

平成 22 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（田中寛繁、大下誠二）

参 画 機 関：日本海区水産研究所、青森県産業技術センター水産総合研究所、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、富山県農林水産総合技術センター水産研究所、石川県水産総合
センター、福井県水産試験場、京都府農林水産技術センター海洋センター、
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

本系群の漁獲量は 1980 年代後半から 1990 年代前半に 100 万トンを超える高水準で経過した後に急減し、2000 年には 1 万トンを下回った。その後、漁獲量は 1 千～3 千トン台で推移し、2007 年には一時的に 14 千トンに増加したが、2008 年の漁獲量は 80 百トン、2009 年の漁獲量は 83 百トンであった。近年の測定尾数が少ないこと等から、年齢別・年別漁獲尾数の推定精度は低く、最近年の資源量推定値や将来漁獲量の算定を含むコホート解析の不確実性はかなり高い。そのため、コホート解析の結果は参考値として取り扱い、将来予測から得られるシナリオごとの算定漁獲量についても ABC として取り扱わず、参考値として提示した。コホート解析によると、マイワシ対馬暖流系群の資源量推定値は 1990 年代に急減し、2001～2003 年に過去最低の水準で推移したが、2004 年以降はやや上向いている。資源水準は低位、動向は最近 5 年間（2005～2009 年）の資源量が増加傾向にあることから、増加と判断した。ただし、資源量は依然として極めて低位であることから、専獲は避け、混獲程度の漁獲に留めることが望ましい。

年	資源量（千トン）*	漁獲量（百トン）	F 値*	漁獲割合*
2008	22	80	0.80	37%
2009	28	83	0.40	29%
2010	36	-	-	-

*参考値、2010 年の値は加入量を仮定した値。

	指標	値	設定理由
Bban	資源量	50 百トン	近年において推定された最低資源量より判断
Blimit	親魚量	1971 年水準 (10 万トン)	これ未満の親魚量では良好な加入量があり期待できなくなる。
2009 年	親魚量	1971 年水準未満 (10 千トン) *	

*参考値。

水準：低位 動向：増加

Bban は、近年において推定された最低資源量 43 百トン（2003 年）およびその前後の資源量推定値から、最低限確保すべき資源量として 50 百トンとした。

本件資源評価に使用したデータセットは以下のとおり

データセット	基礎情報、関連調査等
年齢別・年別漁獲尾数	漁業・養殖業生産統計年報（農林水産省） 主要港水揚量（青森～鹿児島（17）府県） 大中型まき網漁業漁獲成績報告書（水産庁） 月別体長組成調査（水研セ、青森～鹿児島（17）府県） ・市場測定 体長一年齢測定調査（水研セ） ・市場測定、年齢査定
資源量指数 ・産卵量 ・資源量指標値	卵稚仔調査（水研セ、青森～鹿児島（17）府県） ・ノルパックネット 境港まき網漁獲量（鳥取県）、中型まき網漁獲量（島根県）
自然死亡係数（M）	年当たり $M=0.4$ を仮定（Wada and Jacobson 1998）

1. まえがき

我が国周辺に分布するマイワシは対馬暖流系群と太平洋系群から構成され、1980 年代後半に日本周辺域で最も多獲された魚であり、1988 年には日本全体で約 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、その後減少し、2000 年には 1 万トンを下回った（表 1）。漁獲量の減少は 1980 年代後半における連続的な加入の失敗と、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要因によると考えられている（Watanabe et al. 1995、Ohshimo et al. 2009）。

マイワシは数十年規模の資源変動をすることが知られるが、再生産関係を考慮し、不適

な環境においてもある程度の加入量が見込める親魚量を確保することは重要である。現在、低水準にあるマイワシの資源状況に合わせた資源管理を適切に行うことにより親魚量を増加させ、好適な海洋環境下での加入量の回復に備えることが適切である。

2. 生態

(1) 分布・回遊

東シナ海北部から九州沿岸（西岸）、日本海にかけて分布する。本資源の漁獲量が多かった年代には沖合域にも分布が見られたが（檜山 1998）、現在の分布はほぼ沿岸域に限られる（図 1）。産卵場も資源水準により変化し、九州周辺海域では、マイワシの資源水準が高い年代には南寄り（薩南海域）、低い年代には五島以北に形成された（松岡・小西 2001）。

(2) 年齢・成長

マイワシは資源水準により成長速度が異なり、資源水準が高いと成長が悪く、低いと成長が良くなることが知られている（Hiyama et al. 1995）。近年における対馬暖流域での成長は、生育場により異なるが、満 1 年で体長約 15cm、2 年で 18cm、3 年で 20cm 程度に達する（図 2）。寿命は 7 歳程度と推定されている。

(3) 成熟・産卵

マイワシは資源水準が高いとき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。極めて低い資源水準にある近年においては、1 歳から産卵を行っている（図 3）。資源高水準期は主に 2 歳魚以上から産卵する。産卵期は冬から春（1 月～6 月）である。

(4) 被捕食関係

仔魚期にはかいあし類などの動物プランクトンを補食し、成魚期には動物プランクトンに加えて珪藻類などの植物プランクトンも濾過捕食する。索餌期は主に夏から秋であり、高水準期には広域に索餌回遊していたと考えられるが、極めて低い資源水準にある近年においては広域の索餌回遊は行っていないと考えられる。また、仔魚期は動物プランクトンや小型魚類に捕食され、成魚期には大型の魚類および哺乳類、海鳥類等に捕食される。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

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。資源高水準期ではまき網による漁獲がほとんどであった。資源が極めて低水準である近年においては、マイワシの漁獲の多くがウルメイワシやカタクチイワシなどの混獲である。

(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表 1、図 4 に示す。マイワシの漁獲量は 1983 年に 100 万トンを超え、1991 年まで 100 万トン以上であったが、その後急速に減少し、2001 年には 1 千トンまで落ち込んだ。その後、2004 年以降は増加し、2007 年の漁獲量は 14 千トンと近年では最も多かったが、2008 年の漁獲量は 80 百トン、2009 年の漁獲量は 83 百トンであった。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 1987 年に 19 万トンを記録したが、その後は減少した。2009 年の漁獲量は 47 トンであった。ロシアの漁獲量は 1991 年まで 20 万トンを超えていたが、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。

(3) 漁獲努力量

現在、本系群については他魚種を対象とした漁業における混獲としての漁獲がほとんどであるため、本系群への漁獲努力量を把握することは極めて困難である。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

漁獲量、漁獲物の生物測定結果および鱗などの年齢形質による年齢査定から年齢別・年別漁獲尾数を算出し、コホート解析を行った（補足資料 1、2）。コホート解析においては資源量指標値によるチューニングを行った。ただし、本系群については資源水準が極めて低い近年において測定尾数が少ないこと等から、年齢別・年別漁獲尾数の推定精度は低く、最近年の資源量推定値や将来漁獲量の算定を含むコホート解析の結果の不確実性はかなり高い。そのため、コホート解析の結果は参考値として取り扱い、将来予測から得られるシナリオごとの算定漁獲量についても ABC として取り扱わず、参考値として提示した。

(2) 資源量指標値の推移

九州西岸から日本海で実施された卵稚仔調査の結果を図 5 に示す。本資源の産卵量は近年低い水準にあり、2001 年には全く卵が採集されなかった。近年では、2007 年において比較的産卵量が多く（19 兆粒）、その後 2008 年は 9 兆粒、2009 年は 5 兆粒であった。

鳥取県境港で水揚げされるマイワシのまき網 1 か統あたり漁獲量（トン／統数）、島根県の中型まき網（浜田漁協）によるマイワシの CPUE（トン／隻数）を図 6 に示す。2000 年代前半は低い値にあるが、近年は増加傾向が認められる。

(3) 漁獲物の年齢組成

年齢別・年別漁獲尾数を図 7 に示す。1990 年代後半以降、マイワシの高齢魚はあまり多く漁獲されていない。2004 年以降は 0 歳魚が漁獲の主体であるが、2007 年および 2008 年には 0 歳魚のほか、1 歳魚、2 歳魚も近年においては比較的多く漁獲された。2009 年は 0 歳魚の割合が特に高かった。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

本系群の資源量は変動が激しい。コホート解析の結果から、資源量は 1970 年代から増加し、1988 年には 1 千万トンに達したと推定されるが、その後減少し、1995 年には 100 万トンを下回り、2001 年には 1 万トンを下回ったと推定される（図 8）。2004 年以降は増加し、2005 年以後は再び 1 万トンを超え、2009 年は 28 千トンと推定された（参考値）。漁獲割合は 1960 年代後半から 1970 年代前半には低く、その後高くなり、1990 年代以降は変動が激しい。

資源量計算では自然死亡係数は 0.4 を仮定したが、この値を 0.3、0.5 に変更して、2009 年の資源量、親魚量、加入尾数（0 歳魚の資源尾数）を計算した結果を図 9 に示す。M の値が大きくなるといずれの値も大きくなる。

漁獲係数 F の推移を図 10 に、資源量と F の関係を図 11 に示す。1970 年代から 1980 年代にかけて F は比較的低い値で安定していたが、1990 年代以降は変動が激しい。資源量と F の関係については、資源が極めて高水準にある場合に F が低い傾向が認められる。

(5) 資源の水準・動向

コホート解析による推定資源量の推移から、2009 年の資源水準は極めて低位にあると判断される。動向は、最近 5 年間（2005～2009 年）の資源量が増加傾向にあることから、増加と判断する。

(6) 再生産関係

親魚量と加入尾数の関係を図 12 に示す。親魚量（対数値）と加入尾数（対数値）の間には正の相関が認められるため、親魚量に対応した加入尾数が期待できる。ただし、後述するように再生産成功率（RPS、加入尾数／親魚量）には海洋環境も影響すると考えられている。

(7) Blimit の設定

マイワシの再生産成功率は海洋環境の影響を受けるが（後述）、再生産に不適な環境においてもある程度の加入尾数が見込める親魚量を確保することが望ましい。再生産関係より、親魚量 10 万トン未満では良好な加入が期待できない傾向があるため（図 12 右）、親魚量 10 万トン（1971 年水準）を Blimit とする。

(8) 今後の加入量の見積もり

①再生産成功率の推移

再生産成功率を図 13 に、親魚量と加入尾数の推移を図 14 に、親魚量と再生産成功率の関係を図 15 に示す。1980 年代から 1990 年代前半にかけて再生産成功率は低い値で推移していたが、1990 年代後半からは変動を繰り返している。近年では 2004、2005 年において高い値が認められた。加入尾数は 2001～2003 年は数千万尾程度と低かったが、2004 年以

降は数億尾程度で推移している。親魚量は最近 5 年間では増加傾向が認められる。親魚量と再生産成功率の間では、親魚量が極めて多い場合に再生産成功率が低くなるという関係が認められる。

②資源と海洋環境の関係

マイワシの資源量変動については海洋環境変動との関係が指摘されている (Yatsu et al. 2005 など)。対馬暖流域においては、LNRR (リッカー型の再生産曲線からの加入量の対数残差) の変動と、冬季の MOI (モンスーンインデックス: イルクーツクと根室の海面気圧差、季節風の強さの指標)、AO (北極振動: 冬季北半球の大気循環の変動パターン) の指数との間に対応が認められている (Ohshimo et al. 2009)。2009 年までの変動傾向を図 16 に示す。例外もあるが、MOI の動向と LNRR の動向は同調しており、AO の動向と LNRR の動向は逆の関係になる傾向が見られる。これらの関係から、季節風の強さや水温などの環境要因がマイワシの加入に影響していると考えられている。

③今後の加入量の仮定

将来予測において、今後の加入量は再生産成功率と親魚量の積として見積もった。計算に用いる再生産成功率については、不確実性の高い直近年を除く過去 10 年間 (1999~2008 年) の再生産成功率の中央値 (23.8 尾/kg) と設定した。

(9) 生物学的な漁獲係数の基準値と現状の漁獲圧の関係

F と加入量あたり漁獲量 (YPR)、加入量あたり親魚量 (SPR) の関係を図 17 に示す。現状の F ($F_{current}$) は、過去 5 年 (2005~2009 年) の F の単純平均値とした。 F_{med} は近年 10 年間 (不確実性の高い直近年の 2009 年を除く 1999~2008 年の 10 年間) の再生産成功率の中央値に対応して資源維持を計る漁獲係数である ($F_{current}$ の選択率の下で、SPR が 42.0g ($1 \div 0.0238$ 尾/g) になる F)。さらに、 F_{max} 、 $F_{0.1}$ 、 $F_{30\%SPR}$ を示した。 $F_{current}$ は $F_{30\%SPR}$ とほぼ同じ値であり、 $F_{0.1}$ 、 F_{med} より高いが、 F_{max} より低い。

5. 2011 年漁獲量の算定 (参考値)

(1) 資源評価のまとめ

資源量は 1980 年代には高い水準にあったが、1990 年代後半に急減し、2001~2003 年には過去最低の水準で推移したと推定される。近年、資源は増加傾向にあり、 B_{ban} (資源量 50 百トン) を上回ったと推定されるが、依然として極めて低い水準にある。このような状況にあつては、専獲を避け、混獲程度に留めることが望ましい。以下、シナリオごとの算定漁獲量については ABC として取り扱わず、参考値として提示した。

(2) 漁獲シナリオに対応した 2011 年漁獲量の算定

複数のシナリオに合わせて F を変化させた場合 ($F_{current}$ 、 F_{med} 、 F_{rec} 、 F_{rec1} 、 F_{rec2})

の、コホート解析（参考）による推定漁獲量と資源量の予測値を以下の表および図 18、19 に示す。Frec は基準値を Fmed として、基準値を B (SSB2009) / Blimit で引き下げた F、Frec1 は 5 年で親魚量が Blimit 以上に回復することが期待できる F、Frec2 は 10 年で親魚量が Blimit 以上に回復することが期待できる F とした。また、以下の表にはそれぞれの F に予防的措置を講じた場合（安全率 α は 0.8）の予測値も示す。

漁獲シナリオ	管理基準	漁獲量（百トン）						
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
親魚量の増大	Frec (F=0.06)	83	125	13	21	32	48	74
上記の予防的措置	0.8Frec (F=0.05)	83	125	11	17	26	40	61
5 年で Blimit へ回復	Frec1 (F=0.08)	83	125	20	30	45	66	98
上記の予防的措置	0.8Frec1 (F=0.07)	83	125	16	24	37	56	84
10 年で Blimit へ回復	Frec2 (F=0.31)	83	125	66	82	102	127	157
上記の予防的措置	0.8Frec2 (F=0.24)	83	125	54	71	93	121	158
親魚量維持	Fmed (F=0.56)	83	125	107	109	111	113	115
上記の予防的措置	0.8Fmed (F=0.44)	83	125	90	100	111	123	137
現状の漁獲圧維持	Fcurrent (F=0.67)	83	125	123	114	106	99	92
上記の予防的措置	0.8Fcurrent (F=0.53)	83	125	104	107	111	115	119
漁獲シナリオ	管理基準	資源量（百トン）						
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
親魚量の増大	Frec (F=0.06)	284	364	346	533	811	1,234	1,877
上記の予防的措置	0.8Frec (F=0.05)	284	364	346	539	826	1,269	1,948
5 年で Blimit へ回復	Frec1 (F=0.08)	284	364	346	522	775	1,154	1,717
上記の予防的措置	0.8Frec1 (F=0.07)	284	364	346	529	797	1,203	1,814
10 年で Blimit へ回復	Frec2 (F=0.31)	284	364	346	434	538	669	831
上記の予防的措置	0.8Frec2 (F=0.24)	284	364	346	456	595	776	1,013
親魚量維持	Fmed (F=0.56)	284	364	346	353	359	365	372
上記の予防的措置	0.8Fmed (F=0.44)	284	364	346	387	429	477	531
現状の漁獲圧維持	Fcurrent (F=0.67)	284	364	346	323	301	281	262
上記の予防的措置	0.8Fcurrent (F=0.53)	284	364	346	360	373	386	400

(3) 加入量の不確実性を考慮した検討、シナリオの評価

将来予測において、再生産成功率の年変動が親魚量、資源量と漁獲量の動向に与える影響を検討した。将来予測に用いる 2010 年の再生産成功率は毎年異なり、その値は 1960～2008 年の再生産成功率の平均値に対する各年の比率が同じ確率で現れて（重複を許してランダム抽出）、その比率に仮定値 23.8 尾/kg を乗じたものであるとした。この仮定の上で、 $F_{current}$ 、 F_{med} 、 F_{rec} 、 F_{rec1} 、 F_{rec2} およびそれらに予防的措置を講じた場合の F （安全率 α は 0.8）の 10 のシナリオについて検討した。1,000 回シミュレーションした結果（親魚量、漁獲量）を図 20 に、また 5 年後（2015 年）予想漁獲量の幅（80% 区間）、5 年間（2011～2015 年）平均漁獲量、親魚量が 5 年後（2016 年頭）および 10 年後（2021 年頭）に B_{limit} を上回る確率、管理開始から 10 年間（2012 年頭～2021 年頭）に資源量が B_{ban} を下回る年が一年でも出る確率を次ページの表に示す。

$F_{current}$ および F_{med} では 5 年後および 10 年後に B_{limit} へ回復する確率は低く、また今後 10 年間に B_{ban} を下回る確率が 10% 以上ある。 F_{rec2} 以下の F では 10 年間で B_{ban} を下回る確率はいずれも 0% であり、平均的には親魚量と漁獲量の回復が期待されるが、10 年後における将来予測値の幅はいずれもかなり大きい。

漁獲シナリオ (管理基準)	F 値 (Fcurrent との比較)	漁獲 割合	将来漁獲量		評価		2011 年 算定漁 獲量
			5 年後	5 年 平均	Blimit へ 回復 5 年後(10 年後)	Bban を下回 る(10 年間)	
親魚量の増大 (B/Blimit× Fmed) (Frec) *	0.06 (0.08 Fcurrent)	4%	2 千トン ～ 14 千トン	4 千 トン	57% (97%)	0%	1 千 トン
親魚量の増大 (B/Blimit× Fmed) 予防的措 置 (0.8Frec) *	0.05 (0.07 Fcurrent)	3%	2 千トン ～ 12 千トン	3 千 トン	59% (98%)	0%	1 千 トン
親魚量の増大 (5年でBlimitへ 回復) (Frec1) *	0.08 (0.13 Fcurrent)	6%	3 千トン ～ 20 千トン	5 千 トン	51% (95%)	0%	2 千 トン
親魚量の増大 (5年でBlimitへ 回復) 予防的措置 (0.8Frec1) *	0.07 (0.10 Fcurrent)	5%	3 千トン ～ 17 千トン	5 千 トン	55% (97%)	0%	2 千 トン
親魚量の増大(10 年で Blimit へ回 復) (Frec2) *	0.31 (0.46 Fcurrent)	19%	5 千トン ～ 30 千トン	11 千 トン	11% (46%)	0%	7 千 トン
親魚量の増大(10 年で Blimit へ回 復) 予防的措置 (0.8Frec2) *	0.24 (0.37 Fcurrent)	16%	5 千トン ～ 31 千トン	10 千 トン	21% (62%)	0%	5 千 トン
親魚量の維持 (Fmed) *	0.56 (0.83 Fcurrent)	31%	3 千トン ～ 23 千トン	11 千 トン	1% (3%)	13%	11 千 トン
親魚量の維持、 予防的措置 (0.8Fmed) *	0.44 (0.67 Fcurrent)	26%	4 千トン ～ 28 千トン	11 千 トン	3% (12%)	3%	9 千 トン
漁獲圧の維持 (Fcurrent)	0.67 (1.00 Fcurrent)	35%	2 千トン ～ 19 千トン	11 千 トン	0% (0%)	35%	12 千 トン
漁獲圧の維持、 予防的措置 (0.8Fcurrent)	0.53 (0.80 Fcurrent)	30%	3 千トン ～ 23 千トン	11 千 トン	1% (3%)	12%	10 千 トン
コメント ・値は参考値。 ・当該資源は再生産成功率の変動が激しいため、将来予測の不確実性が大きい。 ・本系群の将来漁獲量算定についてはABC算定規則1-1)を用いた。 ・平成18年に設定された中期的管理方針では、「大韓民国等と我が国の水域にまたがって分布し、大韓民国等においても採捕が行われていることから、関係国との協調した管理に向けて取り組みつつ、資源の維持若しくは増大することを基本に、我が国水域への来遊量の年変動も配慮しながら、管理を行うものとする」とされており、Fmed以下のFによるシナリオが合致すると考えられる*。 ・不確実性を考慮して安全率αを0.8とした。							

Fcurrent は 2005～2009 年の平均値。漁獲割合は 2011 年漁獲量／資源量。F 値は各年齢の平均値。将来漁獲量の幅は 80%区間。

(4) 推定資源量の再評価

昨年度評価以降追加されたデータセット	修正・更新された数値
2008 年漁獲量確定値 2009 年漁獲量暫定値 2009 年月別体長組成	2008、2009 年年齢別漁獲尾数 2007 年年齢別漁獲尾数の見直し
2009 年資源量指数	2009 年までの年齢別資源尾数(再生産関係)、 漁獲係数 (年齢別選択率)

評価対象年 (当初・再評価)	管理 基準	F 値	資源量* (千トン)	ABCLimit (千トン)	ABCtarget (千トン)	漁獲量 (千トン)
2009 年(当初)	—	—	22	—	—	
2009 年(2009 年再評価)	—	—	20	—	—	
2009 年(2010 年再評価)	—	—	28	—	—	8
2010 年(当初)	—	—	21	—	—	
2010 年(2010 年再評価)	—	—	36	—	—	

*参考値。

当系群のコホート計算結果と算定漁獲量は昨年、一昨年ともに参考値扱いである。ここでは昨年同様資源量推定値のみの再評価とした。2009 年(当初)は 2008 年資源評価報告書に記載。2009 年(2009 年再評価)および 2010 年(当初)は 2009 年資源評価報告書に記載。2009 年および 2010 年資源量は当初評価に比べてやや上向きに修正された。

6. その他の管理方策の提言

現在、未成魚および産卵親魚は 2000 年代前半に比べて多少増加していると推定されるが、1980 年代と比べると依然として極めて低い水準にある。若齢魚に対する漁獲を控え、親魚量をより増加させることも資源の回復に効果的であると考えられる。

平成 21 年度から日本海西部・九州西海域マアジ(マサバ・マイワシ)資源回復計画が実施されている。漁業者の取り組みとしてマイワシの専獲を避けることとされており、継続実施が望まれる。

7. 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, 東京, 35-44.

Hiyama, Y., H. Nishida and T. Goto (1995) Interannual fluctuations in recruitment and growth of the sardine, *Sardinops melanostictus*, in the Sea of Japan and adjacent waters. Res. Popul. Ecol., 37, 177-183.

松岡正信・小西芳信(2001) 1979～1995 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, 67-731.

Ohshimo, S., H. Tanaka and Y. Hiyama (2009) Long-term stock assessment and growth

- changes of the Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the Sea of Japan and East China Sea from 1953 to 2006. Fish. Oceanogr., 18, 346-358.
- Wada, T. and L. D. Jacobson (1998) Regimes and stock-recruitment relationships in Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*), 1951-1995. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 55, 2455-2463.
- Watanabe, Y., H. Zenitani and R. Kimura (1995) Population decline of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to recruitment failures. Can. J. Fish Aquat. Sci., 52, 1609-1616.
- Yatsu, A., T. Watanabe, M. Ishida, H. Sugisaki and L. D. Jacobson (2005) Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management. Fish. Oceanogr., 14, 263-278.

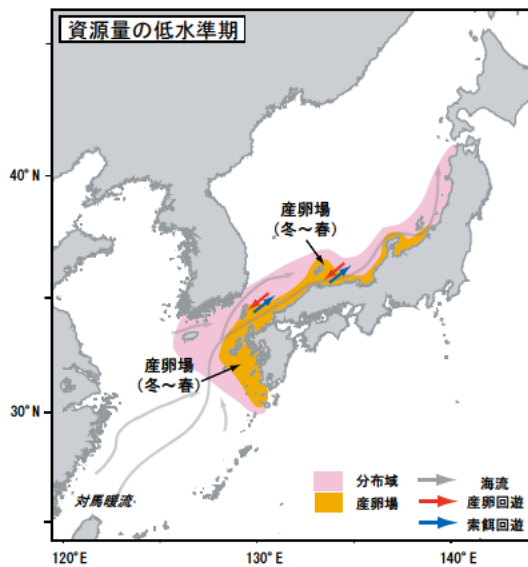


図 1. マイワシ対馬暖流系群の分布・回遊
および生活史と漁場形成模式図

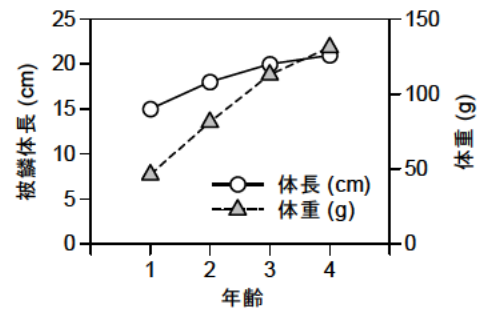


図 2. 年齢と成長 (低水準期)

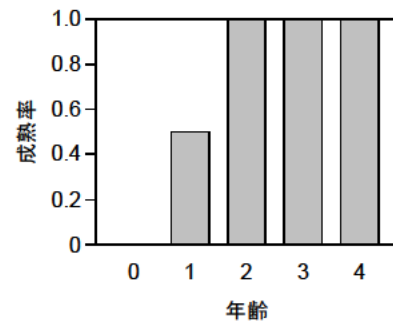


図 3. 年齢と成熟率 (低水準期)

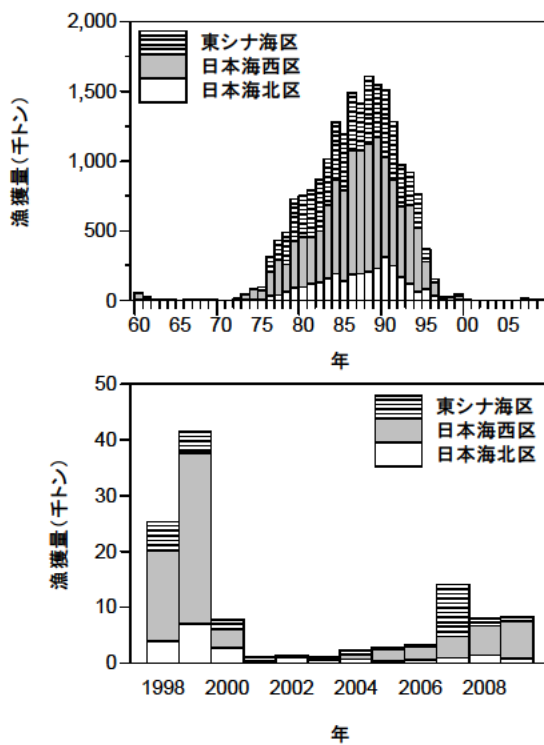


図 4. 漁獲量
(上: 1960～2009 年、下: 1998～2009 年)

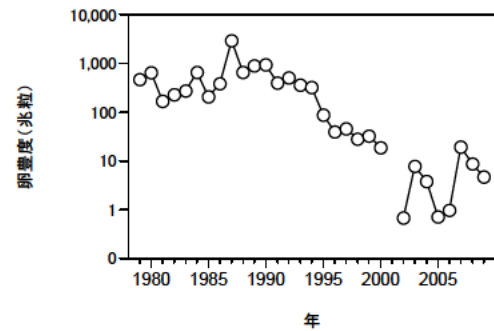


図 5. マイワシの産卵量 (2001 年は
卵なし)

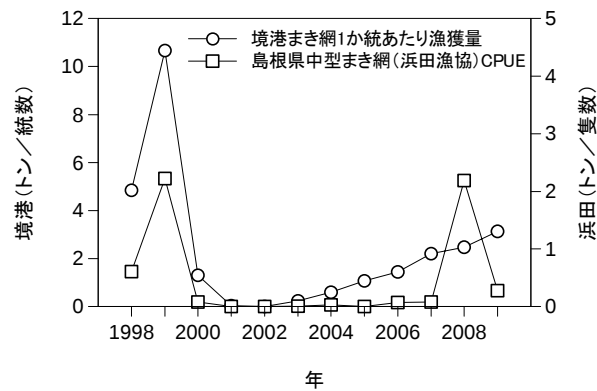


図 6. 境港まき網 1 か統あたり漁獲量、島根県中型まき網（浜田漁協）CPUE

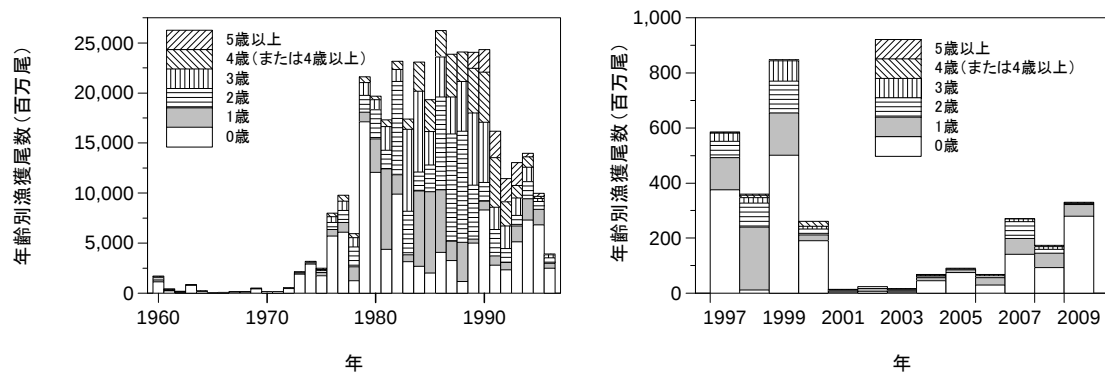


図 7. 年齢別・年別漁獲尾数（左：1960～1996 年、右：1997～2009 年）

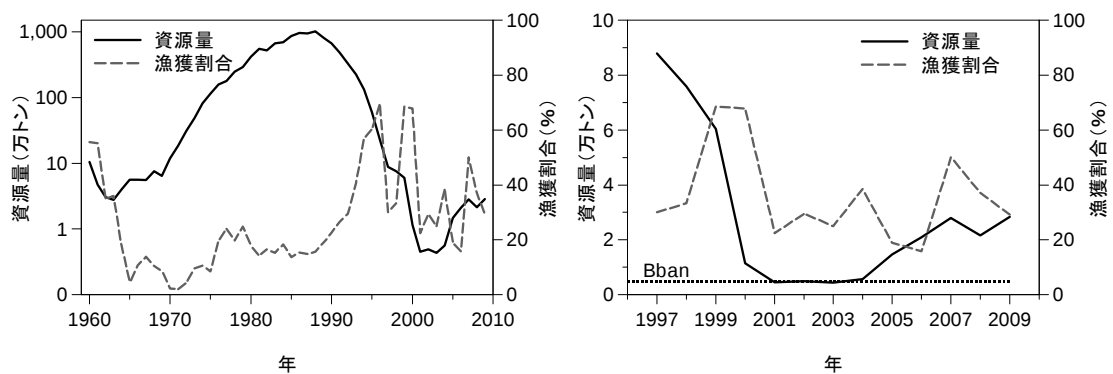


図 8. 資源量と漁獲割合（左：1960～2009 年、資源量は対数表示、右：1997～2009 年、Bban は資源量 5 千トン）

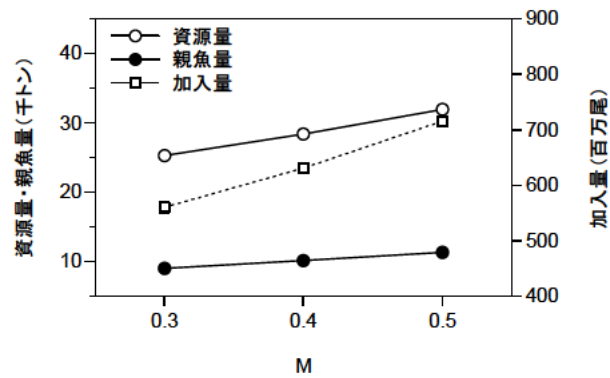


図 9. M と 2009 年資源量、親魚量、加入量の関係

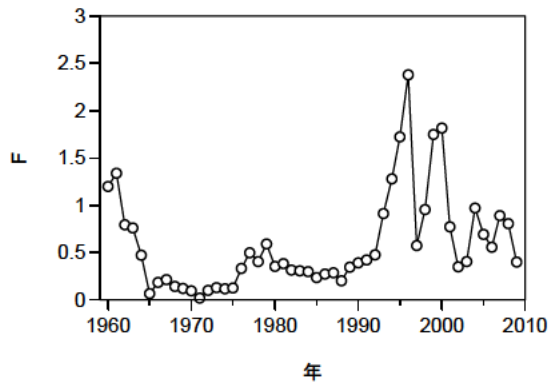


図 10. F の推移

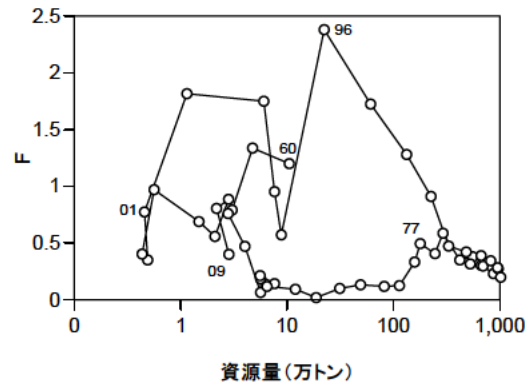


図 11. 資源量と F の関係 (図中の数値は年)

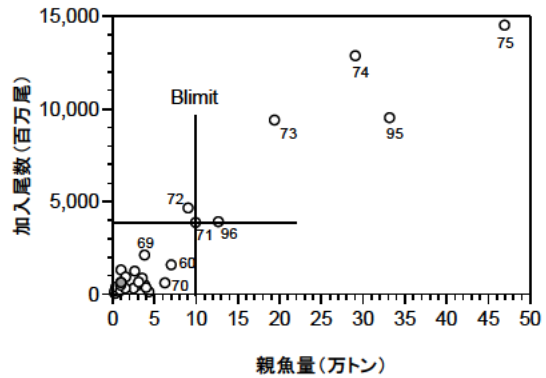
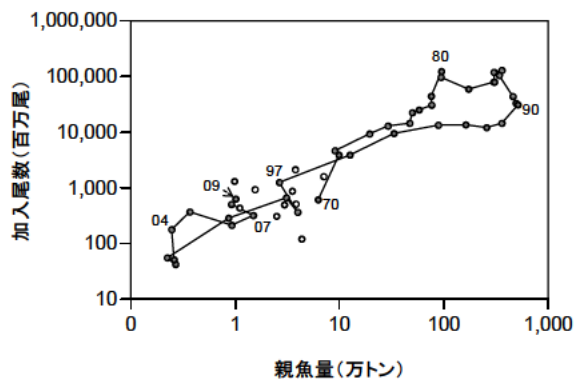


図 12. 親魚量と加入尾数の関係 (左：全期間、1970 年以降を折れ線表示、右：親魚量 50 万トン以下のデータのみ。Blimit は 1971 年水準の親魚量 10 万トン。図中の数値は年。右図では灰色のシンボルが 2009 年の値。)

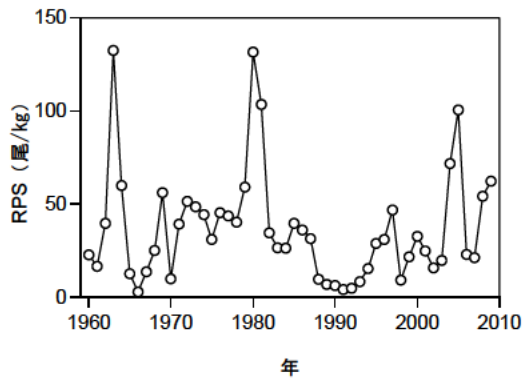


図 13. 再生産成功率 (RPS) の推移

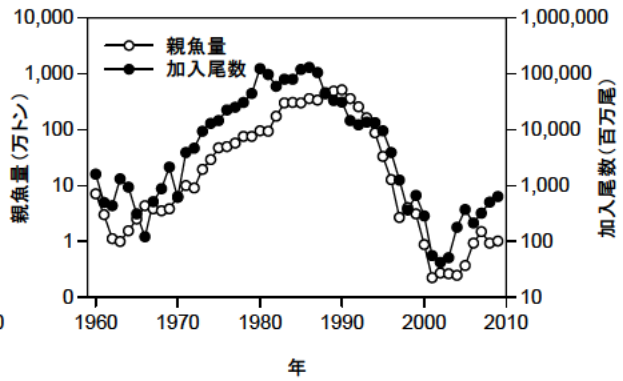


図 14. 親魚量と加入尾数の推移

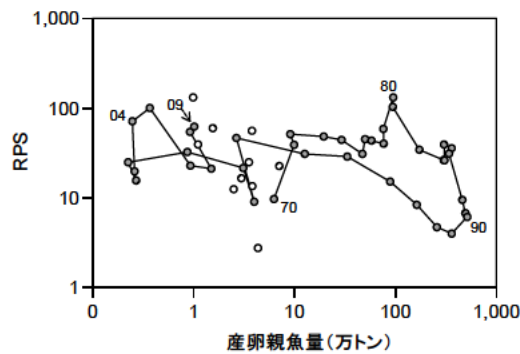


図 15. 親魚量と再生産成功率 (RPS) の関係 (1970 年以降を折れ線表示、図中の数値は年)

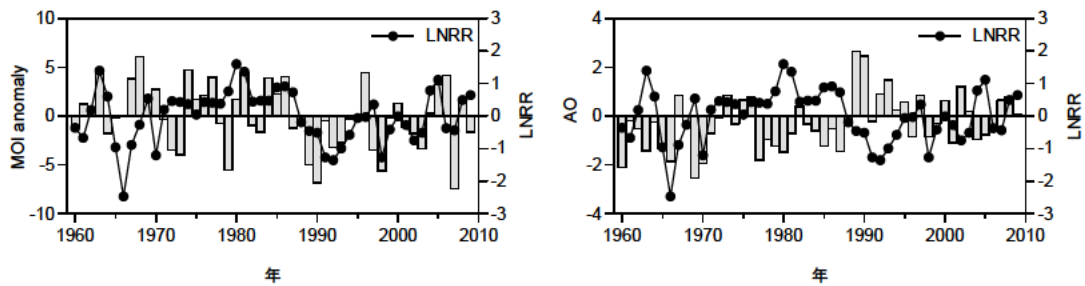


図 16. 資源と海洋環境の関係 (LNRR: リッカー型再生産曲線からの対数残差 (折れ線)、MOI: モンスーンインデックス (左図、棒グラフ)、AO: 北極振動 (右図、棒グラフ))

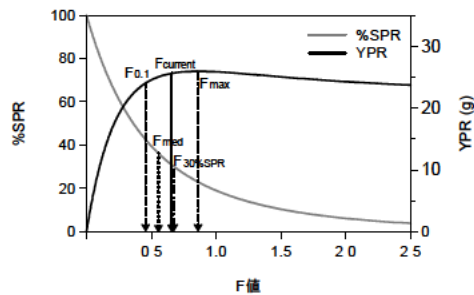


図 17. YPR と %SPR

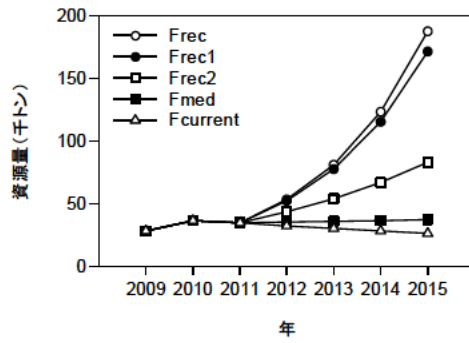


図 18. 様々な F による資源量の予測値

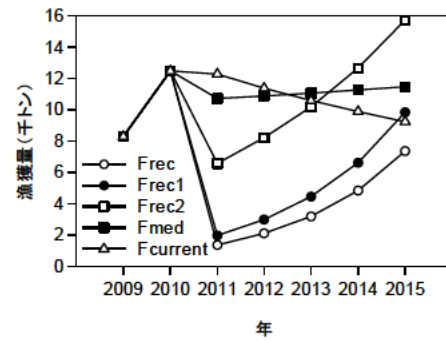


図 19. 様々な F による漁獲量の予測値

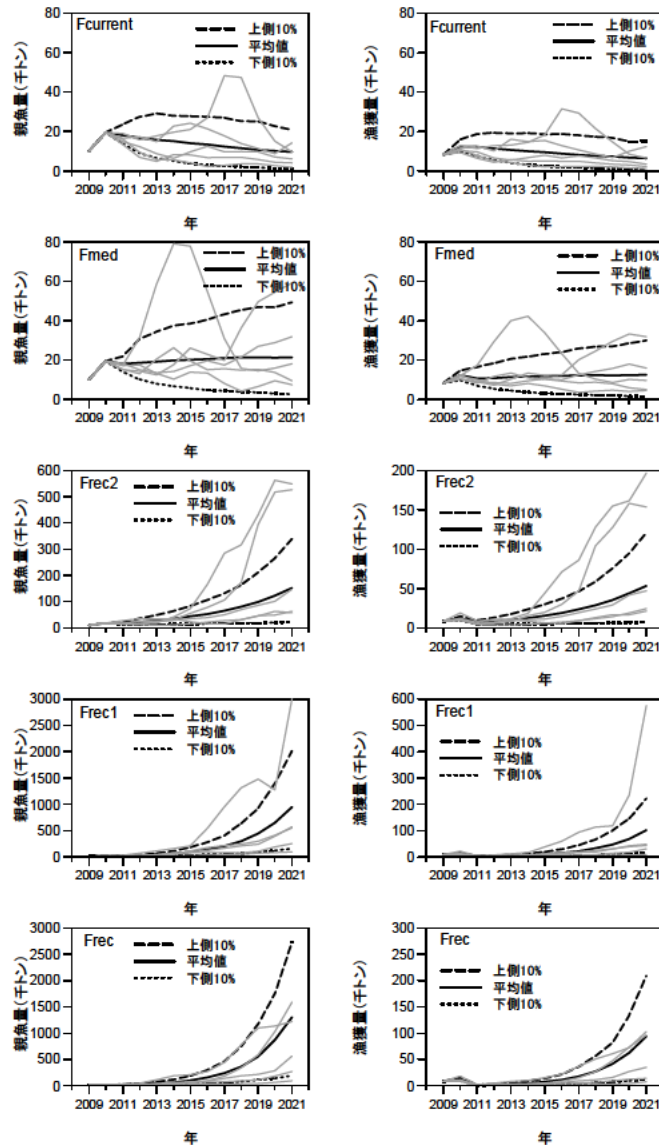


図 20. 再生産成功率の変動を考慮したシミュレーション結果（左列：親魚量、右列：漁獲量）1,000 回の試行のうち、太線は上側 10%、平均値、下側 10%を、灰色の線は 5 回のシミュレーション結果の例を示す。

表 1. 漁獲量 (百トン) と資源量 (百トン)、親魚量 (百トン)、加入尾数 (百万尾)、再生産成功率 (尾/kg) (漁獲量以外は参考値)

年	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
漁獲量	584	260	107	100	71	25	61	77	79	56	27	37	137	468
資源量	1,051	472	304	279	400	562	564	555	759	648	1,192	1,868	3,127	4,898
親魚量	703	297	110	99	154	248	433	381	351	379	625	991	905	1,939
加入尾数	1,593	493	436	1,306	927	310	119	513	877	2,122	607	3,873	4,650	9,393
再生産成功率	22.6	16.6	39.6	132.5	60.0	12.5	2.8	13.5	25.0	56.0	9.7	39.1	51.4	48.5

年	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
漁獲量	867	962	3,093	4,285	4,870	7,270	7,509	7,915	8,687	10,165	12,775	11,910	14,861	14,123
資源量	8,155	11,392	15,833	17,871	24,661	29,272	42,147	55,530	52,548	66,751	69,789	86,822	96,198	94,937
親魚量	2,908	4,695	4,978	5,768	7,610	7,545	9,439	9,370	17,255	30,037	30,637	30,295	35,928	33,852
加入尾数	12,879	14,522	22,570	25,184	30,630	44,578	124,264	97,069	59,594	79,610	80,285	120,056	128,911	105,948
再生産成功率	44.3	30.9	45.3	43.7	40.2	59.1	131.6	103.6	34.5	26.5	26.2	39.6	35.9	31.3

年	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
漁獲量	16,056	15,465	15,050	12,806	9,747	9,167	7,581	3,658	1,556	264	253	414	78	10
資源量	102,090	81,908	66,656	48,399	33,109	22,519	13,337	6,073	2,238	878	759	603	114	45
親魚量	45,707	49,187	51,111	36,096	25,682	16,250	8,814	3,314	1,263	265	398	309	87	22
加入尾数	43,400	33,287	31,227	14,473	12,120	13,571	13,395	9,524	3,911	1,239	362	666	282	55
再生産成功率	9.5	6.8	6.1	4.0	4.7	8.4	15.2	28.7	31.0	46.7	9.1	21.5	32.5	24.8

年	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
漁獲量	14	11	22	28	33	140	80	83
資源量	49	43	56	147	209	280	216	284
親魚量	27	26	25	37	93	149	92	101
加入尾数	42	51	177	369	211	316	498	631
再生産成功率	15.6	19.8	71.8	100.5	22.8	21.2	54.2	62.3

表 2. 年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年齢\年	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
0	1,112	217	85	788	163	22	20	114	118	426	165	141	448	1,906	2,928	1,762	5,711
1	208	60	66	39	36	12	28	14	38	47	1	4	24	128	102	284	635
2	243	46	25	17	14	11	17	19	5	9	4	4	36	67	80	204	727
3	85	70	15	8	9	2	12	14	3	1	1	2	15	9	70	129	582
4+	54	51	6	4	4	0	8	5	8	6	2	1	6	42	21	98	340

年齢\年	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0	6,083	1,223	17,118	12,077	4,390	9,885	3,135	2,669	2,001	4,082	3,249	1,162	5,004	8,300	2,810	2,325	5,126
1	976	1,433	955	3,326	8,019	1,960	721	7,537	8,141	6,258	1,961	3,911	371	899	905	725	1,593
2	1,199	1,943	1,691	2,921	1,855	9,286	4,332	1,890	2,667	9,265	10,699	11,124	5,423	1,853	2,635	1,399	1,050
3	947	953	1,282	1,018	2,364	1,212	8,197	8,088	3,321	3,987	3,673	4,943	7,213	6,009	2,210	2,255	1,726
4(4+)	585	386	579	313	684	822	1,013	2,906	3,209	2,647	4,276	2,946	4,460	5,020	4,980	2,423	1,265
5+													1,573	2,251	2,644	2,333	2,280

年齢\年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0	7293	6828	2496	375	11	501	190	4	9	4	44	75	29	141	94	280
1	2131	1556	505	118	228	153	22	4	11	5	12	10	28	58	51	41
2	1717	791	538	59	87	116	21	2	8	6	6	3	7	61	15	4
3	1428	312	302	30	20	74	11	2	0	2	3	1	3	11	9	2
4(4+)	1049	162	70	3	9	5	17	2	0	1	2	1	0	1	4	2
5+	361	312	28	1	4											

表 3. 年齢別漁獲量 (百トン)

年齢\年	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
0	115	46	25	52	27	7	7	33	42	18	19	28	70	275	652	375	1,094
1	127	36	38	22	19	7	17	7	20	23	1	2	15	74	51	164	376
2	188	39	20	13	11	9	14	16	3	6	3	3	29	49	68	163	596
3	85	77	15	8	9	2	13	14	3	1	1	2	15	9	70	130	588
4+	69	62	8	5	5	0	10	6	11	8	2	2	8	60	26	129	437

年齢\年	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0	1,071	242	2,969	1,823	567	1,287	464	447	355	750	476	243	569	1,144	679	464	751
1	523	1,012	543	1,930	3,411	497	262	2,760	4,120	2,317	725	1,742	195	555	563	491	1,096
2	984	1,615	1,433	2,249	1,125	5,209	2,922	1,295	1,736	4,901	6,666	6,936	3,599	1,399	2,205	1,326	1,105
3	973	1,333	1,505	1,106	1,990	921	5,444	5,733	2,681	3,848	2,599	3,837	5,395	5,006	1,992	2,319	1,990
4(4+)	734	669	820	400	823	774	1,073	2,540	3,017	3,045	3,658	3,299	4,030	4,538	4,623	2,478	1,413
5+													1,677	2,408	2,744	2,670	2,812

年齢\年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0	1,178	953	386	108	4	145	11	1	2	1	6	18	10	43	17	55
1	1,369	986	313	70	133	89	14	2	6	3	5	6	14	34	33	19
2	1,533	712	439	50	79	100	19	2	5	5	5	2	6	51	14	4
3	1,631	335	295	30	21	74	12	3	0	2	3	1	3	11	10	2
4(4+)	1,333	202	83	4	11	6	22	2	0	1	3	1	0	1	6	3
5+	537	471	39	2	6											

表 4. 年齢別資源尾数 (百万尾、参考値)

年齢\年	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
0	1,593	493	436	1,306	927	310	119	513	877	2,122	607	3,873	4,650	9,393	12,879	14,522	22,570
1	400	157	153	223	230	487	190	64	251	491	1,074	271	2,480	2,751	4,736	6,236	8,292
2	439	98	56	48	117	125	317	104	32	137	291	719	179	1,643	1,739	3,091	3,948
3	168	95	28	17	18	67	75	199	55	18	84	192	479	90	1,046	1,100	1,905
4+	107	70	12	9	8	7	48	66	162	137	98	120	206	442	315	838	1,114

年齢\年	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0	25,184	30,630	44,578	124,26	97,069	59,594	79,610	80,285	120,05	128,91	105,94	43,400	33,287	31,227	14,473	12,120	13,571
1	10,453	11,901	19,531	15,867	73,409	61,473	31,854	50,797	51,631	78,838	83,070	68,359	28,140	18,216	14,136	7,401	6,221
2	5,038	6,208	6,804	12,310	7,912	42,642	39,601	20,762	27,879	27,944	47,723	54,077	42,620	18,559	11,474	8,735	4,368
3	2,051	2,396	2,570	3,177	5,861	3,785	20,981	22,999	12,369	16,504	11,146	23,230	27,142	24,129	10,923	5,534	4,710
4(4+)	1,269	971	1,161	977	1,695	2,569	2,594	8,262	11,954	10,957	12,977	9,662	11,524	12,288	11,255	5,513	1,864
5+											4,064	5,510	5,977	5,309	5,309	3,359	

年齢\年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0	13,395	9,524	3,911	1,239	362	666	282	55	42	51	177	369	211	316	498	631
1	4,900	3,008	794	578	523	233	36	33	34	21	31	82	185	117	97	257
2	2,865	1,540	743	119	291	164	31	6	19	14	10	12	47	102	31	23
3	2,068	515	385	57	31	123	15	4	2	7	4	2	6	26	19	8
4(4+)	1,743	217	90	11	14	8	24	3	1	2	4	1	1	1	9	8
5+	599	416	36	4	7											

表 5. 年齢別漁獲係数 (参考値)

年齢\年	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
0	1.91	0.77	0.27	1.33	0.24	0.09	0.23	0.32	0.18	0.28	0.40	0.05	0.13	0.28	0.33	0.16	0.37
1	1.01	0.63	0.76	0.24	0.21	0.03	0.20	0.30	0.21	0.12	0.00	0.02	0.01	0.06	0.03	0.06	0.10
2	1.13	0.86	0.81	0.56	0.15	0.11	0.07	0.25	0.19	0.08	0.02	0.01	0.28	0.05	0.06	0.08	0.25
3	0.97	2.21	1.06	0.83	0.87	0.04	0.22	0.09	0.06	0.05	0.02	0.01	0.04	0.12	0.08	0.15	0.47
4+	0.97	2.21	1.06	0.83	0.87	0.04	0.22	0.09	0.06	0.05	0.02	0.01	0.04	0.12	0.08	0.15	0.47

年齢\年	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0	0.35	0.05	0.63	0.13	0.06	0.23	0.05	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03	0.20	0.39	0.27	0.27	0.62
1	0.12	0.16	0.06	0.30	0.14	0.04	0.03	0.20	0.21	0.10	0.03	0.07	0.02	0.06	0.08	0.13	0.38
2	0.34	0.48	0.36	0.34	0.34	0.31	0.14	0.12	0.12	0.52	0.32	0.29	0.17	0.13	0.33	0.22	0.35
3	0.83	0.67	0.94	0.50	0.68	0.50	0.65	0.56	0.40	0.35	0.51	0.30	0.39	0.36	0.28	0.69	0.59
4(4+)	0.83	0.67	0.94	0.50	0.68	0.50	0.65	0.56	0.40	0.35	0.51	0.30	0.64	0.69	0.78	0.77	1.77
5+													0.64	0.69	0.78	0.77	1.77

年齢\年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0	1.09	2.08	1.51	0.46	0.04	2.52	1.73	0.09	0.29	0.09	0.37	0.29	0.18	0.78	0.26	0.78
1	0.76	1.00	1.50	0.29	0.76	1.62	1.35	0.16	0.48	0.31	0.60	0.15	0.20	0.94	1.02	0.22
2	1.32	0.99	2.16	0.94	0.46	2.01	1.67	0.60	0.66	0.79	1.15	0.32	0.21	1.30	0.95	0.25
3	1.86	1.35	3.16	1.00	1.48	1.30	2.17	1.50	0.15	0.41	1.37	1.34	1.09	0.71	0.89	0.36
4(4+)	1.33	2.46	2.98	0.37	1.48	1.30	2.17	1.50	0.15	0.41	1.37	1.34	1.09	0.71	0.89	0.36
5+	1.33	2.46	2.98	0.37	1.48											

表 6. 年齢別資源量 (百トン、参考値)

年齢\年	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
0	165	105	128	86	154	93	45	149	311	91	71	760	726	1,356	2,866	3,095	4,325
1	244	95	88	127	121	295	115	33	130	238	662	156	1,496	1,603	2,381	3,602	4,910
2	340	82	44	38	95	100	262	89	23	90	227	587	143	1,218	1,465	2,473	3,240
3	167	106	29	18	19	66	79	196	65	19	84	200	488	92	1,056	1,116	1,926
4+	135	85	15	11	10	9	62	87	230	210	149	164	273	628	387	1,106	1,432

年齢\年	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0	4,435	6,067	7,731	18,761	12,540	7,760	11,788	13,437	21,323	23,690	15,517	9,083	3,787	4,304	3,500	2,417	1,988
1	5,600	8,404	11,113	9,206	31,221	15,574	11,570	18,602	26,133	29,190	30,702	30,443	14,792	11,241	8,803	5,010	4,280
2	4,137	5,157	5,766	9,480	4,797	23,921	26,713	14,225	18,143	14,781	29,733	33,716	28,284	14,006	9,602	8,278	4,595
3	2,109	3,351	3,018	3,452	4,932	2,877	13,935	16,301	9,987	15,932	7,886	18,030	20,299	20,104	9,845	5,693	5,430
4(4+)	1,590	1,681	1,644	1,247	2,040	2,417	2,746	7,223	11,236	12,606	11,100	10,818	10,412	11,107	10,448	5,637	2,082
5+													4,334	5,894	6,201	6,074	4,143

年齢\年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0	2,163	1,330	605	357	133	193	16	14	12	11	25	87	70	96	93	123
1	3,148	1,907	492	342	304	135	23	19	20	12	14	47	95	69	62	118
2	2,558	1,387	606	101	263	141	29	5	13	11	8	9	39	86	27	22
3	2,362	552	376	58	32	125	16	4	2	7	4	2	6	28	21	9
4(4+)	2,215	269	107	14	17	10	30	4	2	2	5	2	1	2	12	11
5+	892	628	51	6	9											

表 7. 各シナリオに対応する将来予測

Fcurrent

年齢別漁獲係数

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
1	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
2	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
3	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
4+	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
平均	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67

年齢別資源尾数 (百万尾)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	463	435	405	378	353	329
1	193	196	184	172	160	149
2	138	78	79	74	69	65
3	12	51	29	29	27	25
4+	7	5	16	12	11	11
計	814	766	713	665	621	579

年齢別資源量 (百トン)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	116	109	101	95	88	82
1	107	109	102	95	89	83
2	118	67	68	64	59	55
3	13	55	31	31	29	27
4+	10	7	21	16	15	14
資源量計	364	346	323	301	281	262
親魚量	195	183	170	159	148	138

年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	140	131	122	114	106	99
1	63	64	60	56	52	49
2	52	29	30	28	26	24
3	6	24	14	14	13	12
4+	3	3	7	6	5	5
計	263	251	233	217	203	189

年齢別漁獲量 (百トン)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	35	33	31	29	27	25
1	35	35	33	31	29	27
2	44	25	25	24	22	21
3	6	26	15	15	14	13
4+	5	3	10	8	7	7
計	125	123	114	106	99	92

表 7. 各シナリオに対応する将来予測 (続き)

Fmed

年齢別漁獲係数

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	0.46	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
1	0.51	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
2	0.61	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
3	0.88	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
4+	0.88	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
平均	0.67	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56

年齢別資源尾数 (百万尾)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	463	435	444	451	460	468
1	193	196	199	203	206	210
2	138	78	86	87	89	91
3	12	51	32	35	35	36
4+	7	5	18	16	16	17
計	814	766	779	793	807	821

年齢別資源量 (百トン)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	116	109	111	113	115	117
1	107	109	110	113	114	116
2	118	67	74	75	76	77
3	13	55	34	38	38	39
4+	10	7	24	21	22	22
資源量計	364	346	353	359	365	372
親魚量	195	183	187	190	193	197

年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	140	114	116	118	120	122
1	63	55	56	57	58	59
2	52	25	28	28	29	29
3	6	22	13	15	15	15
4+	3	2	8	7	7	7
計	263	218	221	225	229	233

年齢別漁獲量 (百トン)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	35	28	29	29	30	31
1	35	31	31	32	32	33
2	44	22	24	24	25	25
3	6	23	15	16	16	17
4+	5	3	10	9	9	9
計	125	107	109	111	113	115

表 7. 各シナリオに対応する将来予測 (続き)

Frec2

年齢別漁獲係数

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	0.46	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
1	0.51	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
2	0.61	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
3	0.88	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
4+	0.88	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
平均	0.67	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31

年齢別資源尾数 (百万尾)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	463	435	549	679	845	1,049
1	193	196	236	298	369	459
2	138	78	104	126	158	196
3	12	51	40	53	64	80
4+	7	5	25	29	37	45
計	814	766	954	1,185	1,472	1,829

年齢別資源量 (百トン)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	116	109	137	170	212	263
1	107	109	131	165	205	254
2	118	67	89	107	135	167
3	13	55	43	57	69	87
4+	10	7	33	38	49	60
資源量計	364	346	434	538	669	831
親魚量	195	183	231	285	355	441

年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	140	68	85	106	131	163
1	63	33	40	51	63	78
2	52	16	21	25	32	39
3	6	14	11	14	17	22
4+	3	1	7	8	10	12
計	263	132	164	204	253	314

年齢別漁獲量 (百トン)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	35	17	21	26	33	41
1	35	19	22	28	35	43
2	44	13	18	21	27	33
3	6	15	12	16	19	24
4+	5	2	9	10	13	16
計	125	66	82	102	127	157

表 7. 各シナリオに対応する将来予測 (続き)

Frec1

年齢別漁獲係数

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	0.46	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
1	0.51	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
2	0.61	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
3	0.88	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
4+	0.88	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
平均	0.67	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

年齢別資源尾数 (百万尾)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	463	435	664	983	1,464	2,177
1	193	196	276	420	622	926
2	138	78	123	173	264	391
3	12	51	49	77	108	164
4+	7	5	34	49	76	110
計	814	766	1,145	1,702	2,533	3,769

年齢別資源量 (百トン)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	116	109	166	246	367	545
1	107	109	153	233	345	514
2	118	67	105	148	226	334
3	13	55	53	83	117	178
4+	10	7	45	65	100	146
資源量計	364	346	522	775	1,154	1,717
親魚量	195	183	279	413	615	915

年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	140	20	30	45	67	100
1	63	10	14	21	31	47
2	52	5	7	10	16	23
3	6	4	4	7	9	14
4+	3	0	3	4	6	9
計	263	39	59	87	130	193

年齢別漁獲量 (百トン)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	35	5	8	11	17	25
1	35	5	8	12	17	26
2	44	4	6	9	14	20
3	6	5	4	7	10	15
4+	5	1	4	6	9	12
計	125	20	30	45	66	98

表 7. 各シナリオに対応する将来予測 (続き)

Frec

年齢別漁獲係数

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	0.46	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
1	0.51	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
2	0.61	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3	0.88	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
4+	0.88	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
平均	0.67	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

年齢別資源尾数 (百万尾)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	463	435	679	1,028	1,566	2,382
1	193	196	281	438	663	1,010
2	138	78	126	180	281	426
3	12	51	50	80	115	179
4+	7	5	35	53	83	123
計	814	766	1,171	1,780	2,708	4,120

年齢別資源量 (百トン)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	116	109	170	258	392	596
1	107	109	156	243	368	560
2	118	67	108	154	240	364
3	13	55	54	87	124	194
4+	10	7	46	70	110	163
資源量計	364	346	533	811	1,234	1,877
親魚量	195	183	285	432	658	1,001

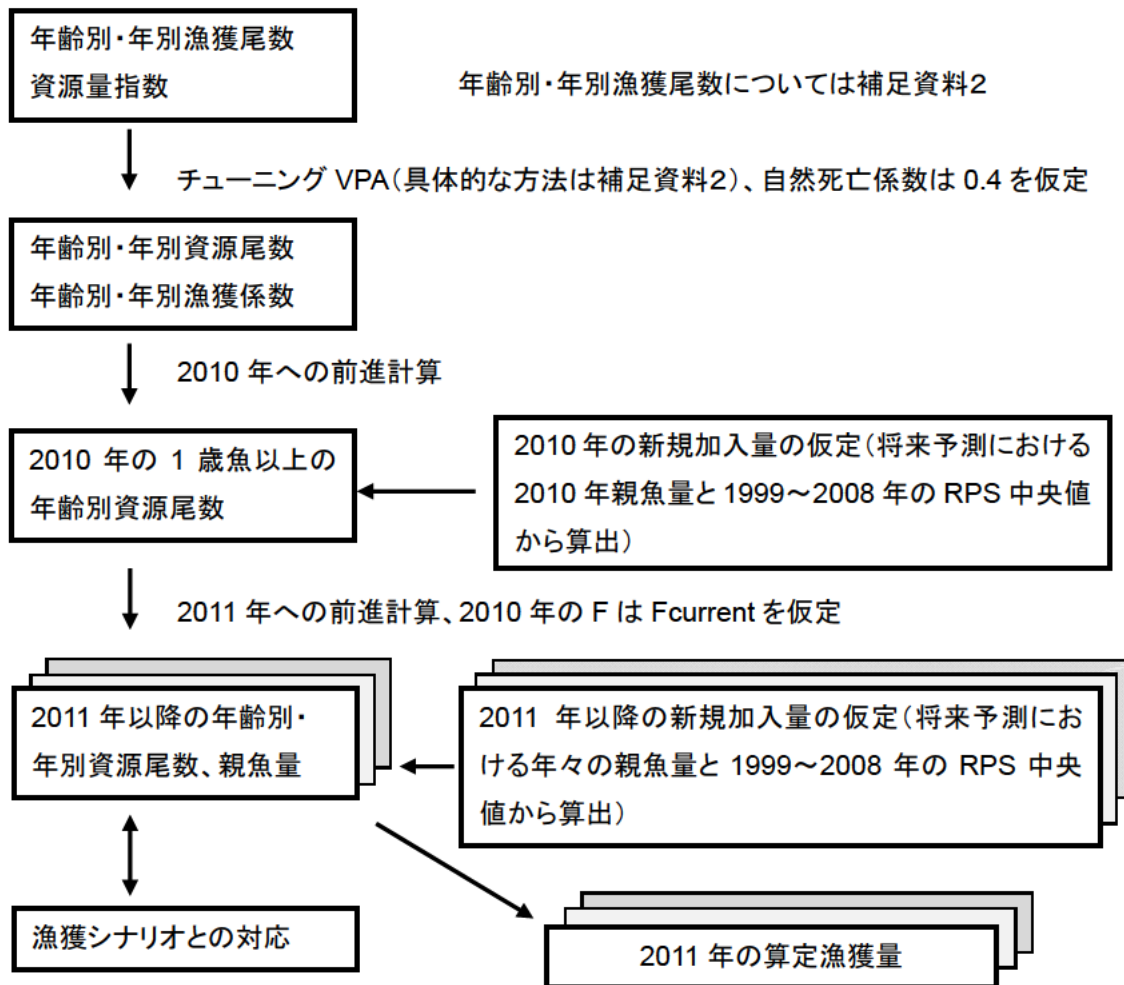
年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	140	14	21	32	49	74
1	63	7	10	15	23	35
2	52	3	5	7	12	17
3	6	3	3	5	7	10
4+	3	0	2	3	5	7
計	263	27	41	62	95	144

年齢別漁獲量 (百トン)

年齢\年	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0	35	3	5	8	12	19
1	35	4	5	8	13	19
2	44	3	4	6	10	15
3	6	3	3	5	7	11
4+	5	0	3	4	6	10
計	125	13	21	32	48	74

補足資料 1. 資源評価の流れ



補足資料2. 資源量計算方法（コホート解析）

コホート解析に用いた年齢別年別漁獲尾数は、日本海～東シナ海側の各月の主要港の水揚げ量および体長組成データより算出した。Age-length-key は鱗による年齢査定結果を用いた。以上より推定されたマイワシの年齢別年別漁獲尾数を用いて、コホート解析により年齢別年別資源尾数を推定した。年齢別年別資源尾数の計算には Pope の近似式を用い、プラスグループの資源尾数については平松（内部資料）の方法（非定常な場合のプラスグループの計算、 $\alpha=1$ ）に従った。なお、年齢については、1953 年～1988 年および 1999 年～2009 年は 0 歳～4+歳、1989 年～1998 年は 0 歳～5+歳別に求めた（4 歳以上、5 歳以上をまとめて 4+、5+（プラスグループ）と表記する）。

（1）Pope の近似式を用いた資源尾数の計算（ステップ 1）

式（1）により年齢別年別資源尾数を計算した。

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

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、 M は自然死亡係数（0.4）である。

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

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

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

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

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。

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

$$N_{4,1998} = N_{3,1998} \times \frac{C_{4,1998}}{C_{3,1998}} \quad (6)$$

F は漁獲係数であり、最近年（ターミナル F）以外は（7）式で計算される。

$$F_{a,y} = -\ln \left\{ 1 - \frac{C_{a,y} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{N_{a,y}} \right\} \quad (7)$$

ただし、プラスグループの F は最高齢-1 歳の F と等しいとした。最近年である 2009 年の F（ターミナル F）は、まず 0～3 歳魚については過去 5 年間の各年齢の F の平均値とした。プラスグループ（4+）については、最高齢-1 歳（3 歳）の F と同じ値となるように求めた。その後ステップ 2 の方法によりさらに最近年の F を調整した。

（2） チューニング VPA（ステップ 2）

以上の計算を行った後、資源量指標値により最近年の F を調整（チューニング）した。

（1）で得られた年別年齢別 F から 1 歳魚以上の F において各年における選択率を求め、近年 5 年間（2005～2009 年）における選択率の平均値の下で最近年の 1 歳魚以上の F を調整（チューニング）した。最近年の 0 歳魚の F については、2009 年の 0 歳魚の漁獲尾数が近年においては比較的多いことから高めの値とすることが妥当であると考え、過去 5 年の最大値（2007 年の F。近年においては 0 歳魚の漁獲尾数が 2009 年に次いで多かった年の F に相当する）とした。

チューニングの指標としては産卵量と境港で水揚げされるマイワシのまき網 1 か統当り漁獲量（CPUE）を用いた。チューニング期間は 1998～2009 年とし、コホート解析により得られる親魚量が産卵量に、資源量が境港まき網 1 か統あたり漁獲量に最もよく適合するようにした。ただし、産卵量については値が 0 であった 2001 年を除き、境港まき網 1 か統あたり漁獲量は同じく値が 0 であった 2002 年を除いた。以上 2 種の資源量指数について、以下の式を最小にするように最近年の F を調整した。

$$\begin{aligned} \text{最小} \sum_{y=1998}^{2009} \left\{ \ln(q_1 SSB_y) - \ln(Egg_y) \right\}^2 + \sum_{y=1998}^{2009} \left\{ \ln(q_2 B_y) - \ln(CPUE_y) \right\}^2 \\ q_1 = \left(\frac{\prod_{y=1998}^{2009} Egg_y}{\prod_{y=1998}^{2009} SSB_y} \right)^{\frac{1}{11}} \quad q_2 = \left(\frac{\prod_{y=1998}^{2009} CPUE_y}{\prod_{y=1998}^{2009} B_y} \right)^{\frac{1}{11}} \end{aligned}$$

SSB_y は y 年における産卵親魚量、Egg_y は y 年における産卵量（兆粒）、B_y は y 年における資源量、CPUE_y は y 年における境港まき網 1 か統当り漁獲量（トン／統数）。次ページにチューニング指標値を示す。

チューニングに用いた指標値

年	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
産卵量	28.20	32.36	18.76	0	0.68	7.74	3.79	0.71	0.98	19.18	8.71	4.73
CPUE	4.84	10.66	1.31	0.03	0	0.24	0.60	1.06	1.44	2.20	2.48	3.13

(3) 将来予測

2010 年以降の将来予測について、1 歳魚以上の資源尾数は次の式を用いて前進法により推定した。

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

ただし、プラスグループ (4+歳) の資源尾数については、次の式を用いた。

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

0 歳魚の資源尾数は、各年の親魚量と設定した再生産成功率により算出した。

2010 年以降の年齢別の漁獲尾数は次の式を用いて推定した。

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