

平成 17 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、島根県水産試験場、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、その後急速に減少した。2004 年の漁獲量は 22 百トン（速報値）であり、2001 年～2003 年における漁獲量（10 百トン～14 百トン）よりは増加した。コホート解析の結果、対馬暖流系マイワシの資源量は 1990 年代に急速に減少し、2001 年～2003 年には極めて低い水準にあった。2004 年の資源量は Bban 水準（資源量 5 千トン）をやや上回る 68 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と合わせて、資源は依然として低い水準と判断された。ただし再生産成功率（加入尾数÷親魚重量）は高く、2004 年の加入尾数は近年では多い。2004 年の漁獲量および資源量は 2003 年よりも増加しているが、Bban（資源量＝5 千トン）に近いので現状の漁獲量よりは低くしたほうが良い。

2006 年 ABC	資源管理基準	F 値	漁獲割合
ABClimit			
ABCtarget			

資源量が減少しており、早急な資源管理が必要である。ただし、2004 年の資源量は昨年設定した Bban（資源量＝5 千トン）を超えており、近年 10 年間の平均的な RPS で加入すると仮定しても 2006 年は Bban をやや超える（約 8 千トン）。Bban を超えたとはいえ、資源が低水準であることは間違いなく、ABC は今後の加入状況によっては再び Bban を下回る可能性もあるため、ABClimit 及び ABCtarget は「 」とし、「専獲を避け混獲程度」とする。

（参考）

管理の考え方	管理基準	2006 年漁獲量	評価
漁獲を減らして資源の回復を図る。	$0.4 \times C_{2004}$	9 百トン	参考として計算したコホート解析では $0.15 \times F_{\text{current}}$ に相当し、1000 回のシミュレーションにより Bban を下回るのは約 0% である。
現状の資源量を維持する。	F _{sus}	23 百トン	参考として計算したコホート解析では $0.75 \times$

			F _{current} に相当し、1000 回のシミュレーションにより B _{ban} を下回るのは約 10%である。
現状の漁獲圧を継続する。	F _{current}	36 百トン	参考として計算したコホート解析では、1000 回のシミュレーションにより B _{ban} を下回るのは約 40%である。

注：資源状態は依然として悪く、資源量推定のための年齢別漁獲尾数などは必ずしも正確ではないため、上記の値は参考値として扱うほうが良い。

注 2：2004 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。

注 3：近年の 10 年間の RPS をランダムに発生させることを 1000 回シミュレーションした。

注 4：参考値 9 百トンは、近年の全体の漁獲量に対する定置網の割合（約 4 割）から求めた。

B_{ban} 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。

年	資源量（百トン）	漁獲量（百トン）	漁獲割合	F 値
2003		11		
2004		24		

韓国の漁獲量を含む。

	指標	値	設定理由
B _{ban}	資源量	5 千トン	2001 年以降、過去最低の漁獲量より下回っていた。平成 16 年はやや漁獲量が増加したものの、当面の目標として最低限 5 千トン（資源量）以上にはすべき。
B _{limit}	未設定		
2004 年	資源量	68 百トン	

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であるとの論文がある (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当なため、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。ただし、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、近年のミトコンドリア DNA の分析結果によると、日本周辺のマイワシを系群に分けるのは困難であるとされる(Okazaki et al. 1996)。ここでは、便宜的に東シナ海と日本海に分布するマイワシを対馬暖流系群として取り扱った。

マイワシは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、日本海においてもその現象が認められている(檜山 1998)。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、現在の漁場は沿岸域に限られ、沖合域に分布するかどうかは不明である(図 1)。

松岡・小西(2001)は、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報告しており、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。

(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

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。

(5) 生活史・漁場形成

付図 1 に漁場形成の様式と調査海域を示した。

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、マイワシはまき網漁業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 78 百トン、2001 年には 1 千トン、2002 年には 13 百トン、2003 年には 1 千トンであった。2004 年は 2003 年よりも多く、漁獲量は 22 百トンであった。

対馬暖流域では、日本の他に韓国、ロシアもマイワシを漁獲しており、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。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。

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なる。(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にし、および推定された資源量が Bban 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。コホート解析には韓国の漁獲量も含めて計算した。

(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。

新規加入量調査は 2000 年から始められ、各県地先の棒受網や定置網での漁獲量および漁獲サイズを収集している。

島根県浜田市の中型まき網によるマイワシの CPUE(トン/日)をみると(図 6)、1996 年および 1999 年に若干 CPUE が高かったものの、2000 年以降は非常に低い水準で推移した。2004 年も高い水準とは言えない。

(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 7)。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ない。また、2004 年の漁獲物の大半は 2 歳魚以下であった。

(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 年以降極めて低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資源量はBban（後述、資源量5千トン）に近い68百トンと推定された。

(5) 資源の水準・動向

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、2004年の漁獲量は2003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。参考までに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8）。2004年には、産卵親魚量が19百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。

(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) 漁獲制御方法の提案

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かかわらず、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好転する可能性は低い。このような状況下で、漁獲量規制により直ちに資源を大幅に増加させることは不可能であるが、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5千トンとした。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5千トン程度となる。

なお参考値としてコホート解析した結果によると2004年の資源量は68百トンであり、Bbanとして設定した5千トンをやや上回った。2004年の漁獲量は24百トンであり、1965年の水準とほぼ同じであることも、資源はBban水準であることを裏付ける。

6. 2006年ABCの算定

(1) 資源評価のまとめ

2004 年の資源量はコホート計算により 68 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～2003 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 算定

当面の Bban を資源量 5 千トンと設定した場合、2004 年の資源量（参考値）は Bban に近い値である（68 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、少なくとも現在の漁獲量より下げ資源の回復を助けるべきと判断する。ここでは、コホート解析の結果は参考値として扱い、ABC 算定のための基本規則 2-1) を採用する。

$$ABC_{limit} = C_{2004} \times \gamma$$

$$ABC_{target} = ABC_{limit} \times \alpha$$

γ は係数で資源量の指標値の変動を参考にして算定する。ここでは、資源量は Bban をわずかに超えているとはいえ、資源は依然として低水準であるので、近年の全体の漁獲量に対する定置網の漁獲量の割合（4 割）を γ とした。ただし 2004 年級群の評価がまだ定まっておらず Bban をわずかに超えた資源量であるので、この値も参考値として取り扱う。そのため ABC_{limit} は「 」とし、今後の加入の状況を見守ることとする。 α は予防的措置のために用いられる係数であり、加入が今後減少する可能性も否定できないことから、 ABC_{target} は「専獲を避け混獲程度」とする。

	2006 年 ABC	資源管理基準	F 値	漁獲割合
ABC_{limit}				
ABC_{target}				

ちなみに、 $0.4 \times C_{2004}$ とすると、9 百トンが ABC_{limit} となる。

なお、定置網の漁獲割合を考慮して提示する 2006 年の ABC_{limit} (=9 百トン) となる F は、参考として計算したコホート計算によると $0.15 \times F_{current}$ に相当し、現状の漁獲圧よりかなり抑制したものである。

(3)管理の考え方と許容漁獲量

近年の RPS 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。2010 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 2004 年以上にすべきではない。

(4)ABC の再評価

評価対象年 (当初・再評価)	管理基準	資源量(トン)	ABC_{limit}	ABC_{target}	漁獲量	管理目標
2004 年(当初)		1,275	混獲程度	同左		資源量回復
2004 年(2004 年 再評価)		899	混獲程度	同左		資源量回復
2004 年(2005 年)		6,824	混獲程度	同左	2,434	資源量回復

再評価)						
2005 年(当初)		560	混獲程度	同左		資源量回復
2005 年(2005 年再評価)		8,750				資源量回復

ただし 2004 年の漁獲量（2434 トンは日韓両国を足した値）である。

また、2005 年再評価の計算方法を昨年までと変更した。変更は、昨年までは産卵親魚量と RPS が評価の次の年からかかると仮定していたものを、今年から評価の次の年を評価時点の漁獲実績をみこんで仮定したことである。今年の再評価方法に従うと、2005 年（当初）は 34 百トンと推定された。2005 年（当初）と 2005 年（2005 年再評価）の差が 2 倍以上なのは、1) 2004 年級群が過去 3 年よりも大きいこと、2) RPS が高めで推移していることが主な原因である。

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～2004 年の年齢別漁獲尾数を推定した(図 7)。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ない。また、2003 年の漁獲物の大半は 2 歳魚以下であった。

(2) 資源量の推移

図 9 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。2004 年の資源量は 68 百トン（2003 年 27 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。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ができていないものと仮定して計算を進める。図 10 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 2004 年の資源量は極めて少なかった。図 11 に F と産卵親魚量との関係を示した。産卵親魚量が下がるほど F は高い傾向にあった。

(3) 再生産関係

(4) 今後の加入量の見積もり

図 12 に RPS（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、RPS 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、徐々に産卵親魚量が増加すると思われる。

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

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 13 に%SPR・YPR と F との関係を示した。2004 年の F(0.73)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 RPS 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 (F_{sus}) は $0.75 \times F_{current}$ ($=0.54$) である (図 14)。下に $F_{current}$ に対して漁獲圧をさまざまに抑制した場合の 2006 年以降の資源量の推移を示した

$F_{current}$ 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 (千トン)					漁獲量 (百トン)				
	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	2010
全面禁漁	9	17	31	55	100	0	0	0	0	0
0.1 $F_{current}$	9	16	28	46	79	5	7	14	22	39
0.2 $F_{current}$	9	15	24	38	62	10	13	24	36	40
0.3 $F_{current}$	9	14	22	32	49	14	18	31	44	69
0.4 $F_{current}$	9	13	19	27	39	18	22	35	47	70
0.6 $F_{current}$	9	11	15	19	24	25	27	39	47	62
0.8 $F_{current}$	9	10	12	13	16	31	30	38	41	49
$F_{current}$	9	9	9	10	10	36	31	36	34	37
F_{max}	9	15	25	40	66	9	12	22	33	59
F30%SPR	9	15	23	36	58	11	15	26	39	63

ただし RPS 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 RPS 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、 $F_{current}$ (現状の漁獲係数) と、 $0.5 \times F_{current}$ で漁獲した場合の資源量の平均値と上下限 5% の範囲を図 16 に示した。 $F_{current}$ では資源は今後も減少する。 $0.5 \times F_{current}$ では、資源は増加し 2010 年に B_{ban} を下回る確率は約 5% である。なお、参考として示した ABClimit ($=9$ 百トン) は $0.15 \times F_{current}$ に相当し 2010 年に B_{ban} を下回る確率は 0% である。

9. 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
1970	179	1,597	920			2,696
1971	198	2,743	789			3,730
1972	1266	11,346	1,065			13,677
1973	4,314	40,445	2,040			46,799
1974	4,690	76,103	5,860			86,653
1975	7,369	62,811	26,026	3,555		99,761
1976	34,208	169,550	105,513	11,154		320,425
1977	38,969	251,281	138,293	50,299		478,842
1978	61,741	197,330	227,949	53,829	10,000	550,849
1979	93,076	331,824	302,106	47,177	80,000	854,183
1980	96,231	357,381	297,247	38,82	150,000	939,141
1981	119,609	337,312	334,563	63,068	330,000	1,184,552
1982	131,612	367,215	369,921	81,985	370,000	1,320,733
1983	162,189	524,465	329,865	139,763	282,000	1,438,282
1984	192,311	670,558	414,665	177,896	202,000	1,657,430
1985	138,342	648,313	404,333	107,776	122,000	1,420,764
1986	185,734	888,432	411,979	160,725	168,000	1,814,870
1987	193,123	886,097	333,071	194,352	300,000	1,906,643
1988	205,550	912,040	488,015	145,870	230,000	1,981,475
1989	230,432	937,632	378,405	182,540	262,000	1,991,009
1990	311,020	712,208	481,751	132,924	310,000	1,947,903
1991	248,910	619,080	412,622	44,531	221,000	1,546,143
1992	166,058	509,009	299,672	46,511	70,000	1,091,250
1993	117,717	564,318	234,651	31,285		947,971
1994	62,094	458,789	237,191	36,707		794,781
1995	81,852	196,697	87,295	13,539		379,383
1996	37,335	96,026	22,247	18,560		174,168
1997	8,634	13,568	4,151	9,041		35,394
1998	3,952	16,104	5,239	7,595		32,890
1999	6,987	30,722	3,696	17,142		58,547
2000	2,700	3,277	1,784	2,207		9,968
2001	110	243	664	128		1,145
2002	955	401	83	8		1,447
2003	545	300	234			1,079
2004	630	881	678	245		2,434

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。

対馬暖流域の値は、属人統計から道東などで漁獲した値を引いた値と韓国・ロシアの漁獲量を足したものである。

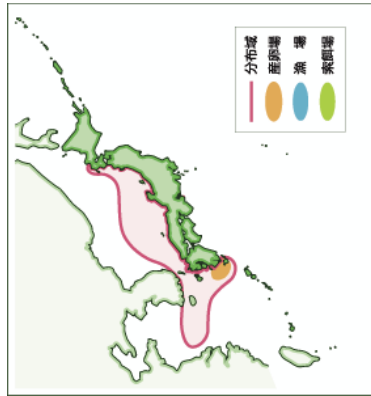


図1 マイワシの分布図

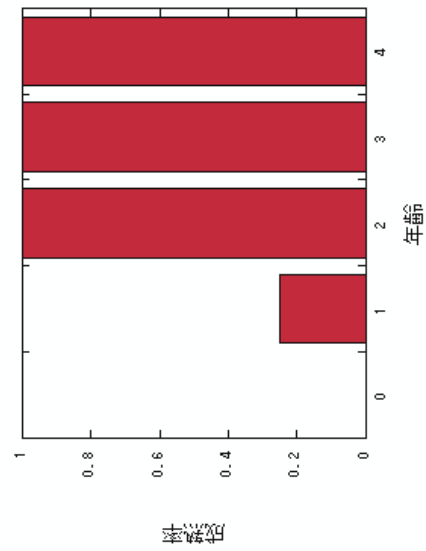


図3 マイワシの年齢と成熟率

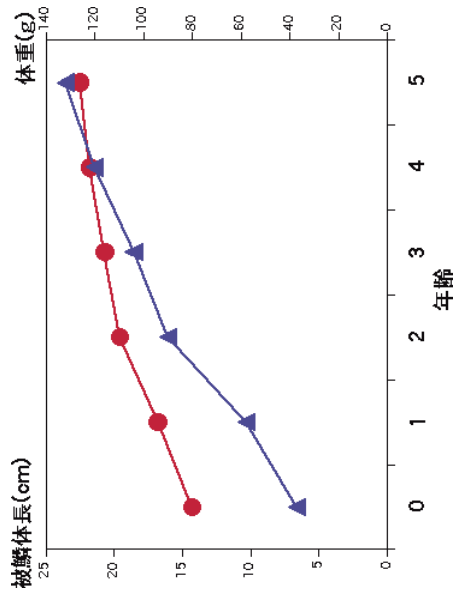


図2 年齢別の体長および体重

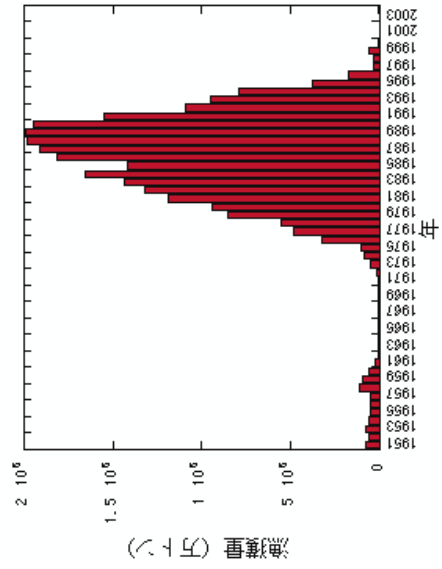


図4 マイワシの漁獲量
日本・韓国・ロシアを含む対馬暖流域

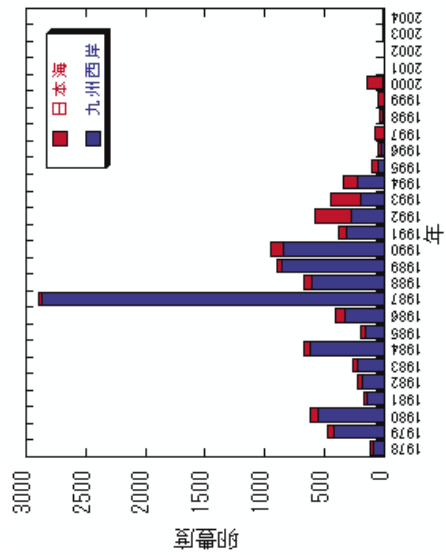


図5 日本海 (赤)・九州西岸 (青) におけるマイワシの卵豊度

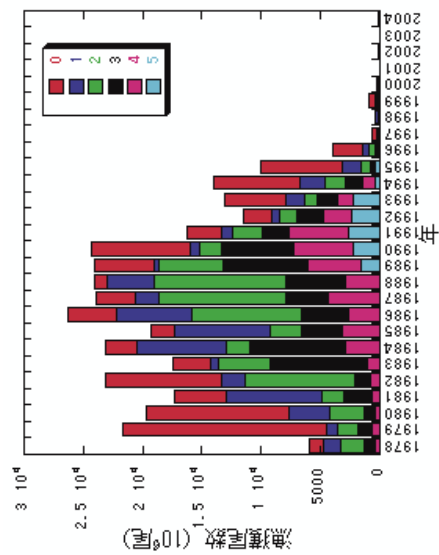


図 7-1 マイワシの年齢別漁獲尾数

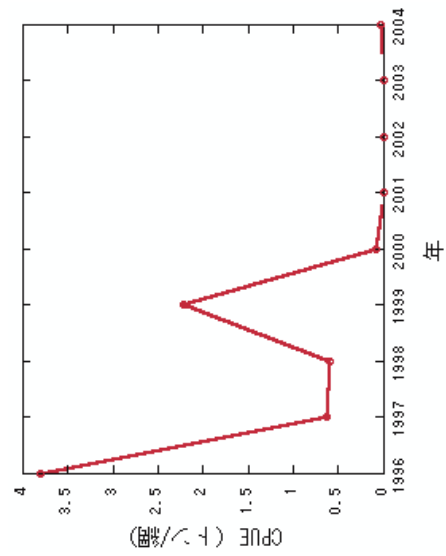


図 6 島根県中型まき網によるマイワシの CPUE

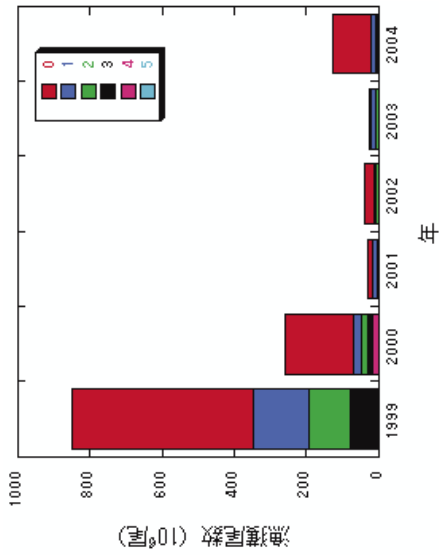


図 7-2 近年のマイワシの年齢別漁獲尾数

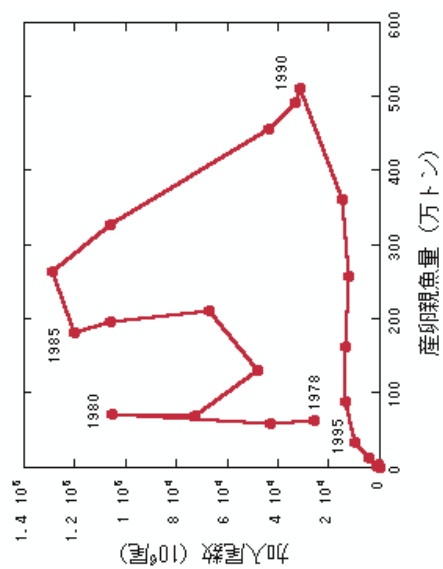


図 8-1 マイワシの産卵親魚量と加入尾数

図 8-2 近年のマイワシの産卵親魚量と加入尾数 (両対数)

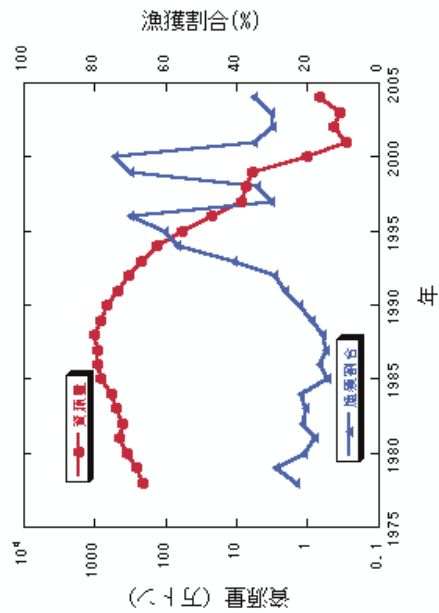
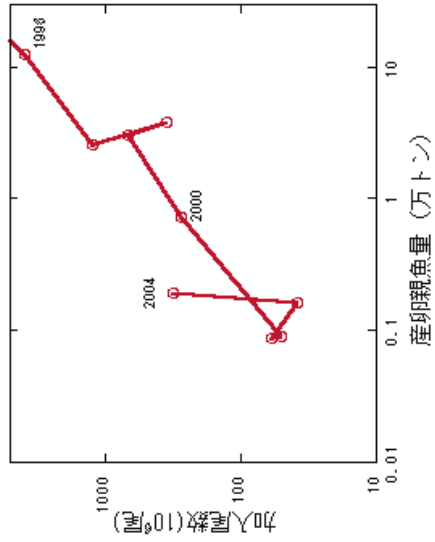
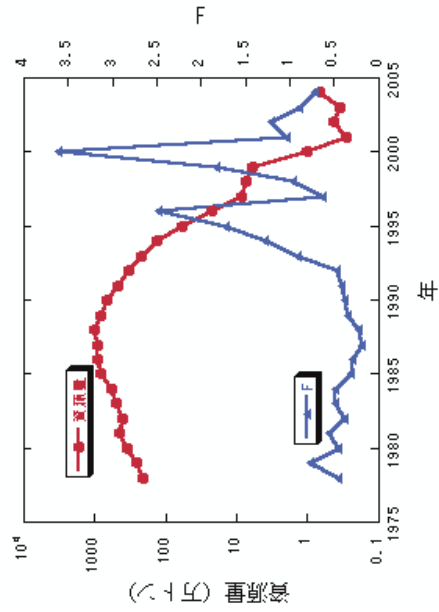


図 9 左：マイワシの資源量と漁獲割合の推移



右：資源量とFの推移

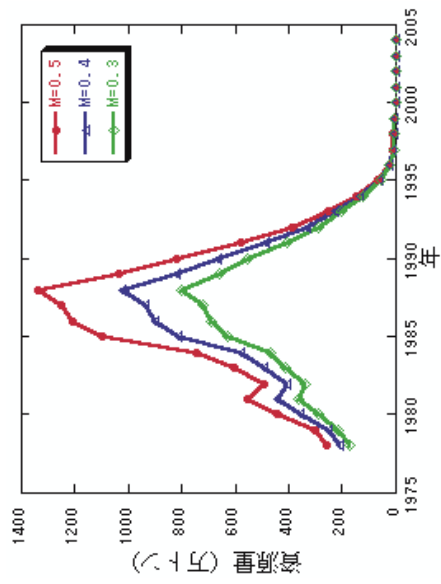


図 10 M を変化させた時の資源量の違い

▲ : 0.5、● : 0.4、◆ : 0.3

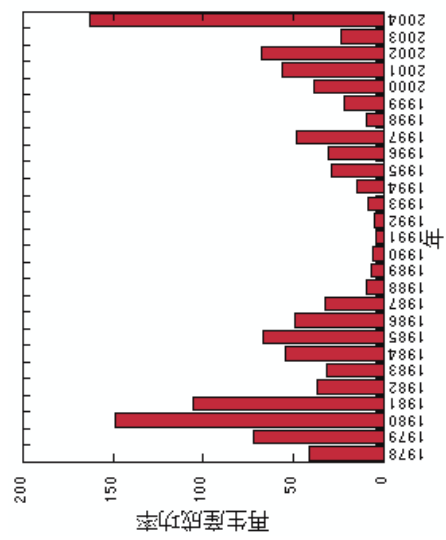


図 12 RPS の推移

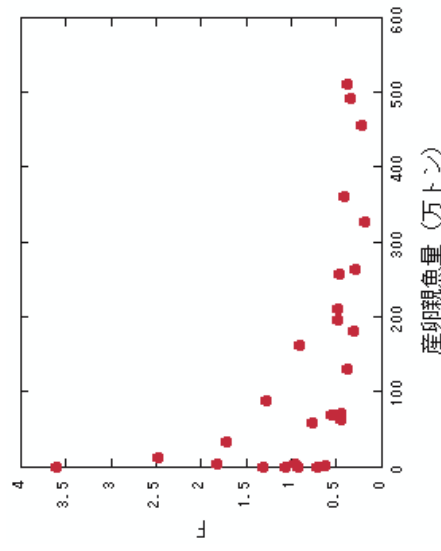


図 11 産卵親魚量と F との関係

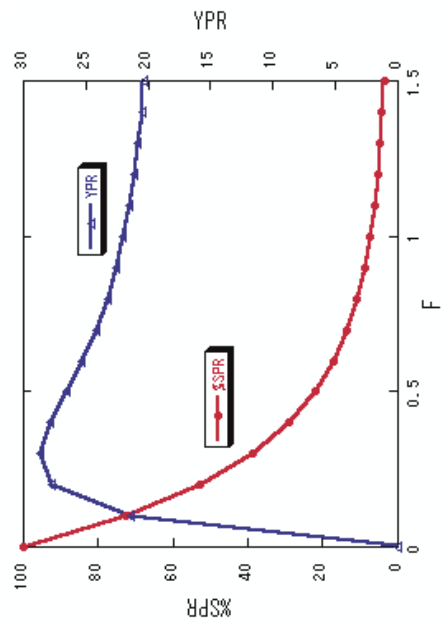


図 13 %SPR・YPR と F の関係

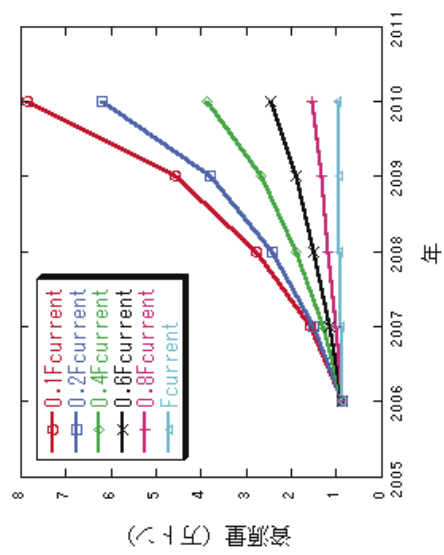


図 14 F を変化させたときの資源量の推移

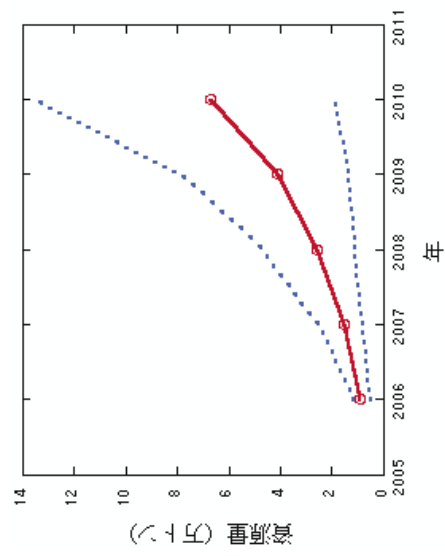
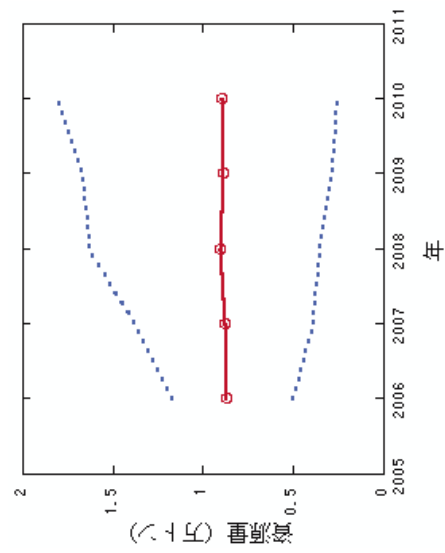


図 15 Fcurrent、 $0.15 \times F_{current}$ の場合で漁獲したときの資源量の変化

左:Fcurrent、右: $0.15 \times F_{current}$ で 1000 回のシミュレーションを行い、平均値と上下限 10%の値を示した。

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

2004 年の最高齢魚(4+歳魚)の資源尾数と漁獲尾数を、それぞれ $N_{2004, 4+}$ および $C_{2004, 4+}$ としたときに、4+歳魚の資源尾数を漁獲係数($F_{2004, 4+}$)と自然死亡係数(M)から次の式を用いて計算した。

$$N_{2004, 4+} = \frac{C_{2004, 4+} \times \exp(\frac{M}{2})}{(1 - \exp(-F_{2004, 4+}))}$$

0～2 歳魚の資源尾数の計算には次の式を用いた。

$$N_{t, age} = N_{t+1, age+1} \times \exp(M) + C_{t, age} \times \exp(\frac{M}{2})$$

この時の漁獲係数 F は次の式で計算できる。

$$F_{t, age} = \ln \left\{ 1 + \frac{C_{t, age} \times \exp(\frac{M}{2})}{N_{t, age}} \right\}$$

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、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。

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

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

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

$$N = \frac{C_{1998, 3} \times N_{1999, 4+} \times \exp(M)}{(C_{1998, 3} + C_{1998, 4} + C_{1998, 5+})} + C_{1998, 3} \times \exp(\frac{M}{2})$$

2004 年の 0～3 歳魚の F は 2001 年～2003 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、 $F_{2004, 4+}$ と $F_{2004, 3}$ が同じ値となるように $F_{2004, 4+}$ 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。卵豊度と加入尾数との関係を参考図 1 に示した。 t 年における卵豊度と加入尾数を、それぞれ Egg_t と R_t としたときに次式が最小となるように 2004 年の F を変化させた。このとき、年齢別の F の選択率は 1 で求めたものと同じである。

$$\text{最小} \sum_{t=1998}^{2004} \{\ln(qR_t) - \ln(Egg_t)\}^2$$

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。

$$q = \left(\frac{\prod_{t=1988}^{2004} Egg_t}{\prod_{t=1988}^{2004} R_t} \right)^{\frac{1}{17}}$$

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。2004 年以降の年齢別の漁獲尾数は次の式を用いて推定した。

$$C_{t,age} = N_{t,age} (1 - \exp(-F_{t,age})) \times \exp(-\frac{M_{age}}{2})$$

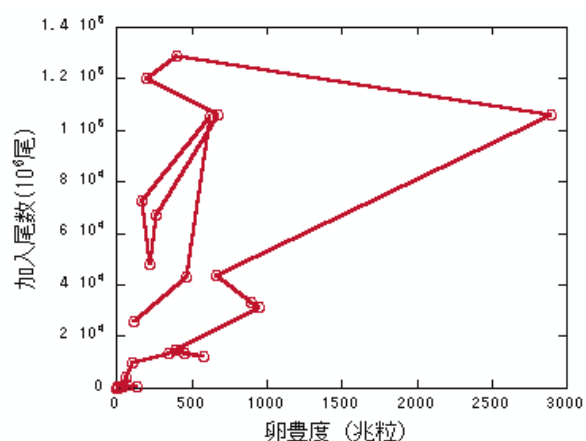
ただし、4+歳魚の漁獲尾数については、次の式を用いた。

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

2004 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。

$$N_{t+1,age+1} = N_{t,age} \exp(-F_{t,age} - M)$$

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。



参考図 1 マイワシの卵豊度と加入尾数との関係

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
0	1223	17118	12077	4390	9885	3135	2669	2001	4082	3249	1162	5004	8300
1	1433	955	3326	8019	1960	721	7537	8141	6258	1961	3911	371	899
2	1943	1691	2921	1855	9286	4332	1890	2667	9265	10699	11124	5423	1853
3	953	1282	1018	2364	1212	8197	8088	3321	3987	3673	4943	7213	6009
4	386	579	313	684	822	1013	2906	3209	2647	4276	2946	4460	5020
5+												1573	2251

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
0	2810	2325	5126	7293	6828	2496	375	11	501	190	14	28	8	105
1	905	725	1593	2131	1556	505	118	228	153	22	10	6	9	11
2	2635	1399	1050	1717	791	538	59	87	116	21	5	6	9	6
3	2210	2255	1726	1428	312	302	30	20	74	11	0	0	1	3
4	4980	2423	1265	1049	162	70	3	9	5	17	0	0	0	1
5+	2644	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
0	0.06	0.66	0.15	0.08	0.29	0.06	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	0.20	0.39
1	0.18	0.07	0.32	0.18	0.05	0.04	0.25	0.16	0.10	0.03	0.07	0.02	0.06
2	0.56	0.44	0.44	0.38	0.40	0.20	0.16	0.16	0.34	0.32	0.29	0.17	0.13
3	0.74	1.32	0.69	1.07	0.59	1.06	0.99	0.61	0.49	0.27	0.30	0.39	0.36
4	0.74	1.32	0.69	1.07	0.59	1.06	0.99	0.61	0.49	0.27	0.47	0.64	0.69
5+												0.64	0.69

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
0	0.27	0.27	0.62	1.10	2.08	1.52	0.46	0.04	2.51	1.89	0.26	0.57	1.05	0.52
1	0.08	0.13	0.38	0.76	1.00	1.50	0.29	0.77	1.75	1.31	0.54	0.20	0.92	0.41
2	0.33	0.22	0.35	1.32	0.99	2.24	0.94	0.47	2.11	3.12	2.03	0.95	1.73	1.04
3	0.28	0.69	0.59	1.86	1.35	3.32	1.18	1.51	1.39	4.85	1.10	1.93	0.38	0.83
4	0.78	0.77	1.77	1.33	2.47	3.14	0.46	1.51	1.39	4.85	1.10	1.93	0.38	0.83
5+	0.78	0.77	1.77	1.33	2.47	3.14	0.46	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	
0	25735	43055	105422	72927	48007	66851	106028	120056	128911	105948	43400	33287	31225	
1	10371	16250	14846	60778	45290	24087	42245	68888	78838	83070	68359	28140	18216	
2	5561	5778	10111	7228	34175	28754	15555	22146	39512	47723	54077	42620	18559	
3	2219	2136	2489	4386	3326	15306	15727	8879	12661	18900	23230	27142	24129	
4	472	707	382	835	1004	1238	3549	3920	3233	5223	9662	11524	12288	
5+												4064	5510	

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
0	14472	12117	13563	13379	9523	3899	1233	351	666	274	73	78	70	315
1	14135	7401	6219	4894	2997	794	570	520	226	36	28	38	30	40
2	11474	8734	4367	2864	1536	736	119	285	161	26	7	11	21	12
3	10923	5534	4709	2068	514	382	53	31	120	13	1	1	3	6
4	11255	5513	1864	1743	217	89	9	11	8	21	0	0	0	1
5+	5977	5309	3359	599	416	36	4	5						

付表4 日本海および東シナ海の卵豊度の推移

年	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	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	263.2
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	190.1

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				
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				

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 RPS

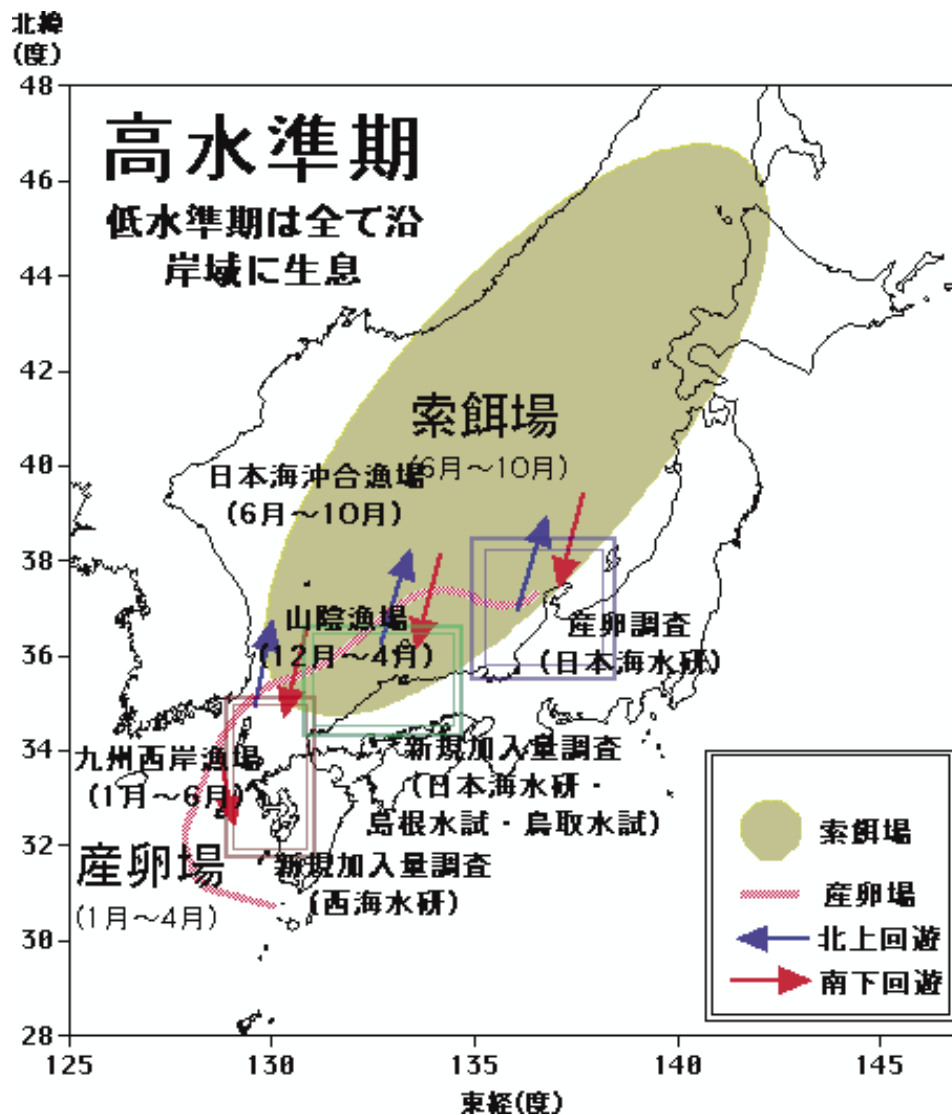
年	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
資源量	209.6	251.2	355.1	443.5	403.7	495.1	581.2	814.6	897.2	937.9	1020.9	819.1	666.6	484.0
漁獲割合	23	29	21	18	22	21	22	15	17	15	16	19	23	26
F	0.46	0.76	0.46	0.56	0.38	0.48	0.48	0.31	0.29	0.19	0.23	0.34	0.39	0.42
RPS	41	72	149	106	37	32	55	66	49	33	9	7	6	4

年	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
資源量	331.1	225.1	133.3	60.6	22.3	8.6	7.4	5.9	1.0	0.3	0.4	0.3	0.7
漁獲割合	29	41	57	60	70	31	34	70	74	35	30	30	35
F	0.47	0.91	1.28	1.73	2.48	0.63	0.97	1.83	3.61	1.00	1.12	0.89	0.73
RPS	5	8	15	29	31	48	9	22	38	81	72	40	163

注：推定された近年の資源量などは、漁獲量の推定や年齢別漁獲尾数の推定精度が必ずしも高いとは言えない。したがって、ここにあげた近年の資源量などは参考値であり、要約には「－」として表記した。

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