

平成 25 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、福若雅章、安田十也）

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 1983 年から 1991 年に 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 10 千トンを下回った。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 千トンに増加した後、2010 年までは 10 千トン以下で推移したものの、2011 年に 44 千トン、2012 年に 34 千トンと急増した。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 年以降は増加傾向にある。資源水準は 2012 年の親魚量が **Blimit** を超えたことから中位、動向は最近 5 年間（2008～2012 年）の資源量が増加傾向にあることから、増加と判断した。今後、再生産成功率（加入量÷親魚量）が不確実性の高い 2012 年を除く過去 10 年（2002～2011 年）の中央値で継続した場合に、それぞれの漁獲シナリオで期待される漁獲量を算定した。

漁獲シナリオ (管理基準)	F 値 ($F_{current}$ と の比較)	漁 獲 割 合	将来漁獲量		評価		2014 年 ABC
			5 年後	5 年平 均	現状親 魚量を 維持 (5 年後)	Blimit を 維持 (5 年後)	
漁獲圧の維持 ($F_{current}$)*	0.43 (1.00 $F_{current}$)	24 %	66 千トン ～ 421 千トン	137 千 トン	96%	97%	74 千 トン
親魚量の維持 (F_{med})*	0.81 (1.86 $F_{current}$)	38 %	32 千トン ～ 221 千トン	113 千 トン	47%	52%	119 千 トン
コメント ・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 ABC 算定については規則 1-1)-(1)を用いた。 ・平成 23 年に設定された中期的管理方針では、「大韓民国及び中華人民共和国と我が国の水域にまたがって分布し、大韓民国及び中華人民共和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、管理を行うものとし、資源管理計画の推進を図るものとする。」とされており、中期的管理方針に対応する漁獲シナリオには*を付けた。							

$F_{current}$ は 2003～2012 年の F の平均値。漁獲割合は 2014 年の漁獲量／資源量。F 値は各年齢の平均値。将来漁獲量の幅は 80%区間で、現在の親魚量は 2012 年の親魚量。

年	資源量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F 値	漁獲割合
2011	167	44	0.25	26%
2012	189	34	0.27	18%
2013	243			

2013 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 (100 千トン)	これ未満の親魚量では良好な加入量があまり期待できなくなる。
2012 年	親魚量	1971 年水準以上 (112 千トン)	

水準：中位 動向：増加

Bban は、近年において推定された最低資源量 44 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 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。低水準となった場合には、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。

平成 21 年度から「日本海西部・九州西部海域マアジ（マサバ・マイワシ）資源回復計画」が開始され、小型魚保護のため、大中型まき網漁業は小型魚を主とする漁獲があった場合には、以降、集中的な漁獲圧をかけないように速やかに漁場移動を行い、中小型まき網漁業は、団体毎に一定日数の休漁、水揚げ日数制限等の漁獲制限を行うという取り組みが実施された。資源回復計画は平成 23 年度で終了したが、同計画で実施されていた措置は、平成 24 年度以降、新たな枠組みである資源管理指針・計画の下、継続して実施されている。

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つ

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、低いときには下がること知られている。資源水準が低い近年においては、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（1～6 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捕食し、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、資源水準が低い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。漁場は主に日本海西部および九州北～西岸の沿岸域である。

（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 2000 年以後では多かった。2008 年以後はやや減少し、2010 年の漁獲量は 56 百トンであったが、2011 年および 2012 年の漁獲量はそれぞれ 44 千トン、34 千トンと急増した。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。2012 年の漁獲量は 9 百トンであった。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

資源が極めて低水準の時には、他魚種を対象とした漁業において混獲される場合が多いため、漁獲努力量を把握することは困難であった。近年、日本海西南部海域において本系群がまき網漁業により、まとまって漁獲されるようになっており、今後時空間的な漁獲努力量の把握を進めることで、資源評価や資源管理の精度向上をはかる必要がある。

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結果から年齢別・年別漁獲尾数を算出し、コホート解析を行った。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（補足資料 1、2）。

(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。本資源の産卵量は低い水準にある。なお、2001 年には全く卵が採集されなかった。近年では変動を繰り返しながら増加しており、2011 年の産卵量は 21 兆粒、2012 年の産卵量は 42 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：補足資料 2 参照）と、参考として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。特に、2011 年の境港の 1 か統あたり漁獲量は 2010 年に比べて大幅に増加したが、2012 年は前年をやや下回った。

(3) 漁獲物の年齢構成

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。2012 年は 0 歳魚の割合が最も高かったが、1 歳魚と 2 歳魚の割合もそれと同程度であった。

(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、2012 年は 189 千トンと推定された。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、2012 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

が大きい場合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、2012 年の資源水準は資源量推定を行った過去 53 年間に於いて 26 番目の水準にある。資源水準は B_{limit} （後述）との対応から、親魚量 10 万トン低位と中位の区切りとした。また、中位と高位の区切りは親魚量 100 万トン（1980 年代から 1990 年代前半が高位に相当する）とした。現在の親魚量は 10 万トンを上回っていることから中位と判断される。動向は、最近 5 年間（2008～2012 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。親魚量と加入尾数（どちらも対数値）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) B_{limit} 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 B_{limit} 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

再生産成功率の推移を図 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、2010 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。2010 年の加入尾数は近年では多く、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)。ここでは、LNRR とほぼ同じ傾向を示す lnRPS で代用し、2012 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 lnRPS の動向は同調しており、AO については正負を逆にした場合 lnRPS の動向と同調する傾向が見られる。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 (2002～2011 年)の再生産成功率の中央値 (30.8 尾/kg)と設定した。

(9) 生物学的管理基準 (漁獲係数) 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 10 年 (2003～2012 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 2012 年を除く 2002～2011 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図る漁獲係数である (F_{current} の選択率の下で、SPR が 32.5g ($1 \div 0.0308$ 尾/g)になる F)。さらに、 F_{max} 、 $F_{0.1}$ 、 $F_{30\% \text{SPR}}$ を示した。 F_{current} は $F_{0.1}$ より高いが、 F_{max} および $F_{30\% \text{SPR}}$ より低い。

5. 2014 年 ABC の算定

(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、2012 年時点では B_{ban} (資源量 50 百トン)、および B_{limit} (親魚量 100 千トン)を上回っており、中位水準にあると判断される。

(2) 漁獲シナリオに対応した 2014 年 ABC 並びに推定漁獲量の算定

複数のシナリオに合わせて F を変化させた場合の、コホート解析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。2012 年の親魚量が B_{limit} を上回っていることと推定されることから、ABC 算定規則 1-1)-(1)に従い、漁獲シナリオを提案する。漁獲シナリオは F_{current} および F_{med} とし、その時の資源量と漁獲量を示した。さらに、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。2013 年の F については F_{current} (2003～2012 年の平均値)を用いた。

漁獲シナリオ	管理基準	漁獲量（千トン）						
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
現状の漁獲圧維持	$F_{current}$ ($F=0.43$)	34	61	74	96	125	162	211
上記の予防的措置	$0.8F_{current}$ ($F=0.35$)	34	61	61	85	118	163	225
親魚量維持	F_{med} ($F=0.81$)	34	61	119	117	117	117	117
上記の予防的措置	$0.8F_{med}$ ($F=0.65$)	34	61	101	112	125	140	157
漁獲シナリオ	管理基準	資源量（千トン）						
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
現状の漁獲圧維持	$F_{current}$ ($F=0.43$)	189	243	310	401	520	676	878
上記の予防的措置	$0.8F_{current}$ ($F=0.35$)	189	243	310	427	590	816	1,127
親魚量維持	F_{med} ($F=0.81$)	189	243	310	307	307	307	307
上記の予防的措置	$0.8F_{med}$ ($F=0.65$)	189	243	310	344	385	430	481

(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 2013 年以後の再生産成功率は毎年異なり、その値は 1960～2012 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 30.8 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} 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 4 つ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（2018 年）予想漁獲量の幅（80% 区間）、5 年間（2014～2018 年）平均漁獲量、親魚量が 5 年後（2019 年頭）および 10 年後（2024 年頭）に B_{limit} を維持する確率、および現在の親魚量を維持確率を次ページの表に示す。

$F_{current}$ では 5 年後および 10 年後に B_{limit} を下回る確率は低い。いずれの F でも 10 年間で B_{ban} を下回る確率は低い。一方 F_{med} では 5 年後および 10 年後に B_{limit} を下回る確率は高いことから、資源が B_{limit} をわずかに超えている現状では F_{med} 未満の F で漁獲することが望ましい。なお、5 年後における漁獲量の将来予測値の幅はどの漁獲シナリオでもかなり大きい。

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		2014 年 ABC
			5 年後	5 年平均	現在の 親魚量 を維持 (5 年後)	Blimit を 維持 (5 年後)	
漁獲圧の維持 (Fcurrent)*	0.43 (1.00 Fcurrent)	24 %	66 千トン ～ 421 千トン	137 千 トン	96%	97%	74 千 トン
漁獲圧の維持、 予防的措置 (0.8Fcurrent)*	0.35 (0.80 Fcurrent)	20 %	80 千トン ～ 594 千トン	129 千 トン	99%	99%	61 千 トン
親魚量の維持 (Fmed)*	0.81 (1.86 Fcurrent)	38 %	32 千トン ～ 221 千トン	113 千 トン	47%	52%	119 千 トン
親魚量の維持、 予防的措置 (0.8Fmed)*	0.65 (0.80 Fcurrent)	33 %	42 千トン ～ 368 千トン	127 千 トン	74%	78%	101 千 トン
コメント ・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 ABC 算定については規則 1-1)-(1)を用いた。 ・平成 23 年に設定された中期的管理方針では、「大韓民国及び中華人民共和国と我が国の水域にまたがって分布し、大韓民国及び中華人民共和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、管理を行うものとし、資源管理計画の推進を図るものとする。」とされており、中期的管理方針に対応する漁獲シナリオには*を付けた。							

Fcurrent は 2003～2012 年の F の平均値。漁獲割合は 2014 年の漁獲量／資源量。F 値は各年齢の平均値。将来漁獲量の幅は 80%区間で、現在の親魚量は 2012 年の親魚量。

(4) ABC 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
2011 年漁獲量確定値 2012 年漁獲量暫定値・月別体長組成	2011、2012 年年齢別漁獲尾数
2012 年資源量指数	2012 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)
2012 年(当初)	Frec2	0.37	40	9	7	
2012 年(2012 年再評価)	Frec2	0.51	123	38	32	
2012 年(2013 年再評価)	Fcurrent Fmed	0.43 0.81	189 189	48 76	40 65	34
2013 年(当初)	Frec2	0.51	124	38	32	
2013 年(2013 年再評価)	Fcurrent Fmed	0.43 0.81	243 243	61 96	50 82	

2013 年の評価で 2012 年における親魚量が B_{limit} を超えたことから、ABC 算定規則 1-1) - (1) を適用し $F_{current}$ と F_{med} についての再評価値を併記した。2012 年（当初）資源量は 2011 年資源評価報告書に記載。2012 年（2012 年再評価）資源量および 2013 年（当初）資源量は 2012 年資源評価報告書に記載。2012 年および 2013 年資源量および算定漁獲量は当初評価に比べて上方修正された。これは 2010 年級群および 2011 年級群の加入量の当初の見積りが過小評価であったため。

6. ABC 以外の管理方策の提言

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低い水準にある（資源水準は B_{limit} を超えたため中水準）。

平成 21 年度から平成 23 年度にかけて「日本海西部・九州西部海域マアジ（マサバ・マイワシ）資源回復計画」が開始され、小型魚保護のため、大中型まき網漁業は小型魚を主とする漁獲があった場合には、以降、集中的な漁獲圧をかけないように速やかに漁場移動を行い、中小型まき網漁業は、団体毎に一定日数の休漁、水揚げ日数制限等の漁獲制限を行うという取り組みが実施された。

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.

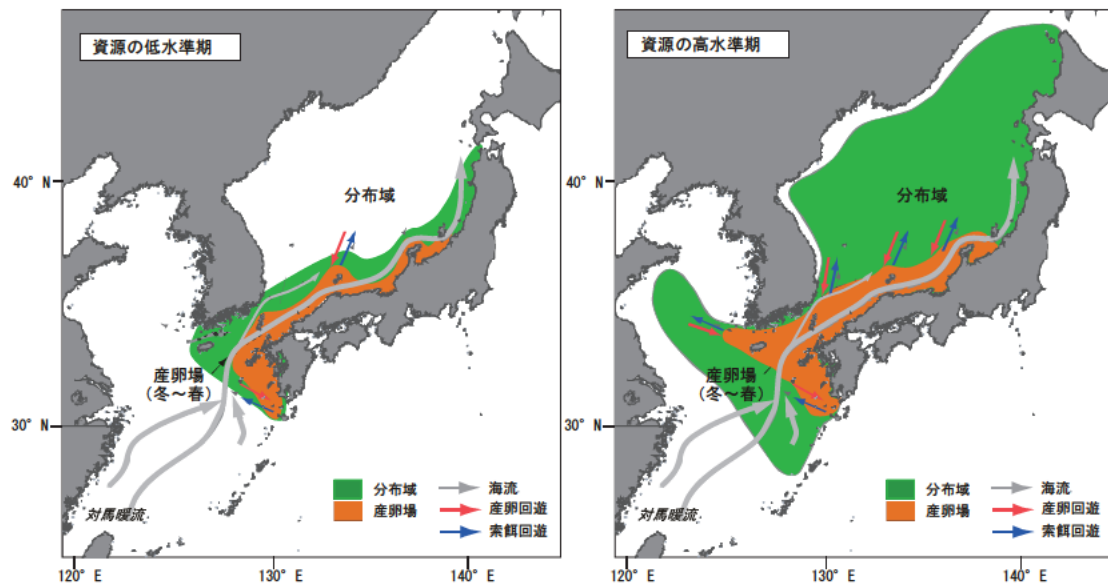


図1. マイワシ対馬暖流系群の分布・回遊および生活史と漁場形成模式図
(左：低水準期、右：高水準期)

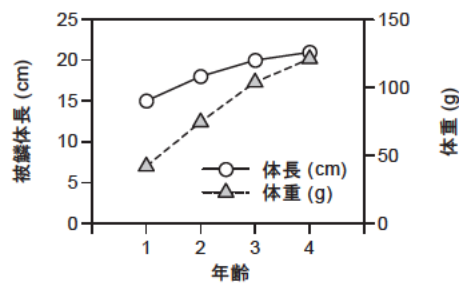


図2. 年齢と成長 (低水準期)

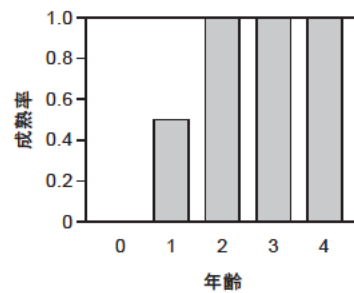


図3. 年齢と成熟率 (低水準期)

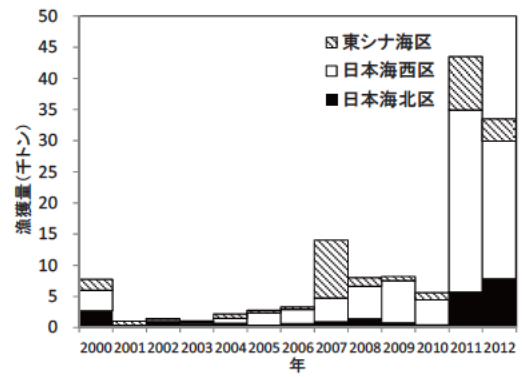
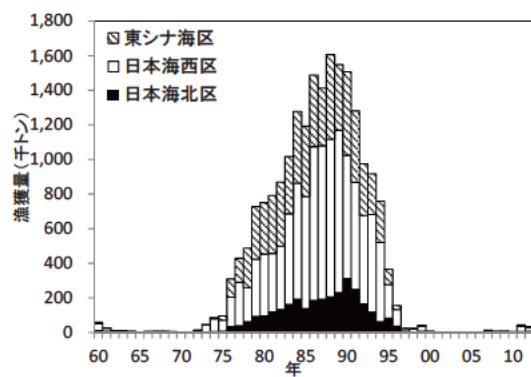


図4. 漁獲量 (左：1960～2012年、右：2000～2012年)

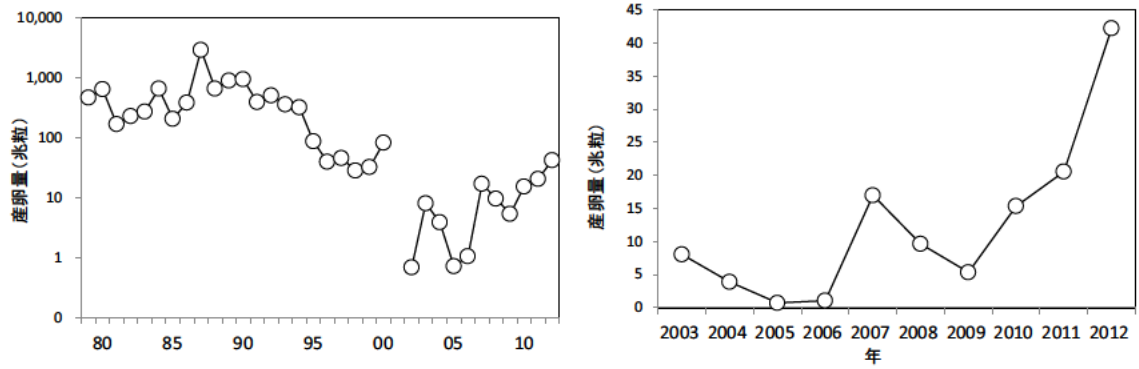


図 5. マイワシの産卵量 (左：1979～2012 年、右：2003～2012 年、2001 年は卵なし)

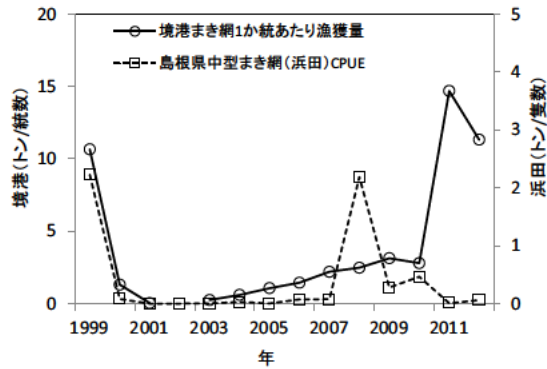


図 6. 境港まき網 1 か統あたり漁獲量 (トン/統) と島根県中まき CPUE (浜田、トン/隻数)

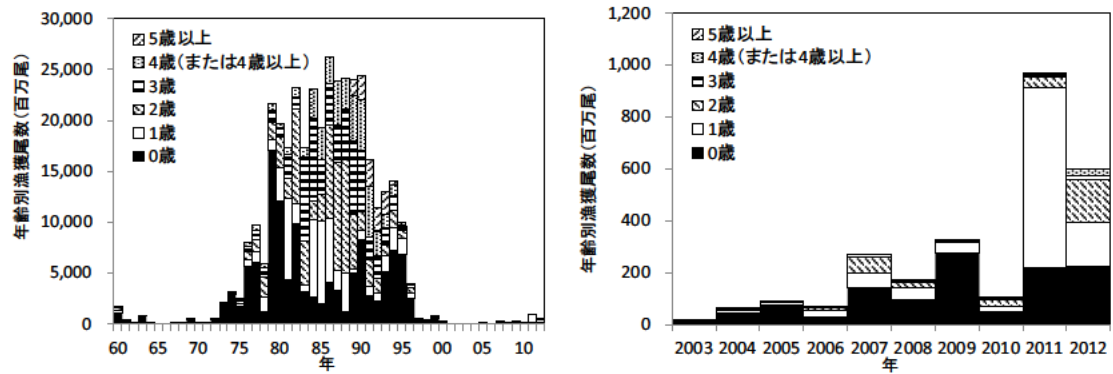


図 7. 年齢別・年別漁獲尾数 (左：1960～2012 年、右：2003～2012 年)

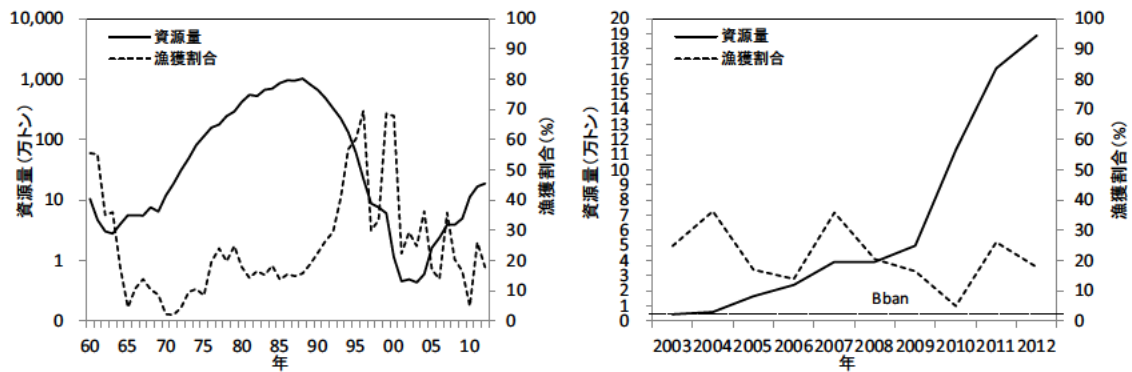


図 8. 資源量と漁獲割合 (左：1960～2012 年、資源量は対数表示、右：2002～2012 年、Bban は資源量 5 千トン)

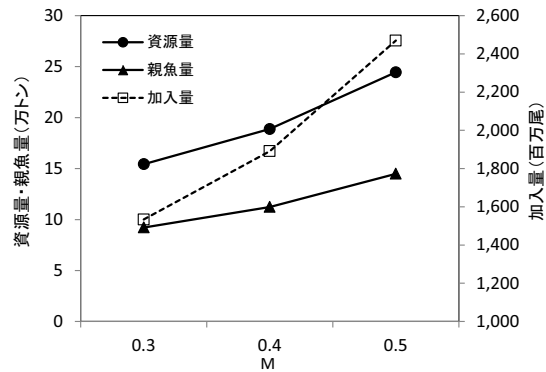


図 9. M と 2012 年資源量、親魚量、加入量の関係

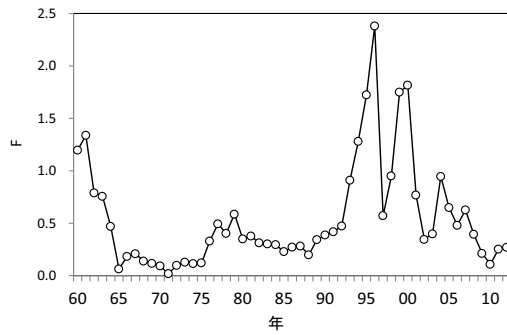


図 10. F の推移

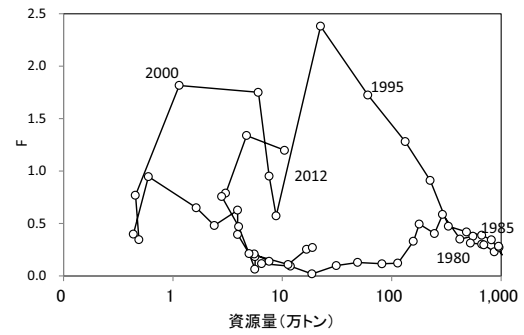


図 11. 資源量と F の関係
(図中の数値は年)

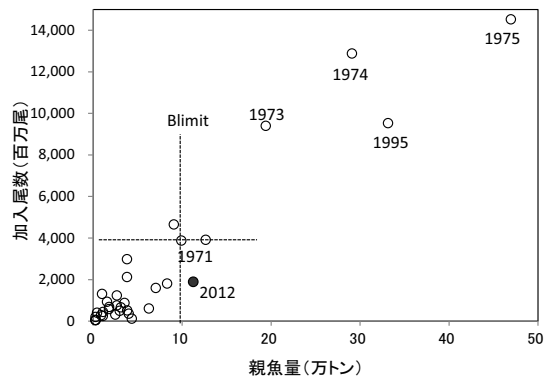
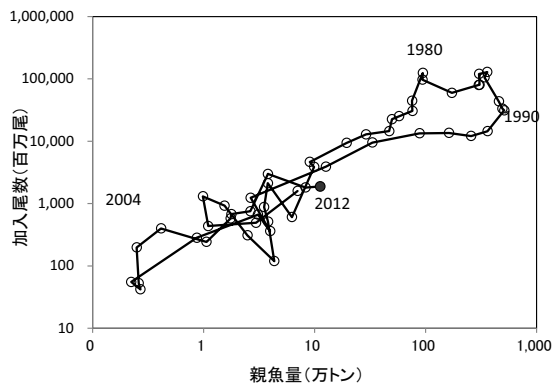


図 12. 親魚量と加入尾数の関係 (左：全期間 (両対数)、右：親魚量 50 万トン以下のデータのみ。Blimit は 1971 年水準の親魚量 10 万トン。図中の数値は年。図中の灰色のシンボルが 2012 年の値。)

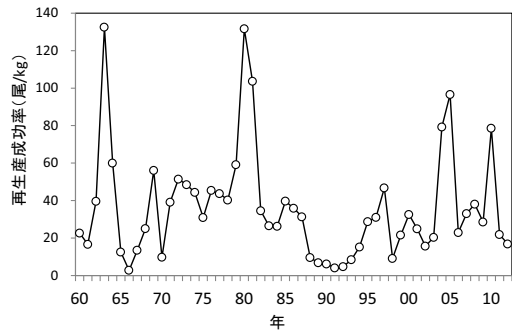


図 13. 再生産成功率 (RPS) の推移

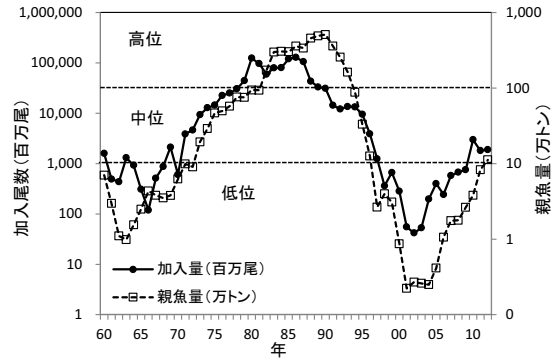


図 14. 親魚量と加入尾数の推移（点線は親魚量による資源水準の判断基準）

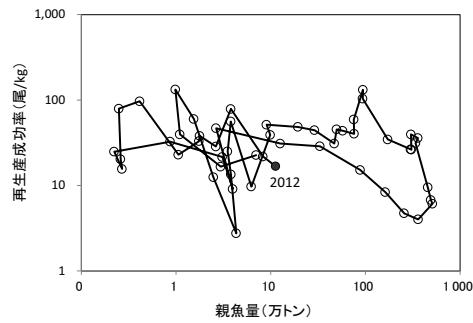


図 15. 親魚量と再生産成功率 (RPS) の関係（図中の数値は年）

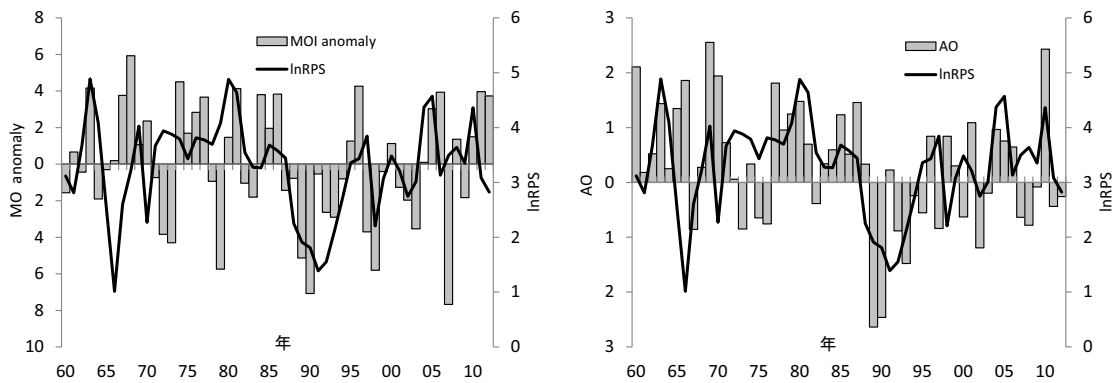


図 16. 資源と海洋環境の関係（lnRPS：RPS の対数値（折れ線）、MOI：モンスーンインデックス（左図、棒グラフ）、AO：北極振動（右図、棒グラフ））

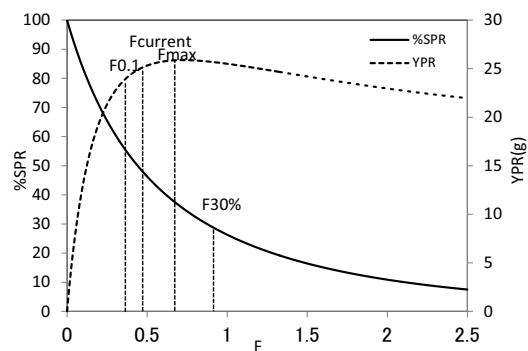


図 17. YPR と %SPR

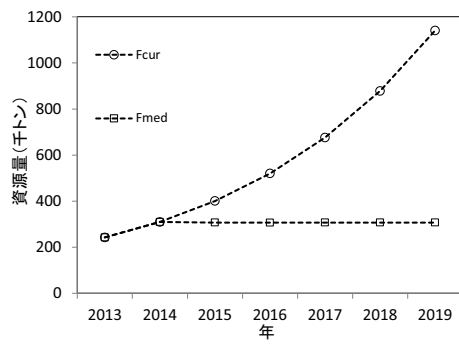


図 18. 様々な F による資源量の予測値

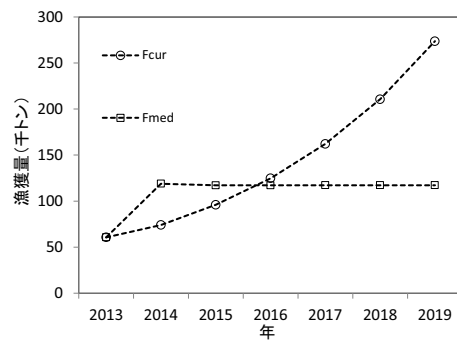


図 19. 様々な F による漁獲量の予測値

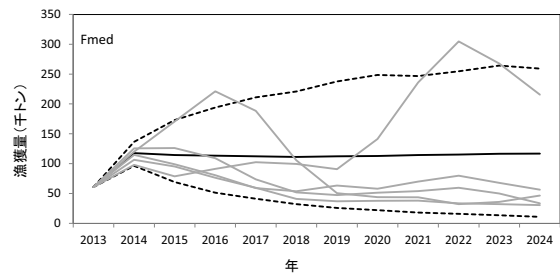
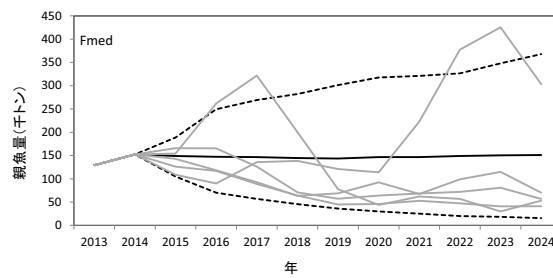
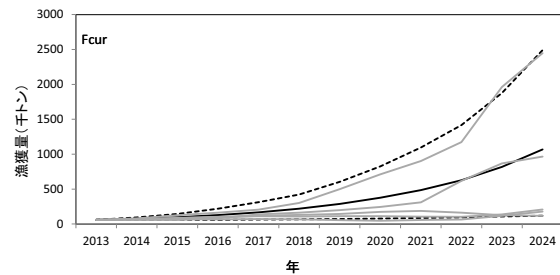
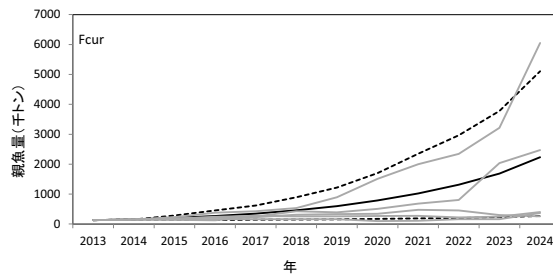


図 20. 再生産成功率の変動を考慮したシミュレーション結果（左列：親魚量、右列：漁獲量）1,000 回の試行のうち、黒の破線は上側 10%、太線は平均値、点線は下側 10% を、灰色の線は 5 回のシミュレーション結果の例を示す。

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)

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	2010	2011	2012
漁獲量	14	11	22	28	33	140	80	82	56	435	336
資源量	49	44	60	164	239	391	391	497	1,131	1,671	1,888
親魚量	27	26	25	41	106	175	178	264	380	830	1,124
加入尾数	42	53	198	400	243	577	677	752	2,982	1,811	1,891
再生産成功率	15.6	20.3	79.2	96.6	22.9	33.0	38.1	28.5	78.5	21.8	16.8

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	1977	1978
0	1,112	217	85	788	163	22	20	114	118	426	165	141	448	1,906	2,928	1,762	5,711	6,083	1,223
1	208	60	66	39	36	12	28	14	38	47	1	4	24	128	102	284	635	976	1,433
2	243	46	25	17	14	11	17	19	5	9	4	4	36	67	80	204	727	1,199	1,943
3	85	70	15	8	9	2	12	14	3	1	1	2	15	9	70	129	582	947	953
4+	54	51	6	4	4	0	8	5	8	6	2	1	6	42	21	98	340	585	386

年齢\年	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
0	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	7,293	6,828	2,496	375
1	955	3,326	8,019	1,960	721	7,537	8,141	6,258	1,961	3,911	371	899	905	725	1,593	2,131	1,556	505	118
2	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	1,717	791	538	59
3	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	1,428	312	302	30
4(4+)	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	1,049	162	70	3
5+											1,573	2,251	2,644	2,333	2,280	361	312	28	1

年齢\年	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	11	501	190	4	9	4	44	75	29	141	94	276	49	220	225
1	228	153	22	4	11	5	12	10	28	58	51	41	20	694	167
2	87	116	21	2	8	6	6	3	7	61	15	4	25	41	164
3	20	74	11	2	0	2	3	1	3	11	9	2	10	10	19
4(4+)	9	5	17	2	0	1	2	1	0	1	4	2	2	5	27
5+	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	1977
0	115	46	25	52	27	7	7	33	42	18	19	28	70	275	652	375	1,094	1,071
1	127	36	38	22	19	7	17	7	20	23	1	2	15	74	51	164	376	523
2	188	39	20	13	11	9	14	16	3	6	3	3	29	49	68	163	596	984
3	85	77	15	8	9	2	13	14	3	1	1	2	15	9	70	130	588	973
4+	69	62	8	5	5	0	10	6	11	8	2	2	8	60	26	129	437	734

年齢\年	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0	242	2,969	1,823	567	1,287	464	447	355	750	476	243	569	1,144	679	464	751	1,178	953
1	1,012	543	1,930	3,411	497	262	2,760	4,120	2,317	725	1,742	195	555	563	491	1,096	1,369	986
2	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	1,533	712
3	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	1,631	335
4(4+)	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	1,333	202
5+												1,677	2,408	2,744	2,670	2,812	537	471

年齢\年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	386	108	4	145	11	1	2	1	6	18	10	43	17	54	11	44	54
1	313	70	133	89	14	2	6	3	5	6	14	34	33	19	12	342	101
2	439	50	79	100	19	2	5	5	5	2	6	51	14	4	20	33	127
3	295	30	21	74	12	3	0	2	3	1	3	11	10	2	10	9	20
4(4+)	83	4	11	6	22	2	0	1	3	1	0	1	6	3	3	7	34
5+	39	2	6														

表 4. 年齢別資源尾数 (百万尾)

年齢\年	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
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	25,184
1	400	157	153	223	230	487	190	64	251	491	1,074	271	2,480	2,751	4,736	6,236	8,292	10,453
2	439	98	56	48	117	125	317	104	32	137	291	719	179	1,643	1,739	3,091	3,948	5,038
3	168	95	28	17	18	67	75	199	55	18	84	192	479	90	1,046	1,100	1,905	2,051
4+	107	70	12	9	8	7	48	66	162	137	98	120	206	442	315	838	1,114	1,269

年齢\年	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0	30,630	44,578	124,264	97,069	59,594	79,610	80,285	120,056	128,911	105,948	43,400	33,287	31,227	14,473	12,120	13,571	13,395	9,524
1	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	4,900	3,008
2	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	2,865	1,540
3	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	2,068	515
4(4+)	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	1,743	217
5+											4,064	5,510	5,977	5,309	3,359	599	416	

年齢\年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	3,911	1,239	362	666	282	55	42	53	198	400	243	577	677	752	2,982	1,811	1,891
1	794	578	523	233	36	33	34	21	32	96	206	139	272	377	278	1,959	1,034
2	743	119	291	164	31	6	19	14	10	12	57	116	46	141	219	170	745
3	385	57	31	123	15	4	2	7	4	2	6	32	28	18	91	127	81
4(4+)	90	11	14	8	24	3	1	2	4	1	1	2	13	17	20	64	116
5+	36	4	7														

表 5. 年齢別漁獲係数

年齢\年	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
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	0.35
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	0.12
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	0.34
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	0.83
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	0.83

年齢\年	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0	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	1.09	2.08
1	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	0.76	1.00
2	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	1.32	0.99
3	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	1.86	1.35
4(4+)	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	1.33	2.46
5+												0.64	0.69	0.78	0.77	1.77	1.33	2.46

年齢\年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	1.51	0.46	0.04	2.52	1.73	0.09	0.29	0.09	0.32	0.26	0.16	0.35	0.19	0.60	0.02	0.16	0.16
1	1.50	0.29	0.76	1.62	1.35	0.16	0.48	0.31	0.57	0.13	0.18	0.72	0.26	0.14	0.09	0.57	0.22
2	2.16	0.94	0.46	2.01	1.67	0.60	0.66	0.79	1.13	0.30	0.17	1.02	0.54	0.04	0.15	0.35	0.31
3	3.16	1.00	1.48	1.30	2.17	1.50	0.15	0.40	1.36	1.28	0.95	0.52	0.50	0.14	0.14	0.10	0.33
4(4+)	2.98	0.37	1.48	1.30	2.17	1.50	0.15	0.40	1.36	1.28	0.95	0.52	0.50	0.14	0.14	0.10	0.33
5+	2.98	0.37	1.48														

表 6. 年齢別資源量 (百トン)

年齢\年	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
0	165	105	128	86	154	93	45	149	311	91	71	760	726	1,356	2,866	3,095	4,325	4,435
1	244	95	88	127	121	295	115	33	130	238	662	156	1,496	1,603	2,381	3,602	4,910	5,600
2	340	82	44	38	95	100	262	89	23	90	227	587	143	1,218	1,465	2,473	3,240	4,137
3	167	106	29	18	19	66	79	196	65	19	84	200	488	92	1,056	1,116	1,926	2,109
4+	135	85	15	11	10	9	62	87	230	210	149	164	273	628	387	1,106	1,432	1,590

年齢\年	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0	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	2,163	1,330
1	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	3,148	1,907
2	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	2,558	1,387
3	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	2,362	552
4(4+)	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	2,215	269
5+												4,334	5,894	6,201	6,074	4,143	892	628

年齢\年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0	605	357	133	193	16	14	12	11	28	94	80	175	126	147	665	359	453
1	492	342	304	135	23	19	20	12	14	56	105	81	174	174	172	966	623
2	606	101	263	141	29	5	13	11	8	10	47	98	41	132	178	139	576
3	376	58	32	125	16	4	2	7	4	2	6	34	32	20	90	122	87
4(4+)	107	14	17	10	30	4	2	2	5	2	1	2	18	24	26	86	149
5+	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	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
1	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
2	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
3	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
4+	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
平均	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43

年齢別資源尾数（百万尾）

年齢\年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	3,974	4,684	6,197	8,007	10,423	13,530
1	1,083	2,117	2,495	3,301	4,265	5,552
2	557	528	1,031	1,216	1,608	2,078
3	365	231	219	428	505	668
4+	95	174	153	141	215	272
計	6,074	7,733	10,095	13,093	17,016	22,100

年齢別資源量（百トン）

年齢\年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	828	976	1,292	1,669	2,172	2,820
1	610	1,193	1,406	1,860	2,403	3,128
2	471	447	873	1,028	1,361	1,758
3	389	246	233	456	537	711
4+	127	234	206	189	289	366
資源量計	2,426	3,095	4,009	5,202	6,762	8,783
親魚量	1,292	1,523	2,015	2,603	3,388	4,399

年齢別漁獲尾数（百万尾）

年齢\年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	668	787	1,042	1,346	1,752	2,275
1	242	473	558	738	954	1,242
2	174	165	322	379	501	648
3	130	82	78	153	180	238
4+	34	62	55	50	77	97
計	1,248	1,570	2,054	2,666	3,464	4,499

年齢別漁獲量（百トン）

年齢\年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	139	164	217	281	365	474
1	137	267	314	416	537	700
2	147	139	272	321	424	548
3	139	88	83	163	192	254
4+	45	83	73	68	103	131
計	607	741	960	1,247	1,622	2,106

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	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	0.23	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
1	0.32	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
2	0.48	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
3	0.57	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
4+	0.57	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
平均	0.43	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81

年齢別資源尾数（百万尾）

年齢\年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	3,974	4,684	4,673	4,673	4,675	4,674
1	1,083	2,117	2,047	2,042	2,042	2,043
2	557	528	783	757	756	756
3	365	231	145	215	208	208
4+	95	174	93	55	62	62
計	6,074	7,733	7,742	7,742	7,743	7,743

年齢別資源量（百トン）

年齢\年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	828	976	974	974	974	974
1	610	1,193	1,153	1,150	1,150	1,151
2	471	447	663	641	639	639
3	389	246	154	229	221	221
4+	127	234	126	74	84	84
資源量計	2,426	3,095	3,070	3,068	3,069	3,069
親魚量	1,292	1,523	1,519	1,519	1,520	1,520

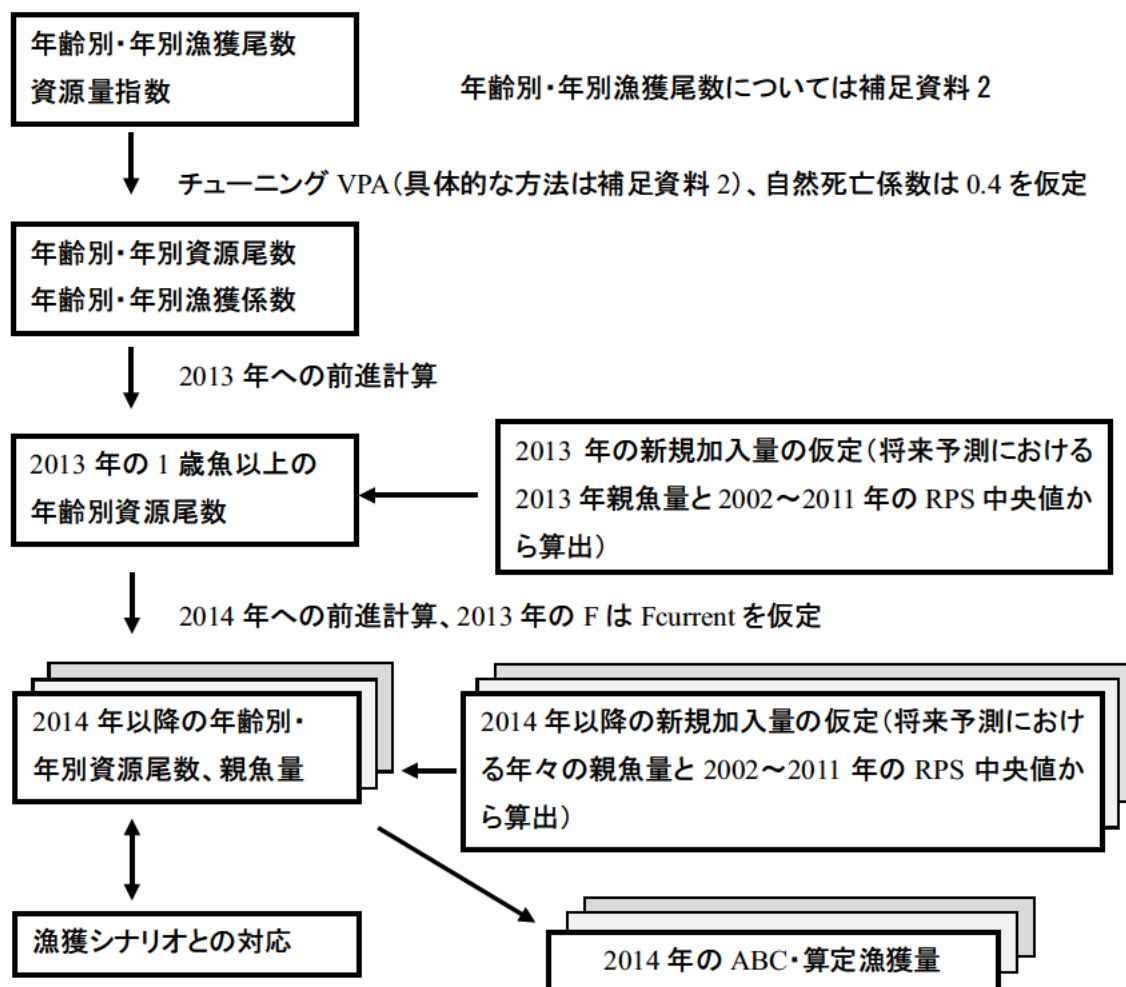
年齢別漁獲尾数（百万尾）

年齢\年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	668	1,335	1,332	1,332	1,332	1,332
1	242	776	750	749	749	749
2	174	255	379	366	365	365
3	130	124	78	115	112	111
4+	34	93	50	30	33	34
計	1,248	2,584	2,589	2,592	2,592	2,591

年齢別漁獲量（百トン）

年齢\年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	139	278	278	278	278	278
1	137	437	423	422	422	422
2	147	216	320	310	309	309
3	139	132	83	123	119	119
4+	45	125	67	40	45	45
計	607	1,189	1,171	1,172	1,172	1,172

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～2012 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 2012 年の F (ターミナル F) は、まず 0～3 歳魚については過去 10 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。チューニングに用いる 2012 年の F の各年齢の漁獲係数は過去 10 年間の平均値とした (ステップ 1)。この時の年齢別漁獲係数から計算される選択率を 2012 年の F の選択率として、チューニングを行った。

チューニングの指標として、産卵量と境港で水揚げされるマイワシのまき網 1 か統当りの漁獲量 (CPUE) を用いた。産卵量は、ノルパックネットにより採集されたマイワシの卵数から計算された。境港の CPUE は、ある年の漁獲量を、その年の述べ統数で割ったものである。チューニング期間は資源量が Bban 水準以上となった 2004 年以降で計算することを基本とするが、コホート解析より得られる親魚量が産卵量に (2005～2012 年)、資源量が境港まき網 1 か統あたり漁獲量 (2004～2012 年) に最もよく適合するようにした。なお、期間を異ならせているのは、2013 年 6 月までに得られている年齢組成と漁況に合わせるためである。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。

$$\text{最小} \sum_{y=2005}^{2012} \{ \ln(q_1 SSB_y) - \ln(Egg_y) \}^2 + \sum_{y=2004}^{2012} \{ \ln(q_2 B_y) - \ln(CPUE_y) \}^2 \quad (8)$$

$$q_1 = \left(\frac{\prod_{y=2005}^{2012} Egg_y}{\prod_{y=2005}^{2012} SSB_y} \right)^{\frac{1}{8}}, q_2 = \left(\frac{\prod_{y=2004}^{2012} CPUE_y}{\prod_{y=2004}^{2012} B_y} \right)^{\frac{1}{9}} \quad (9)$$

SSB_y とは y 年における親魚量、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 か統あたり漁獲量 (トン/統数)。次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	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
産卵量	(3.88)	0.72	1.05	16.98	9.62	5.34	15.34	20.56	42.21
境港 CPUE	0.60	1.06	1.44	2.20	2.48	3.13	2.80	14.70	11.33

なお、2011 年の産卵量のデータ更新の結果、昨年度の値と異なっている。

(3) 将来予測

2013 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。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad (10)$$

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。

$$N_{4+,y+1} = (N_{3,y} + N_{4+,y}) \times \exp(-F_{3,y} - M) \quad (11)$$

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。

2013 年以降の年齢別の漁獲尾数は次の式を用いて推定した。

$$C_{a,y} = N_{a,y} (1 - \exp(-F_{a,y})) \times \exp\left(-\frac{M}{2}\right) \quad (12)$$

各年齢の F については Fcurrent（2003～2012 年の平均値）で求められる選択率を用いた。