

## 平成 19 年度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 28 百トン、2006 年は 34 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。2006 年の資源量は 86 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、親魚量は依然として少ない。2006 年の資源量は Bban（50 百トン）を超えているものの、Bban に近いので、専獲は避け混獲程度としたほうが良い。

（参考）

漁獲シナリオ （管理基準）	管理の考え方	2008 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 （Fsus）	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 （Fcurrent）	現在の漁獲圧 を維持する。	—	—	—	—	—	

本資源は Bban（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。Fcurrent は 2006 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: Bban を 2008～2012 年で下回る確率、B: 2008 年～2012 年の平均資源量（百トン）、C: 2008～2012 年の平均漁獲量（百トン）。ここでは、いずれも—とした。

注 1：2005・6 年の資源量は Bban 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
2005	83	28	34	1.1
2006	86	34	39	1.3
2007	—	—	—	—

	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	—	—
2006 年	資源量	86 百トン	

Bban は、長期的な資源量推定値の結果から判断した。

2006 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ではなく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)。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妥当である。

## 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。

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）。

#### (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。

### 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、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28百トン、2006年の漁獲量は34百トンであった（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170百トン、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・6年はほとんど漁獲されなかった。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、それ以後の漁獲はほとんどないと思われる。表1に対馬暖流域におけるマイワシの漁獲量を示した。中国の漁獲量は毎年10万トン程度であるが、これまでの分布などの知見からマイワシではない、もしくは別の系群である可能性が高いと思われるため考慮していない。

#### 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、測定個体数も少ないために、資源量の推定精度は高いと言えない。そのためコホート解析の結果は、資源の増減の経年変動傾向をみることに、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。

##### (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(トン/日)では、1996 年および 1999 年に若干 CPUE が高かったが、2000 年から 2003 年まで極めて低い水準で推移し、その後やや増加している。

島根県の中型まき網によるマイワシの CPUE (1999 年以降)

年	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
CPUE	2.23	0.53	0.00	0.00	0.05	0.22	0.62	0.88

##### (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、1953 年～2006 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、2006 年の漁獲物の大半は 0 歳魚であった。

##### (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以前ほど漁獲しておらず、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、2006 年の資源量は Bban(後述、資源量 50 百トン)に近い 86 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・島根県中型まき網の 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、2006 年の漁獲量は 2005 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、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親魚量と加入尾数との関係を示した(図 7-1)。および、親魚量と RPS(再生産成功率)の関係を図 7-2 に示した。2006 年には、親魚量が 36 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～2006 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。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 について長期的な資源量推定の結果から資源量で 50 百トンとした。

なお参考値としてコホート解析した結果によると 2006 年の資源量は 86 百トンであり、Bban をやや上回った。2006 年の漁獲量は 34 百トンであり、1965 年の水準よりやや高いが、依然として低水準である。

## 6. 2008 年 ABC の算定

### (1) 資源評価のまとめ

2006 年の資源量はコホート解析により 86 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、2006 年の資源量（参考値）は Bban に近い値である（86 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。

	2008 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。

## (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、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。2012 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 2006 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
2006 年(当初)	—	8,934	混獲程度	同左	3,370	資源量回復
2006 年(2006 年 再評価)	—	7,005	混獲程度	同左	3,370	資源量回復
2006 年(2007 年 再評価)	—	8,598	混獲程度	同左	3,370	資源量回復
2007 年(当初)	—	8,867	混獲程度	同左	—	資源量回復
2007 年(2007 年 再評価)	—	10,733	—	—	—	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、成魚になるまで漁獲を待ち、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、1953 年～2006 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、2006 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。2006 年の資源量は 86 百トン (2005 年 83 百トン) と推定された。付表 1 に近年の年齢別漁獲尾数、 $F$  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 2006 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。1953~1986 年までと、1988 年以降では再生産関係が異なっていた。

## (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÷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した。現在は、親魚量が極端に少ないため、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。

なお、太平洋側に分布するマイワシでも対馬暖流域におけるマイワシと同様の傾向をもって  $RPS$  が変動している。加入量は太平洋側のほうが対馬暖流域側よりも大きいので、いったん資源が減少した場合、対馬暖流域側での減少率は太平洋側よりも大きくなる。

## (5) 加入当たり漁獲量

図 12 に  $\%SPR \cdot YPR$  と  $F$  との関係を示した。2006 年の  $F(1.3)$  は、 $F_{sus}$  よりも低いものの、資源水準が低位にあるマイワシにとって  $F$  を下げることで、親魚量の増大が見込まれる。

## (6) 漁獲圧と資源動向

2007 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、2007 年の推定資源量が維持される  $F$  ( $F_{sus}$ ) は  $1.1 \times F_{current}$  である (図 13)。

$F_{current}$  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 (万トン)					漁獲量 (百トン)				
	2008	2009	2010	2011	2012	2008	2009	2010	2011	2012
全面禁漁	1.18	2.55	5.43	11.45	24.17	0	0	0	0	0
$0.2F_{current}$	1.18	2.20	4.07	7.46	13.72	15	29	53	98	179

0.4Fcurrent	1.18	1.92	3.08	4.94	7.93	27	45	72	115	185
0.6Fcurrent	1.18	1.67	2.35	3.31	4.66	37	53	74	104	147
0.8Fcurrent	1.18	1.46	1.81	2.24	2.77	45	56	69	86	106
1.0Fcurrent	1.18	1.29	1.40	1.53	1.67	52	56	61	67	73
1.1Fcurrent	1.18	1.21	1.24	1.26	1.30	55	56	57	59	60
Fmax	1.18	2.20	4.07	7.46	13.72	15	29	53	98	179
F30%	1.18	2.00	3.34	9.33	9.33	23	41	69	114	191

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、Fcurrent、 $0.8 \times Fcurrent$ 、F30%および Fmax で漁獲した場合に、2008 年から 2012 年までで Bban を下回る確率を図 14 に示した。現状の漁獲圧 (Fcurrent) では下回る確率は 13%であるが、やや漁獲圧を抑えた場合 ( $0.8 \times Fcurrent$ ) では 5%、F30% および Fmax では 5%以下の確率で下回ることが推定された。

#### 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)
1953	6,921	16,928	57,606			81,455
1954	10,260	21,632	25,652			57,544
1955	9,236	22,086	17,736			49,058
1956	6,974	28,359	13,917			49,250
1957	6,497	27,868	13,503			47,868
1958	19,265	69,352	26,808			115,425
1959	17,881	62,721	18,056			98,658
1960	12,004	37,448	8,940			58,392
1961	7,337	18,414	293			26,044
1962	5,006	5,380	276			10,662
1963	6,106	3,759	181			10,046
1964	2,800	3,100	1,200			7,100
1965	326	1,610	600			2,536
1966	282	4,369	1,417			6,068
1967	204	5,309	2,175			7,688
1968	94	5,362	2,453			7,909
1969	95	1,226	4,294			5,615
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		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	487,020
1981	119,609	337,312	334,563	63,068	330,000	791,484
1982	131,612	367,215	369,921	81,985	370,000	868,748
1983	162,189	524,465	329,865	139,763	282,000	1,016,519
1984	192,311	670,558	414,665	177,896	202,000	1,277,534
1985	138,342	648,313	404,333	107,776	122,000	1,190,988
1986	185,734	888,432	411,979	160,725	168,000	1,486,145
1987	193,123	886,097	333,071	194,352	300,000	1,412,291
1988	205,550	912,040	488,015	145,870	230,000	1,605,605
1989	230,432	937,632	378,405	182,540	262,000	1,546,469
1990	311,020	712,208	481,751	132,924	310,000	1,504,979
1991	248,910	619,080	412,622	44,531	221,000	1,280,612
1992	166,058	509,009	299,672	46,511	70,000	974,739
1993	117,717	564,318	234,651	31,285		916,686
1994	62,094	458,789	237,191	36,707		758,074
1995	81,852	196,697	87,295	13,539		365,844
1996	37,335	96,026	22,247	18,560		155,608
1997	8,634	13,568	4,151	9,041		26,353

1998	3,952	16,104	5,239	7,595		25,295
1999	6,987	30,722	3,696	17,142		41,405
2000	2,700	3,277	1,784	2,207		7,761
2001	110	243	664	129		1,017
2002	807	401	83	8		1,291
2003	545	300	234	18		1,079
2004	630	881	678	245		2,189
2005	369	2,020	389	49		2,778
2006	643	2,331	396	0		3,370

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

2006 年の最高齢魚(4+歳魚)の資源尾数と漁獲尾数を、それぞれ  $N_{4+,2006}$  および  $C_{4+,2006}$  としたときに、4+歳魚の資源尾数を漁獲係数( $F_{4+,2006}$ )と自然死亡係数(M)から次の式を用いて計算した。

$$N_{4+,2006} = \frac{C_{4+,2006} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{(1 - \exp(-F_{4+,2006}))}$$

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。

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

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

2006年の0～3歳魚のFは2001年～2005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、 $F_{4+,2006}$ と $F_{3,2006}$ が同じ値となるように $F_{4+,2006}$ 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2006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）。

$$\text{最小} \sum_{y=1988}^{2006} \{\ln(q_1 R_y) - \ln(Egg_y)\}^2$$

$$\text{最小} \sum_{y=1988}^{2006} \{\ln(q_2 SSB_y) - \ln(Egg_y)\}^2$$

$$\text{最小} \sum_{y=1988}^{2006} \{\ln(q_1 R_y) - \ln(Egg_y)\}^2 + \sum_{t=1988}^{2006} \{\ln(q_2 SSB_y) - \ln(Egg_y)\}^2$$

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。

$$q_1 = \left( \frac{\prod_{y=1988}^{2006} Egg_y}{\prod_{y=1988}^{2006} R_y} \right)^{\frac{1}{18}}$$

$$q_2 = \left( \frac{\prod_{y=1988}^{2006} Egg_y}{\prod_{y=1988}^{2006} SSB_y} \right)^{\frac{1}{18}}$$

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	2006年資源量	2006年F	2006年漁獲割合
卵豊度と加入尾数	—	—	—
卵豊度と親魚量	84.4	0.10	4
卵豊度と加入尾数・親魚量	—	—	—
チューニングなし	8.6	1.3	39

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、および卵豊度と加入尾数+親魚量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  $1.1F_{current}$  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 長期間のマイワシ資源量の推定について

資源動向要因分析調査事業において、マイワシの長期的な資源量の推移について検討を行った。まず、日水研と西海水研に残されていたマイワシの鱗の年齢査定を行い、毎月の年齢-体長キーを年代別に作成した。ついで、1953年以降の新潟県、鳥取県、島根県、長崎県の月別漁獲量と、関係水産試験研究機関が収集した体長測定データから年齢別漁獲尾数を求めた。

銘柄別漁獲量があればより正確な年齢別漁獲尾数が推定できると思われるが、ここではすべての測定データは年齢組成を反映していると仮定した。そのため、資料が古ければ古いほど推定誤差は大きくなる可能性は残されている。

付表1 マイワシの年別漁獲尾数 (10<sup>6</sup>尾)  
 付表1 コホート解析のための年別漁獲尾数と計算された年別資源尾数とFおよびパラメーター

	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
0	7763	5808	6116	2431	2315	8120	5933	5952	2217	163	192	322	42	61
1	326	499	47	207	194	632	737	446	105	119	196	102	36	67
2	93	46	30	73	78	137	303	70	50	39	11	14	14	17
3	83	30	34	143	128	139	190	32	16	15	10	9	3	18
4	12	6	15	87	92	147	77	13	11	5	4	3	0.3	8
5+														

	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
0	150	166	220	148	260	715	4485	5489	5042	18691	22650	1223	17118	12077
1	29	97	48	15	8	45	161	167	868	2650	2470	1433	955	3326
2	31	8	7	6	5	46	26	63	228	841	1733	1943	1691	2921
3	22	2	1	3	3	14	3	54	116	341	968	953	1282	1018
4	5	4	7	1	1	5	13	14	46	153	360	386	579	313
5+														

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
0	4390	9885	3135	2669	2001	4082	3249	1162	5004	8300	2810	2325	5126	7293
1	8019	1960	721	7537	8141	6258	1961	3911	371	899	905	725	1593	2131
2	1855	9286	4332	1890	2667	9265	10699	11124	5423	1853	2635	1399	1050	1717
3	2364	1212	8197	8088	3321	3987	3673	4943	7213	6009	2210	2255	1726	1428
4	684	822	1013	2906	3209	2647	4276	2946	4460	5020	4980	2423	1265	1049
5+									1573	2251	2644	2333	2280	361

付表1 マイワシの年齢別漁獲尾数 (10<sup>6</sup>尾)

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
0	6828	2496	375	11	501	190	15	28	9	106	121	130	
1	1556	505	118	228	153	22	11	6	10	11	18	56	
2	791	538	59	87	116	21	5	6	10	7	2	9	
3	312	302	30	20	74	11	1	0	1	3	1	2	
4	162	70	3	9	5	17	0	0	0	1	0	0	
5+	312	28	1	4									

付表2 推定されたF

	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
0	1.59	1.72	1.84	1.06	0.83	1.96	2.08	3.08	2.34	0.35	0.53	0.82	0.19	0.63
1	0.41	0.47	0.06	0.31	0.25	0.76	1.76	1.55	0.79	1.37	1.38	0.79	0.24	0.69
2	0.31	0.11	0.06	0.15	0.23	0.36	1.65	1.16	0.97	1.11	0.52	0.38	0.28	0.21
3	1.07	0.19	0.14	0.52	0.53	1.17	2.28	1.07	1.29	1.22	1.35	1.63	0.16	0.95
4	1.07	0.19	0.14	0.52	0.53	1.17	2.28	1.07	1.29	1.22	1.35	1.63	0.16	0.95
5+														

	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
0	0.49	0.48	0.35	0.55	0.19	0.26	0.72	0.47	0.30	0.81	0.94	0.05	0.63	0.13
1	1.01	0.93	0.31	0.04	0.06	0.05	0.10	0.06	0.15	0.32	0.28	0.16	0.06	0.30
2	1.14	1.24	0.17	0.06	0.02	0.78	0.05	0.07	0.14	0.27	0.47	0.48	0.36	0.34
3	0.62	0.21	0.49	0.13	0.05	0.10	0.11	0.17	0.21	0.40	0.75	0.67	0.94	0.50
4	0.62	0.21	0.49	0.13	0.05	0.10	0.11	0.17	0.21	0.40	0.75	0.67	0.94	0.50
5+														

付表2 推定されたF

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
0	0.06	0.22	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.20	0.39	0.27	0.27	0.62	1.09
1	0.14	0.04	0.03	0.20	0.21	0.13	0.03	0.07	0.02	0.06	0.08	0.13	0.38	0.76
2	0.34	0.31	0.14	0.12	0.12	0.51	0.42	0.29	0.17	0.13	0.33	0.22	0.35	1.32
3	0.68	0.49	0.65	0.56	0.39	0.34	0.50	0.44	0.39	0.36	0.28	0.69	0.59	1.86
4	0.68	0.49	0.65	0.56	0.39	0.34	0.50	0.44	0.64	0.69	0.78	0.77	1.77	1.33
5+									0.64	0.69	0.78	0.77	1.77	1.33
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006		
0	2.08	1.52	0.46	0.04	2.49	1.90	0.32	0.62	0.25	1.07	0.50	0.55		
1	1.00	1.50	0.29	0.77	1.75	1.26	0.63	0.24	0.60	0.79	0.67	0.59		
2	0.99	2.16	0.94	0.47	2.11	3.10	2.18	1.15	1.12	1.75	0.41	1.32		
3	1.35	3.16	1.01	1.51	1.39	5.80	1.27	2.44	0.61	3.54	1.98	1.97		
4	2.46	2.98	0.37	1.51	1.39	5.80	1.27	2.44	0.61	3.54	1.98	1.97		
5+	2.46	2.98	0.37	1.51										

付表3 推定された資源尾数 (10<sup>6</sup>尾)

	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
0	11899	8648	8874	4554	4999	11539	8279	7619	2998	675	572	701	298	158
1	1174	1620	1042	942	1062	1455	1087	692	234	194	319	227	206	165
2	423	520	678	660	462	553	458	125	99	71	33	54	69	109
3	154	208	311	430	383	245	258	59	26	25	16	13	25	35
4	21	40	137	260	275	260	105	25	19	8	7	4	2	15
5+														

	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
0	474	534	911	426	1870	3841	10628	18004	23654	41147	45425	30649	44602	124482
1	56	194	222	431	164	1040	1989	3452	7575	11728	12279	11905	19544	15883
2	56	14	51	109	276	104	661	1202	2177	4367	5692	6209	6807	12319
3	59	12	3	29	69	181	32	421	754	1273	2239	2396	2571	3179
4	13	26	21	10	23	58	145	106	298	573	833	971	1161	978
5+														

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
0	97524	60024	80463	81102	98740	128911	105948	43400	33287	31227	14473	12120	13571	13395
1	73554	61778	32142	51369	52179	64549	83070	68359	28140	18216	14136	7401	6221	4900
2	7923	42739	39806	20955	28263	28311	38145	54077	42620	18559	11474	8735	4368	2865
3	5866	3792	21047	23136	12499	16761	11392	16810	27142	24129	10923	5534	4710	2068
4	1696	2574	2602	8312	12079	11128	13264	10019	11524	12288	11255	5513	1864	1743
5+									4064	5510	5977	5309	3359	599
0	9523	3899	1233	351	668	273	67	73	48	198	376	374		
1	3008	794	570	520	226	37	27	33	26	25	46	153		
2	1540	742	119	285	161	26	6	10	17	10	8	16		
3	515	385	57	31	120	13	1	1	2	4	1	3		
4	217	90	11	14	8	21	0.07	0.16	0.04	0.77	0.09	0.11		
5+	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
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	0.1
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	0.1	0.7

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	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
資源量	16	16	20	16	16	21	15	8	4	3	2	2	2	2
漁獲割合	49	37	25	30	30	55	70	70	65	42	48	43	17	34
F	0.9	0.5	0.5	0.5	0.5	1.1	2.0	1.6	1.3	1.1	1.0	1.1	0.2	0.7
RPS	262	151	97	45	60	148	148	356	277	85	97	116	42	14

年	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
資源量	2	2	2	3	5	11	21	45	65	109	136	247	293	422
漁獲割合	39	35	23	9	7	12	22	19	15	29	35	20	25	18
F	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4
RPS	52	90	130	32	78	150	119	78	32	60	26	40	59	132

年	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
資源量	557	528	672	704	838	916	894	975	819	667	484	331	225	133
漁獲割合	14	16	15	18	14	16	16	16	19	23	26	29	41	57
F	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.9	1.3
RPS	104	35	27	26	32	35	34	11	7	6	4	5	8	15

年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
資源量	61	22	9	8	6	1	0.3	0.4	0.3	0.4	0.8	0.9
漁獲割合	60	70	30	34	70	74	40	33	40	57	34	39
F	1.7	2.4	0.6	1.0	1.8	3.6	1.1	1.4	0.6	2.1	1.1	1.3
RPS	29	31	47	9	22	35	55	55	29	124	239	104

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
2005						

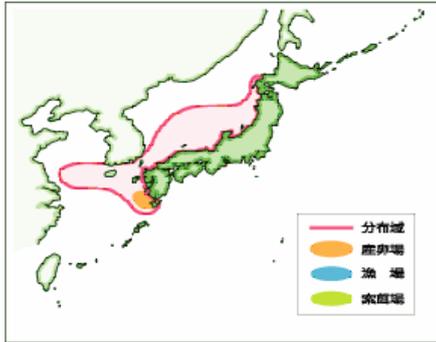


図1 マイワシの分布図

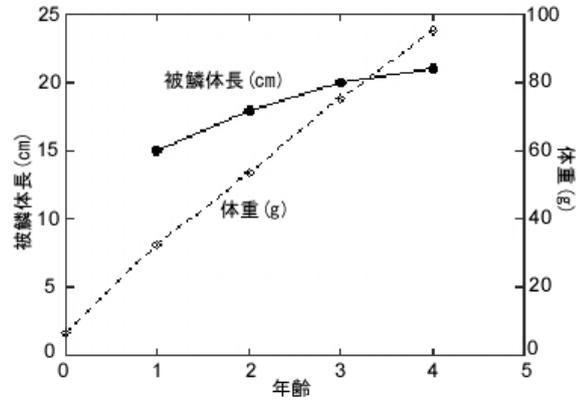


図2 マイワシの成長

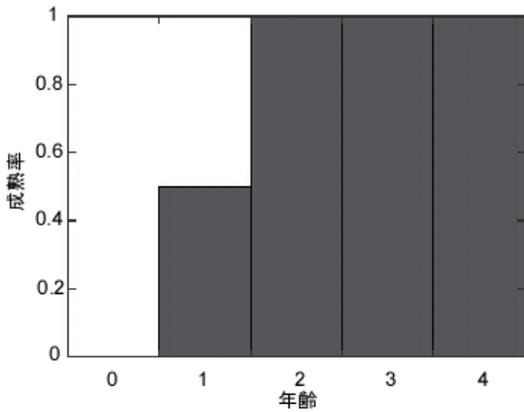


図3 マイワシの年齢別成熟率

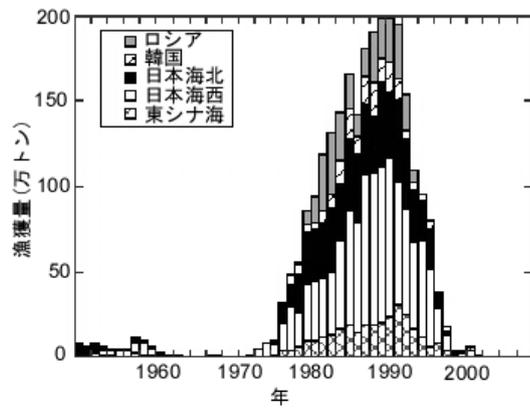


図4 マイワシの漁獲量

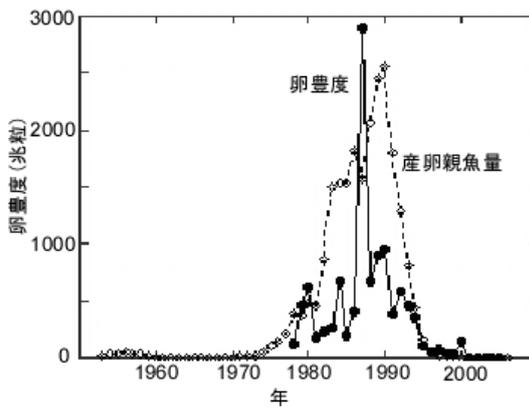


図5-1 マイワシの産卵親魚量と卵豊度

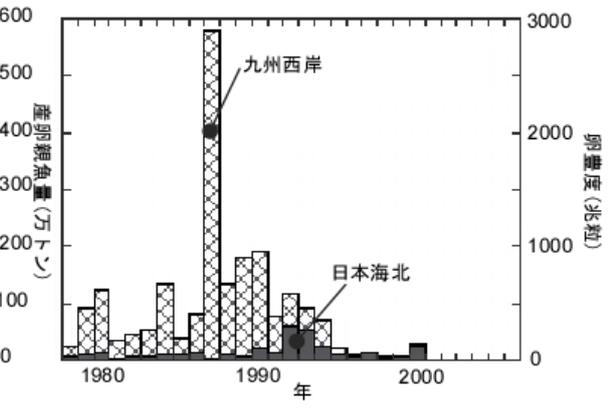


図5-2 マイワシの海域別の卵豊度

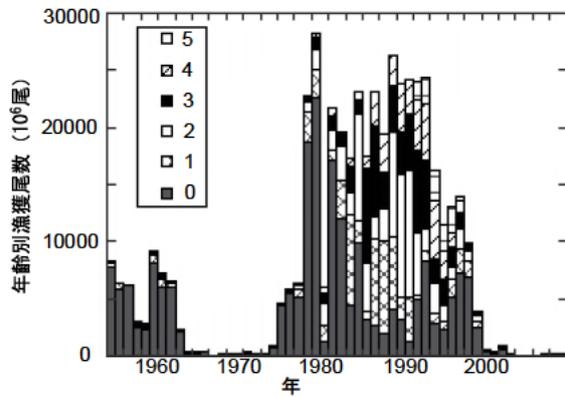


図6-1 マイワシの年齢別漁獲尾数

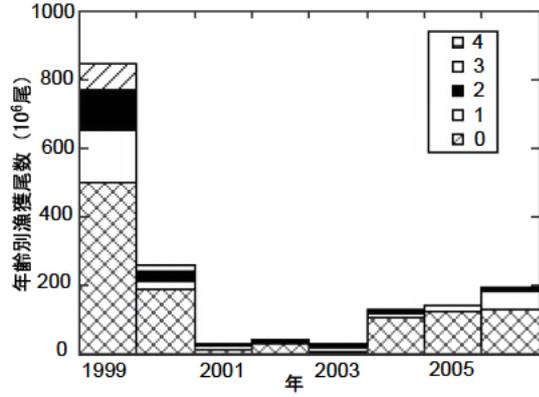


図6-2 マイワシの年齢別漁獲尾数(近年)

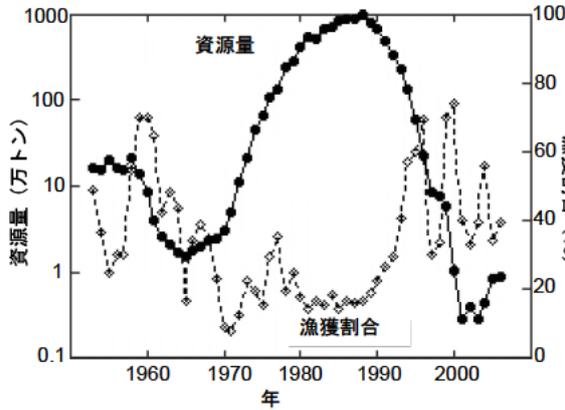


図7-1 資源量と漁獲割合

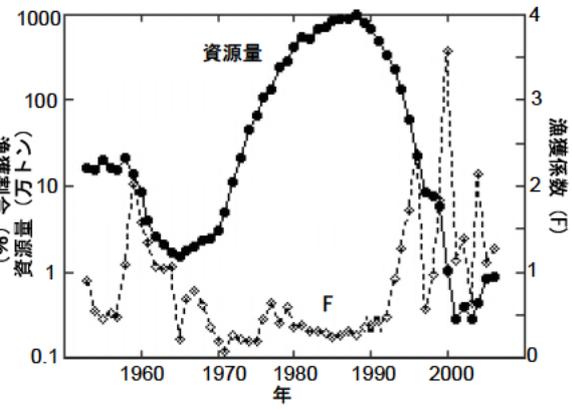


図7-2 資源量と漁獲係数 (F)

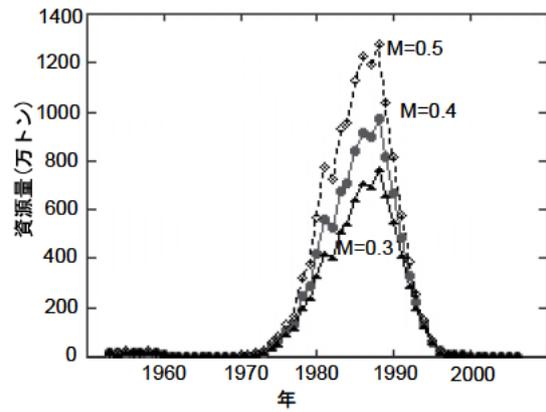


図8 Mを変えた場合の資源量

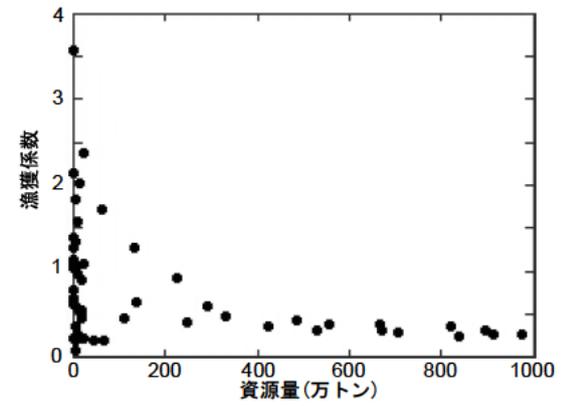


図9 資源量とFの関係

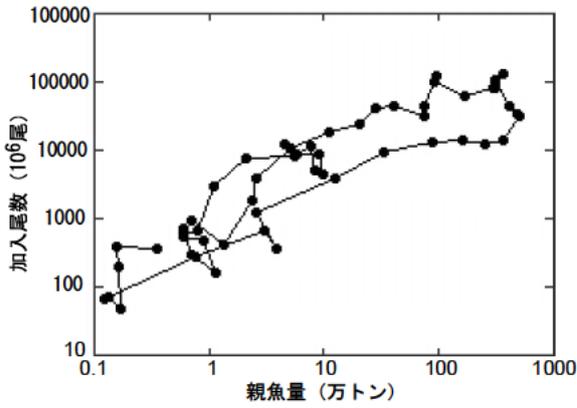


図10-1 親魚量と加入尾数の関係

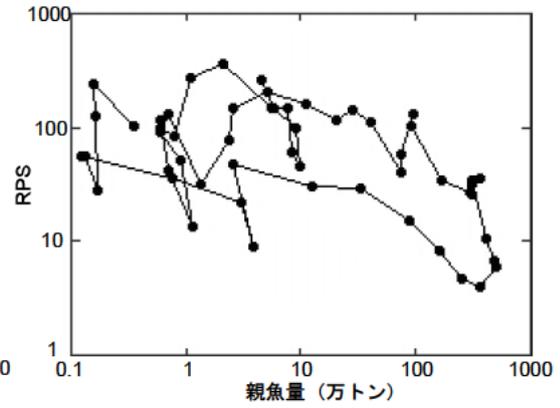


図10-2 親魚量とRPSの関係

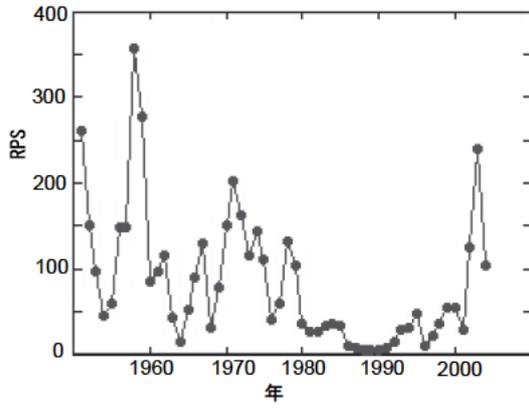


図11 RPSの経年変化

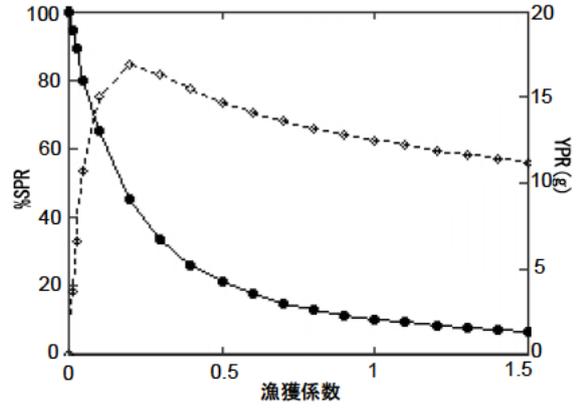


図12 漁獲係数と%SPRおよびYPRの関係

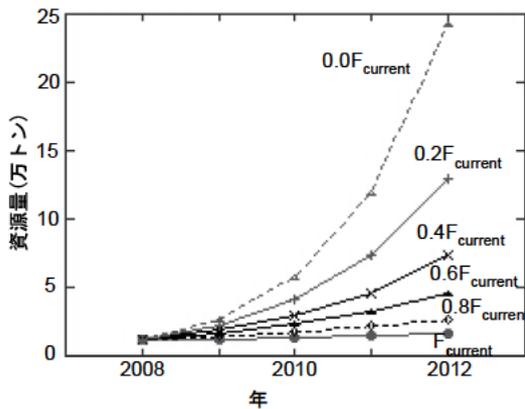


図13 予測資源量

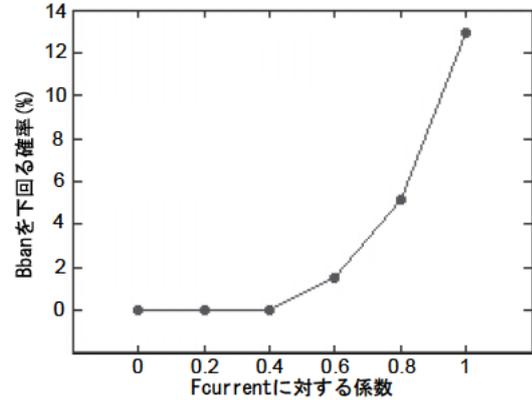


図14 Fcurrentに対する係数とBbanを下回る確率の関係

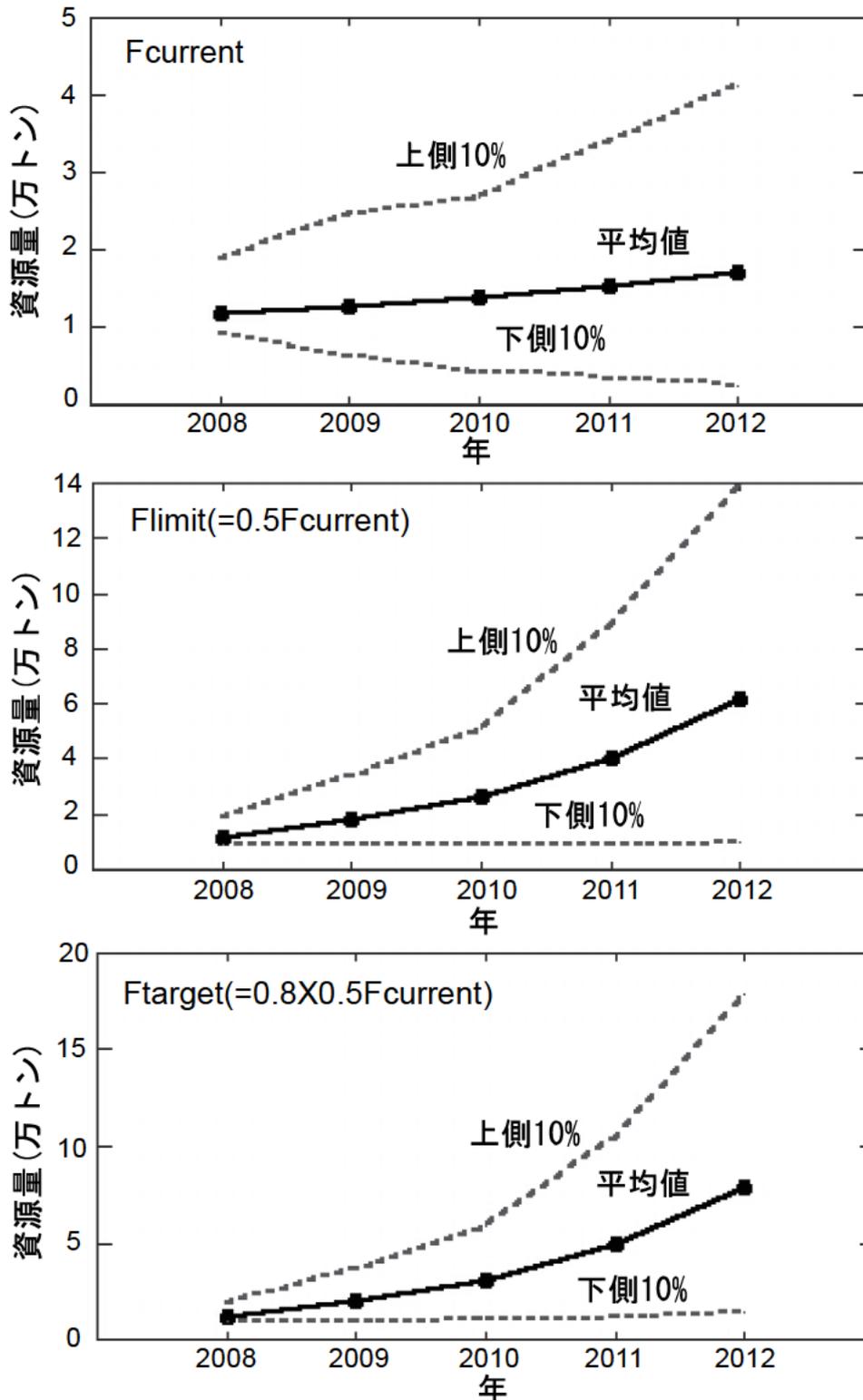
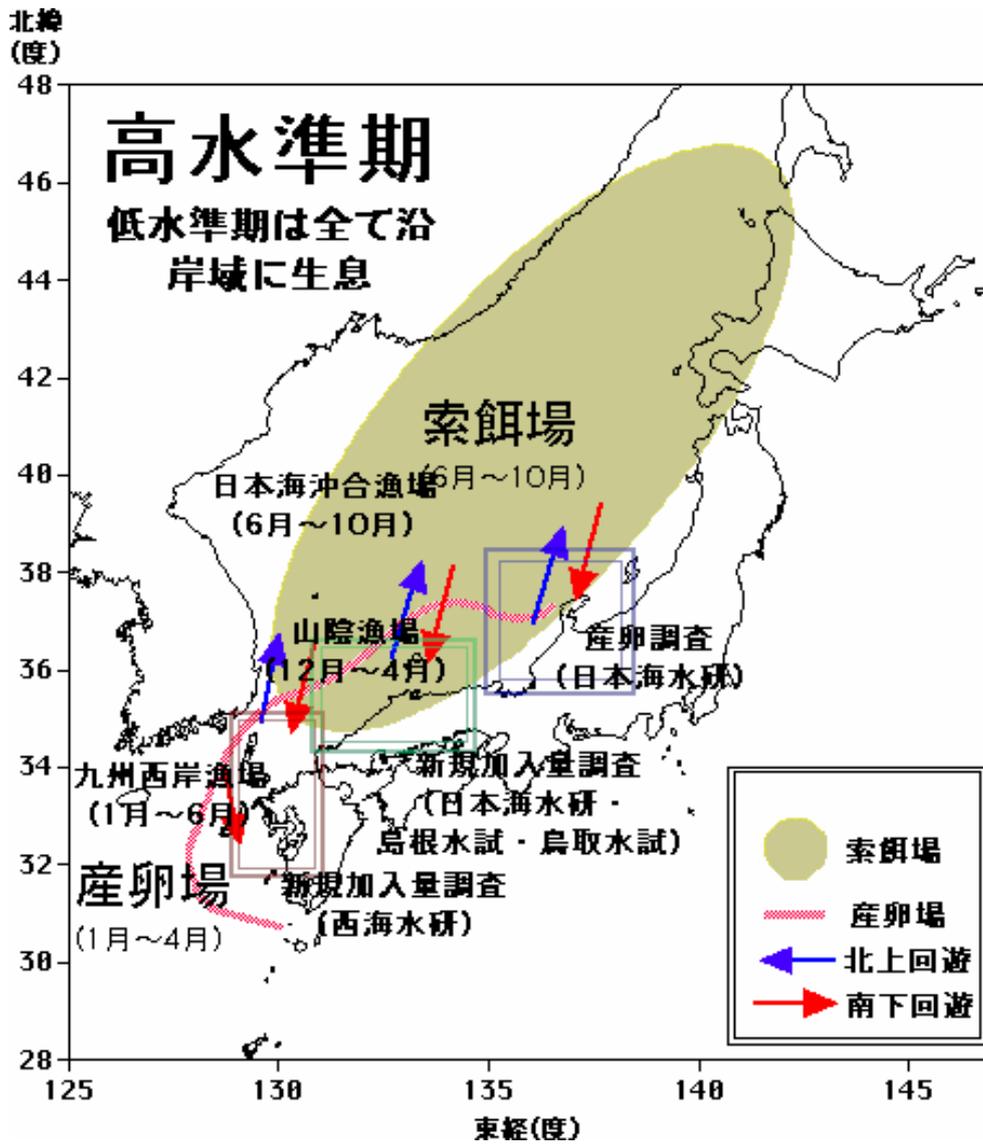


図15 Fcurrent、Flimit、Ftargetの場合の資源量の推移  
RPSが過去10年間の平均で発生するとして、2008～2012年  
の平均資源量と上下10%の資源量(1000回シミュレーション)



付図1 マイワシの漁場形成と調査図