から資源量で 50 百トンとした。1980 年代にマイワシ資源が高水準となったので、それ以前の最低漁獲量である 1965 年の 25 百トン水準の資源量は最低限度確保しなければならない。当時の資源量は年齢別漁獲尾数などが未整備なため不明であるが、資源が低位である近年の漁獲割合（50%程度）が近いと考えると、資源量は 50 百トン程度となる。

なお参考値としてコホート解析した結果によると 2005 年の資源量は 70 百トンであり、Bban をやや上回った。2005 年の漁獲量は 29 百トンであり、1965 年の水準とほぼ同じである。

6. 2007 年 ABC の算定

(1) 資源評価のまとめ

2005 年の資源量はコホート計算により 70 百トン（参考値）と計算され、これは Bban をやや上回る水準である。ちなみに 2001 年～2004 年までは Bban 以下の資源量であった。Bban をやや上回ったとはいえ、依然として卵豊度は低水準であり、各種調査結果でもマイワシの資源は極めて低位である。

(2) ABC の設定

当面の Bban を資源量 50 百トンと設定した場合、2005 年の資源量（参考値）は Bban に近い値である（70 百トン）。近年は再生産成功率がやや増加傾向にあるが、資源量推定の誤差も考慮して、コホート解析の結果は参考値として扱う。マイワシ資源は環境変動により大きく増減すると考えられるが、現状のように極めて低水準では、一時的に漁場形成が出来た場合などに集中してマイワシを漁獲することは適当ではない。

したがって、マイワシは専獲を避け混獲程度の漁獲にすることが望ましい。

	2007 年 ABC	資源管理基準	F 値	漁獲割合
ABClimit	—	—	—	—
ABCtarget	—	—	—	—

参考として計算された資源量は Bban の近くにあり、今後の加入如何によっては再び Bban を下回ることも想定される。したがって、資源の推移を慎重に見守る必要がある。

なお、参考として計算したコホート解析を用い、近年 10 年間の再生産成功率の平均値程度の加入をみこんだ場合、 F_{sus} は $1.1 \times F_{current}$ である。

(3) 管理の考え方と許容漁獲量

近年の再生産成功率は高い水準にあるものの、産卵親魚量が極端に少ないために加入量が多くない状況である。2011 年に Bban を下回る確率を低くするためには現状の漁獲圧を下げ、漁獲量も 2005 年以上にすべきではない。

(4) ABC の再評価 (参考値)

評価対象年 (当初・再評価)	管理基準	資源量 (トン)	ABClimit	ABCtarget	漁獲量	管理目標
2005年(当初)	—	560	混獲程度	同左	—	資源量回復
2005年(2005年 再評価)	—	8750	混獲程度	同左	—	資源量回復
2005年(2006年 再評価)	—	7005	混獲程度	同左	2,910	資源量回復
2006年(当初)	—	8934	混獲程度	同左	—	資源量回復
2006年(2006年 再評価)	—	7884	—	—	—	資源量回復

7. ABC 以外の管理方策への提言

漁獲を控え、未成魚が増加していると判断される場合でも、成魚まで漁獲を待ち、産卵親魚量を増加させるべきである。

8. コホート解析によるマイワシの資源量 (参考)

(1) 漁獲物の年齢構成

月別の漁獲量・体長組成および鱗などの年齢形質を用いて、1978年～2005年の年齢別漁獲尾数を推定した(図6)。1990年代後半以降、マイワシの高齢魚はほとんど漁獲されておらず、2005年の漁獲物も大半は2歳魚以下であった。

(2) 資源量の推移

図8にM=0.4の時の資源量と漁獲割合およびFの経年変化を示した。漁獲量と同様に資源量も1990年代に急激に減少し、2001年以降は1万トンを下回っている。2005年の資源量は70百トン(2004年40百トン)と推定された。付表1に年齢別漁獲尾数、F値および年齢別資源尾数を示した。近年のF値および漁獲割合が高くなっているのは、資源水準に関係なくMを一定にしていることや、測定された個体数が少なく年齢別漁獲尾数の推定に問題があるためと判断された。

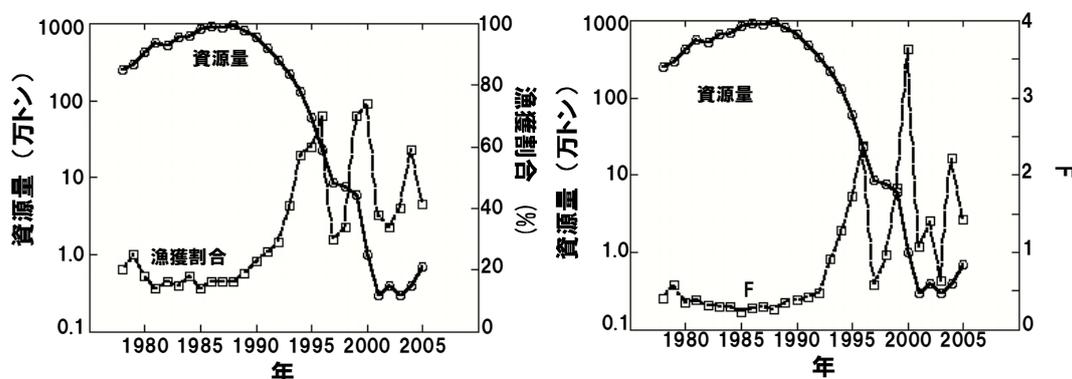


図8 マイワシの資源量と漁獲割合およびFとの関係

左：資源量と漁獲割合、右：資源量とF

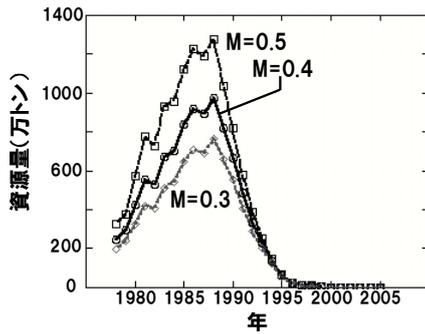


図9 Mを変化させたときの資源量の違い

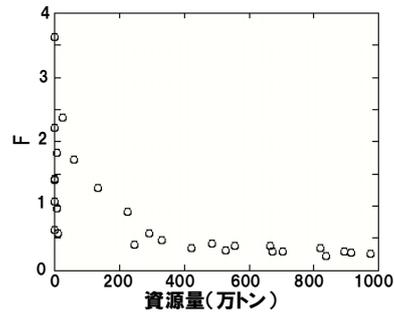


図10 資源量とFとの関係

これらの問題点があるものの、本報告では以後コホート解析結果が正しいと仮定して計算を進める。図9にMを0.3と0.5のときの資源量の変化を示した。全ての場合において、計算される2005年の資源量は極めて少なかった。図10にFと資源量との関係を示した。資源量が下がるほどFは高い傾向にあった。

(3) 再生産関係

図7に再生産関係について示した。1978~1986年までと、1990年以降では親子関係の傾きが異なっていることが推定された。

(4) 今後の加入量の見積もり

図11に再生産成功率（加入尾数÷産卵親魚量）の推移を示した。近年では、再生産成功率がやや高めで推移しており、0歳魚以上の生き残りがよければ、徐々に親魚量が増加する。

資源が高水準であった1980年代後半までは、対馬暖流域の水温の偏差は低めで経過していたが、1980年代後半以降には高めで推移した。この結果、産卵期や産卵場、輸送状態などが変化し、日本海沖合域へ仔稚魚が加入できなくなったことと、日本海において植物プランクトンの量が1990年代に減少したことから、マイワシの資源への加入量が急速に減少

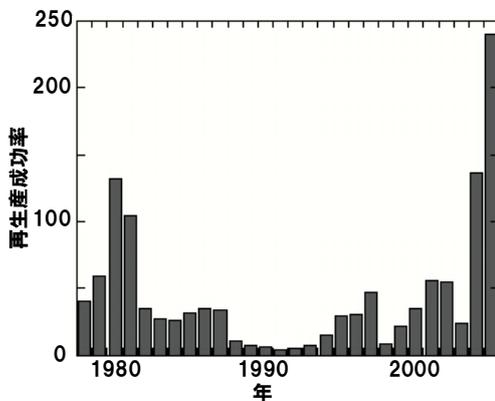


図11 再生産成功率の推移

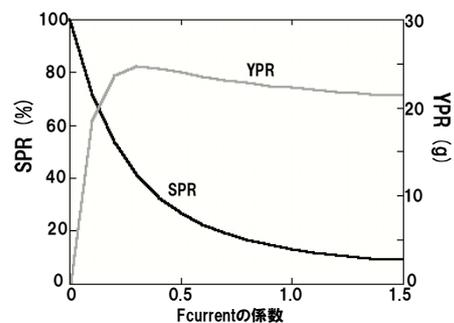


図12 SPR・YPRとFとの関係

した。現在は、産卵親魚量が極端に少なく、マイワシにとって不適な環境が継続しているため、資源を増加させるだけの加入水準をもった年級群が現れていない。

(5) 加入当たり漁獲量

図 12 に%SPR・YPR と F との関係を示した。2005 年の F(1.4) は、資源水準が低位にあるマイワシにとってやや高い F であると考えられる。

(6) 漁獲圧と資源動向

2006 年以降の加入を近年 10 年間の再生産成功率の平均値で推移すると仮定した場合、2006 年の推定資源量が維持される F (Fsus) は $1.1 \times F_{current}$ である (図 13)。

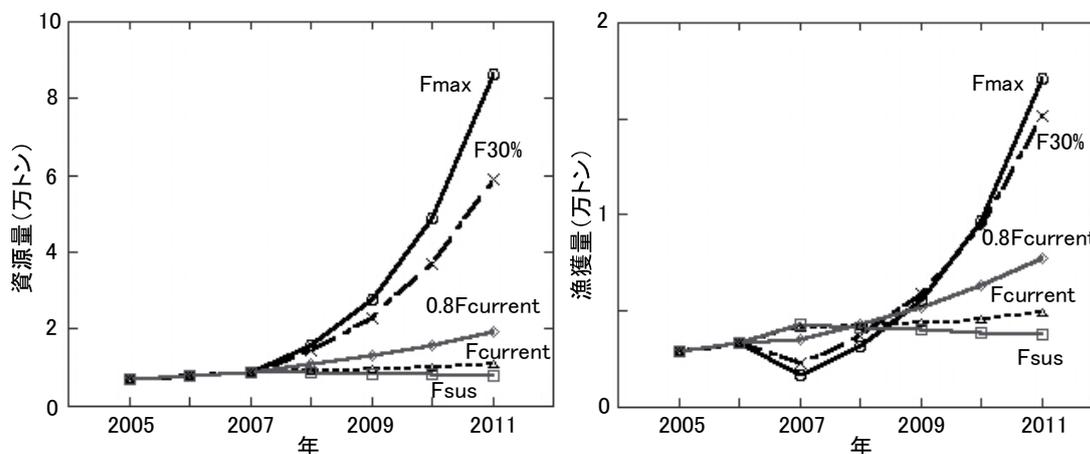


図 13 近年 10 年間の平均再生産成功率の下での資源量 (左) と漁獲量 (右)

Fcurrent に対して漁獲圧をさまざまに抑制した場合の資源量と漁獲量の推移

年	資源量 (万トン)					漁獲量 (百トン)				
	2007	2008	2009	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011
全面禁漁	0.9	2.1	4.8	10.9	24.9	0	0	0	0	0
0.1Fcurrent	0.9	1.9	4.0	8.4	17.7	6	14	28	60	125
0.2Fcurrent	0.9	1.8	3.4	6.6	12.8	12	24	45	88	170
0.3Fcurrent	0.9	1.6	2.9	5.2	9.2	16	31	54	97	174
0.4Fcurrent	0.9	1.5	2.5	4.1	6.7	21	36	58	97	160
0.6Fcurrent	0.9	1.3	1.8	2.5	3.6	29	41	58	83	117
0.8Fcurrent	0.9	1.1	1.3	1.6	2.0	35	43	52	64	78
Fcurrent	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	41	42	44	47	49
1.1Fcurrent	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	43	41	40	39	38
Fmax	0.9	1.6	2.8	4.9	8.7	17	32	55	98	172
F30%	0.9	1.4	2.3	3.7	5.9	23	37	59	95	152

ただし再生産成功率は近年 10 年間の平均値の場合。

(7)不確実性を考慮した検討

過去 10 年間の再生産成功率が 2005 年以降ランダムに現れると仮定した上で 1000 回シミュレーションを実施し、 $F_{current}$ 、 $0.8 \times F_{current}$ 、 $F_{30\%}$ および F_{max} で漁獲した場合に、2007 年から 2011 年までに B_{ban} を上回る確率を図 14 に示した。現状の漁獲圧 ($F_{current}$) では上回る確率は 60%であるが、やや漁獲圧を抑えた場合 ($0.8 \times F_{current}$) では

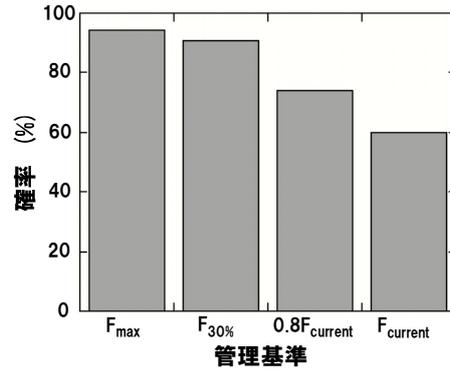


図 14 再生産成功率がランダムに生じた時に 2011 年までに B_{ban} を上回る確率

74%、 $F_{30\%}$ および F_{max} では 90%以上の確率で上回ることが推定された。なお、 ABC_{limit} および ABC_{target} は $F_{30\%}$ および F_{max} よりもさらに漁獲圧を抑えることとなる。

引用文献

- 檜山義明(1998) 対馬暖流域での回遊範囲と成長速度. マイワシの資源変動と生態変化(渡邊良朗・和田時夫編), 恒星社厚生閣, pp. 35-44.
- 伊東祐方(1961) 日本近海におけるマイワシの漁業生物学的研究. 日本海水研報告, 9, 1-227.
- Klyashtorin, L.B. (1998) Long-term climate change and main commercial fish production in the Atlantic and Pacific. Fish. Res., 37: 115-125.
- 松岡正信・小西芳信(2001) 1979 年~1995 年の九州周辺海域におけるマイワシの産卵量と分布. 水産海洋研究, 65, 67-73.
- Okazaki, T. Kobayashi, T. and Uotani, Y. (1996) Genetic relationships of pilchards (genus: *Sardinops*) with anti-tropical distribution. Mar. Biol., 126, 585-590.
- 水産総合研究センター(2004) 東シナ海・日本海のいわし類の現在. PP1-20.
- 田中昌一(1960) 水産生物の population dynamics と漁業資源管理. 東海水研報告., 28, 1-200.
- Watanabe, Y. Zenitani, H. and Kimura, R. (1995) Population decline of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus* owing to the recruitment failures. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52, 1609-1616.

表1 マイワシ漁獲量（トン）

年	日本海北区	日本海西区	東シナ海 区	韓国	ロシア	対馬暖流域 (日本)
1970	179	1,597	920			
1971	198	2,743	789			
1972	1266	11,346	1,065			
1973	4,314	40,445	2,040			
1974	4,690	76,103	5,860			
1975	7,369	62,811	26,026	3,555		96,206
1976	34,208	169,550	105,513	11,154		309,271
1977	38,969	251,281	138,293	50,299		428,543
1978	61,741	197,330	227,949	53,829	10,000	376,821
1979	93,076	331,824	302,106	47,177	80,000	556,473
1980	96,231	357,381	297,247	38,82	150,000	584,705
1981	119,609	337,312	334,563	63,068	330,000	579,058
1982	131,612	367,215	369,921	81,985	370,000	615,751
1983	162,189	524,465	329,865	139,763	282,000	726,956
1984	192,311	670,558	414,665	177,896	202,000	927,244
1985	138,342	648,313	404,333	107,776	122,000	890,763
1986	185,734	888,432	411,979	160,725	168,000	1,165,057
1987	193,123	886,097	333,071	194,352	300,000	1,148,202
1988	205,550	912,040	488,015	145,870	230,000	1,279,266
1989	230,432	937,632	378,405	182,540	262,000	1,283,914
1990	311,020	712,208	481,751	132,924	310,000	1,210,034
1991	248,910	619,080	412,622	44,531	221,000	1,100,690
1992	166,058	509,009	299,672	46,511	70,000	979,039
1993	117,717	564,318	234,651	31,285		903,315
1994	62,094	458,789	237,191	36,707		724,650
1995	81,852	196,697	87,295	13,539		401,018
1996	37,335	96,026	22,247	18,560		158,679
1997	8,634	13,568	4,151	9,041		37,080
1998	3,952	16,104	5,239	7,595		27,288
1999	6,987	30,722	3,696	17,142		41,953
2000	2,700	3,277	1,784	2,207		7,920
2001	110	243	664	129		1,138
2002	807	401	83	8		1,291
2003	545	300	234	18		1,097
2004	630	881	678	245		2,434
2005	368	2,062	434	49		2,913

ただし、日本海西区・北区および東シナ海区は属人統計である。

対馬暖流域（日本）の値は、属人統計から道東などで漁獲した値を引いた値である。

補注1 マイワシの資源量の計算

1 Pope の式を用いた資源尾数の計算

2005年の最高齢魚(4+歳魚)の資源尾数と漁獲尾数を、それぞれ $N_{4+,2005}$ および $C_{4+,2005}$ としたときに、4+歳魚の資源尾数を漁獲係数($F_{4+,2005}$)と自然死亡係数(M)から次の式を用いて計算した。

$$N_{4+,2005} = \frac{C_{4+,2005} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{(1 - \exp(-F_{4+,2005}))}$$

0～2歳魚の資源尾数の計算には次の式を用いた。

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

この時の漁獲係数 F は次の式で計算できる。

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

ただし、 a および y はそれぞれ年齢と年である。1989年～1998年までの最高年齢(5+歳魚)と4歳魚の資源尾数の計算については次の計算式を用いた。なお、1978年～1988年および1999年～2002年までの4+歳魚と3歳魚の関係も同様の式である。

$$N_{5+,y} = C_{5+,y} \times \frac{N_{4,y}}{C_{4,y}}$$

$$N_{4,y} = \frac{C_{4,y} \times N_{5+,y+1} \times \exp(M)}{(C_{5+,y} + C_{4,y})} + C_{4,y} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)$$

なお、1998年の3歳魚と4歳魚の資源尾数 $N_{3,1998}$ および $N_{4,1998}$ は次の式で推定した。

$$N_{3,1998} = \frac{C_{3,1998} \times N_{4+,1998} \times \exp(M)}{(C_{3,1998} + C_{4,1998} + C_{5+,1998})} + C_{3,1998} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)$$

$$N_{4,1998} = C_{4,1998} \times \frac{N_{3,1998}}{C_{3,1998}}$$

2005年の0～3歳魚の F は2000年～2004年の各年齢の F の平均値とした。最高年齢とその一歳若い年齢の F は同じとし、 $F_{4+,2005}$ と $F_{3,2005}$ が同じ値となるように $F_{4+,2005}$ を決めた。

2 チューニング VPA の計算

チューニングの指標として日本海および東シナ海におけるマイワシの卵豊度を用いた。チューニングの期間としてマイワシ資源の減少期である1988年以降について解析するのが

妥当と判断した。y年における卵豊度と加入尾数および親魚量を、それぞれ Egg_y と R_y および SSB_y としたときに以下の式が最小となるように2005年のFを変化させ、以下の3つの組み合わせの中から最も妥当と思われる値を用いることとした（後述）。

$$\text{最小} \sum_{y=1988}^{2005} \{\ln(q_1 R_y) - \ln(Egg_y)\}^2$$

$$\text{最小} \sum_{y=1988}^{2005} \{\ln(q_2 SSB_y) - \ln(Egg_y)\}^2$$

$$\text{最小} \sum_{y=1988}^{2005} \{\ln(q_1 R_y) - \ln(Egg_y)\}^2 + \sum_{t=1988}^{2005} \{\ln(q_2 SSB_y) - \ln(Egg_y)\}^2$$

ただし、qは係数であり、解析的に次式により求めることができる。

$$q_1 = \left(\frac{\prod_{y=1988}^{2005} Egg_y}{\prod_{y=1988}^{2005} R_y} \right)^{\frac{1}{17}}$$

$$q_2 = \left(\frac{\prod_{y=1988}^{2005} Egg_y}{\prod_{y=1988}^{2005} SSB_y} \right)^{\frac{1}{17}}$$

ただし、卵豊度が0であった2001年の値は除外した。

付録結果 チューニングをしたそれぞれの結果

組み合わせ	2005年資源量	2005年F	2005年漁獲割合
卵豊度と加入尾数	—	—	—
卵豊度と親魚量	18.3	0.4	16
卵豊度と加入尾数・親魚量	3.7	6.2	80
チューニングなし	7.0	1.4	41

ただし資源量・漁獲割合の単位は、千トンと%。卵豊度と加入尾数の組み合わせでは値が収束しない。

ここでは、3つのチューニングした結果とチューニングしない場合の結果から、1) 卵豊度と親魚量でチューニングした結果を用いる、もしくは2) チューニングしない場合の結果を用いることのどちらが良いかを判断する。1)の場合だと $F_{current}$ の漁獲圧の下で将来予測は楽観的となり、2)の場合だと $0.8F_{current}$ で現状の資源量維持である。資源が低水準の現在では、2)のほうを採用することがより予防的な観点から適切と判断した。2006年に1歳魚以上が多く漁獲されてきたら、今後は1)の場合を検討しABCを「—」から変更することもあり得る。

3 将来予測

将来予測は、チューニングを行った後に行った。2006 年以降の年齢別の漁獲尾数は次の式を用いて推定した。

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

ただし、4+歳魚の資源尾数については、次の式を用いた。

$$N_{4+,y+1} = (N_{3,y} + N_{4+,y}) \times \exp(-F_{3,y} - M)$$

2006 年以降の 1 歳魚以上の資源尾数は次の式を用いて推定した。

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

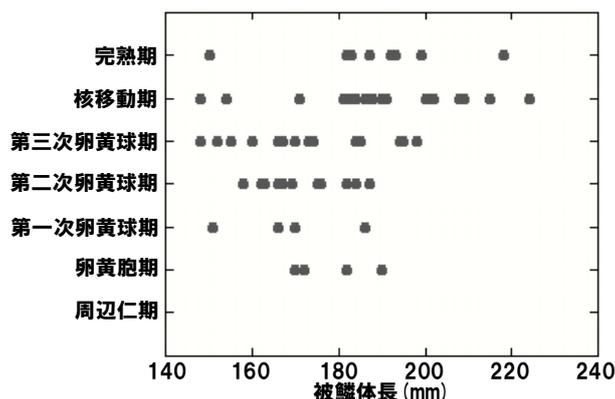
ここで各年齢の F は 2005 年の F の選択率が 2006 年以降も続くと仮定した。

なお、自然死亡係数 M は田内・田中の式(田中 1960)により 0.4 を用いた。

補注 2 マイワシの年齢別成熟割合の変更について

昨年度まで 1 歳魚の成熟割合を 0.25 としていたものについて、今年度から 0.5 に引き上げた。これについて補足説明を行う。マイワシの成熟特性について、特に資源量の水準との関わりが多く論議されてきた(例えば森本 1998)。一般には、資源水準が低いと成熟年齢が若齢化し、高いと高齢化するとされる。

マイワシ対馬暖流系群でも、1978 年から 1993 年までの 1 歳魚の成熟割合を 0、1994 年以降は 0.25 と仮定して産卵親魚量の計算を行ってきた。近年(2000 年以降)の成熟特性について組織標本を元に再度検討を行い、被鱗体長と卵巣の成熟段階との関わりをみると(参考図 1)、満 1 歳魚と想定している被鱗体長 150mm 程度で確実に産卵を行う核移動期以降の卵母細胞を持つ卵巣が観察された。観察個体数が少ないので、成熟割合を正確に導くことは困難であるが、昨年度までの 0.25 よりも多いと判断し、2000 年以降について太平洋系群と同じ 0.5 とすることが妥当と考えた。



参考図 1 被鱗体長と成熟段階との関係

森本晴之 (1998) 成熟. マイワシの資源変動と生態変化 (渡邊良朗・和田時夫編), 水産学シリーズ 119, 45-53.

付表1 コホート解析のための年齢別漁獲尾数と計算された年齢別資源尾数とFおよびパラメーター

付表1 マイワシの年齢別漁獲尾数 (10⁶尾)

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
0	1223	17118	12077	4390	9885	3135	2669	2001	4082	3249	1162	5004	8300	2810
1	1433	955	3326	8019	1960	721	7537	8141	6258	1961	3911	371	899	905
2	1943	1691	2921	1855	9286	4332	1890	2667	9265	10699	11124	5423	1853	2635
3	953	1282	1018	2364	1212	8197	8088	3321	3987	3673	4943	7213	6009	2210
4	386	579	313	684	822	1013	2906	3209	2647	4276	2946	4460	5020	4980
5+												1573	2251	2644

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0	2325	5126	7293	6828	2496	375	11	501	190	15	28	9	106	125
1	725	1593	2131	1556	505	118	228	153	22	11	6	10	11	19
2	1399	1050	1717	791	538	59	87	116	21	5	6	10	7	2
3	2255	1726	1428	312	302	30	20	74	11	1	0	1	3	1
4	2423	1265	1049	162	70	3	9	5	17	0	0	0	1	0
5+	2333	2280	361	312	28	1	4							

付表2 推定されたF

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
0	0.05	0.63	0.13	0.06	0.22	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.20	0.39	0.27
1	0.16	0.06	0.30	0.14	0.04	0.03	0.20	0.21	0.13	0.03	0.07	0.02	0.06	0.08
2	0.48	0.36	0.34	0.34	0.31	0.14	0.12	0.12	0.51	0.42	0.29	0.17	0.13	0.33
3	0.67	0.94	0.50	0.68	0.49	0.65	0.56	0.39	0.34	0.50	0.44	0.39	0.36	0.28
4	0.67	0.94	0.50	0.68	0.49	0.65	0.56	0.39	0.34	0.50	0.44	0.64	0.69	0.78
5+												0.64	0.69	0.78

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0	0.27	0.62	1.09	2.08	1.52	0.46	0.04	2.51	1.94	0.30	0.64	0.31	1.06	0.67
1	0.13	0.38	0.76	1.00	1.50	0.29	0.77	1.75	1.32	0.59	0.25	0.59	1.25	0.70
2	0.22	0.35	1.32	0.99	2.16	0.94	0.47	2.11	3.16	2.09	1.18	1.10	1.75	1.34
3	0.69	0.59	1.86	1.35	3.16	1.01	1.51	1.39	5.86	1.20	2.48	0.59	3.53	2.20
4	0.77	1.77	1.33	2.46	2.98	0.37	1.51	1.39	5.86	1.20	2.48	0.59	3.53	2.20
5+	0.77	1.77	1.33	2.46	2.98	0.37	1.51							

付表3 推定された資源尾数 (10⁶尾)

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
0	30649	44602	124482	97524	60024	80463	81102	98740	128911	105948	43400	33287	31227	14473
1	11905	19544	15883	73554	61778	32142	51369	52179	64549	83070	68359	28140	18216	14136
2	6209	6807	12319	7923	42739	39806	20955	28263	28311	38145	54077	42620	18559	11474
3	2396	2571	3179	5866	3792	21047	23136	12499	16761	11392	16810	27142	24129	10923
4	971	1161	978	1696	2574	2602	8312	12079	11128	13264	10019	11524	12288	11255
5+												4064	5510	5977

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0	12120	13571	13395	9523	3899	1233	351	666	272	65	72	38	196	312
1	7401	6221	4900	3008	794	570	520	226	36	26	32	26	19	46
2	8735	4368	2865	1540	742	119	285	161	26	6	10	17	10	4
3	5534	4710	2068	515	385	57	31	120	13	1	1	2	4	1
4	5513	1864	1743	217	90	11	14	8	21	0.07	0.2	0.04	0.8	0.09
5+	5309	3359	599	416	36	4	7							

付表4 日本海および東シナ海の卵豊度(兆粒)の推移

年	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1988	1989	1990	1991	1992	1993
日本海	28.3	53.3	72.0	25.3	36.6	42.3	54.3	47.6	74.5	20.0	56.5	40.1	101.7	76.8	298.8
東シナ海	89.4	414.4	547.1	145.1	187.8	222.6	614.9	151.3	327.1	2872.8	609.4	856.0	849.4	308.7	281.3

年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
日本海	126.1	60.0	37.8	73.6	17.7	41.5	129.7	0.0	0.4	0.9	5.3	0.8			
東シナ海	220.6	47.0	19.1	1.7	13.3	3.2	7.2	0.0	0.4	7.0	0.4	0.6	0.1		

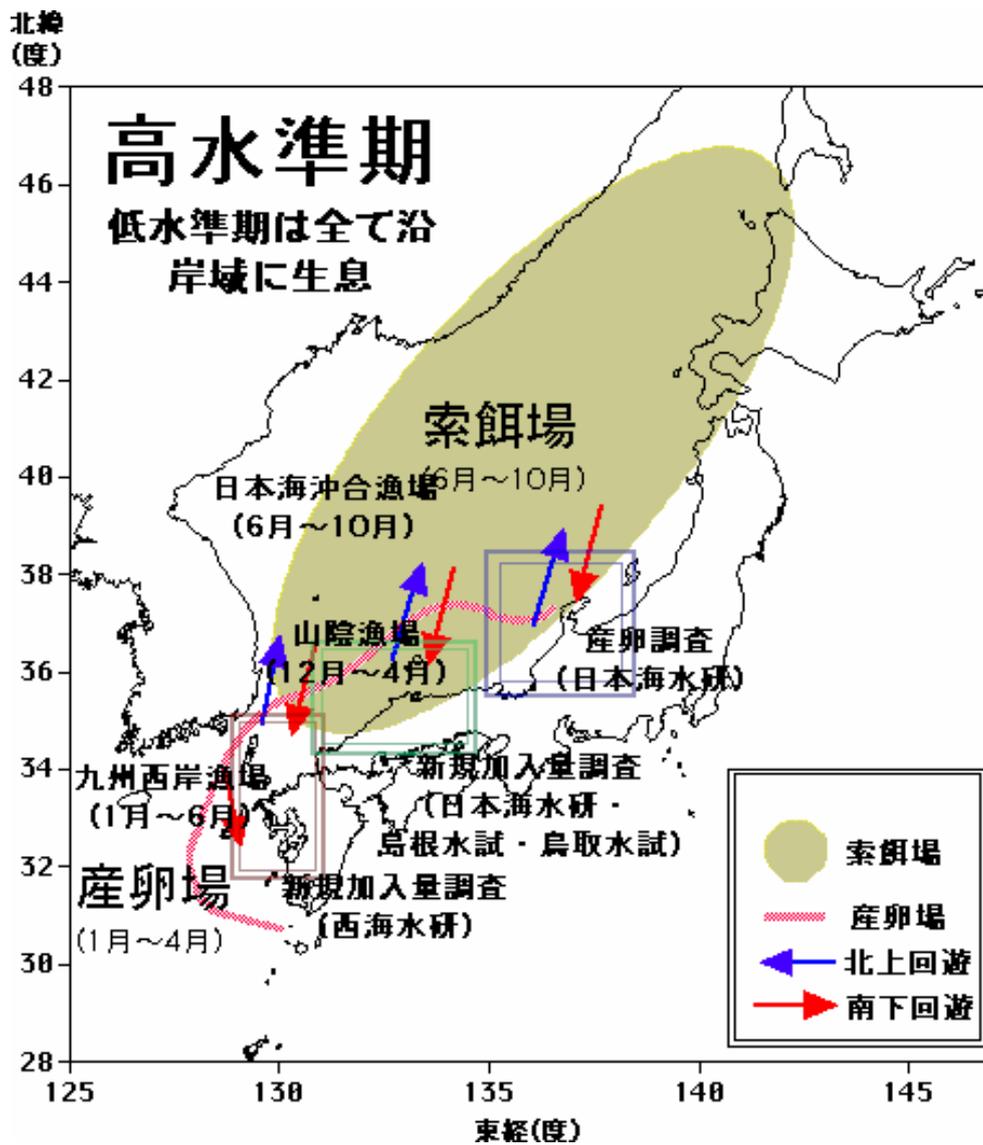
付表5 コホート解析により推定された資源量(万トン)、漁獲割合(%)、Fおよび再生産成功率(尾/kg)

年	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
資源量	247	293	422	557	528	672	704	838	916	894	975	819	667	484
漁獲割合	20	25	18	14	16	15	18	14	16	16	16	19	23	26
F	0.4	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
再生産成功率	40	59	132	104	35	27	26	32	35	34	11	7	6	4

年	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
資源量	331	225	133	61	22	9	8	6	1	0.3	0.4	0.3	0.4	0.7
漁獲割合	29	41	57	60	70	30	34	70	74	38	34	40	59	41
F	0.5	0.9	1.3	1.7	2.4	0.6	1.0	1.8	3.6	1.1	1.4	0.6	2.2	1.4
再生産成功率	5	8	15	29	31	47	9	22	35	56	55	24	136	240

付表6 年別の漁業種類別漁獲量(トン)

年	大中まき網	中小まき網	刺網	棒受網	定置網	その他
1990	970,946	222,795	386	20,616	88,742	804
1991	840,449	173,101	133	5,076	64,053	552
1992	626,615	210,619	275	7,223	86,985	114
1993	634,117	195,611	337	14,004	69,252	529
1994	475,666	203,710	180	16,190	59,626	549
1995	149,447	129,110	185	4,906	22,530	298
1996	59,203	57,369	130	2,596	12,177	108
1997	11,285	8,913	110	970	5,034	85
1998	2,982	18,055	49	568	2,429	112
1999	5,931	26,806	72	523	4,551	44
2000	3,904	2,089	62	418	1,803	52
2001	308	72	3	248	321	47
2002	134	35	0	228	552	26
2003	110	267	61	0	635	6
2004	143	1137	86	0	803	19



付図1 マイワシの漁場形成と調査図