

平成 29（2017）年度マイワシ太平洋系群の資源評価

責任担当水研：中央水産研究所（古市 生、渡邊千夏子、由上龍嗣、上村泰洋、井須小羊子、宇田川美穂）

参画機関：北海道区水産研究所、東北区水産研究所、北海道立総合研究機構釧路水産試験場・函館水産試験場、地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産試験場、茨城県水産試験場、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター、静岡県水産技術研究所、愛知県水産試験場漁業生産研究所、三重県水産研究所、和歌山県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課、大阪府水産技術センター、香川県水産試験場、高知県水産試験場、愛媛県水産研究センター、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、宮崎県水産試験場、鹿児島県水産技術開発センター

要 約

本系群の資源量について資源量指標値を考慮したコホート解析により計算した。資源量は、1980年代は1,000万トン以上の高い水準で推移したが、1990年代に入って急減し、2002年以降2009年まで10万トン前後の低い水準で推移した。その後、2010～2014年に比較的良好な加入が続いたこと、および漁獲圧が低下したことにより資源量は増加し、2014年には100万トンを上回った。さらに2015年の極めて高い加入量および2016年の高い加入量により資源量は増加した。2015年の資源量は174万トン、2016年は212万トンと推定された。親魚量は2002年以降10万トンを下回る水準で推移したが、2011年以降増加した。2016年の親魚量は891千トンと推定され、Blimit（1996年水準、221千トン）を上回っていることから、資源水準は中位、動向は最近5年間の資源量と親魚量の推移から増加と判断した。本系群は海洋環境の影響を大きく受ける再生産成功率（ $RPS = \text{加入量} / \text{親魚量}$ ）の年変化が大きく、毎年の加入量が大きく変化する。変動するRPSのもとで加入量の一定水準以上の維持もしくは増大を図るには、親魚量をBlimit以上に維持することが望ましい。2018年のABCは、親魚量をBlimit以上に維持することを管理目標とし、今後RPSが1988年以降の資源中位水準年のRPS中央値で継続した場合に、現状の漁獲圧の維持（ F_{current} ）、親魚量の増大（ $F_{30\%SPR}$ ）および親魚量の維持（ F_{med} ）の漁獲シナリオで期待される漁獲量をABCとして計算した。

漁獲シナリオ (管理基準)	Target/ Limit	2018 年 ABC (千トン)	漁獲 割合 (%)	F 値 (現状の F 値からの 増減%)	2023 年の 親魚量 (千トン) (80%区間)	確率評価 (%)	
						2023 年に 2016 年 親魚量を 維持	2023 年に Blimit を 維持
現状の漁獲圧 の維持* (Fcurrent)	Target	400	16	0.21 (-20%)	2,996 (1,257～5,171)	97	100
	Limit	486	19	0.26 (±0%)	2,370 (986～4,119)	92	100
親魚量の増大* (F30%SPR)	Target	569	23	0.31 (+21%)	1,860 (764～3,255)	85	100
	Limit	682	27	0.39 (+51%)	1,310 (526～2,316)	66	100
親魚量の維持* (Fmed)	Target	588	24	0.32 (+26%)	1,756 (717～3,077)	82	100
	Limit	704	28	0.41 (+57%)	1,220 (487～2,160)	61	100
コメント ・本系群の ABC 算定には規則 1-1) - (1)を用いた。 ・本系群は加入量及び F 値の年齢別選択率の年変動が大きいと、将来予測における不確実性が高いことを考慮した漁獲シナリオの選択や予防的措置の選択がなされることが望ましい。 ・海洋生物資源の保存及び管理に関する基本計画第 3 に記載されている本系群の中期的管理方針では、「海洋環境が資源の増大に好適な状況になる可能性があることから、海洋環境や資源動向及び漁獲動向に注意しつつ、資源水準の維持（可能な場合には増大）を基本方向として、管理を行うものとする」とされており、親魚量の維持シナリオから得られる漁獲係数以下であれば、現状の資源水準の維持または増大が期待できる。同方針に合致するシナリオには*を付した。							

Limitは、各漁獲シナリオの下で許容される最大レベルのF値による漁獲量、Targetは、資源変動の可能性や誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、各漁獲シナリオの下でより安定的な資源の増大または維持が期待されるF値による漁獲量である。Ftarget=αFlimitとし、係数αには標準値0.8を用いた。Fcurrentは2012～2016年のFの平均値、Fmedは不確実性が高い最近年（2016年）を除く1988年以降の資源中位水準と判断される年（1991～2000、2012～2015年）の再生産成功率の中央値（RPSmed：21.5尾/kg）に対応するF、漁獲割合は2018年の漁獲量／資源量、F値は各年齢の単純平均値である。漁獲シナリオにある「親魚量の維持」は中長期的に安定する親魚量での維持を指す。2016年の親魚量は891千トン。

年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F 値	漁獲割合 (%)
2013	872	484	130	0.28	15
2014	1,244	704	186	0.27	15
2015	1,737	769	274	0.25	16
2016	2,117	891	314	0.24	15
2017	2,396	1,750	492	0.26	21
2018	2,503	1,585	—	—	—

2017 年、2018 年の値は、将来予測に基づく値。

指標	水準	設定理由
Bban 資源量 22 千トン		過去の資源低水準期(1950～60 年代)における推定最低資源量
Blimit 親魚量 1996 年水準 (221 千トン)		これ未満の親魚量だと、良好な加入量があり期待できなくなる
2016 年 親魚量 1996 年水準以上 (891 千トン)		

水準：中位 動向：増加

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、関係調査等
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（北海道～鹿児島（20）道府県、関係県） 体長組成調査（水研、北海道～鹿児島（20）道府県、JAFIC）：市場測定 体長－体重調査・体長－年齢調査（水研、北海道～鹿児島（20）道府県、JAFIC）：市場測定、調査漁獲物
資源量指数 ・産卵量 ・沖合域分布量 ・未成魚越冬群指数 ・資源量指標値	卵採集調査（周年、水研、関係都道府県）：ノルパックネット* 北西太平洋北上期浮魚類資源調査（5～7 月、水研）：中層トロール、計量魚探 北西太平洋秋季浮魚類資源調査（9・10 月、水研）：中層トロール、計量魚探* 房総～常磐海域まき網漁況（千葉水総研、茨城水試）* 北部太平洋まき網 CPUE・漁場分布に基づく資源量指数（JAFIC）
自然死亡係数（M）	年当たり M=0.4 を仮定（田中 1960）
2017 年加入量	移行域幼稚魚調査・加入量指数（5・6 月、水研）：中層トロール
漁獲努力量指数	北部太平洋まき網漁獲努力量（JAFIC、漁場別漁獲状況調査）

*はコホート解析におけるチューニング指数である。

1. まえがき

マイワシ太平洋系群は、数十年スケールの地球規模の大気～海洋生態系の構造の転換（レジーム・シフト）と同期して大きく資源変動することが知られている（Kawasaki 1992、Klyashtorin 1998）。高水準となった 1930 年代や 1980 年代の北西太平洋の海洋環境は「寒冷レジーム」と呼ばれる状態にあり、資源高水準期はこのような環境状態においてみられる短期的なものであり、持続可能な状態ではないと考えられる。従って、本資源を持続的に利用するためには、高水準の維持を目標にするのではなく、中水準での維持を目標にすることが望ましいと考えられる。1990 年代はマイワシの再生産に好適でない環境条件にあり、1990 年代末から 2000 年代にかけては高い漁獲圧がかかったために、2002～2009 年の親魚量は 10 万トン以下の極めて低い水準で推移した。仮に漁獲圧を削減していたなら 1990 年代の水準で資源量を維持することができたとの指摘があり（Yatsu and Kaeriyama 2005）、2000 年代後半以降の比較的高い再生産成功率をもたらしている環境条件において、現状よりも資源を増加させることができた可能性が高い。再生産成功率の年変化が大きい本系群の毎年の加入量を一定水準以上にするためには、漁獲圧の調整により親魚量を一定水準以上に維持することが望ましい。

2. 生態

(1) 分布・回遊

幼稚魚の分布・回遊は、生育初期の海流による移送のされ方によって大きく 2 つの様式に分けられる。黒潮周辺でふ化後、沿岸域への流れにとりこまれて本邦沿岸域で成長し、沿岸漁場でシラス～幼魚期から漁獲対象となるもの（以下、沿岸加入群）、および黒潮によって東方へ移送され、本邦近海から東経 165～170 度に及ぶ黒潮親潮移行域で成長して道東～千島列島東方沖の亜寒帯域で夏季の索餌期を過ごし、秋冬季に南下して漁場に参加するもの（以下、沖合加入群）がある（川端ほか 2011、図 1）。沖合加入群の分布範囲は海流の移送に依存するため、加入量の多寡を反映せず、加入量が低くても広域に分布する。沿岸と沖合のいずれの加入群になるかは、産卵場周辺の海況条件に因って偶然に決まると考えられる。また、両者にはふ化日組成に違いがみられ、沿岸加入群には、2-(3) に後述のように長期間に亘る産卵期を反映して、様々なふ化日の個体が出現するが（落合 2009、長谷川・日越 2011）、沖合加入群には、近年の調査結果からは、稚仔魚期が春季ブルーミング時期と一致する 3～5 月（4 月中心）にふ化した個体だけがみられる（落合 2009、高木ほか 2010、須原 2014）。沿岸加入群と沖合加入群は独立した群ではないが、主たる発生時期や生育場が異なり、加入動向は必ずしも一致しない。

1 歳以上では、黒潮周辺で越冬、産卵後、夏秋季には黒潮周辺の沿岸域で滞留あるいは小規模な索餌回遊を行うもの、および北方へ索餌回遊するものがある。北方への索餌回遊範囲は資源量水準によって大きく変化する。1980 年代の高水準期には、三陸～道東沖から千島列島東方沖の天皇海山付近～西経域に達する広大な亜寒帯域を回遊した（伊東 1991、黒田 1991）。資源量が減少し、100 万トンを下回った 1990 年代には三陸北部～道東沖の親潮域までに、さらに 50 万トンを下回った 2000 年代には常磐海域の黒潮続流周辺から三陸南部の親潮の南縁付近までに縮小した。最近では 2010 年の高い加入量によって資源量が増加し、2011 年以降、三陸北部～道東沖まで回遊がみられている。

(2) 年齢・成長

寿命は7歳程度、最大体長（被鱗体長）は22～24 cm 程度。年齢と体長の関係は、海域による違いもあるが、資源水準により大きく変化する。親潮域を索餌回遊するものでは、1980年代の高水準期には1歳以上の成長速度が低下し、各満年齢時でおおむね1歳：14～15 cm、2歳：15～16 cm、3歳：17～18 cm、4歳：18～19 cm、5歳：19～20 cm、6歳：20 cm 以上であったが、近年の低・中水準期では、1歳：15～16 cm、2歳：18～19 cm、3歳以上：20 cm 以上である。本評価の将来予測で用いた年齢別平均体長と体重（2014～2016年漁獲物平均値）を図2および補足表2-2に示した。

(3) 成熟・産卵

年齢と成熟率の関係を図3に示す。資源高水準期には成長速度が低下して成熟が遅れたが、近年は1歳で成熟が始まり、2歳ではほとんどの個体が成熟する。本評価では、1998～2015年の年齢別成熟率を1歳：50%、2歳以上：100%とした。2016年以降の1歳魚の成熟率は、近年の資源量の増加を考慮し、レジーム・シフト後に親魚量が一時的に回復した1994～1997年に等しい20%とした。成熟率の変化は、生物測定のデータからも示唆されている（由上ほか 2016）。

卵の出現分布状況から、産卵期は11～翌年6月、盛期は2～4月である。産卵場は、資源水準によって変化してきた。資源の少なかった1950～60年代は日向灘から関東近海にかけての各地の黒潮内側域に形成された（黒田 1991）。資源が増加し始めた1970年代前半は土佐湾とその周辺や関東近海での産卵が増加した。1976年からは薩南海域にも産卵場が形成され、1980年から1990年頃までの高水準期には薩南から紀伊半島沖にかけての黒潮域に大規模な産卵場が形成された。1990年代の資源の減少に伴い、薩南海域の産卵場は消滅し、これ以降は四国沖から関東近海の各地の黒潮内側域に形成されている。

(4) 被捕食関係

仔稚魚期は小型の動物プランクトンを捕食し、成長に伴いより大きい動物プランクトンを捕食するようになる。成魚は鰓耙が発達し、動物プランクトンに加えて珪藻類も濾過摂餌する。中・大型の魚類やイカ類、海産ほ乳類、海鳥類などに捕食される。ヒゲクジラ類の胃内容には、マイワシ資源高水準期の1980年代にマイワシが多く出現しており、主要な餌生物であった（Kasamatsu and Tanaka 1992）。1990年代以降は資源減少とともに出現しなくなっていたが（Tamura and Fujise 2002）、2012年には道東海域のミンククジラの胃内容物からマイワシがまとまって出現しており（JARPNII 調査結果）、マイワシの分布量がヒゲクジラ類の捕食対象となるまで増加したと考えられる。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

主要漁業は、幼魚～成魚を対象とする大中型まき網、中型まき網、定置網である。船びき網等によってシラスも漁獲される。近年の総漁獲量の7～9割は三重県以東海域（太平洋北・中区）における漁獲である。和歌山県以西海域（南区、瀬戸内海区）における漁獲は、三重県以東海域に比べ少ないが、2015年以降増加している（図4、表1）。房総以北海域の大中型まき網（北部まき網）による漁獲が資源水準にかかわらず多くを占める。1980年代の資

源高水準期には、常磐～三陸海域のほか、夏秋季の道東海域で大規模な漁場が形成され、200万トン以上が漁獲された。1990年代に入ると資源の減少に伴って索餌回遊範囲が縮小し、道東漁場は1994年以降、形成されなくなった。高い漁獲圧によって2000年代にはさらに資源が減少したため、三陸北部海域でも漁場がほとんど形成されなくなり、房総～常磐海域での0、1歳魚を主な対象とした漁獲が中心となった。最近では、2-（1）に前述の通り資源が増加して索餌回遊範囲が拡大し（図1）、2012年以降は道東海域で漁場が形成され、道東海域における漁獲量は2012年の6千トンから2016年は82千トンに増加した。なお、1994年以降、我が国排他的経済水域（EEZ）内における外国漁船による漁獲はないと考えられる。

（2）漁獲量の推移

本評価の漁獲量には、漁業・養殖業生産統計年報の北海道太平洋側～宮城県並びに瀬戸内海区の合計値に、太平洋区以外に所属する漁船による太平洋海域における漁獲量を加え、さらに太平洋区に所属する漁船による太平洋海域以外での漁獲量（漁獲成績報告書による）を差し引いた値を用いた（図4、表1）。漁獲量は、1975年は50万トンを下回っていたが、その後増加し、1983～1989年は250万トンを越える極めて高い水準で推移した。しかし、1990年以降に減少し、1993年には100万トンを下回り、1995～2001年は10万～30万トン台で推移した。2002～2010年は10万トンを下回る低い水準で推移したが、2011年以降は増加傾向に転じて10万トン以上に増加し、2016年は31.4万トンであった。

（3）漁獲努力量

漁業情報サービスセンター（JAFIC）による北部まき網の年間有効努力量および各月の有効努力量の推移を図5に示した。2000年以降、資源量の減少に伴い努力量は年々減少する傾向にあったが、2009年以降は資源の増加に伴ってやや増加している（図5左）。月別の有効努力量は、2000年以降ではいずれの年も春～夏季を中心に増加する傾向がみられる（図5右）。

Fの年推移を図6および表1に示した。1990年代末から2000年代初めにかけてFは高く、その後、まき網努力量の減少に伴って低下し、最近は低い水準にある。

4. 資源の状態

（1）資源評価の方法

資源評価のフロー図を補足資料1に示した。関係試験研究機関による資源評価調査（補足資料3）で収集された漁獲量、漁獲物の体長組成、体長－体重関係、体長－年齢関係の解析データより、1976年以降の年齢別漁獲尾数を求め、チューニングVPA（コホート解析）を行った（補足資料2）。チューニング指数には、2005年以降の秋季浮魚類調査による亜寒帯域0歳魚現存量、潮岬以東海域の産卵量、および2006年以降の大中型まき網漁況による未成魚越冬群指数を用い（表2、補足資料3）、これらチューニング指数に適合するよう2016年の年齢別Fを探索的に求めた。F_{current}（現状の漁獲係数）は近年5年（2012～2016年）の平均とした。計算に用いたデータ数値、および資源量等の推定結果は表1、および補足資料4に示した。

(2) 資源量指標値の推移

親魚量の指標となる産卵量は、親魚量の極めて少なかった 2000 年代前半には太平洋側全体で 100 兆粒を下回る低い水準であったが、最近では親魚量の増加に伴って増加してきており、特に潮岬以東での増加が顕著である（図 7、表 2-1）。

加入量の指標となる各種調査による資源量指数を図 8 および表 2-2～表 2-5 に示した（調査内容は補足資料 3）。いずれの指数も、近年において高い加入量と推定される 2010、2014～2016 年に高い値を示すなど、加入量の多寡をよく指標していると考えられる。なお、越冬期（12 月～翌年 4 月）のまき網漁況に基づく未成魚越冬群指数は、満 1 歳時の資源量をよく指標すると考えられるが、2000 年以前は高い漁獲圧を反映して近年の動向よりも全体的に高い値を示していると考えられ、漁獲圧が低下している近年と直接の比較は出来ない。

これらの指数のうち、移行域幼稚魚調査による加入量指数や北西太平洋浮魚類調査による北上期移行域～親潮域 0 歳魚分布量、秋季亜寒帯域 0 歳魚現存量など沖合の調査による指数は、沖合の生育場～索餌場における調査のため、2-(1) に前述の沖合加入群だけを指標する。例えば 2008 年は、沿岸でのシラス漁獲量や定置網等の幼魚の漁獲量が多かったが、沖合の調査による指数は高くなく、加入量は沿岸加入群では多かったが沖合加入群では特に多くはなかったと推定された。反対に 2010 年は、沿岸加入群は少なく、沖合加入群が近年では卓越して多かった。移行域幼稚魚調査による加入量指数は、2010 年に最も高く（391.4）、2017 年は 91.6 となり 2015 年（101.5）および 2016 年（102.6）と同程度の値を示し、2010 年以降の高い水準を維持した。北上期調査による分布量は 2014～2017 年に高く、特に 2016 年に急増した。この傾向は他の指標値と異なっており、0 歳魚の発生時期および分布回遊の変化を反映している可能性がある。

(3) 漁獲物の年齢組成

近年の漁獲の主体は 0、1 歳魚であり、漁獲量に占める 1 歳魚の割合が高い。2012、2013 年は、近年では加入量の高い 2010 年級群を反映して、2、3 歳魚の割合も高かった。2014 年以降は 0 歳魚の割合が近年では比較的高く（図 9）、2014～2016 年の高い加入量を反映している。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

資源量は 1970 年代に増加し、1980 年代は 1,000 万トン以上の高い水準で推移したが、1990 年代に入って減少した。1994 年に 100 万トンを下回り、1999 年まで 70 万～90 万トン程度で推移した後、再び減少し、2002 年以降 2009 年まで 10 万トン台の低い水準で推移した（図 10、表 1、補足資料 4）。その後、2010～2014 年に比較的良好な加入が続いたことと後述のように漁獲割合が低下したことにより資源量は増加し、2014 年には 100 万トンを上回った。さらに 2015 年の極めて高い加入量および 2016 年の高い加入量により資源量は増加し、2015 年は 174 万トン、2016 年は 212 万トンと推定された。同様に親魚量は 2002 年以降 10 万トンを下回る水準で推移していたが、2011 年以降増加し、2016 年は 891 千トンと推定された（図 10、表 1、補足資料 4）。

漁獲割合は、努力量の推移と対応して 1990 年代から 2000 年代始めにかけて 40～50% 台まで高くなり、資源量の減少につながった（図 10、表 1）。その後は、2007 年に 60% と高ま

ったのを除けば低下傾向となり、最近では 15%前後と低い水準で推移している。資源量と F の関係を図 11 に示した。1980 年代末から 1990 年代、2000 年代始めにかけては、資源量の減少とともに F が上昇するという、資源を減少させるような関係がみられたが、最近の F は低下しており、漁獲が資源を減少させる状況にはないと判断される。

コホート解析における自然死亡係数 M の感度解析として、 M を本評価で仮定する 0.4 から 0.3 と 0.5 にそれぞれ変化させた場合の 2016 年の資源量、親魚量を推定した（図 12）。 M を大きく（小さく）設定すると資源量、親魚量は大きく（小さく）推定された。 M が 0.1 変化すると、資源量に対し 20%前後、親魚量に対し 15%前後の影響があった。

（5）再生産関係

親魚量と加入量の関係を図 13 に示した。1990 年代後半以降、再生産成功率（ RPS ＝加入量／親魚量）は 1999 年を除き低くはないものの、高い漁獲圧によって親魚量が減少したため、高い加入は見られなかった。特に親魚量が 1996 年水準（221 千トン）を下回った 2001～2009 年には、加入量は 30 億尾未満と極めて低い水準となった（図 14、表 1）。また、1988 年以降の環境下では、加入量は多くても 200 億尾台であり、1970～80 年代にみられた高水準の加入はなかったが、2015 年の加入量は 403 億尾、2016 年の加入量は 229 億尾と推定された。

（6）Blimit の設定

前項の通り、親魚量が 1996 年水準を下回ると加入量の水準が低下したことから、本系群の資源回復水準（Blimit）を 1996 年の親魚量（221 千トン）とした。禁漁水準（Bban）は、Wada and Jacobson（1998）による 1950～60 年代の資源低水準期における推定最低資源量である 2.2 万トンとした。この値は、1910 年以降で、我が国漁獲量が最低であった 1965 年における太平洋側の漁獲量 7 千トンから、漁獲割合を 2000 年代の資源低水準期の平均的な値の 30%と仮定して推定される資源量と同程度である。

（7）資源の水準・動向

資源水準の区分は、1976 年以降の親魚量の推移から、資源が増大し、密度効果で成長、肥満度の低下がみられた、1980～1990 年の親魚量 500 万トン以上の水準を高位とし、1991 年代以降の親魚量が 1996 年水準（Blimit、221 千トン）以上で成魚の索餌回遊が三陸北部以北の親潮域までみられるような水準を中位、親魚量が Blimit を下回り、成魚の索餌回遊が常磐海域以南に縮小するような水準を低位とした（図 10）。

資源水準は、2016 年の親魚量が 891 千トンであることから中位と判断した。動向は最近 5 年間の資源量と親魚量の推移から増加と判断した（図 10）。

（8）今後の加入量の見積もり

加入量と RPS の推移を図 14、表 1 に示した。 RPS は、1976～1981 年は、1979 年を除き、36.0～65.6 尾/kg と高く、加入量、親魚量が増大した。1982～1987 年は 20 尾/kg 前後で推移し、高い親魚量によって高水準の加入が続いた。レジーム・シフト直後の 1988～1991 年は 0.9～1.7 尾/kg と極めて低く、加入量水準が大きく低下して親魚量が急激に減少した。1992 年以降 2000 年代前半までは、1999 年に 5.4 尾/kg と低く、1996 年に 60.7 尾/kg と高かった

他は 12~24 尾/kg の範囲で推移した。2000 年代後半以降は、30 尾/kg 以上の高い年の頻度が高くなり、10 尾/kg 以下の低い年はみられない。

本系群は海洋環境のレジーム・シフトと同期して資源変動し、寒冷レジームにおいて資源が増大したことが知られている。資源量は、1976/77 年のレジーム・シフト (Yasunaka and Hanawa 2002) と同期して増大し、1980 年代は 1,000 万トン以上の高い水準で推移した。その後、1988/89 年のレジーム・シフトと同期して 1988~1991 年の連続した再生産成功率の低下がみられ (Watanabe et al. 1995)、加入量および資源量が激減した。古文書の記録によれば、1980 年代のような資源の増大は、1930 年代やそれ以前にも 50~100 年程度の間隔で繰り返し起こり、漁獲圧が近年よりはるかに低い状況においても、高水準期の持続期間は十年~数十年間程度であり長期にわたって持続することはなかったと推定されている (伊東 1961、1991、坪井 1988)。資源高水準期には、密度効果による成長速度の低下、成魚の肥満度の低下、卵質の低下など (Wada and Kashiwai 1991、Kawasaki and Omori 1995、Morimoto 1996、Kawabata et al. 2011)、親魚の再生産能力の低下につながる生物学的な変化が確認されており、資源量が高水準にあることは持続的な状態とは考えられない。寒冷レジームにおける資源増大のメカニズムは明らかではないが、稚仔魚の生育場である黒潮続流域において、アリューシャン低気圧の勢力が強化されて風が強まり、下層からの栄養塩の供給が増えて餌料プランクトンが増加し、加入量の増大が可能になったという説がある (Yatsu et al. 2008)。

加入動向と環境指標との関係としては、冬春季の親潮南下指数が高いと RPS が高い (海老沢・木下 1998)、あるいは黒潮続流南側再循環域 (KESA) の冬季水温が低いと加入までの死亡率が低い (Noto and Yasuda 1999、能登 2003)、といった関係が示されている。前者は、親潮によって稚仔魚生育場の餌量が増加して生残率が高くなると推察されている。後者は、上述の寒冷レジームのシフトに関係した環境変化と資源の増減を主に指標したと考えられるが、近年は関係が不明瞭である。

このほか、毎年の RPS の変化に対する直接的な環境要因の解明を目的とした研究が進められている。Ambe et al. (2010) は、水温と流速の解析場を用いた粒子追跡実験を行って各年の卵、仔魚の産卵場~生育場における経験水温を推定し、適水温を経験する個体が多い年は RPS が高いことを指摘した。Okunishi et al. (2012) は、衛星観測データに基づく環境場において成長、回遊モデルを構築して仔稚幼魚を移送、回遊させる実験を行い、30~60 日齢の稚仔魚期に適水温や高クロロフィル (高い餌量) を経験した個体が早く成長して加入に成功し、そのような個体の割合の高い年は加入量が高くなると推察した。これらに関連して、天然海域で得られた仔稚魚の成長解析から、成長率の高い個体が優先して発育ステージが進み、選択的に生残率が高くなると考えられること (落合 2009、須原ほか 2014)、仔稚魚の平均成長率の高い年は RPS が高い関係がみられること (Takahashi et al. 2008)、が報告されている。将来的にはこのような知見をもとに加入量の推定精度を向上させることが期待される。そのためには、このような解析に加え、飼育実験等により初期成長、生残への環境要因、母性効果等の影響を直接的に評価することが必要である。

今後の加入量について、2017 年の加入量は、加入量との相関関係が認められる移行域加入量指数から推定した (補足図 2-1、 $r = 0.80$ 、 $p < 0.01$)。調査が行われた 1996~2017 年のうち、加入量指数が 1 以下と著しく低かった年 (2001~2004、2006 年) 以外の年の加入量指数と加入量の回帰式を用いた。2017 年の加入量指数は 91.9 であり、2012~2016 年を下回ったものの、2009 年以前の水準に比べれば高く、近年の比較的高い水準を維持した (図 8、

表 2-2)。回帰式と 2017 年の加入量指数から推定される加入量は 97 億尾となり、これを 2017 年の加入量とした（補足資料 2）。

2018 年以降の加入量は、1988 年のレジーム・シフト後において、推定値の不確実性の高い最近年（2016 年）を除き、資源中位水準と判断される 1991～2000 年および 2012～2015 年の再生産成功率の中央値（RPSmed： 21.5 尾/kg）をコホート解析で求められる親魚量に乗じて仮定した。

（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 %SPR、YPR との関係を図 15 に示した。現状の漁獲圧（ $F_{current}$ ）は、資源を現状維持するとされる F_{med} 、 F_{msy} の代替値とされる基準値の $F_{0.1}$ より低いことから、その水準は低いと判断される。

5. 2018 年 ABC の算定

（1）資源評価のまとめ

資源の水準は中位、動向は増加と判断した。2008～2014 年に比較的良好な加入が続いたこと、および漁獲圧が低下したことにより資源量は増加し、2014 年は 124 万トンとなった。さらに 2015 年の極めて高い加入量および 2016 年の高い加入量により資源量は増加し、2015 年は 174 万トン、2016 年は 212 万トンと推定された。同様に親魚量は 2002 年以降 10 万トンを下回る水準で推移したが、2011 年以降増加して 2012 年に B_{limit} を上回り、2016 年は 891 千トンと推定された。現状の漁獲圧は高くなく、将来的に 1988 年以降の資源中位水準年の RPS 中央値が維持されれば、資源を増加できる水準である。

（2）漁獲シナリオに対応した漁獲量の算定

親魚量は B_{limit} を上回っており、親魚量を B_{limit} 以上に維持することを管理方策として、ABC 算定規則の 1-1)-(1)により F を設定した。資源中位水準で想定される再生産関係のもとで B_{limit} 以上の現状の親魚量水準の維持を図る漁獲シナリオとして、1988 年以降の資源中位水準年の RPSmed (21.5 尾/kg) に対応する F_{med} 、漁獲がないときの 30%に相当する加入量あたり親魚量を達成する $F_{30\%SPR}$ 、現状の漁獲圧であり資源の増大が可能な $F_{current}$ 、およびこれらの予防的措置を講じた F を設定し、それぞれの漁獲シナリオに従って 2018 年の ABC を算定した。コホート解析によるそれぞれの F における推定漁獲量と資源量の予測値を以下の表と図 16 および表 3 に示す。

現状の漁獲圧は高くなく、 $F_{current}$ を維持した場合、将来予測で資源量、親魚量は増加する。現状よりも漁獲圧を高める $F_{30\%SPR}$ 、 F_{med} でも、資源量は 2016 年よりわずかに高い水準で維持され、親魚量は 2017 年の加入量が低い値であることから 2019 年に一時的に減少するものの、その後は 2016 年よりも高い水準で維持される。将来的な漁獲量は、 $F_{current}$ が $F_{30\%SPR}$ 、 F_{med} を上回る。

漁獲シナリオ (管理基準)		F 値	漁獲量 (千トン)							
			2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
現状の漁獲圧 の維持 (Fcurrent)	Target	0.21	314	492	400	388	491	599	704	845
	Limit	0.26	314	492	486	450	546	634	713	818
親魚量の増大 (F30%SPR)	Target	0.31	314	492	569	502	585	646	693	758
	Limit	0.39	314	492	682	561	614	631	633	646
親魚量の維持 (Fmed)	Target	0.33	314	492	588	513	592	645	685	741
	Limit	0.41	314	492	704	571	617	624	618	622
			資源量 (千トン)							
			2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
現状の漁獲圧 の維持 (Fcurrent)	Target	0.21	2,117	2,396	2,503	2,718	3,341	3,960	4,713	5,629
	Limit	0.26	2,117	2,396	2,503	2,585	3,045	3,447	3,919	4,471
親魚量の増大 (F30%SPR)	Target	0.31	2,117	2,396	2,503	2,455	2,768	2,986	3,238	3,523
	Limit	0.39	2,117	2,396	2,503	2,279	2,411	2,427	2,458	2,497
親魚量の維持 (Fmed)	Target	0.33	2,117	2,396	2,503	2,425	2,705	2,886	3,094	3,329
	Limit	0.41	2,117	2,396	2,503	2,244	2,344	2,326	2,323	2,327
			親魚量 (千トン)							
			2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
現状の漁獲圧 の維持 (Fcurrent)	Target	0.21	891	1,750	1,585	1,363	1,864	2,130	2,563	3,055
	Limit	0.26	891	1,750	1,585	1,285	1,697	1,845	2,124	2,417
親魚量の増大 (F30%SPR)	Target	0.31	891	1,750	1,585	1,210	1,541	1,590	1,749	1,897
	Limit	0.39	891	1,750	1,585	1,109	1,340	1,283	1,321	1,337
親魚量の維持 (Fmed)	Target	0.33	891	1,750	1,585	1,193	1,505	1,535	1,670	1,791
	Limit	0.41	891	1,750	1,585	1,089	1,302	1,228	1,247	1,244

Limit は、各漁獲シナリオの下で許容される最大レベルの F 値による漁獲量、Target は、資源変動の可能性や誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、各漁獲シナリオの下でより安定的な資源の増大または維持が期待される F 値による漁獲量である。Ftarget=αFlimit とし、係数 α には標準値 0.8 を用いた。Fcurrent は 2012～2016 年の F の平均値、Fmed は不確実性が高い最近年（2016 年）を除く 1988 年以降の資源中位水準と判断される年（1991～2000、2012～2015 年）の再生産成功率の中央値（RPSmed：21.5 尾/kg）に対応する F である。

(3) 2018 年 ABC、加入量の不確実性を考慮した検討、シナリオの評価

環境の影響の大きい RPS の年変動に伴う加入量の不確実性を考慮した将来予測シミュレーションを行った。2018 年以降の加入量は、親魚量に応じて過去の RPS 観測値をリサンプリングすることで決定した。シミュレーションの条件設定の詳細は補足資料 5 に示した。F は前述の各漁獲シナリオの F_{med} 、 $F_{30\%SPR}$ 、 $F_{current}$ 、およびそれらに予防的措置を講じた場合を設定した。このような将来予測をそれぞれ 1,000 回行い、各シナリオの管理効果を資源量、漁獲量、親魚量の試算値から検討した。

将来予測の結果、試算値の動向は前項で述べた不確実性を考慮せずに加入量を与えた場合とほぼ同様であった（図 17）。2023 年の親魚量が B_{limit} を維持する確率は、どのシナリオでも 100%であった。2016 年水準を維持する確率は、 $F_{current}$ では 92%と高く、 $F_{30\%SPR}$ では 66%、 F_{med} では 61%とやや低くなっている。

漁獲シナリオ (管理基準)	Target/ Limit	2018 年 ABC (千トン)	漁獲 割合 (%)	F 値 (現状の F 値からの 増減%)	2023 年の 親魚量 (千トン) (80%区間)	確率評価 (%)	
						2023 年に 2016 年 親魚量を 維持	2023 年に Blimit を 維持
現状の漁獲圧 の維持* (Fcurrent)	Target	400	16	0.21 (－20%)	2,996 (1,257～5,171)	97	100
	Limit	486	19	0.26 (±0%)	2,370 (986～4,119)	92	100
親魚量の増大* (F30%SPR)	Target	569	23	0.31 (+21%)	1,860 (764～3,255)	85	100
	Limit	682	27	0.39 (+51%)	1,310 (526～2,316)	66	100
親魚量の維持* (Fmed)	Target	588	24	0.32 (+26%)	1,756 (717～3,077)	82	100
	Limit	704	28	0.41 (+57%)	1,220 (487～2,160)	61	100

コメント

・本系群の ABC 算定には規則 1-1) - (1)を用いた。

・本系群は加入量及び F 値の年齢別選択率の年変動が大きいため、将来予測における不確実性が高いことを考慮した漁獲シナリオの選択や予防的措置の選択がなされることが望ましい。

・海洋生物資源の保存及び管理に関する基本計画第 3 に記載されている本系群の中期的管理方針では、「海洋環境が資源の増大に好適な状況になる可能性があることから、海洋環境や資源動向及び漁獲動向に注意しつつ、資源水準の維持（可能な場合には増大）を基本方向として、管理を行うものとする」とされており、親魚量の維持シナリオから得られる漁獲係数以下であれば、現状の資源水準の維持または増大が期待できる。同方針に合致するシナリオには*を付した。

Limit は、各漁獲シナリオの下で許容される最大レベルの F 値による漁獲量、Target は、資源変動の可能性や誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、各漁獲シナリオの下でより安定的な資源の増大または維持が期待される F 値による漁獲量である。Ftarget=αFlimit とし、係数 α には標準値 0.8 を用いた。Fcurrent は 2012～2016 年の F の平均値、Fmed は、不確実性が高い最近年（2016 年）を除く 1988 年以降の資源中位水準と判断される年（1991～2000、2012～2015 年）の再生産成功率の中央値（RPSmed：21.5 尾/kg）に対応する F、漁獲割合は 2018 年の漁獲量／資源量、F 値は各年齢の単純平均値である。漁獲シナリオにある「親魚量の維持」は中長期的に安定する親魚量での維持を指す。

(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
漁獲量（漁業養殖業生産統計年報）2015 年確定値並びに 2016 年概算値	年齢別漁獲尾数
2016 年の主要港月別漁獲量、生物測定結果 2016 年秋季～2017 年春季における資源量指数	2016 年の年齢別漁獲尾数、年齢別体重 2016、2017 年級群に対応した資源量指数 これらに基づく資源計算による漁獲係数、選択率、資源量、SPR、Fmed の改訂

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) (実際の F 値)
2016 年 (当初)	Fmed	0.59	1,063	340*	286	
2016 年 (2016 年再評価)	Fmed	0.44	2,407	706	589	
2016 年 (2017 年再評価)	Fmed	0.41	2,117	542	450	314 (0.24)
2017 年 (当初)	Fmed	0.44	2,859	735*	612	
2017 年 (2017 年再評価)	Fmed	0.41	2,396	712	596	
2016、2017 年とも、TAC 設定の根拠となった管理基準について行った。 *は TAC 設定の根拠となった数値である。						

2016 年および 2017 年の ABC について本評価による推定結果により再評価を行った。F 値は年齢別 F の単純平均である。

昨年度評価と比較して、資源量指標値（産卵量および未成魚越冬群指数）の増加が緩やかであったため、2015 年の加入量が下方修正された。一方、2016 年の秋季亜寒帯域 0 歳魚現存量の値がやや高かったため、2016 年の加入量は上方修正された。2016 年の加入量は上方修正されたものの、2015 年加入量の下方修正の影響が大きく、2016 年の資源量および ABC は下方修正された。2017 年資源量は、前述の 2015・2016 年の加入量の修正に加え、2017 年の加入量が下方修正されたことにより下方修正されたが、ABC に占める 0 歳魚の割合が低いため、ABC の下方修正はわずかにとどまった。

6. ABC 以外の管理方策への提言

現状では、0、1 歳魚が漁獲の主体となっているが、全ての個体が成熟する年齢は 2 歳と推定されていることから、資源の増加、維持に重要である一定水準以上の親魚量の確保のために、未成魚に過大な漁獲圧がかからないような年齢別の漁獲方策を検討することも必要であろう。過去の経緯をみると、資源高水準期への移行は、海洋生態系の変化を伴い、水産業等社会への影響が大きいことから、いつ資源高水準期へ移行するのかが、ある程度予測されることが望ましい。関連調査研究を進展させるとともに、環境の変化とそれに伴う加入群の大発生などの資源の動向を注視していく必要があろう。

7. 引用文献

- Ambe, D., K. Komatsu, A. Okuno, M. Shimizu and A. Takasuka (2010) Survival response during early larval stage of Japanese sardine to physical oceanic conditions leading to their recruitment, *Proceedings of Techno-Ocean 2010*, 2010.
- 海老沢良忠・木下貴裕 (1998) 房総～三陸海域の水温環境とマイワシの再生産指数について. 茨城水試研報, **36**, 49-55.
- 長谷川雅俊・日越貴大 (2011) 駿河湾西部における春季から初夏のマイワシ仔稚幼魚の出現. 黒潮の資源海洋研究, **12**, 125-130.
- 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. 日水研年報, (9), 1-227.
- 伊東祐方 (1991) 日本のマイワシ—その生活と資源. 魚油とマイワシ (松下七郎編著), 恒星社厚生閣, 191-255.
- Kasamatsu, F. and S. Tanaka (1992) Annual changes in prey species of minke whales taken off Japan 1948-87. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54**, 637-651.
- 川端 淳・西田 宏・高木香織・高橋正知・中神正康・巢山 哲・上野康弘・納谷美也子・山下夕帆 (2011) 北西太平洋におけるマイワシ 0～1 歳魚の季節的分布回遊. 平成 21 年度資源評価調査成果報告書・第 59 回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告, 189-194.
- Kawabata, A., H. Yamaguchi, S. Kubota and M. Nakagami (2011) Growth and fatness of 1975-2002 year classes of Japanese sardine in the Pacific waters around northern Japan. *Fish. Sci.*, **77**, 291-299.
- Kawasaki, T. (1992) Climate-dependent fluctuations in far eastern sardine population and their impacts on fisheries and society. *Climate variability, climate change and fisheries* (Glantz, M.H. ed), Cambridge University press, 325-354.
- Kawasaki, T. and M. Omori (1995) Possible mechanisms underlying fluctuations in the Far Eastern sardine population inferred from time series of two biological traits. *Fish. Oceanogr.*, **4**, 238-242.
- Klyashtorin, L. B. (1998) Long-term climate change and main commercial fish production in the Atlantic and Pacific. *Fish. Res.*, **37**, 115-125.
- 黒田一紀 (1991) マイワシの初期生活期を中心とする再生産過程に関する研究. 中央水研研報, **3**, 25-278.
- Morimoto, H. (1996) Effects of maternal nutritional conditions on number, size and lipid content of hydrated eggs in the Japanese sardine from Tosa Bay, southwestern Japan. *Survival strategies in early life stages of marine resources* (Watanabe, Y. et al. eds), AA Balkema, 3-12.
- 能登正幸 (2003) 北西太平洋の水温変動とマイワシ資源・分布の関係. 月刊海洋, **35**, 32-38.
- Noto, M. and I. Yasuda (1999) Population decline of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, in relation to sea surface temperature in the Kuroshio Extension. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **56**, 973-983.
- 落合伸一郎 (2009) マイワシとウルメイワシ当歳魚の比較生態学的研究. 東京大学農学生命研究科修士論文, 1-95.
- Okunishi, T., S. Ito, D. Ambe, A. Takasuka, T. Kameda, K. Tadokoro, T. Setou, K. Komatsu, A. Kawabata, H. Kubota, T. Ichikawa, H. Sugisaki, T. Hashioka, Y. Yamanaka, N. Yoshie and Watanabe, T. (2012) A modeling approach to evaluate growth and movement for recruitment success of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the western Pacific. *Fish. Oceanogr.*,

21, 44-57.

- 須原三加・川端淳・久保田洋・高木香織・本田聡・渡邊千夏子・加賀敏樹・山下紀生・巢山哲・中神正康 (2014) 黒潮親潮移行域以北に出現するマイワシ太平洋系群当歳魚の孵化日組成と成長. 黒潮の資源海洋研究, **15**, 109.
- 高木香織・高橋素光・西田 宏 (2010) マイワシ太平洋系群・資源低水準期における稚魚の生態特性. 平成 20 年度資源評価調査成果報告書・第 58 回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告, 172-178.
- Takahashi, M., H. Nishida, A. Yatsu and Y. Watanabe (2008) Year-class strength and growth rates after metamorphosis of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the western North Pacific Ocean during 1996-2003. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **65**, 1425-1434.
- Tamura, T. and Fujise, Y. (2002) Geographical and seasonal changes of the prey species of minke whale in the northwestern Pacific. ICES J. Mar. Sci., **59**, 516-528.
- 田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報(28), 1-200.
- 坪井守夫 (1988) 本州・四国・九州を一周したマイワシ主産卵場 (3), 東海区水研業績 C 集・さかな, **40**, 37-49.
- 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.
- Wada, T. and M. Kashiwai (1991) Changes in growth and feeding ground of Japanese sardine with fluctuation in stock abundance. Long-term variability of pelagic fish populations and their environment (Kawasaki, T. et al. eds), Pergamon, 181-190.
- Watanabe, Y., H. Zenitani and R. Kimura (1995) Population decline of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to the recruitment failures. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **52**, 1609-1616.
- Yasunaka, S. and K. Hanawa (2002) Regime shifts found in the northern hemisphere SST field. J. Meteor. Soc. Japan, **80**, 119-135.
- Yatsu, A., K. Y. Aydin, J. R. King, G. A. McFarlane, S. Chiba, K. Tadokoro, M. Kaeriyama and Y. Watanabe (2008) Elucidating dynamic responses of North Pacific fish populations to climatic forcing: Influence of life-history strategy. Prog. Oceanogr. **77**, 252-268.
- Yatsu, A. and M. Kaeriyama (2005) Linkages between coastal and open-ocean habitats and dynamics of Japanese stocks of chum salmon and Japanese sardine. Deep-Sea Res. II, **52**, 727-737.
- 由上龍嗣・渡邊千夏子・上村泰洋・古市 生・赤嶺達郎・岸田 達 (2016) 平成 28(2016)年度マイワシ太平洋系群の資源評価. 平成 28 年度我が国周辺水域の漁業資源評価(魚種別系群別資源評価・TAC 種), 15-52.

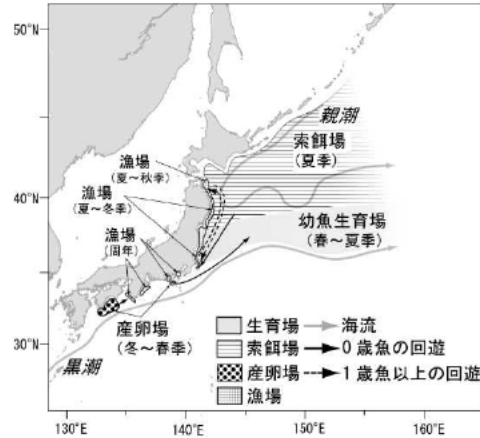
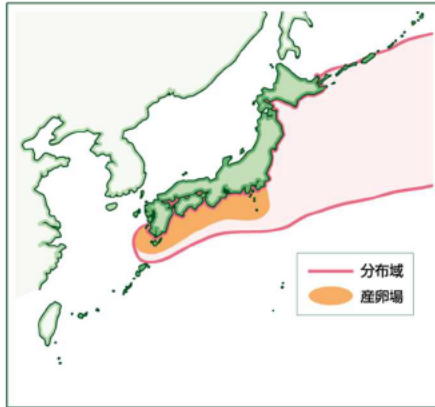


図1. 分布・回遊および生活史と漁場形成の模式図

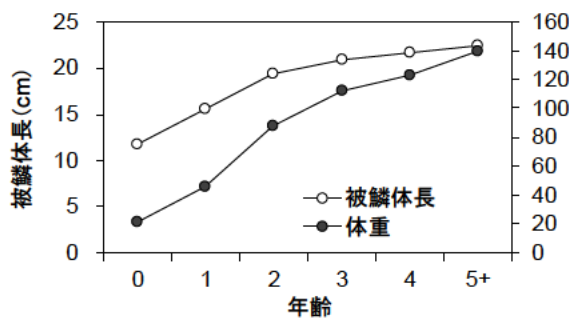


図2. 年齢と成長 (2014～2016 年漁獲物平均値)

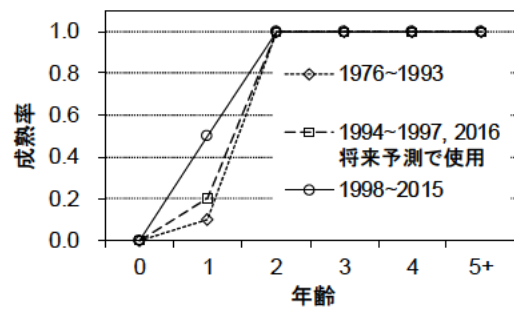


図3. 年齢と成熟率

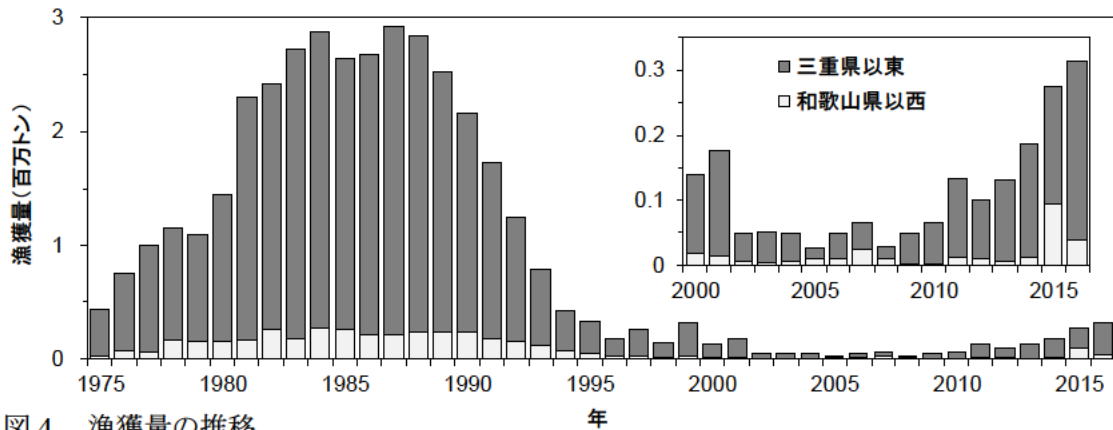


図4. 漁獲量の推移

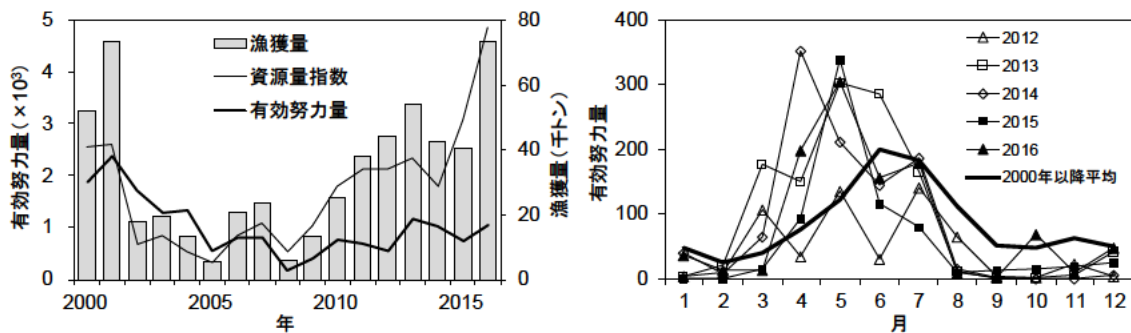


図5. 北部まき網の有効努力量と漁獲量の推移 (JAFIC 集計値)

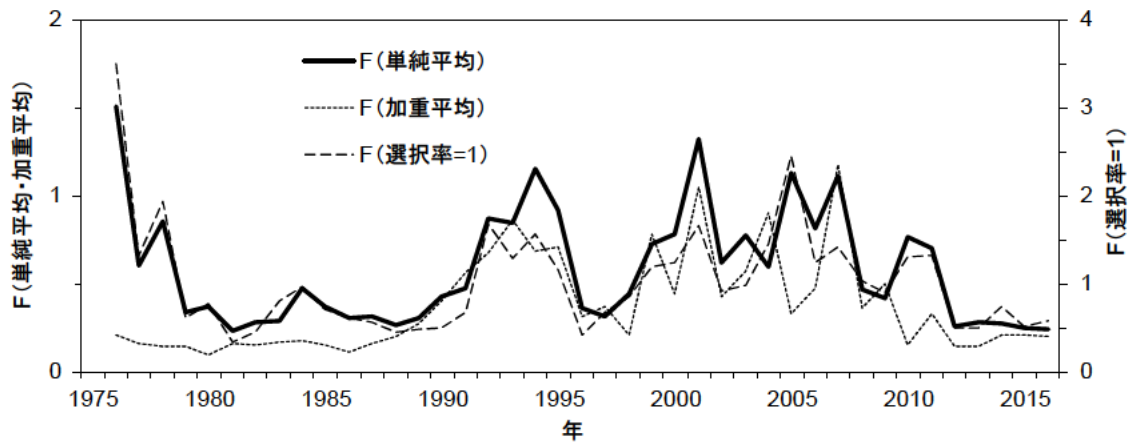


図 6. 漁獲係数 F の推移 年齢別 F の単純平均値、年齢別資源尾数に応じた加重平均値、および年齢別 F の最大値（選択率=1）

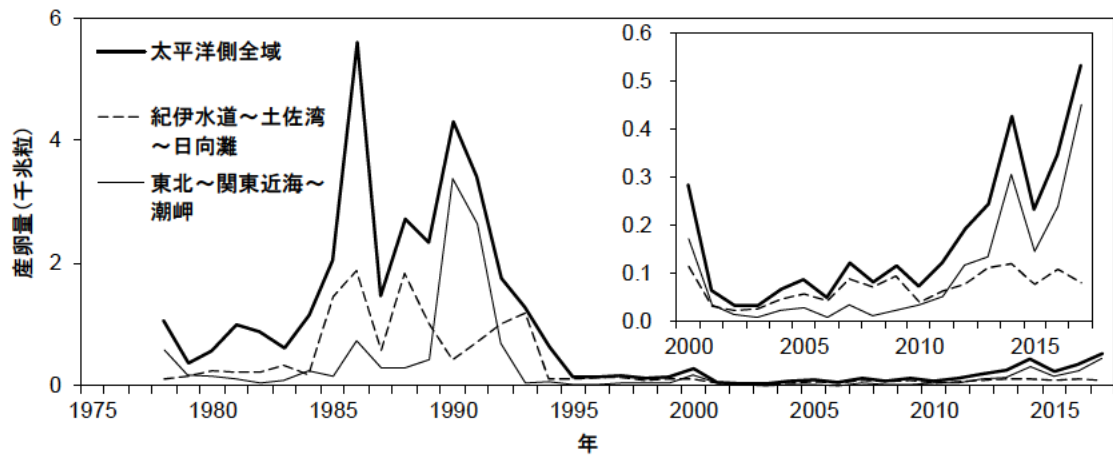


図 7. 産卵量の推移 卵稚仔調査協議会による前年 10 月から 9 月までの集計値。2017 年は 5 月までの暫定値。太平洋側全域は同協議会の区分の海区Ⅰ～Ⅳ、紀伊水道～土佐湾～日向灘は海区Ⅲ、東北～関東近海～潮岬は海区Ⅰ・Ⅱの値。

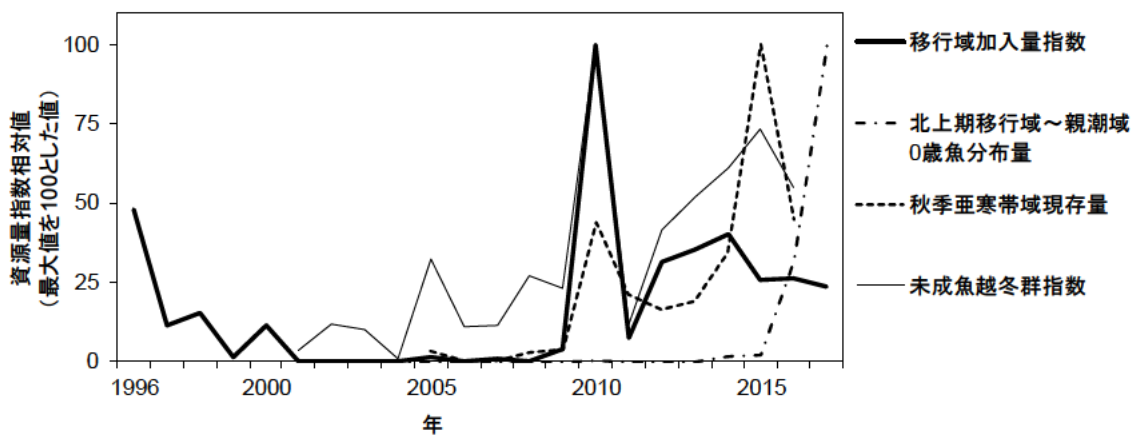


図 8. 加入量の指標となる資源量指数の推移 各指数については補足資料 3 を参照。未成魚越冬群指数は前年の加入量と対応するので 1 年ずらし、2002 年以降を示した。

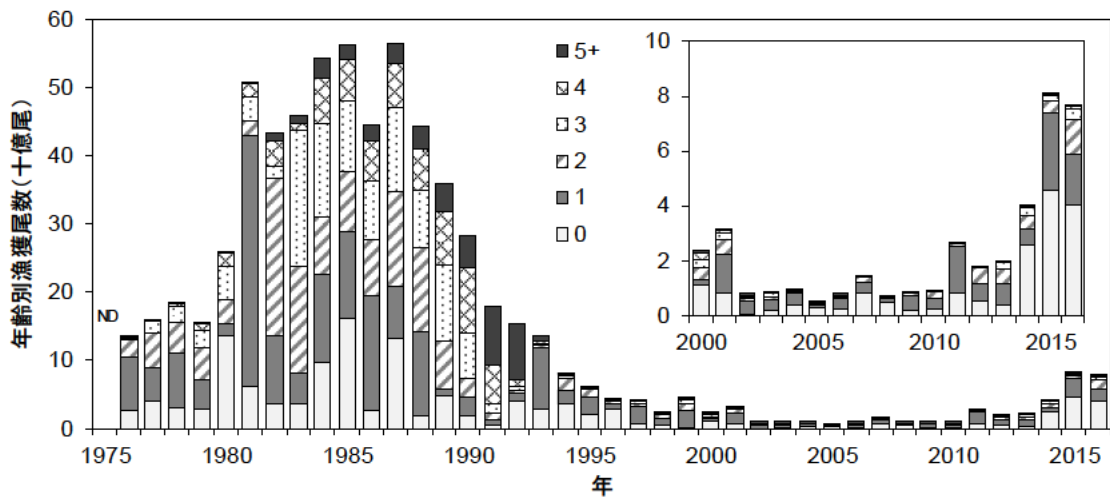


図 9. 年齢別漁獲尾数

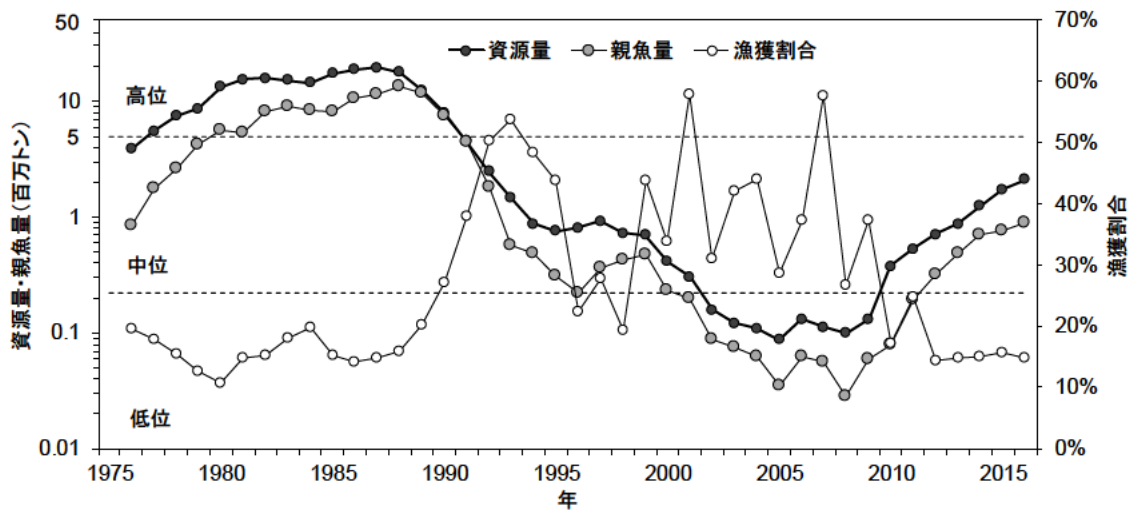


図 10. 資源量、親魚量および漁獲割合の推移 図中破線は資源水準区分の親魚量の目安。

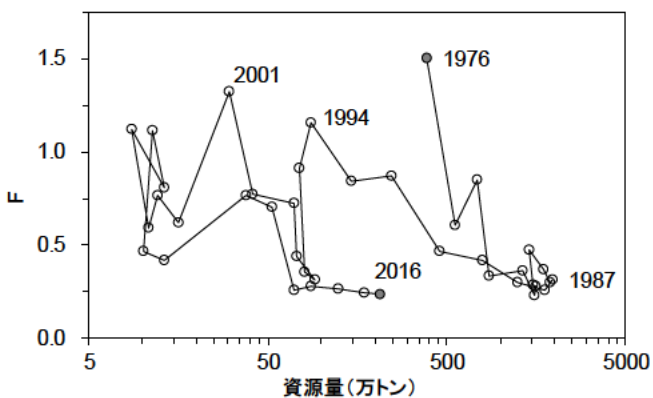


図 11. 資源量と F (年齢別 F の単純平均値) の関係

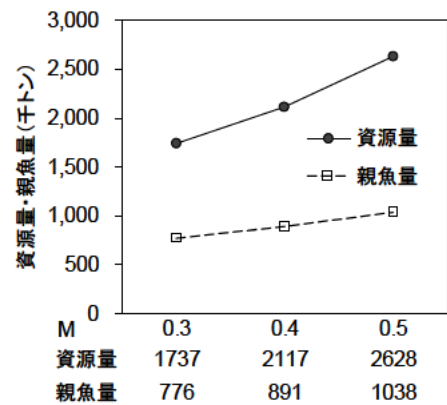


図 12. 自然死亡率 M と資源量、親魚量の関係 M の変化に対する 2016 年の推定値の感度解析。

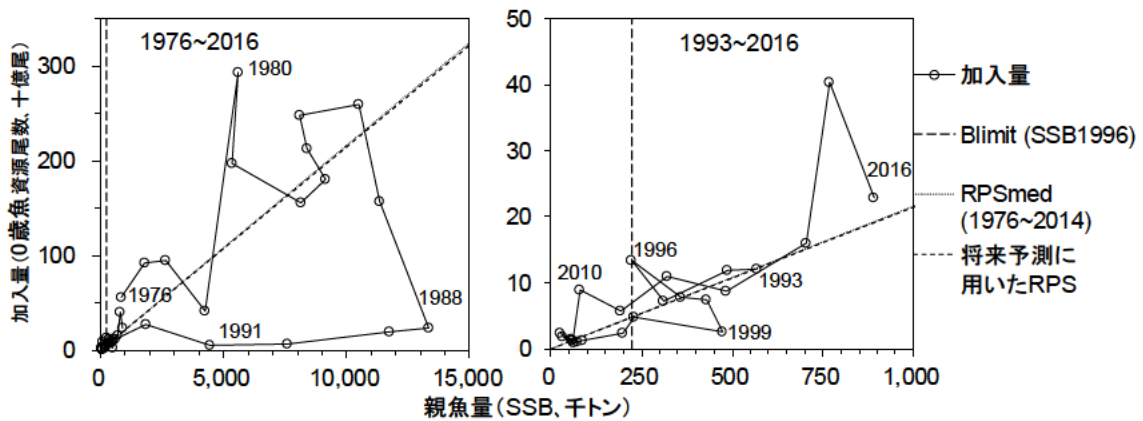


図 13. 親魚量と加入量の関係

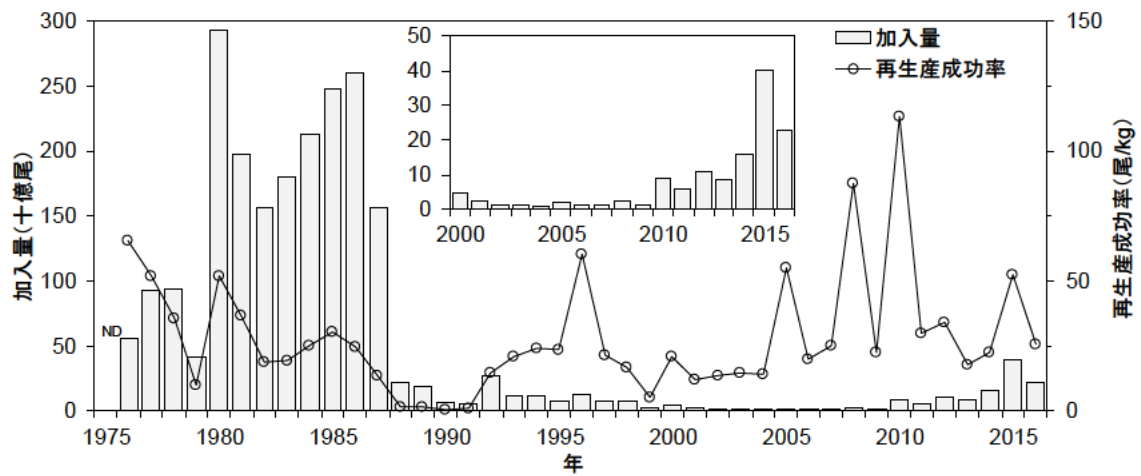


図 14. 再生産成功率 (RPS) および加入量の推移

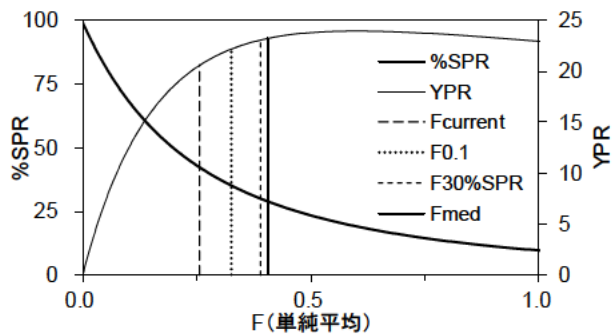


図 15. F と %SPR、YPR の関係
Fmed は中位水準年における
RPSmed に対応した値

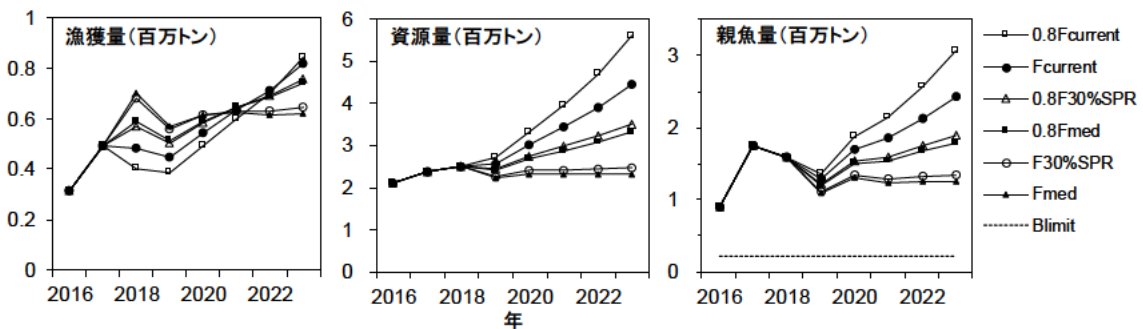


図 16. 各漁獲シナリオの F において予測される資源量、親魚量、漁獲量の推移

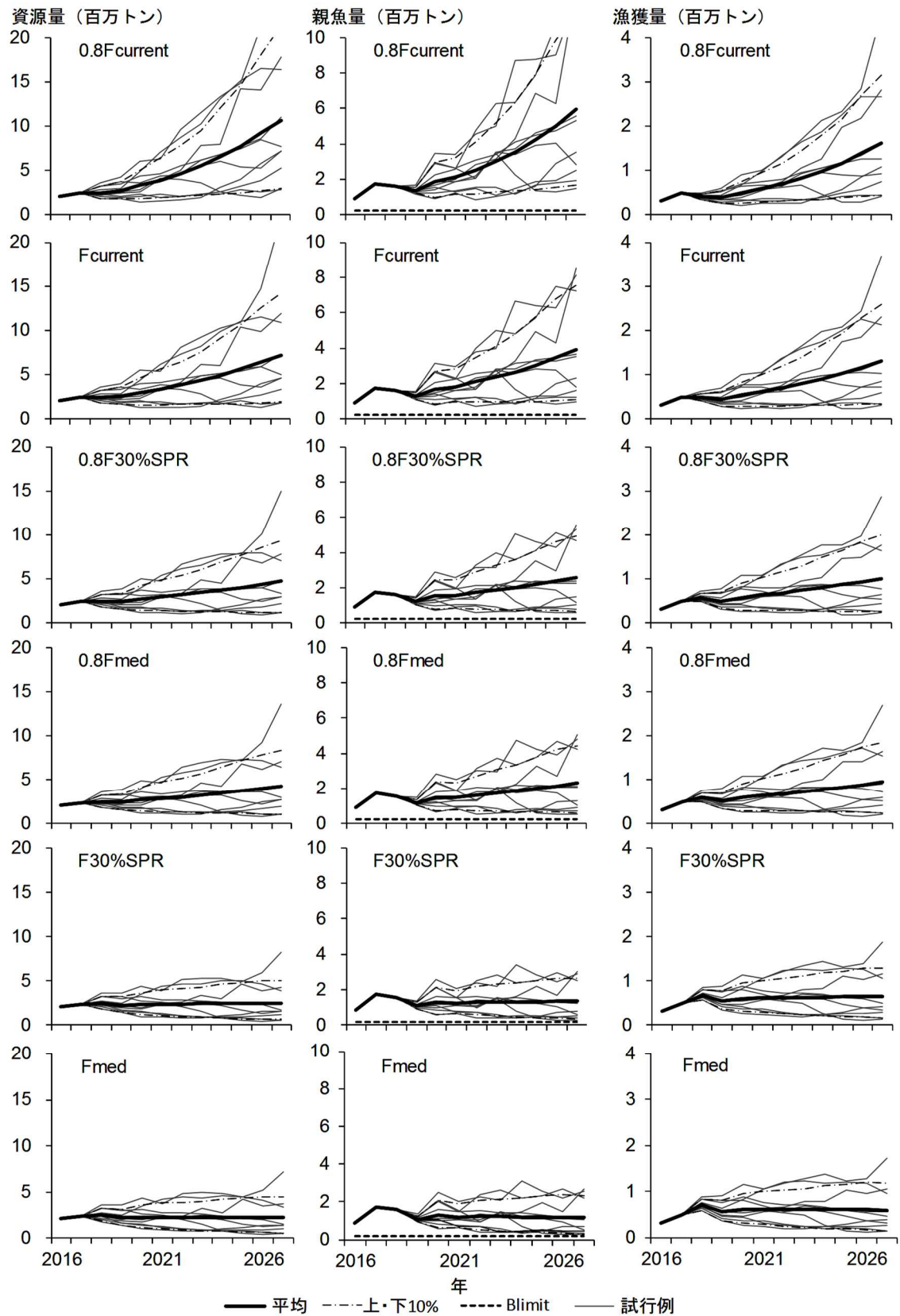


図 17. 各漁獲シナリオにおける加入量の不確実性を考慮した将来予測による資源量、親魚量、漁獲量の推移

表 1. 漁獲量とコホート解析結果

年	漁獲量 (千トン)			資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	加入量 (億尾)	漁獲 割合 (%)	再生産 成功率 (尾/kg)	F単純 平均
	太平洋 合計	三重県 以東	和歌山 県以西						
1975	430	400	30						
1976	756	677	79	3,862	852	559	20	65.6	1.51
1977	991	934	56	5,553	1,774	923	18	52.0	0.60
1978	1,149	975	174	7,440	2,620	942	15	36.0	0.85
1979	1,089	933	156	8,647	4,219	419	13	9.9	0.34
1980	1,445	1,286	159	13,366	5,613	2,930	11	52.2	0.37
1981	2,296	2,129	167	15,415	5,325	1,978	15	37.1	0.23
1982	2,419	2,158	261	15,830	8,158	1,562	15	19.2	0.28
1983	2,725	2,539	186	15,151	9,140	1,802	18	19.7	0.29
1984	2,870	2,589	281	14,419	8,368	2,128	20	25.4	0.47
1985	2,644	2,397	247	17,392	8,079	2,479	15	30.7	0.37
1986	2,685	2,471	214	18,881	10,499	2,600	14	24.8	0.30
1987	2,916	2,696	220	19,542	11,322	1,565	15	13.8	0.32
1988	2,838	2,593	244	17,774	13,355	228	16	1.7	0.26
1989	2,524	2,280	243	12,507	11,754	194	20	1.7	0.30
1990	2,162	1,916	246	7,981	7,609	69	27	0.9	0.42
1991	1,724	1,544	180	4,546	4,440	53	38	1.2	0.47
1992	1,240	1,089	152	2,465	1,819	273	50	15.0	0.87
1993	791	675	116	1,467	569	121	54	21.3	0.84
1994	425	357	68	879	487	119	48	24.4	1.16
1995	332	277	55	756	310	73	44	23.6	0.92
1996	181	150	31	805	221	134	22	60.7	0.36
1997	255	228	27	916	360	78	28	21.6	0.32
1998	142	124	18	727	429	74	19	17.2	0.44
1999	308	281	27	701	473	26	44	5.4	0.72
2000	139	122	17	411	231	48	34	21.0	0.78
2001	177	162	15	305	199	25	58	12.4	1.32
2002	49	43	6	157	87	12	31	14.1	0.62
2003	51	46	5	121	75	11	42	15.0	0.77
2004	48	41	7	109	63	9	44	14.3	0.59
2005	25	16	9	87	35	19	29	55.4	1.13
2006	49	40	10	132	62	12	37	20.1	0.81
2007	65	42	23	113	56	14	58	25.4	1.12
2008	27	18	9	100	28	25	27	87.7	0.46
2009	49	46	3	132	60	14	37	22.6	0.42
2010	65	62	3	376	79	90	17	113.4	0.76
2011	132	122	10	531	193	58	25	30.3	0.70
2012	102	92	9	704	323	110	14	34.0	0.26
2013	130	124	6	872	484	88	15	18.2	0.28
2014	186	172	14	1,244	704	160	15	22.7	0.27
2015	274	179	95	1,737	769	403	16	52.4	0.25
2016	314	276	38	2,117	891	229	15	25.7	0.24

表 2. 各種調査による資源量指数 下線の値はコホート解析のチューニングに用いた値。

表 2-1. 産卵量（兆粒） 前年 10 月から 9 月までの集計値（2017 年は 5 月までの暫定値）。

産卵量	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
I・II 区	150	109	43	79	244	153	734	285	277	420	3,379	2,632	697
I～IV 区	562	989	892	622	1,158	2,052	5,614	1,462	2,727	2,328	4,304	3,423	1,754

産卵量	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
I・II 区	48	61	26	22	49	42	35	170	32	12	7	21	29
I～IV 区	1,280	638	143	148	172	121	145	283	63	33	31	67	86

産卵量	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
I・II 区	<u>7</u>	<u>32</u>	<u>10</u>	<u>22</u>	<u>35</u>	<u>52</u>	<u>115</u>	<u>133</u>	<u>306</u>	<u>146</u>	<u>239</u>	<u>451</u>
I～IV 区	50	121	81	116	73	120	192	244	425	231	346	531

表 2-2. 黒潮親潮移行域幼稚魚調査（5～6 月）による加入量指数（補足資料 3）

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
移行域	187.4	45.0	60.1	6.1	45.7	0.1	0.8	0.1	0.6	5.0	0.4
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
加入量指数	3.2	1.2	16.8	391.4	28.8	123.2	139.1	158.0	101.5	102.6	91.9

表 2-3. 北西太平洋北上期中層トロール調査（5～7 月）による移行域～親潮域における推定分布量（百万尾）

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0歳魚	19	495	80	0	65	0	58	82	485	7,769	1,877
1歳以上	1,854	169	798	77	1	2	1	0	32	460	995

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
0歳魚	1,790	771	25,943	31,297	479,100	1,510,699
1歳以上	1,407	1,432	1,078	1,412	272	738

表 2-4. 北西太平洋秋季浮魚類資源調査（9～10 月）による亜寒帯域における 0 歳魚推定分布密度（尾/km²）および現存量（百万尾）

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
分布密度	1,284	62	70	1,236	1,792	19,645	9,199	5,569	7,765	13,140	32,159	22,002
現存量	1,203	63	60	1,018	1,415	15,258	7,359	5,715	6,601	11,892	34,764	15,551

表 2-5. 未成魚越冬群指数（千葉水総研、茨城水試）

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
	7,592	4,109	16,840	11,653	2,853	53,698	41,207	6,740	50,085	41,197	62,928
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
未成魚越冬群指数	42,986	39,659	1,588	5,944	224	30	30,541	5,802	5,054	239	8,481
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	1,136	5,763	0	8,480	122	404	342	28	1,093	371	385
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
	921	780	3,374	408	1,397	1,757	2,065	2,480	1,855		

表 3. 各漁獲シナリオにおける将来予測

Fcurrent								0.8Fcurrent							
年齡別漁獲係数 (F)															
年齡\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	
1歳	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	
2歳	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	
3歳	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
4歳	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	
5歳以上	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	
単純平均	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	

年齡別資源尾数 (百万尾)															
年齡\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	9,730	34,001	27,580	36,416	39,585	45,575	51,867	9,730	34,001	29,241	40,000	45,693	54,997	65,549	
1歳	12,087	5,655	19,761	16,030	21,165	23,007	26,489	12,087	5,655	20,333	17,487	23,921	27,326	32,890	
2歳	14,064	6,426	3,007	10,507	8,523	11,253	12,232	14,064	6,426	3,149	11,323	9,738	13,321	15,217	
3歳	1,300	6,675	3,050	1,427	4,986	4,045	5,340	1,300	6,675	3,268	1,601	5,758	4,952	6,774	
4歳	989	597	3,066	1,401	655	2,290	1,858	989	597	3,306	1,619	793	2,853	2,453	
5歳以上	965	1,045	878	2,109	1,878	1,355	1,950	965	1,045	919	2,364	2,229	1,691	2,542	
計	39,135	54,399	57,342	67,890	76,792	87,525	99,736	39,135	54,399	60,217	74,395	88,133	105,140	125,427	

年齡別資源量 (千トン)															
年齡\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	203	711	577	762	828	953	1,085	203	711	612	837	956	1,150	1,371	
1歳	553	259	904	733	968	1,052	1,211	553	259	930	800	1,094	1,250	1,504	
2歳	1,238	566	265	925	750	991	1,077	1,238	566	277	997	857	1,173	1,340	
3歳	146	748	342	160	559	454	599	146	748	366	180	646	555	760	
4歳	121	73	376	172	80	281	228	121	73	405	198	97	350	301	
5歳以上	134	146	122	294	262	189	272	134	146	128	329	311	236	354	
計	2,396	2,503	2,585	3,045	3,447	3,919	4,471	2,396	2,503	2,718	3,341	3,960	4,713	5,629	
親魚量	1,750	1,585	1,285	1,697	1,845	2,124	2,417	1,750	1,585	1,363	1,864	2,130	2,563	3,055	

年齡別漁獲尾数 (百万尾)															
年齡\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	1,059	3,701	3,002	3,964	4,309	4,961	5,645	1,059	3,002	2,582	3,532	4,035	4,856	5,788	
1歳	2,047	958	3,346	2,715	3,584	3,896	4,486	2,047	783	2,817	2,423	3,314	3,786	4,557	
2歳	3,362	1,536	719	2,512	2,038	2,690	2,924	3,362	1,270	622	2,238	1,925	2,633	3,007	
3歳	335	1,720	786	368	1,285	1,042	1,376	335	1,426	698	342	1,230	1,058	1,447	
4歳	164	99	507	232	108	379	307	164	81	447	219	107	386	332	
5歳以上	160	173	145	349	311	224	323	160	141	124	320	302	229	344	
計	7,126	8,187	8,506	10,139	11,635	13,193	15,062	7,126	6,704	7,291	9,073	10,912	12,947	15,475	

年齡別漁獲量 (千トン)															
年齡\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	22	77	63	83	90	104	118	22	63	54	74	84	102	121	
1歳	94	44	153	124	164	178	205	94	36	129	111	152	173	208	
2歳	296	135	63	221	179	237	257	296	112	55	197	169	232	265	
3歳	38	193	88	41	144	117	154	38	160	78	38	138	119	162	
4歳	20	12	62	28	13	46	38	20	10	55	27	13	47	41	
5歳以上	22	24	20	49	43	31	45	22	20	17	45	42	32	48	
計	492	486	450	546	634	713	818	492	400	388	491	599	704	845	
漁獲割合	21%	19%	17%	18%	18%	18%	18%	21%	16%	14%	15%	15%	15%	15%	

表 3. 各漁獲シナリオにおける将来予測（続き）

F30%SPR								0.8F30%SPR							
年齢別漁獲係数 (F)															
年齢\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	0.14	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.14	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	
1歳	0.23	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.23	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	
2歳	0.35	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.35	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	
3歳	0.38	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.38	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	
4歳	0.23	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.23	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	
5歳以上	0.23	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.23	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	
単純平均	0.26	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.26	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	

年齢別資源尾数 (百万尾)															
年齢\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	9,730	34,001	23,793	28,747	27,525	28,346	28,681	9,730	34,001	25,962	33,053	34,121	37,526	40,707	
1歳	12,087	5,655	18,375	12,859	15,536	14,876	15,319	12,087	5,655	19,184	14,649	18,649	19,252	21,173	
2歳	14,064	6,426	2,672	8,681	6,075	7,340	7,028	14,064	6,426	2,865	9,720	7,422	9,449	9,754	
3歳	1,300	6,675	2,558	1,063	3,455	2,418	2,921	1,300	6,675	2,839	1,266	4,293	3,278	4,174	
4歳	989	597	2,528	969	403	1,309	916	989	597	2,834	1,205	537	1,823	1,392	
5歳以上	965	1,045	783	1,578	1,214	771	991	965	1,045	838	1,874	1,572	1,076	1,480	
計	39,135	54,399	50,708	53,897	54,208	55,059	55,856	39,135	54,399	54,522	61,766	66,595	72,405	78,680	

年齢別資源量 (千トン)															
年齢\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	203	711	498	601	576	593	600	203	711	543	691	714	785	851	
1歳	553	259	840	588	711	680	701	553	259	877	670	853	880	968	
2歳	1,238	566	235	764	535	646	619	1,238	566	252	856	654	832	859	
3歳	146	748	287	119	387	271	328	146	748	318	142	481	368	468	
4歳	121	73	310	119	49	160	112	121	73	347	148	66	223	171	
5歳以上	134	146	109	220	169	107	138	134	146	117	261	219	150	206	
計	2,396	2,503	2,279	2,411	2,427	2,458	2,497	2,396	2,503	2,455	2,768	2,986	3,238	3,523	
親魚量	1,750	1,585	1,109	1,340	1,283	1,321	1,337	1,750	1,585	1,210	1,541	1,590	1,749	1,897	

年齢別漁獲尾数 (百万尾)															
年齢\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	1,059	5,394	3,774	4,560	4,367	4,497	4,550	1,059	4,406	3,364	4,283	4,421	4,863	5,275	
1歳	2,047	1,367	4,441	3,108	3,755	3,596	3,703	2,047	1,130	3,835	2,928	3,728	3,848	4,232	
2歳	3,362	2,138	889	2,888	2,021	2,441	2,338	3,362	1,794	800	2,714	2,072	2,638	2,724	
3歳	335	2,377	911	379	1,230	861	1,040	335	2,003	852	380	1,289	984	1,253	
4歳	164	141	598	229	95	309	217	164	117	554	235	105	356	272	
5歳以上	160	247	185	373	287	182	234	160	204	164	366	307	210	289	
計	7,126	11,663	10,798	11,537	11,755	11,886	12,081	7,126	9,655	9,568	10,907	11,922	12,900	14,044	

年齢別漁獲量 (千トン)															
年齢\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	22	113	79	95	91	94	95	22	92	70	90	92	102	110	
1歳	94	63	203	142	172	164	169	94	52	175	134	170	176	194	
2歳	296	188	78	254	178	215	206	296	158	70	239	182	232	240	
3歳	38	266	102	42	138	97	117	38	225	96	43	144	110	140	
4歳	20	17	73	28	12	38	27	20	14	68	29	13	44	33	
5歳以上	22	34	26	52	40	25	33	22	28	23	51	43	29	40	
計	492	682	561	614	631	633	646	492	569	502	585	646	693	758	
漁獲割合	21%	27%	25%	25%	26%	26%	26%	21%	23%	20%	21%	22%	21%	22%	

表 3. 各漁獲シナリオにおける将来予測（続き）

Fmed								0.8Fmed							
年齢別漁獲係数 (F)															
年齢\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	0.14	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.14	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	
1歳	0.23	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.23	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	
2歳	0.35	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.35	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	
3歳	0.38	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.38	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	
4歳	0.23	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.23	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	
5歳以上	0.23	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.23	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	
単純平均	0.26	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.26	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	

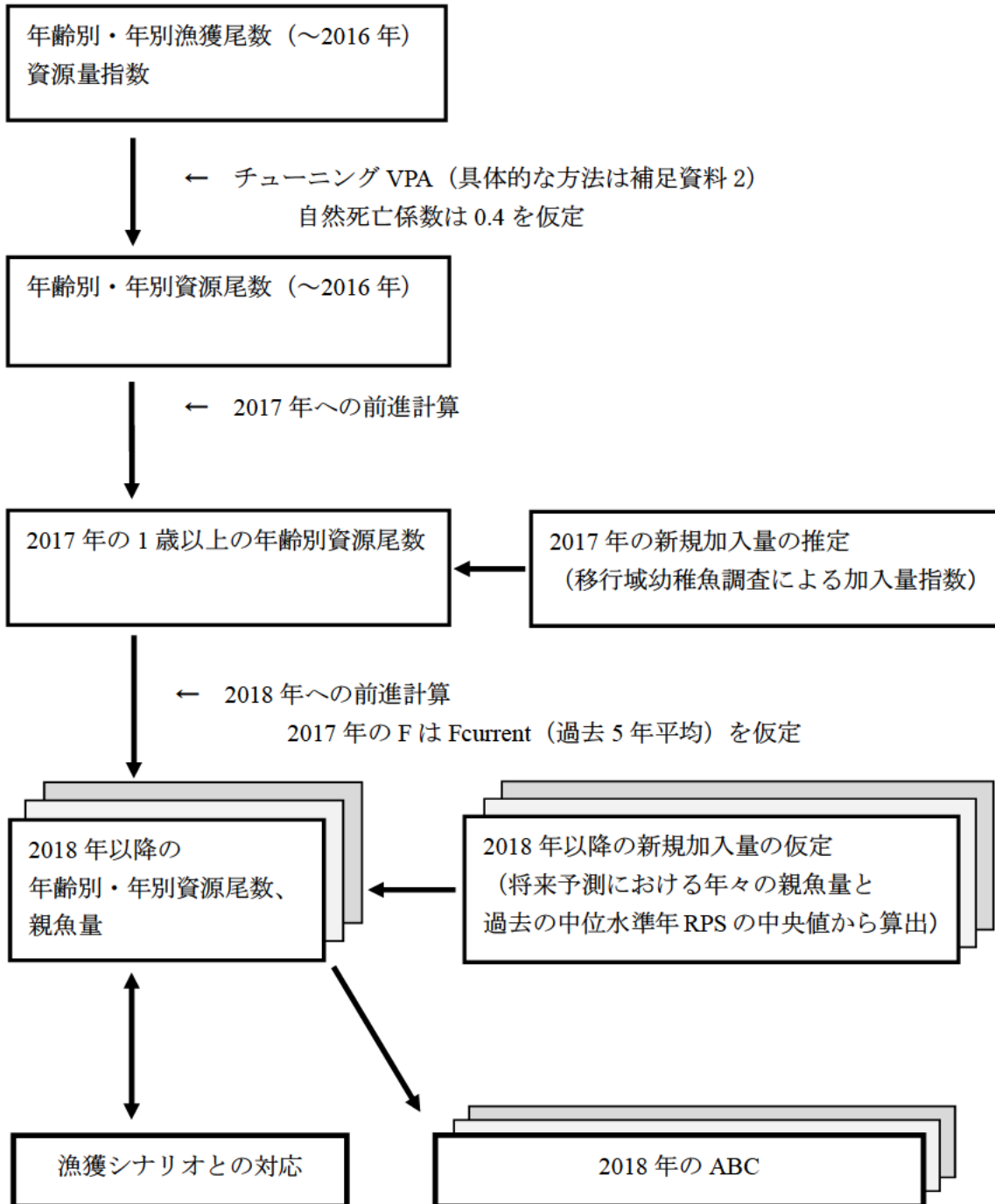
年齢別資源尾数 (百万尾)															
年齢\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	9,730	34,001	23,371	27,938	26,339	26,763	26,695	9,730	34,001	25,591	32,299	32,933	35,828	38,421	
1歳	12,087	5,655	18,213	12,519	14,965	14,109	14,336	12,087	5,655	19,049	14,337	18,095	18,450	20,072	
2歳	14,064	6,426	2,633	8,481	5,830	6,969	6,570	14,064	6,426	2,832	9,541	7,181	9,063	9,241	
3歳	1,300	6,675	2,503	1,026	3,304	2,271	2,715	1,300	6,675	2,790	1,230	4,143	3,118	3,935	
4歳	989	597	2,470	926	380	1,222	840	989	597	2,781	1,163	512	1,726	1,299	
5歳以上	965	1,045	772	1,524	1,152	720	913	965	1,045	829	1,822	1,506	1,019	1,385	
計	39,135	54,399	49,963	52,414	51,969	52,055	52,069	39,135	54,399	53,872	60,391	64,370	69,204	74,354	

年齢別資源量 (千トン)															
年齢\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	203	711	489	584	551	560	558	203	711	535	676	689	749	804	
1歳	553	259	833	573	684	645	656	553	259	871	656	828	844	918	
2歳	1,238	566	232	747	513	614	579	1,238	566	249	840	632	798	814	
3歳	146	748	281	115	370	255	304	146	748	313	138	464	350	441	
4歳	121	73	303	113	47	150	103	121	73	341	142	63	212	159	
5歳以上	134	146	108	212	160	100	127	134	146	115	254	210	142	193	
計	2,396	2,503	2,244	2,344	2,326	2,323	2,327	2,396	2,503	2,425	2,705	2,886	3,094	3,329	
親魚量	1,750	1,585	1,089	1,302	1,228	1,247	1,244	1,750	1,585	1,193	1,505	1,535	1,670	1,791	

年齢別漁獲尾数 (百万尾)															
年齢\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	1,059	5,592	3,844	4,595	4,332	4,402	4,390	1,059	4,571	3,441	4,343	4,428	4,817	5,166	
1歳	2,047	1,414	4,552	3,129	3,741	3,527	3,583	2,047	1,170	3,942	2,967	3,745	3,819	4,154	
2歳	3,362	2,204	903	2,909	1,999	2,390	2,253	3,362	1,853	817	2,752	2,071	2,614	2,665	
3歳	335	2,448	918	376	1,212	833	996	335	2,068	864	381	1,283	966	1,219	
4歳	164	146	604	227	93	299	205	164	121	563	235	104	349	263	
5歳以上	160	256	189	373	282	176	223	160	211	168	369	305	206	280	
計	7,126	12,059	11,010	11,608	11,658	11,626	11,652	7,126	9,995	9,795	11,046	11,936	12,771	13,747	

年齢別漁獲量 (千トン)															
年齢\年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
0歳	22	117	80	96	91	92	92	22	96	72	91	93	101	108	
1歳	94	65	208	143	171	161	164	94	54	180	136	171	175	190	
2歳	296	194	80	256	176	210	198	296	163	72	242	182	230	235	
3歳	38	275	103	42	136	93	112	38	232	97	43	144	108	137	
4歳	20	18	74	28	11	37	25	20	15	69	29	13	43	32	
5歳以上	22	36	26	52	39	25	31	22	29	23	51	42	29	39	
計	492	704	571	617	624	618	622	492	588	513	592	645	685	741	
漁獲割合	21%	28%	25%	26%	27%	27%	27%	21%	24%	21%	22%	22%	22%	22%	

補足資料 1 資源評価の流れ



補足資料2 資源量の計算方法について

チューニング VPA (コホート解析) により年齢別漁獲係数、資源尾数、資源重量を推定した。生活史と漁獲の季節性から 1 月を起点とし、0～4 歳、および 5 歳以上をまとめた最高齢グループ (5+歳、プラスグループ) の年齢構成で行った。産卵期は秋季～春季に亘るが、 $y-1$ 年秋季～ y 年春季に産卵する親魚は y 年の親魚とした。計算には Pope (1972) の近似式を用いた。最高齢グループの計算については平松 (1999) の方法を用いた。自然死亡係数 (M) は、田中 (1960) の示した式: $M=2.5/\text{寿命}$ と寿命 7 歳から 0.4 とした (近縁種であるカリフォルニアマイワシ (*Sardinops sagax caerulea*) の資源評価でも成魚の M として 0.4 が採用されている (US Dept. Commerce 2007))。

年齢別年別資源尾数は (1) 式により計算した。

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

ここで、 $N_{a,y}$ および $C_{a,y}$ は、 y 年における a 歳魚のそれぞれ資源尾数、漁獲尾数。ただし、最近年 (t 年、ここでは 2016 年)、および最高齢グループ (添え字 p 、ここでは 5+歳)、最高齢-1 歳魚 ($p-1$ 、ここでは 4 歳) の資源尾数はそれぞれ (2～4) 式によった。

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

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

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

漁獲係数 F の計算は、最近年および最高齢グループ以外は (5) 式によった。

$$F_{a,y} = -\ln\left\{1 - \frac{C_{a,y}}{N_{a,y}} \exp\left(\frac{M}{2}\right)\right\} \quad (5)$$

最高齢グループの F は、全ての年で最高齢-1 歳の F に等しいとした (平松 1999、(6) 式)。

$$F_{p,y} = F_{p-1,y} \quad (6)$$

最近年の 0～4 歳の F ($F_{1,t} \sim F_{4,t}$) をチューニングによって探索的に求めた。チューニングに用いた指数と対応する推定値は以下の 3 つとした (補足表 2-1)。

- ① 2005～2016 年の秋季浮魚類調査の亜寒帯域 0 歳魚現存量 (I_1) ・ 0 歳魚資源尾数 (N_0)
- ② 2006～2017 年の未成魚越冬群指数 (千葉水総研、茨城水試、 I_2) ・ 1 歳魚資源量 (B_1)
- ③ 2005～2017 年の潮岬以東海域 (海区 I ・ II) における産卵量 (I_3) ・ 親魚量 (SSB)

ただし、①の秋季浮魚類調査 0 歳魚現存量の 2007 年については、推定対象海域に対して、調査海域が狭くカバー率が低かったことから推定精度が低い (過小推定) と考えられ、チューニングから除外した。③の産卵量は、昨年度では、評価年 (今年度では 2016 年) までの値を使用し、最新年 (今年度では 2017 年) の暫定値は使用していなかったが、過去の産卵

量のデータを確認すると、暫定値と確定値に大きな違いは見られなかったため、今年度は最新年の値も使用した。

これらから、次の目的関数（(7) 式）を求め、目的関数を最小とするよう、2016 年の 0～4 歳の F の値を探索的に推定した。ただし 5+歳の F は 4 歳の F に等しいとした。なお、近年良好な加入が見られるようになったが、高い加入量により翌年 1 歳魚が増加しても、未成魚越冬群指数は上がりにくい傾向が見られる（図 8）。これまでは未成魚越冬群指数と 1 歳魚資源量の間に線形関係を仮定してきたが、その仮定は不適切である可能性がある。昨年度は、他の指標値との乖離の大きかった 2016 年の値を使用しないことで対処したが、今年度は、未成魚越冬群指数と 1 歳魚資源量の間にべき乗関係を仮定することで対処し、2016 年以降の未成魚越冬群指数も活用した。

$$SSQ = \sum_y (\ln(I_{1,y}) - \ln(q_1 N_{0,y}))^2 + \sum_y (\ln(I_{2,y}) - \ln(q_2 B_{1,y}^{b_2}))^2 + \sum_y (\ln(I_{3,y}) - \ln(q_3 SSB_y))^2 \quad (7)$$

また、q および b_2 は以下の（8）式で求めた。

$$q_i = \exp \left\{ \frac{1}{n} \sum_{y=1}^n \ln(I_{i,y}) - \frac{b_i}{n} \sum_{y=1}^n \ln(X_{i,y}) \right\} \quad (8a)$$

$$b_2 = \frac{\sum_{y=1}^n \left(\ln(I_{2,y}) - \frac{1}{n} \sum_{y=1}^n \ln(I_{2,y}) \right) \left(\ln(X_{2,y}) - \frac{1}{n} \sum_{y=1}^n \ln(X_{2,y}) \right)}{\sum_{y=1}^n \left(\ln(X_{2,y}) - \frac{1}{n} \sum_{y=1}^n \ln(X_{2,y}) \right)^2} \quad (8b)$$

ここで、指数①では $X_1=N_0$ および $b_1=1$ 、②では $X_2=B_1$ 、③では $X_3=SSB$ および $b_3=1$ である。(7) 式を最小化するような F を探索的に求めた結果、 $F_{0,2016}=0.24$ 、 $F_{1,2016}=0.10$ 、 $F_{2,2016}=0.58$ 、 $F_{3,2016}=0.25$ 、 $F_{4,2016}=F_{5+,2016}=0.13$ 、 $q_1=0.62$ 、 $q_2=79.4$ 、 $q_3=0.32$ 、 $b_2=0.52$ となった。

2017 年の 0 歳魚資源尾数は、1996～2016 年の移行域加入量指数と 0 歳魚資源尾数による回帰式を用いて推定した。平成 26 年度までは全期間のデータを用いていたが、分布量が少なかったため調査でほとんど 0 歳魚が漁獲されなかった 2001～2004、2006 年（指数が 1 以下）を含めると値が低く推定されることから、これらの年を除いた期間において、コホート解析による 0 歳魚資源尾数（ N_0 、億尾）との関係から得られた回帰式を用いて 2017 年の 0 歳魚資源尾数を推定した。2017 年の加入量指数は 91.9 であり、0 歳魚資源尾数は 97 億尾と推定された（補足図 2-1）。

2018 年以降の 0 歳魚資源尾数は、1988 年以降の資源水準が中位の年の再生産成功率の中央値（21.5 尾/kg）に親魚量を乗じて求めた。2017 年以降の 1 歳以上の資源尾数は、コホート解析の前進法を用い、（9）式で求めた。年齢別 F は各漁獲シナリオ（本文 5-（2））によるものとした。年齢別体重は 2014～2016 年の漁獲物の平均値とした（補足表 2-2）。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad \text{※} a < p-1 \text{ の場合} \quad (9a)$$

$$N_{p,y+1} = (N_{p,y} + N_{p-1,y}) \exp(-F_{p,y} - M) \quad \text{※最高齢グループ} \quad (9b)$$

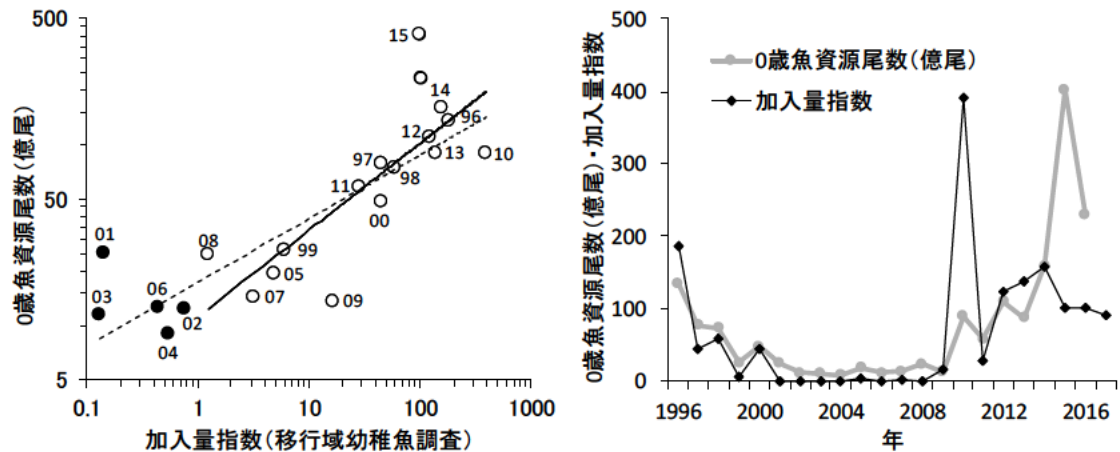
年齢別漁獲尾数は次の (10) 式で求めた。

$$C_{a,y} = N_{a,y} \{1 - \exp(-F_{a,y})\} \exp(-\frac{M}{2}) \quad (10)$$

本系群へのチューニング VPA の適用については、本系群の年齢別選択率の年変動が大きく、「近年の年齢別選択率が安定している」という仮定の下でのターミナル F の設定では正確な評価を行うことができないこと（平松 2009）等の指摘がされている。そのため、選択率が安定しているという仮定をおかず、2016 年の 0～4 歳の F の値をそれぞれ探索的に推定した。しかしながら、今後、チューニングに用いる指数の値によっては、推定される F の値が現実的な値にならない可能性もある。また、本系群は 2015 年の極めて高い加入量のために資源量が急増しており、資源低水準期の 2000 年代と分布・生態が変わってきていることから、今後は各種指数が資源量の増加を定量的に反映しない可能性もある。引き続き年齢別選択率の与え方、チューニング方法、各種指数の算出方法等の改善などを検討する必要がある。

引用文献

- 平松一彦 (1999) VPA の入門と実際. 水産資源管理談話会報, **20**, 9-28.
- 平松一彦 (2009) マイワシ太平洋系群の資源評価に用いられる VPA の信頼性の検討. 日水誌, **75**, 661-665.
- Pope (1972) An investigation of the accuracy of virtual population using cohort analysis. Res. Bull. inst. Comm. Northw. Atlant. Fish., **9**, 65-74.
- 田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, **28**, 1-200.
- U.S. Department of Commerce (2007) Assessment of the Pacific sardine resource in 2007 for U.S. management in 2008. NOAA Technical Memorandum NMFS, pp.183.



補足図 2-1. 1996～2017 年の移行域調査加入量指数と 0 歳魚資源尾数 右図は指数と資源尾数の経年変化、左図は両者の関係を示す。左図の黒丸は 1996～2016 年のうち、指数が 1 以下と著しく低かった年（2001～2004、2006 年）、白丸はそれ以外の年を示す。図中の数字は年を示す。破線は全データによる回帰直線、実線は白丸の年による回帰直線 ($y=3.05+0.48x$, $r^2=0.64$) を示し、2017 年の 0 歳魚資源尾数は後者の回帰式から推定した（左図中の*）。

補足表 2-1. チューニングに用いた各指数の値 * 2007 年の秋季亜寒帯域 0 歳魚現存量は、調査海域が狭く推定されるマイワシ 0 歳魚主分布域を十分カバー できなかったため推定精度が低い（過小推定）と考えられ、チューニングから除外した。

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
① 秋季亜寒帯域0歳魚 現存量(百万尾)	1,202.8	63.0	59.8*	1,018.1	1,414.8	15,258.2	7,358.6
② 未成魚越冬群指数		1,093.5	370.9	385.4	921.2	780.3	3,373.9
③ 潮岬以東海域産卵量 (海区Ⅰ・Ⅱ)	28.8	6.7	31.9	9.7	21.9	34.7	51.6

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
① 秋季亜寒帯域0歳魚 現存量(百万尾)	5,714.6	6,600.8	11,891.7	34,764.1	15,550.9	
② 未成魚越冬群指数	408.3	1,396.7	1,757.4	2,064.8	2,480.0	1,855.0
③ 潮岬以東海域産卵量 (海区Ⅰ・Ⅱ)	115.4	133.4	305.8	145.9	239.3	451.5

補足表 2-2. 将来予測（2017 年以降）における年齢別平均体重

	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳	5+歳
2014～2016年平均体重(g)	20.9	45.7	88.0	112.1	122.5	139.3

補足資料 3 資源評価のために実施されている調査の概要

(1) 主要港、各地漁場における漁獲物調査、漁況調査

関係試験研究機関により、主要港における水揚げ量、および水揚げ物の体長、体重、年齢、成熟度等のデータ収集が行われている。収集データから体長－体重、体長－年齢、年齢－成熟関係等を解析するとともに、農林統計による漁獲量から年齢別漁獲量を推定している。また、各地漁場における漁獲状況調査、標本船調査、各地先海域における分布量、加入量調査が実施されている。冬季の房総～常磐海域においては、千葉県水産総合研究センター、茨城県水産試験場により、大中型まき網の CPUE、漁場分布および漁獲物組成の調査が行われ、資源量の指標となる未成魚越冬群指数が求められている。未成魚越冬群指数とは、1 歳魚に相当する「小羽」と「小中羽」の 2 銘柄について日別に資源量指数を求め、これを来遊期間である前年 12 月から 4 月までについて合計した値である（内山 1998）。

(2) 産卵量調査

産卵状況を把握するために、関係試験研究機関により、改良型ノルパックネット（口径 45 cm リング、目合 0.335 mm）の鉛直曳による採集調査が実施されている。各都府県試験研究機関は、地先沿岸に定線を設定し、月 1 回程度の頻度で周年に亘って実施している。水研は、産卵の多い 2～3 月に関東近海から薩南の黒潮周辺域において大規模な調査を実施しているほか、その他の沖合の海洋・資源調査において随時採集を実施している。得られた結果は卵稚仔調査協議会がとりまとめ、海区ごとの産卵量を推定している。海区区分は、海区Ⅰ：常磐以北、Ⅱ：房総～熊野灘、Ⅲ：紀伊水道外域～日向灘、Ⅳ：薩南としている。

(3) 加入量調査・沖合分布調査

漁場外の沖合域における資源の状況を把握するため、次の調査が実施されている。

- ① 移行域幼稚魚調査：水研が 1996 年以降 5～6 月の黒潮親潮移行域の北緯 35～42 度、東経 143～165 度の海域において幼稚魚用中層トロール（網口 25 m、コッド目合 10 mm）による幼稚魚採集調査を実施し、加入量指数を西田ほか（2001）を改変した次の方法で算出している。

$$\text{加入量指数} = \sum [\text{表面水温 } 1^{\circ}\text{C の各水温帯における有漁獲点 CPUE 中央値 (尾数/網)}] \times [\text{表面水温 } 1^{\circ}\text{C の各水温帯における有漁獲点割合}] \times [\text{表面水温 } 1^{\circ}\text{C の各水温帯の調査対象海域全体に対する面積割合}]。$$
- ② 北西太平洋北上期浮魚類資源調査（西部北太平洋サンマ資源調査、北上期浮魚類資源調査）：水研が 2001 年以降 5～7 月の移行域～親潮域において中層トロール（網口 30 m、コッド目合 17 mm）による漁獲調査を実施し、分布量を推定している。
- ③ 北西太平洋秋季浮魚類資源調査：水研が 2005 年以降 9～10 月の三陸～道東～千島列島東方沖海域において、計量魚探機音響資源調査、および中層トロール（網口 30 m、コッド目合 17 mm）による漁獲調査を実施し、1 歳以上の分布状況を把握するとともに、東経 145～170 度の亜寒帯域の表面水温 10～15℃域における 0 歳魚の現存量を推定している。
- ④ 三陸～道東海域流し網調査：北海道立総合研究機構釧路水産試験場により、春～秋季の三陸～道東海域において流し網調査が行われ、漁場外の沖合における魚群の分布状況や体長・年齢組成等が把握されている。

引用文献

- 内山雅史 (1998) 越冬期の未成魚. 水産学シリーズ 119 「マイワシの資源変動と生態変化」
渡邊良郎・和田時夫編, 恒星社厚生閣, 東京, 103-113.
- 西田 宏・渡邊千夏子・谷津明彦 (2001) 黒潮親潮移行域における稚魚採集結果に基づくマ
イワシ・マサバの加入量水準予測. 黒潮の資源海洋研究, **2**, 77-82.

補足資料 4 コホート解析結果の詳細

年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
0歳	2,688	3,838	3,043	2,828	13,733	6,276	3,578	3,601	9,656	16,152
1歳	7,763	5,052	8,106	4,208	1,500	36,761	10,028	4,538	12,952	12,648
2歳	2,542	5,224	4,401	4,714	3,591	1,964	22,951	15,526	8,377	8,947
3歳	278	1,636	2,353	2,750	4,998	3,654	2,007	20,050	13,665	10,192
4歳	98	53	346	745	1,790	1,845	3,494	874	6,671	6,217
5歳以上	1	1	27	19	324	348	1,365	1,358	2,958	2,039
計	13,370	15,803	18,276	15,264	25,937	50,849	43,422	45,946	54,278	56,194

年齢別漁獲量 (千トン)

年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
0歳	67.2	80.6	66.9	96.1	288.4	119.2	68.0	43.2	77.2	290.7
1歳	434.7	293.0	421.5	231.4	103.5	1,396.9	411.1	190.6	531.0	505.9
2歳	213.5	438.8	369.7	381.8	290.9	167.0	1,216.4	916.0	452.4	438.4
3歳	29.2	171.8	247.1	288.8	509.8	354.5	182.7	1,343.4	929.2	682.8
4歳	11.6	6.2	40.8	87.9	211.3	214.1	370.4	81.2	560.3	516.0
5歳以上	0.1	0.1	3.4	2.5	41.2	44.2	170.6	150.7	319.4	210.0
計	756.3	990.5	1,149.5	1,088.5	1,445.0	2,295.9	2,419.1	2,725.1	2,869.6	2,643.8
漁獲割合	19.6%	17.8%	15.5%	12.6%	10.8%	14.9%	15.3%	18.0%	19.9%	15.2%

年齢別漁獲係数 (F)

年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
0歳	0.06	0.05	0.04	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.06	0.08
1歳	0.35	0.19	0.18	0.09	0.07	0.28	0.10	0.06	0.14	0.12
2歳	0.57	0.55	0.32	0.19	0.13	0.16	0.35	0.28	0.17	0.17
3歳	1.06	1.31	0.68	0.44	0.41	0.23	0.31	0.81	0.56	0.42
4歳	3.50	0.76	1.94	0.61	0.76	0.33	0.45	0.27	0.96	0.71
5歳以上	3.50	0.76	1.94	0.61	0.76	0.33	0.45	0.27	0.96	0.71
単純平均	1.51	0.60	0.85	0.34	0.37	0.23	0.28	0.29	0.47	0.37

年齢別資源尾数 (百万尾)

年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
0歳	55,898	92,251	94,204	41,921	292,971	197,812	156,249	180,202	212,801	247,911
1歳	31,999	35,269	58,696	60,655	25,786	185,141	127,459	101,808	117,844	134,739
2歳	7,185	15,094	19,506	32,709	37,214	16,056	94,007	77,228	64,528	68,389
3歳	520	2,735	5,841	9,472	18,066	22,005	9,155	44,224	39,056	36,396
4歳	123	121	494	1,989	4,097	8,018	11,759	4,493	13,228	14,992
5歳以上	1	3	39	52	742	1,512	4,592	6,982	5,866	4,916
計	95,727	145,473	178,779	146,797	378,875	430,545	403,220	414,937	453,324	507,343

年齢別資源量 (千トン)、親魚量 (千トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)

年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
0歳	1,397	1,937	2,072	1,425	6,152	3,758	2,969	2,162	1,702	4,462
1歳	1,792	2,046	3,052	3,336	1,779	7,035	5,226	4,276	4,832	5,390
2歳	604	1,268	1,638	2,649	3,014	1,365	4,982	4,556	3,485	3,351
3歳	55	287	613	995	1,843	2,134	833	2,963	2,656	2,439
4歳	15	14	58	235	483	930	1,246	418	1,111	1,244
5歳以上	0	0	5	7	94	192	574	775	633	506
計	3,862	5,553	7,440	8,647	13,366	15,415	15,830	15,151	14,419	17,392
親魚量	852	1,774	2,620	4,219	5,613	5,325	8,158	9,140	8,368	8,079
RPS	65.6	52.0	36.0	9.9	52.2	37.1	19.2	19.7	25.4	30.7

年齢別平均体重 (g)

年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
0歳	25	21	22	34	21	19	19	12	8	18
1歳	56	58	52	55	69	38	41	42	41	40
2歳	84	84	84	81	81	85	53	59	54	49
3歳	105	105	105	105	102	97	91	67	68	67
4歳	118	118	118	118	118	116	106	93	84	83
5歳以上	127	127	127	127	127	127	125	111	108	103

コホート解析結果の詳細（続き）

年齢別漁獲尾数（百万尾）

年齢\年	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	2,612	13,293	1,857	4,733	1,831	482	4,003	2,806	3,517	1,973
1歳	16,897	7,413	12,465	1,176	2,798	775	1,190	8,933	2,089	2,533
2歳	8,340	13,945	12,176	6,865	2,632	944	363	317	1,788	1,231
3歳	8,256	12,206	8,351	11,210	6,753	1,373	738	321	319	193
4歳	5,976	6,746	6,310	7,801	9,491	5,685	768	329	125	42
5歳以上	2,452	2,929	3,073	4,185	4,655	8,525	8,352	932	328	60
計	44,531	56,532	44,231	35,970	28,160	17,784	15,414	13,637	8,168	6,033

年齢別漁獲量（千トン）

年齢\年	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	26.1	79.8	22.3	47.3	9.2	1.9	72.1	16.8	38.7	66.8
1歳	709.7	348.4	610.8	52.9	114.7	23.2	64.3	544.9	117.0	123.3
2歳	492.1	753.0	706.2	405.0	152.6	82.1	30.1	25.1	168.1	103.8
3歳	619.2	817.8	626.3	840.8	533.5	133.2	70.9	35.9	38.3	22.8
4歳	555.7	600.4	561.6	725.5	863.7	562.8	76.0	44.1	16.9	6.1
5歳以上	281.9	316.4	310.4	452.0	488.8	920.7	927.1	124.0	46.0	9.4
計	2,684.7	2,915.8	2,837.5	2,523.5	2,162.5	1,724.0	1,240.4	790.7	425.0	332.1
漁獲割合	14.2%	14.9%	16.0%	20.2%	27.1%	37.9%	50.3%	53.9%	48.3%	43.9%

年齢別漁獲係数（F）

年齢\年	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	0.01	0.11	0.10	0.35	0.39	0.12	0.20	0.33	0.45	0.40
1歳	0.14	0.05	0.18	0.11	0.47	0.36	0.62	1.29	0.58	0.94
2歳	0.14	0.21	0.15	0.17	0.49	0.36	0.36	0.41	1.56	1.15
3歳	0.30	0.38	0.24	0.24	0.32	0.68	0.69	0.84	1.45	0.92
4歳	0.61	0.57	0.45	0.47	0.43	0.66	1.68	1.09	1.45	1.05
5歳以上	0.61	0.57	0.45	0.47	0.43	0.66	1.68	1.09	1.45	1.05
単純平均	0.30	0.32	0.26	0.30	0.42	0.47	0.87	0.84	1.16	0.92

年齢別資源尾数（百万尾）

年齢\年	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	259,954	156,475	22,847	19,437	6,923	5,308	27,329	12,127	11,889	7,312
1歳	152,955	172,114	94,005	13,794	9,154	3,142	3,163	15,042	5,832	5,090
2歳	79,963	88,695	109,303	52,808	8,283	3,845	1,472	1,146	2,769	2,199
3歳	38,518	46,773	48,037	63,299	29,778	3,398	1,805	690	509	392
4歳	16,053	19,060	21,359	25,363	33,252	14,432	1,153	605	200	80
5歳以上	6,586	8,276	10,402	13,608	16,310	21,641	12,546	1,716	524	114
計	554,029	491,392	305,952	188,309	103,701	51,765	47,467	31,326	21,722	15,185

年齢別資源量（千トン）、親魚量（千トン）、再生産成功率（RPS、尾/kg）

年齢\年	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	2,600	939	274	194	35	21	492	73	131	248
1歳	6,424	8,089	4,606	621	375	94	171	918	327	248
2歳	4,718	4,790	6,340	3,116	480	335	122	91	260	185
3歳	2,889	3,134	3,603	4,747	2,352	330	173	77	61	46
4歳	1,493	1,696	1,901	2,359	3,026	1,429	114	81	27	11
5歳以上	757	894	1,051	1,470	1,713	2,337	1,393	228	73	18
計	18,881	19,542	17,774	12,507	7,981	4,546	2,465	1,467	879	756
親魚量	10,499	11,322	13,355	11,754	7,609	4,440	1,819	569	487	310
RPS	24.8	13.8	1.7	1.7	0.9	1.2	15.0	21.3	24.4	23.6

年齢別平均体重（g）

年齢\年	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	10	6	12	10	5	4	18	6	11	34
1歳	42	47	49	45	41	30	54	61	56	49
2歳	59	54	58	59	58	87	83	79	94	84
3歳	75	67	75	75	79	97	96	112	120	118
4歳	93	89	89	93	91	99	99	134	135	143
5歳以上	115	108	101	108	105	108	111	133	140	156

コホート解析結果の詳細（続き）

年齢別漁獲尾数（百万尾）

年齢\年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	2,948	725	451	61	1,071	753	24	152	375	260	172
1歳	651	2,638	993	2,606	255	1,466	471	410	399	101	464
2歳	336	449	490	1,108	377	564	137	127	71	22	43
3歳	128	139	148	421	320	196	50	73	13	35	23
4歳	28	30	142	174	235	103	27	31	9	46	13
5歳以上	12	10	71	59	89	71	17	12	5	22	3
計	4,103.1	3,989.9	2,295.0	4,428.4	2,347.4	3,153.6	725.1	804.1	872.0	485.8	717.9

年齢別漁獲量（千トン）

年齢\年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	99.9	20.3	10.8	2.2	31.7	12.7	0.8	2.9	10.2	6.2	3.7
1歳	31.7	168.8	51.7	155.6	11.1	79.2	26.9	25.2	27.3	4.1	37.5
2歳	28.3	44.4	38.7	85.0	28.7	44.7	10.9	9.9	7.2	1.9	3.6
3歳	15.1	16.1	14.9	39.9	30.9	19.0	5.1	7.8	1.6	3.8	2.7
4歳	3.9	4.0	16.6	17.6	25.3	11.8	3.0	3.6	1.0	5.6	1.5
5歳以上	1.8	1.5	8.7	7.6	11.0	9.2	2.2	1.6	0.6	3.2	0.3
計	180.7	255.1	141.5	307.9	138.7	176.7	48.9	51.0	48.0	24.8	49.2
漁獲割合	22.5%	27.9%	19.5%	43.9%	33.8%	57.9%	31.1%	42.0%	44.1%	28.6%	37.3%

年齢別漁獲係数（F）

年齢\年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	0.31	0.12	0.08	0.03	0.32	0.46	0.02	0.18	0.72	0.18	0.19
1歳	0.28	0.67	0.30	1.19	0.20	1.41	0.80	0.99	1.45	0.54	0.75
2歳	0.37	0.40	0.31	0.90	0.68	1.39	0.57	0.67	0.57	0.31	0.62
3歳	0.41	0.32	0.27	0.62	0.99	1.38	0.50	0.94	0.16	0.83	0.83
4歳	0.39	0.19	0.85	0.81	1.24	1.65	0.92	0.92	0.33	2.45	1.24
5歳以上	0.39	0.19	0.85	0.81	1.24	1.65	0.92	0.92	0.33	2.45	1.24
単純平均	0.36	0.32	0.44	0.72	0.78	1.32	0.62	0.77	0.59	1.13	0.81

年齢別資源尾数（百万尾）

年齢\年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	13,445	7,777	7,388	2,580	4,838	2,483	1,220	1,134	896	1,922	1,244
1歳	3,286	6,599	4,619	4,583	1,679	2,366	1,047	798	636	294	1,075
2歳	1,338	1,669	2,263	2,283	938	917	386	317	199	100	114
3歳	466	622	752	1,116	624	320	153	146	108	76	49
4歳	104	207	303	383	404	156	54	62	38	62	22
5歳以上	46	68	152	131	154	108	34	24	23	30	5
計	18,685	16,942	15,478	11,076	8,636	6,350	2,895	2,481	1,901	2,483	2,511

年齢別資源量（千トン）、親魚量（千トン）、再生産成功率（RPS、尾/kg）

年齢\年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	455	218	177	91	143	42	41	21	24	46	26
1歳	160	422	241	274	73	128	60	49	43	12	87
2歳	113	165	179	175	71	73	31	25	20	9	9
3歳	55	72	76	106	60	31	16	16	13	8	6
4歳	15	28	36	39	43	18	6	7	4	8	2
5歳以上	7	11	19	17	19	14	4	3	3	4	1
計	805	916	727	701	411	305	157	121	109	87	132
親魚量	221	360	429	473	231	199	87	75	63	35	62
RPS	60.7	21.6	17.2	5.4	21.0	12.4	14.1	15.0	14.3	55.4	20.1

年齢別平均体重（g）

年齢\年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	34	28	24	35	30	17	33	19	27	24	21
1歳	49	64	52	60	44	54	57	61	68	41	81
2歳	84	99	79	77	76	79	79	78	102	88	83
3歳	118	116	101	95	96	97	102	107	124	109	118
4歳	143	134	118	102	107	115	112	117	111	122	113
5歳以上	150	154	122	127	123	129	132	138	118	143	108

コホート解析結果の詳細（続き）

年齢別漁獲尾数（百万尾）

年齢\年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	750	459	121	209	760	515	331	2,555	4,583	4,013
1歳	430	178	620	406	1,769	612	814	568	2,820	1,886
2歳	206	36	29	206	76	570	545	484	403	1,245
3歳	20	16	11	14	15	25	240	297	214	343
4歳	7	2	6	10	6	4	8	83	43	138
5歳以上	3	1	2	8	8	1	5	3	66	30
計	1,415.7	692.3	788.1	852.0	2,633.6	1,727.1	1,941.0	3,988.7	8,128.3	7,654.4

年齢別漁獲量（千トン）

年齢\年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	20.2	11.7	2.6	6.2	23.2	13.6	7.4	62.0	90.3	75.3
1歳	22.7	9.8	41.9	30.9	97.0	34.2	44.7	30.8	113.3	80.6
2歳	19.0	2.9	2.7	23.9	8.3	50.2	48.9	47.0	35.3	98.6
3歳	2.0	1.9	1.1	1.6	1.8	3.0	26.9	35.4	22.4	38.4
4歳	0.8	0.3	0.7	1.1	0.6	0.6	1.0	10.5	5.1	16.8
5歳以上	0.3	0.2	0.2	0.9	0.9	0.1	0.8	0.5	7.7	4.2
計	65.1	26.9	49.2	64.6	131.9	101.6	129.7	186.3	274.1	313.9
漁獲割合	57.7%	26.8%	37.4%	17.2%	24.8%	14.4%	14.9%	15.0%	15.8%	14.8%

年齢別漁獲係数（F）

年齢\年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	1.03	0.26	0.12	0.03	0.17	0.06	0.05	0.22	0.15	0.24
1歳	1.41	1.03	0.90	0.95	0.46	0.26	0.15	0.13	0.51	0.10
2歳	1.34	0.49	0.58	1.30	0.59	0.33	0.49	0.16	0.16	0.58
3歳	0.90	0.39	0.33	0.80	0.34	0.50	0.28	0.73	0.12	0.25
4歳	1.00	0.31	0.29	0.75	1.33	0.20	0.35	0.19	0.26	0.13
5歳以上	1.00	0.31	0.29	0.75	1.33	0.20	0.35	0.19	0.26	0.13
単純平均	1.12	0.46	0.42	0.76	0.70	0.26	0.28	0.27	0.25	0.24

年齢別資源尾数（百万尾）

年齢\年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	1,423	2,459	1,350	8,956	5,844	10,980	8,821	15,959	40,335	22,933
1歳	693	340	1,273	806	5,832	3,295	6,938	5,642	8,606	23,285
2歳	341	113	82	345	208	2,461	1,707	3,985	3,317	3,460
3歳	41	60	46	31	63	77	1,183	698	2,275	1,894
4歳	14	11	27	22	9	30	31	597	225	1,350
5歳以上	5	5	8	18	13	4	19	24	346	293
計	2,518	2,988	2,786	10,179	11,969	16,847	18,699	26,904	55,104	53,216

年齢別資源量（千トン）、親魚量（千トン）、再生産成功率（RPS、尾/kg）

年齢\年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	38	63	29	266	178	289	198	387	795	430
1歳	37	19	86	61	320	184	381	306	346	995
2歳	31	9	8	40	23	217	153	388	291	274
3歳	4	7	5	4	8	9	133	83	239	212
4歳	2	1	3	2	1	4	4	76	27	165
5歳以上	1	1	1	2	2	1	3	4	40	41
計	113	100	132	376	531	704	872	1,244	1,737	2,117
親魚量	56	28	60	79	193	323	484	704	769	891
RPS	25.4	87.7	22.6	113.4	30.3	34.0	18.2	22.7	52.4	25.7

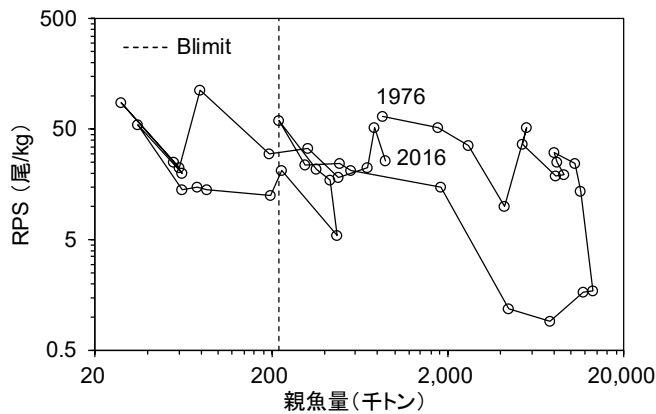
年齢別平均体重（g）

年齢\年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	27	26	21	30	31	26	22	24	20	19
1歳	53	55	68	76	55	56	55	54	40	43
2歳	92	82	93	116	109	88	90	97	88	79
3歳	99	123	108	117	122	119	112	119	105	112
4歳	111	123	115	109	108	128	128	127	118	122
5歳以上	110	142	127	119	119	175	181	162	117	139

補足資料5 資源量、漁獲量の将来予測シミュレーションの条件

2018 年以降の加入量を、不確実性を考慮して以下の設定条件で与えた。過去の RPS は、親魚量が 221 千トン (Blimit) 未満では比較的安定していたが、Blimit 以上では非常に低い RPS が観測されるなど、RPS の変動が大きくなっていた (本文図 14、補足図 5-1)。そこで、親魚量に応じて RPS を仮定する条件を以下のように設定した。年齢別体重は近年 3 年 (2014～2016 年) の平均値とし、1 歳魚の成熟率は 0.2 とした (本文の図 2、3)。

- ① 親魚量 < 221 千トン (Blimit) では、過去観測期間の親魚量 < Blimit の年 (2001～2011 年) における RPS の平均値に対する各年の RPS の比率を求め、ここから重複を許して無作為に抽出した比率を RPSmed (資源中位水準と判断される 1991～2000 年および 2012～2015 年の再生産成功率の中央値) に乗じた値に親魚量を乗じて加入量とした。
- ② 親魚量 $\geq$ Blimit では、直近年を除く過去観測期間の親魚量 $\geq$ Blimit の年 (1976～2000 年、2012～2015 年) における RPS 平均値に対する各年の RPS の比率を求め、ここから重複を許して無作為に抽出した比率を RPSmed に乗じた値に親魚量を乗じて加入量とした。



補足図 5-1. 親魚量と RPS の関係