

令和元（2019）年度マイワシ太平洋系群の資源評価

担当水研：中央水産研究所

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、福島県水産海洋研究センター、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、大阪府立環境農林水産総合研究所、香川県水産試験場、高知県水産試験場、愛媛県農林水産研究所、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。その後も良好な加入が続いたことにより資源量はさらに増加して、2018年は348万トンと推定された。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。2018年の親魚量は163万トンと推定され、 B_{limit} （1996年水準、22.1万トン）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、再生産成功率（ $RPS = \text{加入量} / \text{親魚量}$ ）が海洋環境の影響を大きく受けると考えられており、 RPS の年変化が大きく、毎年の加入量も大きく変化する。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 B_{limit} 以上に維持することが望ましい。2020年のABCは、親魚量の維持または増大を管理目標とし、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	2020 年 ABC (千トン)	漁獲 割合 (%)	F 値 (現状の F 値から の増減%)	2025 年の 親魚量 (千トン) (80%区間)	確率評価 (%)	
						2025 年に 2018 年 親魚量を 維持	2025 年に Blimit を 維持
現状の漁獲圧 の維持* (Fcurrent)	Target	844	15	0.29 (-20%)	6,739 (2,259~12,563)	99	100
	Limit	1,025	19	0.36 (±0%)	5,296 (1,733~9,993)	92	100
親魚量の増大* (F30%SPR)	Target	1,139	21	0.41 (+13%)	4,527 (1,458~8,601)	86	100
	Limit	1,368	25	0.51 (+41%)	3,247 (1,013~6,249)	73	100
親魚量の維持* (Fmed)	Target	1,173	21	0.42 (+17%)	4,311 (1,381~8,207)	84	100
	Limit	1,408	26	0.53 (+47%)	3,057 (949~5,897)	70	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2014～2018年のFの平均値、Fmedは不確実性が高い最近年（2018年）を除く1988年以降の資源中位水準と判断される年（1991～2000、2012～2017年）の再生産成功率の中央値（RPSmed：22.1尾/kg）に対応するF、漁獲割合は2020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。2018年の親魚量は163万トン。

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 (%)
2015	1,644	615	270	0.37	16.5
2016	2,159	892	316	0.31	14.6
2017	2,796	1,859	446	0.39	15.9
2018	3,484	1,629	451	0.31	13.0
2019	4,629	2,114	881	0.36	18.8
2020	5,462	3,305	—	—	—

2019 年、2020 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	2.2 万トン	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（22.1 万トン）	これ未満の親魚量だと、良好な加入量があまり期待できなくなる。
2018 年 親魚量	1996 年水準以上（163 万トン）	

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） 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－年齢測定調査（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	卵稚仔調査（周年、水研、関係都道府県）：ノルパックネット* 移行域幼稚魚調査（5・6 月、水研）：中層トロール、計量魚探 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～常磐海域大中型まき網漁況（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）
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わた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、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）にふ化した個体が出現する（落合 2009、高木ほか 2010、須原 2014）。しかし資源量の増加した近年、特に 2013 年以降、沖合加入群において 3 月上旬以前にふ化した個体が増加しており、早期ふ化個体の増加と資源量・加入量の増大との関連が注目され、研究が進められている（平成 30 年度資源量推定等高精度化事業報告書）。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。また近年、沖合域への分布拡大も見られており、6～7 月の北西太平洋北上期浮魚類資源調査において、2018、2019 年には東経 170 度付近まで 1 歳以上のマイワシの分布が確認されている。

(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（2016～2018 年漁獲物平均値）を図 2 および補足表 2-2 に示した。2018 年において 2 歳以上の体重が小さい傾向が見られる（補足資料 4）。資源の増加に伴って成長が悪くなっている可能性もあるため、資源量と成長の関係には今後も注意する必要がある。

(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、生物測定の実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 月～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 年以降に胃内容物におけるカタクチイワシの出現が減少する一方で、さば類およびマイワシの出現が増加しており、特にイワシクジ

ラでは 2014～2016 年にマイワシが主要な餌となっていた (Konishi et al. 2017)。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く、2015 年に増加したものの、その後減少している（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 0.6 万トンから 2018 年は 13.9 万トンに増加した。なお、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、1994 年以降 2016 年までなかったが、2017 年にはロシア漁船により 0.18 万トン程度の漁獲があったと報告されている。

(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～宮崎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、2018 年は 45.1 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 年代中頃にかけて F は高く、その後、まき網努力量の減少に伴って低下した。2009 年以降は、まき網努力量はやや増加しているが、資源量の増加が大きく、F は低い水準を維持している。

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 年以降の北西太平洋秋季浮魚類資源調査による秋季亜寒帯域 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 2018 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（2014～2018 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 年以降に比較的高い値を示している。なお、未成魚越冬群指数は、越冬期（12 月～翌年 4 月）のまき網漁況に基づいており、2000 年以前は当時の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る。そのため、2000 年以前と漁獲圧が低下している近年を直接比較することは出来ない。

これらの指数のうち、移行域幼稚魚調査による移行域加入量指数や北西太平洋北上期浮魚類資源調査による北上期 0 歳魚分布量、北西太平洋秋季浮魚類資源調査による秋季亜寒帯域 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。

(3) 漁獲物の年齢組成

2000 年代の漁獲の主体は 0、1 歳魚であり、漁獲量に占める 1 歳魚の割合が高かった（図 9、補足資料 4）。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 歳魚の割合が比較的高く、2014～2018 年の高い加入量を反映している。近年 2 歳以上の漁獲尾数も増加している。

(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（図 10、表 1、補足資料 4）。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。その後さらに減少し、2002 年以降 2009 年

まで 10 万トン前後の低い水準で推移した。しかし 2010 年以降、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。その後も良好な加入が継続したことにより資源量はさらに増加し、2018 年の資源量は 348 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ていたが、2011 年以降増加し、2018 年は 163 万トンと推定された（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 58% 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 2018 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 0.3 および 0.5 のとき、資源量は M が 0.4 の場合の 84% および 125%、親魚量は 92% および 112% となった。

（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（22.1 万トン）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）。近年は、再生産成功率が比較的高い傾向にあることに加え、漁獲圧が低下し親魚量が増加したことにより、2014 年以降 200 億尾を上回る加入が継続している。2018 年の加入量は、現時点では不確実性が大きい、795 億尾と推定されており、近年においてかなり高くなっている。

（6） B_{limit} 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（ B_{limit} ）を 1996 年の親魚量（22.1 万トン）とした。禁漁水準（ B_{ban} ）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。

（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（ B_{limit} 、22.1 万トン）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 B_{limit} 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、2018 年の親魚量が 163 万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、加入量とともに親魚量が増大した。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いる。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）、といった関係が指摘されている。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 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加入量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。

将来予測において、2019 年以降の加入量は、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は、1988 年のレジームシフト後において資源中位水準と判断される期間 (1991~2000 年および 2012~2017 年、推定値の不確実性の高い最近年 (2018 年) は除く) の中央値 (RPSmed : 22.1 尾/kg) とした。

(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} より低く、 F_{msy} の代替値とされる基準値の $F_{0.1}$ に近いことから、その水準は高くないと判断される。

5. 2020 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。2002 年以降 2009 年まで資源量は 10 万トン前後の低い水準で推移したが、2010 年以降に比較的良好な加入が続いたこと、および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 (図 10、表 1)。その後も良好な加入が継続したことにより資源量は増加し、2018 年の資源量は 348 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 年以降増加して 2012 年に B_{limit} を上回り、2018 年は 163 万トンと推定された (図 10、表 1)。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、親魚量の維持または増大を管理方策として、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 (22.1 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 2020 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 $F_{30\%SPR}$ や F_{med} でも、資源量および親魚量は 2018 年より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)							
			2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
現状の漁獲圧 の維持 (F _{current})	Target	0.29	451	881	844	1,096	1,222	1,452	1,687	1,973
	Limit	0.36	451	881	1,025	1,259	1,334	1,515	1,678	1,872
親魚量の増大 (F30%SPR)	Target	0.41	451	881	1,139	1,348	1,384	1,525	1,637	1,771
	Limit	0.51	451	881	1,368	1,500	1,439	1,488	1,496	1,516
親魚量の維持 (F _{med})	Target	0.42	451	881	1,173	1,374	1,396	1,524	1,621	1,736
	Limit	0.53	451	881	1,408	1,523	1,443	1,475	1,466	1,467
			資源量 (千トン)							
			2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
現状の漁獲圧 の維持 (F _{current})	Target	0.29	3,484	4,629	5,462	6,413	7,455	8,741	10,195	11,917
	Limit	0.36	3,484	4,629	5,462	6,115	6,767	7,571	8,420	9,387
親魚量の増大 (F30%SPR)	Target	0.41	3,484	4,629	5,462	5,927	6,353	6,894	7,434	8,035
	Limit	0.51	3,484	4,629	5,462	5,545	5,556	5,654	5,708	5,780
親魚量の維持 (F _{med})	Target	0.42	3,484	4,629	5,462	5,869	6,229	6,696	7,150	7,655
	Limit	0.53	3,484	4,629	5,462	5,478	5,423	5,454	5,442	5,445
			親魚量 (千トン)							
			2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
現状の漁獲圧 の維持 (F _{current})	Target	0.29	1,629	2,114	3,305	3,574	4,244	4,958	5,781	6,762
	Limit	0.36	1,629	2,114	3,305	3,397	3,843	4,286	4,763	5,315
親魚量の増大 (F30%SPR)	Target	0.41	1,629	2,114	3,305	3,286	3,603	3,898	4,199	4,543
	Limit	0.51	1,629	2,114	3,305	3,061	3,141	3,189	3,214	3,259
親魚量の維持 (F _{med})	Target	0.42	1,629	2,114	3,305	3,252	3,531	3,785	4,037	4,326
	Limit	0.53	1,629	2,114	3,305	3,021	3,065	3,075	3,063	3,069

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。F_{target}=αF_{limit} とし、係数 α には標準値 0.8 を用いた。F_{current} は 2014～2018 年の F の平均値、F_{med} は不確実性が高い最近年(2018年)を除く 1988 年以降の資源中位水準と判断される年(1991～2000、

2012～2017 年) の再生産成功率の中央値 (RPSmed : 22.1 尾/kg) に対応する F である。

(3) 2020 年 ABC、加入量の不確実性を考慮した検討、シナリオの評価

本系群の RPS は環境の影響を大きく受けると考えられており、年変化が大きい。そこで、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。2019 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 Fmed、F30%SPR、Fcurrent、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)。2025 年の親魚量が Blimit を維持する確率は、どのシナリオでも 100%であった。2018 年水準を維持する確率は、Fcurrent では 92%と高く、F30%SPR では 73%、Fmed では 70%とやや低くなっている。

漁獲シナリオ (管理基準)	Target/ Limit	2020 年 ABC (千トン)	漁獲 割合 (%)	F 値 (現状の F 値から の増減%)	2025 年の 親魚量 (千トン) (80%区間)	確率評価 (%)	
						2025 年に 2018 年 親魚量を 維持	2025 年に Blimit を 維持
現状の漁獲圧 の維持* (Fcurrent)	Target	844	15	0.29 (－20%)	6,739 (2,259～12,563)	99	100
	Limit	1,025	19	0.36 (±0%)	5,296 (1,733～9,993)	92	100
親魚量の増大* (F30%SPR)	Target	1,139	21	0.41 (+13%)	4,527 (1,458～8,601)	86	100
	Limit	1,368	25	0.51 (+41%)	3,247 (1,013～6,249)	73	100
親魚量の維持* (Fmed)	Target	1,173	21	0.42 (+17%)	4,311 (1,381～8,207)	84	100
	Limit	1,408	26	0.53 (+47%)	3,057 (949～5,897)	70	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 2014～2018 年の F の平均値、Fmed は、不確実性が高い最近年（2018 年）を除く 1988 年以降の資源中位水準と判断される年（1991～2000、2012～2017 年）の再生産成功率の中央値（RPSmed：22.1 尾/kg）に対応する F、漁獲割合は 2020 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）2017 年確定値並びに 2018 年概算値	年齢別漁獲尾数
2018 年の主要港月別漁獲量、生物測定結果 2018 年秋季～2019 年春季における資源量指数	2018 年の年齢別漁獲尾数、年齢別体重 2018、2019 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)
2018 年 (当初)	Fmed	0.41	2,503	704*	588	
2018 年 (2018 年再評価)	Fmed	0.53	3,653	1,159	978	
2018 年 (2019 年再評価)	Fmed	0.53	3,484	939	786	451 (0.31)
2019 年 (当初)	Fmed	0.53	4,061	1,175*	985	
2019 年 (2019 年再評価)	Fmed	0.53	4,629	1,205	1,007	
2018、2019 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。						

2018 年および 2019 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。

2018 年の加入量は、今年度追加された資源量指標値（2018 年の秋季亜寒帯域 0 歳魚現存量および 2019 年の未成魚越冬群指数）が高かったため、今年度の評価により上方修正された。一方、2018 年の 1 歳（2017 年級群）以上の資源量は下方修正された。これは、加入量指数と加入量の関係に非線形性を仮定したことにより、2014 年級群を除く各年級群の加入量がわずかに下方修正されたことの影響が大きい。0 歳（2018 年級群）の上方修正よりも、1 歳以上の資源量の下方修正の影響が大きく、2018 年資源量および ABC はわずかに下方修正された。

2019 年においては、2018 年級群の上方修正により、1 歳魚資源量が上方修正された。2017 年級以上は、2018 年に想定よりも漁獲されずに残ったことにより、下方修正の程度は小さくなっていた。以上より、2019 年の資源量、ABC とともに上方修正となった。

6. ABC 以外の管理方策への提言

マイワシ太平洋系群において、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、資源の増加または維持に必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るだろう。

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っており、また、水産業等社会への影響も大きかったことから、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。現在の調査体制により、当年の加入量のある程度の確度で把握できていることから、それが主たる漁獲対象となる数年先の資源動向についてもある程度予測可能であるだろう。さらなる予測精度の向上や資源変動機構の解明のためにも、引き続き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や急激な減少など資源の動向を注視していく必要があるだろう。

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, 東京, 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, 東北区水産研究所, 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. In: *Climate variability, climate change and fisheries*, ed. Glantz, M.H., Cambridge University press, Cambridge, pp. 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.
- Konishi, K., T. Isoda, and T. Tamura (2017) Overview of stomach content analyses for sei, Bryde's and common minke whales under the offshore component of JARPNII, and temporal changes in feeding habits. *TEPER-ICR*, **1**, 44-57.
- 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. In: Survival strategies in early life stages of marine resources, ed. Watanabe, Y. et al., AA Balkema, Rotterdam, pp. 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, 95 pp.
- 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, 東北区水産研究所, 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. In: Long-term variability of pelagic fish populations and their environment, ed. Kawasaki, T. et al., Pergamon, Oxford, pp. 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), 水産庁・水産研究・教育機構, 15-52.

(執筆者：古市 生、由上龍嗣、上村泰洋、林 晃、井須小羊子、渡部亮介)

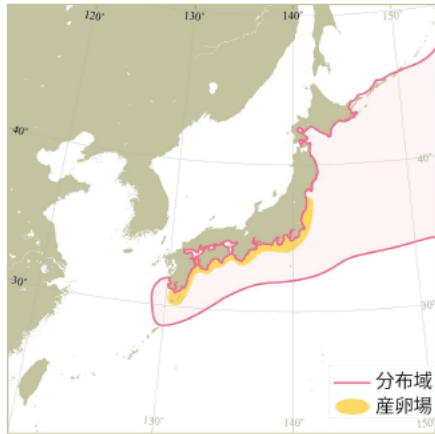


図 1. 分布・回遊の模式図

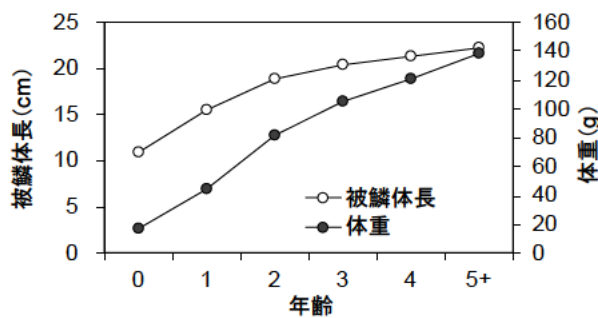


図 2. 年齢と成長 (2016～2018 年漁獲物平均値)

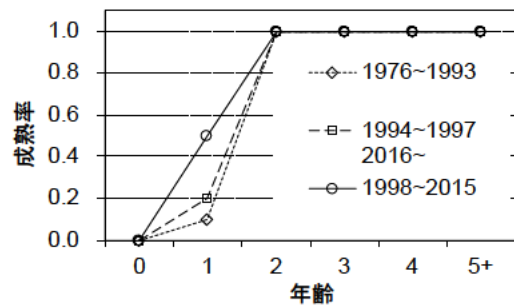


図 3. 年齢と成熟率

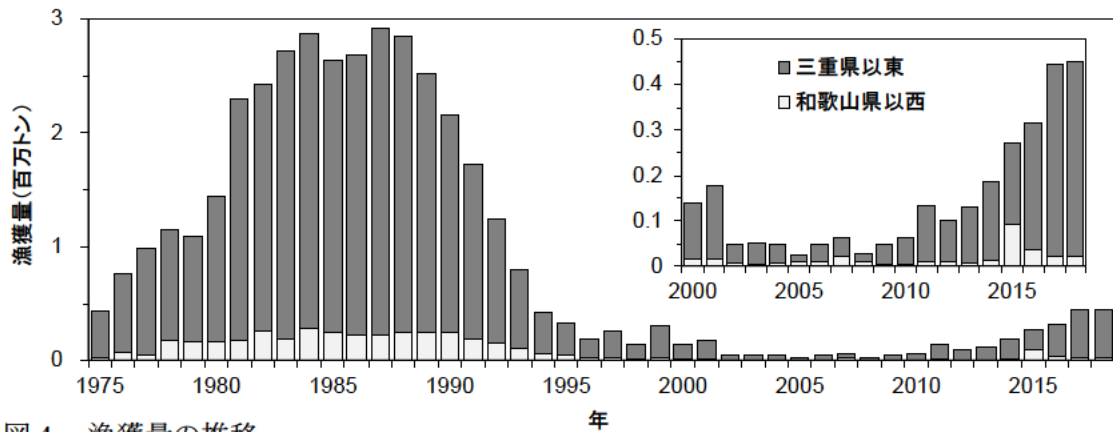


図 4. 漁獲量の推移

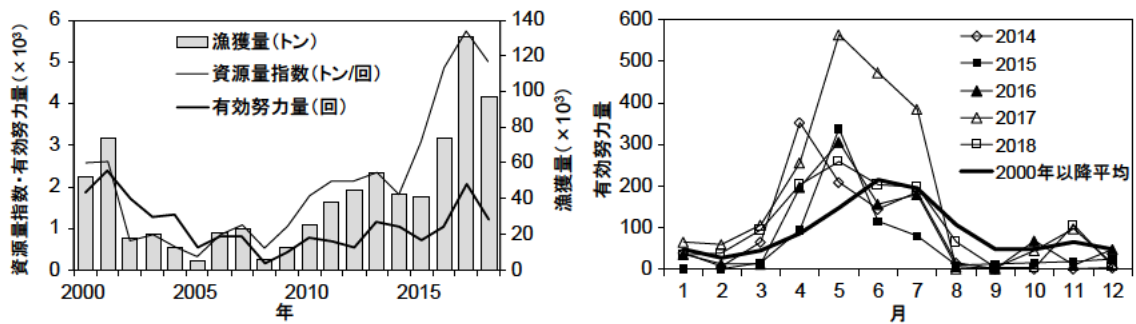


図 5. 北部まき網の有効努力量と漁獲量、資源量指数の推移 (JAFIC 集計値、道東含まず)
 努力量＝投網数、資源量指数＝ $\sum$ 緯度経度 30 分単位メッシュの CPUE、有効努力量
 ＝漁獲量／資源密度指数、資源密度指数＝資源量指数／有漁メッシュ数。

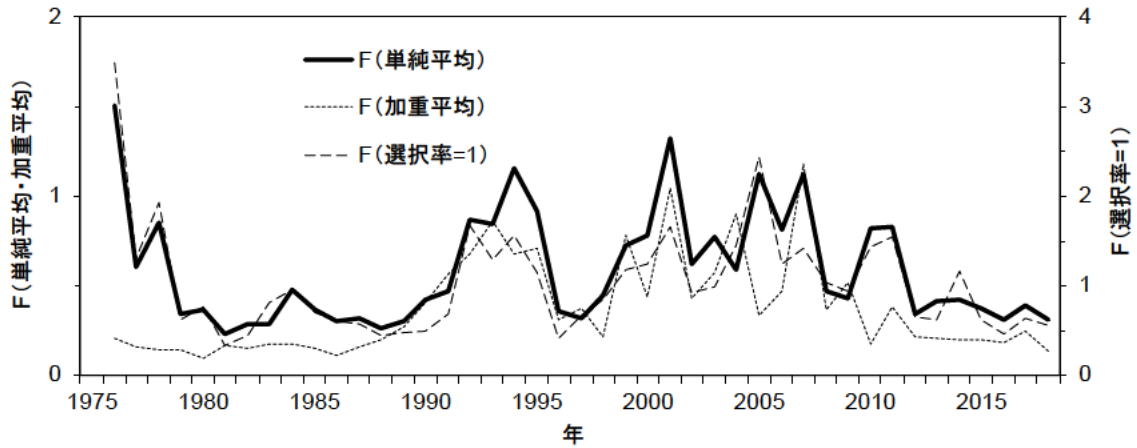


図 6. 漁獲係数 F の推移 年齢別 F の単純平均値、年齢別資源尾数に応じた加重平均値、および年齢別 F の最大値（選択率=1）。

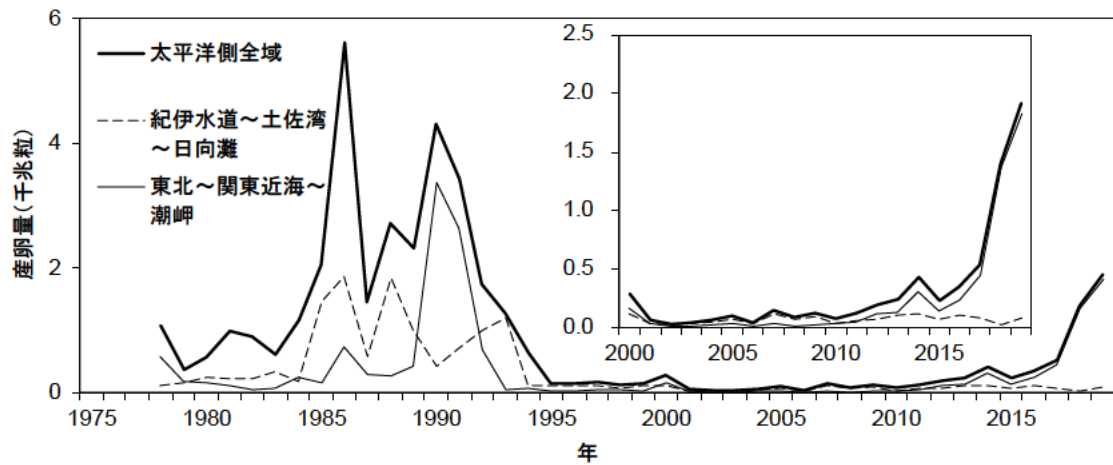


図 7. 産卵量の推移 卵稚仔調査協議会による前年 10 月から 9 月までの集計値。2019 年は 5 月までの暫定値。太平洋側全域は同協議会の区分の海区Ⅰ～Ⅳ、紀伊水道～土佐湾～日向灘は海区Ⅲ、東北～関東近海～潮岬は海区Ⅰ・Ⅱの値。

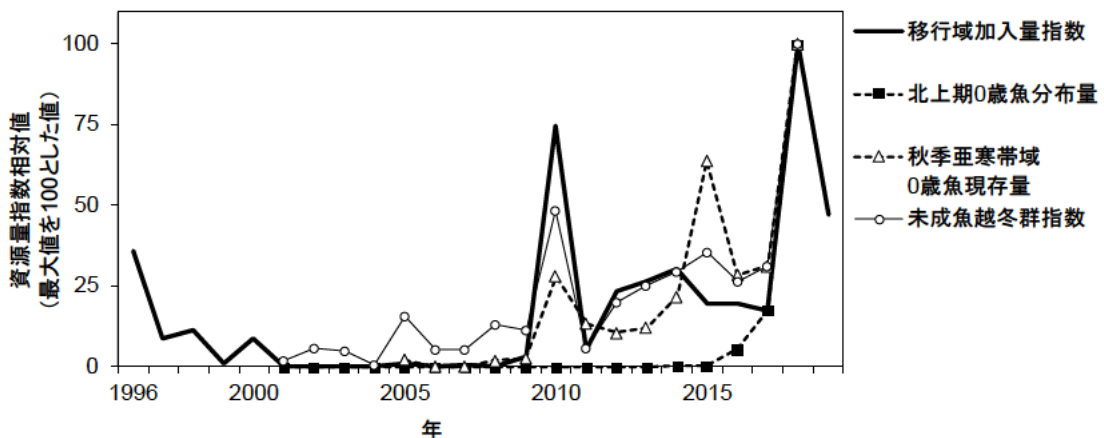


図 8. 加入量の指標となる資源量指数の推移 各指数については補足資料 3 を参照。未成魚越冬群指数は前年の加入量と対応するので 1 年ずらし、2002 年以降を示した。2018 年以降の移行域加入量指数は、前年までと調査時期が異なるため比較には注意が必要。

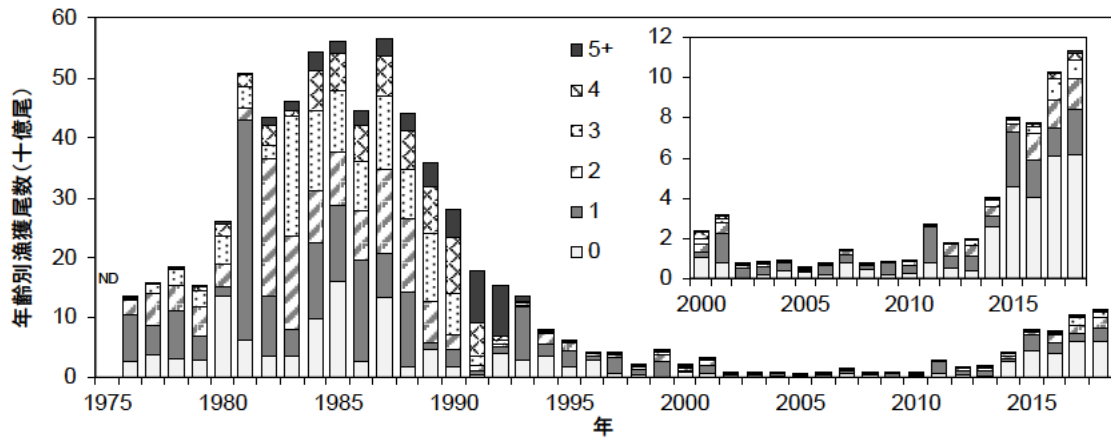


図9. 年齢別漁獲尾数

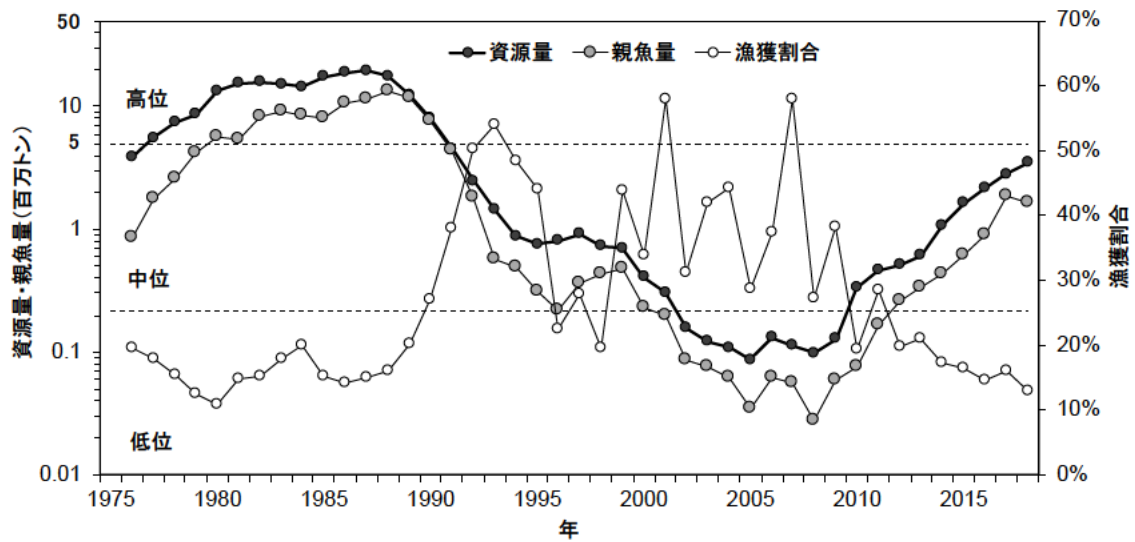


図10. 資源量、親魚量および漁獲割合の推移 図中破線は資源水準区分の親魚量の目安。

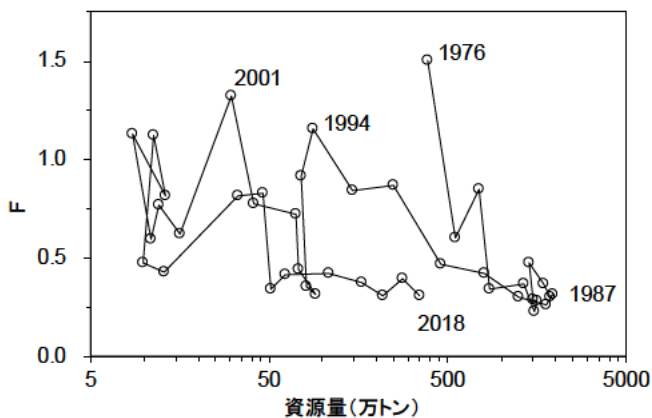


図11. 資源量と F (年齢別 F の単純平均値) の関係

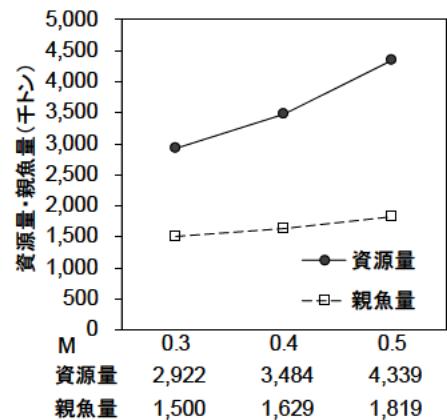
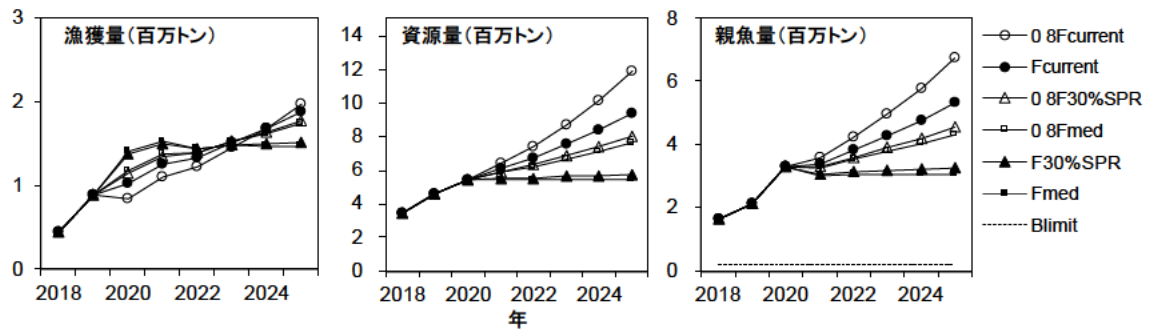
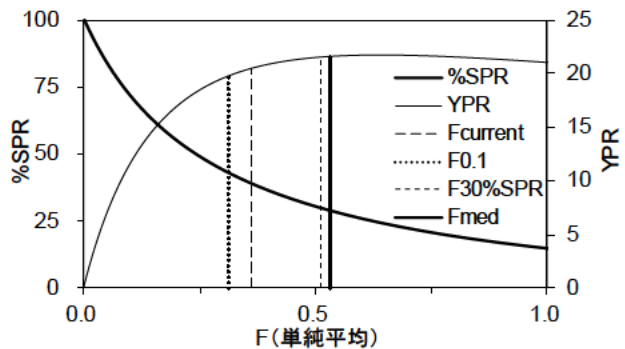
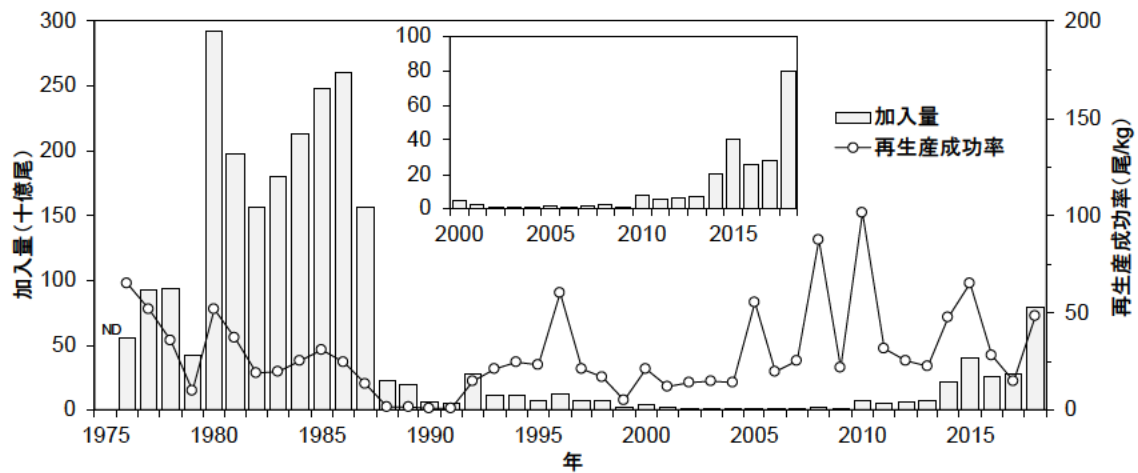
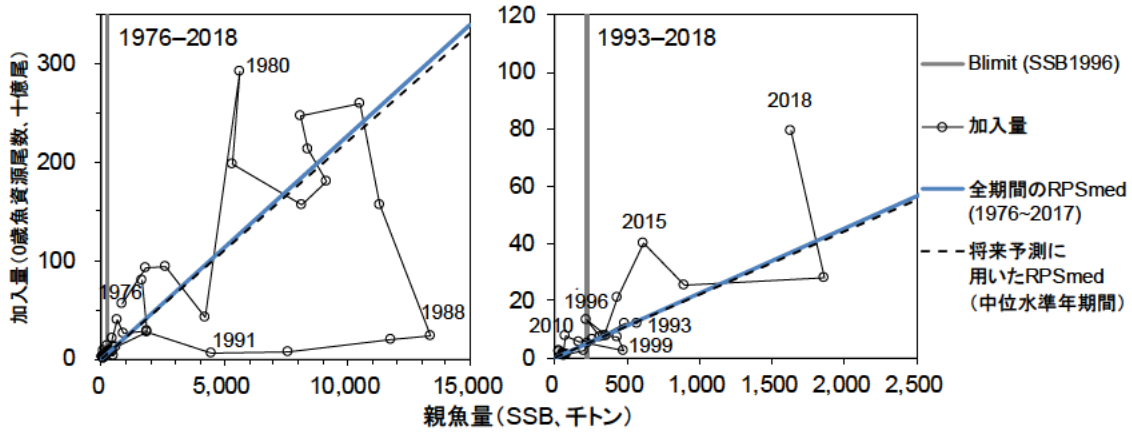


図12. 自然死亡率 M と資源量、親魚量の関係 M の変化に対する2018年の推定値の感度解析。



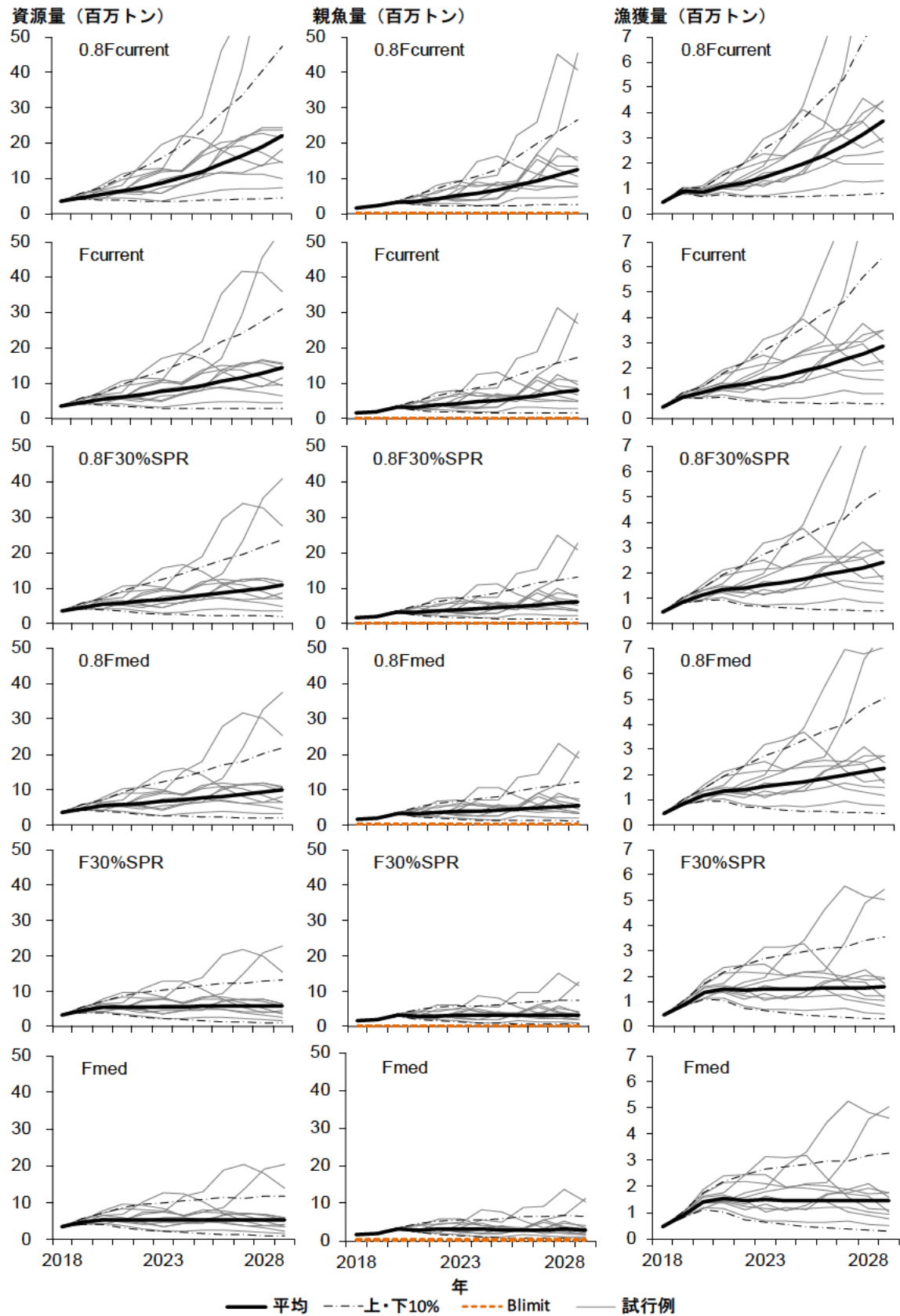


図 17. 各漁獲シナリオにおける加入量の不確実性を考慮した将来予測による資源量、親魚量、漁獲量の推移

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	19.6	65.6	1.51
1977	991	934	56	5,553	1,774	923	17.8	52.0	0.60
1978	1,149	975	174	7,440	2,620	942	15.5	36.0	0.85
1979	1,089	933	156	8,647	4,219	419	12.6	9.9	0.34
1980	1,445	1,286	159	13,366	5,613	2,930	10.8	52.2	0.37
1981	2,296	2,129	167	15,415	5,325	1,978	14.9	37.1	0.23
1982	2,419	2,158	261	15,830	8,158	1,562	15.3	19.2	0.28
1983	2,725	2,539	186	15,151	9,140	1,802	18.0	19.7	0.29
1984	2,870	2,589	281	14,419	8,368	2,128	19.9	25.4	0.47
1985	2,644	2,397	247	17,392	8,079	2,479	15.2	30.7	0.37
1986	2,685	2,471	214	18,881	10,499	2,600	14.2	24.8	0.30
1987	2,916	2,696	220	19,542	11,322	1,565	14.9	13.8	0.32
1988	2,838	2,593	244	17,774	13,355	228	16.0	1.7	0.26
1989	2,524	2,280	243	12,507	11,754	194	20.2	1.7	0.30
1990	2,162	1,916	246	7,981	7,609	69	27.1	0.9	0.42
1991	1,724	1,544	180	4,546	4,440	53	37.9	1.2	0.47
1992	1,240	1,089	152	2,465	1,819	273	50.3	15.0	0.87
1993	791	675	116	1,467	569	121	53.9	21.3	0.84
1994	425	357	68	879	487	119	48.3	24.4	1.16
1995	332	277	55	756	310	73	43.9	23.6	0.92
1996	181	150	31	805	221	134	22.5	60.7	0.36
1997	255	228	27	916	360	78	27.9	21.6	0.32
1998	142	124	18	727	429	74	19.5	17.2	0.44
1999	308	281	27	701	473	26	43.9	5.4	0.72
2000	139	122	17	411	231	48	33.8	21.0	0.78
2001	177	162	15	305	199	25	57.9	12.4	1.32
2002	49	43	6	157	87	12	31.1	14.1	0.62
2003	51	46	5	121	75	11	42.0	15.0	0.77
2004	48	41	7	109	63	9	44.1	14.3	0.59
2005	25	16	9	87	35	19	28.6	55.4	1.13
2006	49	40	10	131	62	12	37.4	20.1	0.81
2007	65	42	23	112	56	14	57.9	25.4	1.12
2008	27	18	9	99	28	24	27.2	87.4	0.47
2009	49	46	3	129	59	13	38.2	22.2	0.43
2010	65	62	3	334	76	77	19.3	101.9	0.82
2011	132	122	10	464	166	53	28.4	31.8	0.83
2012	102	92	9	514	260	66	19.8	25.3	0.34
2013	130	124	6	615	335	76	21.1	22.7	0.42
2014	186	172	14	1,073	435	209	17.4	48.0	0.42
2015	270	175	95	1,644	615	401	16.5	65.2	0.37
2016	316	278	38	2,159	892	253	14.6	28.3	0.31
2017	446	423	23	2,796	1,859	280	15.9	15.0	0.39
2018	451	429	22	3,484	1,629	795	13.0	48.8	0.31

各種調査による資源量指数 下線太字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（2019 年は 5 月までの暫定値）。

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
I・II 区	150	109	43	79	244	153	734	285	277	420	3,379	2,632	697	48
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	1,280
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
I・II 区	61	26	22	49	42	35	170	32	12	7	18	31	<u>7</u>	<u>32</u>
I～IV 区	638	143	148	172	121	145	283	63	33	44	62	101	38	148
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		
I・II 区	<u>13</u>	<u>24</u>	<u>37</u>	<u>52</u>	<u>116</u>	<u>134</u>	<u>306</u>	<u>146</u>	<u>241</u>	<u>452</u>	<u>1,365</u>	<u>1,821</u>		
I～IV 区	84	118	75	120	192	245	426	228	347	531	1,389	1,909		

表 2-2. 移行域幼稚魚調査（5～6 月）による移行域加入量指数（補足資料 3）

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
	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
移行域 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
	2018	2019									
	524.8	248.1									

表 2-3. 北西太平洋北上期浮魚類資源調査（5～7 月）による移行域～親潮域における北上期 0 歳魚分布量（億尾）および 1 歳以上の分布量（億尾）

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0 歳魚	0	5	1	0	1	0	1	1	5	78	19
1 歳以上	19	2	8	1	0	0	0	0	0	5	10
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019			
0 歳魚	18	8	259	313	4,791	15,107	85,559	8,383			
1 歳以上	14	14	11	14	3	7	22	583			

表 2-4. 北西太平洋秋季浮魚類資源調査（9～10 月）による秋季亜寒帯域 0 歳魚現存量（百万尾）および分布密度（尾/km²）

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
現存量	<u>1,203</u>	<u>63</u>	60	<u>1,018</u>	<u>1,415</u>	<u>15,258</u>	<u>7,359</u>	<u>5,715</u>	<u>6,601</u>	<u>11,892</u>	<u>34,764</u>
分布密度	1,284	62	70	1,236	1,792	19,645	9,199	5,569	7,765	13,140	32,159
	2016	2017	2018								
現存量	<u>15,551</u>	<u>17,092</u>	<u>54,528</u>								
分布密度	22,002	14,098	98,409								

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	<u>1,093</u>	<u>371</u>	<u>385</u>
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	<u>921</u>	<u>780</u>	<u>3,374</u>	<u>408</u>	<u>1,397</u>	<u>1,757</u>	<u>2,065</u>	<u>2,480</u>	<u>1,855</u>	<u>2,178</u>	<u>6,991</u>

表 3-1. 各漁獲シナリオにおける将来予測 (Fcurrent)

Fcurrent							
年齢別漁獲係数							
年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
1 歳	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
2 歳	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
3 歳	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
4 歳	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
5 歳以上	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
単純平均	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
年齢別資源尾数 (百万尾)							
年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	46,833	73,202	75,234	85,122	94,932	105,497	117,714
1 歳	48,218	26,037	40,697	41,826	47,324	52,777	58,651
2 歳	7,375	26,721	14,429	22,553	23,179	26,226	29,248
3 歳	4,123	3,851	13,951	7,533	11,775	12,102	13,692
4 歳	4,786	1,651	1,542	5,587	3,017	4,715	4,846
5 歳以上	523	2,130	1,517	1,227	2,733	2,306	2,817
計	111,859	133,592	147,369	163,848	182,959	203,623	226,967
年齢別資源量 (千トン)							
年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	781	1,221	1,255	1,420	1,584	1,760	1,964
1 歳	2,166	1,170	1,828	1,879	2,126	2,371	2,635
2 歳	600	2,175	1,174	1,835	1,886	2,134	2,380
3 歳	432	403	1,462	789	1,234	1,268	1,434
4 歳	577	199	186	673	364	568	584
5 歳以上	72	294	209	169	377	318	389
計	4,629	5,462	6,115	6,767	7,571	8,420	9,387
親魚量	2,114	3,305	3,397	3,843	4,286	4,763	5,315
年齢別漁獲尾数 (百万尾)							
年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	6,542	10,226	10,510	11,891	13,262	14,737	16,444
1 歳	6,840	3,693	5,773	5,933	6,713	7,487	8,320
2 歳	1,335	4,838	2,612	4,083	4,197	4,748	5,295
3 歳	1,359	1,269	4,599	2,483	3,881	3,989	4,513
4 歳	1,573	543	507	1,837	992	1,550	1,593
5 歳以上	172	700	499	403	899	758	926
計	17,822	21,270	24,499	26,631	29,943	33,270	37,092
年齢別漁獲量 (千トン)							
年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	109	171	175	198	221	246	274
1 歳	307	166	259	267	302	336	374
2 歳	109	394	213	332	342	386	431
3 歳	142	133	482	260	407	418	473
4 歳	190	65	61	221	120	187	192
5 歳以上	24	97	69	56	124	105	128
計	881	1,025	1,259	1,334	1,515	1,678	1,872
漁獲割合	19%	19%	21%	20%	20%	20%	20%

表 3-2. 各漁獲シナリオにおける将来予測 (0.8Fcurrent)

0.8Fcurrent

年齢別漁獲係数

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	0.19	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
1 歳	0.19	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
2 歳	0.25	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
3 歳	0.52	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
4 歳	0.51	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
5 歳以上	0.51	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
単純平均	0.36	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29

年齢別資源尾数 (百万尾)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	46,833	73,202	79,159	94,008	109,826	128,036	149,777
1 歳	48,218	26,037	42,248	45,686	54,256	63,385	73,895
2 歳	7,375	26,721	14,989	24,321	26,300	31,234	36,489
3 歳	4,123	3,851	14,666	8,227	13,349	14,435	17,143
4 歳	4,786	1,651	1,709	6,510	3,652	5,925	6,408
5 歳以上	523	2,130	1,681	1,507	3,564	3,207	4,060
計	111,859	133,592	154,452	180,259	210,946	246,223	287,771

年齢別資源量 (千トン)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	781	1,221	1,321	1,569	1,833	2,136	2,499
1 歳	2,166	1,170	1,898	2,052	2,437	2,848	3,320
2 歳	600	2,175	1,220	1,979	2,140	2,542	2,970
3 歳	432	403	1,536	862	1,398	1,512	1,796
4 歳	577	199	206	785	440	714	772
5 歳以上	72	294	232	208	492	443	561
計	4,629	5,462	6,413	7,455	8,741	10,195	11,917
親魚量	2,114	3,305	3,574	4,244	4,958	5,781	6,762

年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	6,542	8,331	9,009	10,699	12,499	14,571	17,046
1 歳	6,840	3,010	4,884	5,281	6,272	7,327	8,542
2 歳	1,335	3,965	2,224	3,608	3,902	4,634	5,414
3 歳	1,359	1,065	4,056	2,275	3,691	3,992	4,741
4 歳	1,573	455	471	1,795	1,007	1,634	1,767
5 歳以上	172	587	463	416	983	885	1,120
計	17,822	17,413	21,107	24,075	28,355	33,044	38,629

年齢別漁獲量 (千トン)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	109	139	150	179	209	243	284
1 歳	307	135	219	237	282	329	384
2 歳	109	323	181	294	318	377	441
3 歳	142	112	425	238	387	418	497
4 歳	190	55	57	216	121	197	213
5 歳以上	24	81	64	57	136	122	155
計	881	844	1,096	1,222	1,452	1,687	1,973
漁獲割合	19%	15%	17%	16%	17%	17%	17%

表 3-3. 各漁獲シナリオにおける将来予測 (Fmed)

Fmed

年齢別漁獲係数

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	0.19	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
1 歳	0.19	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
2 歳	0.25	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
3 歳	0.52	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
4 歳	0.51	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
5 歳以上	0.51	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
単純平均	0.36	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53

年齢別資源尾数 (百万尾)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	46,833	73,202	66,921	67,876	68,109	67,839	67,973
1 歳	48,218	26,037	37,297	34,096	34,583	34,702	34,564
2 歳	7,375	26,721	13,204	18,914	17,291	17,538	17,598
3 歳	4,123	3,851	12,416	6,135	8,788	8,034	8,149
4 歳	4,786	1,651	1,213	3,910	1,932	2,768	2,530
5 歳以上	523	2,130	1,194	760	1,474	1,075	1,213
計	111,859	133,592	132,244	131,691	132,178	131,956	132,028

年齢別資源量 (千トン)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	781	1,221	1,117	1,133	1,136	1,132	1,134
1 歳	2,166	1,170	1,676	1,532	1,554	1,559	1,553
2 歳	600	2,175	1,075	1,539	1,407	1,427	1,432
3 歳	432	403	1,301	643	921	842	854
4 歳	577	199	146	471	233	334	305
5 歳以上	72	294	165	105	204	148	168
計	4,629	5,462	5,478	5,423	5,454	5,442	5,445
親魚量	2,114	3,305	3,021	3,065	3,075	3,063	3,069

年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	6,542	14,379	13,145	13,333	13,378	13,325	13,352
1 歳	6,840	5,190	7,434	6,796	6,893	6,917	6,890
2 歳	1,335	6,713	3,317	4,751	4,344	4,406	4,421
3 歳	1,359	1,671	5,390	2,663	3,815	3,488	3,537
4 歳	1,573	715	525	1,693	837	1,199	1,096
5 歳以上	172	922	517	329	639	466	526
計	17,822	29,590	30,328	29,566	29,906	29,800	29,821

年齢別漁獲量 (千トン)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	109	240	219	222	223	222	223
1 歳	307	233	334	305	310	311	310
2 歳	109	546	270	387	353	359	360
3 歳	142	175	565	279	400	365	371
4 歳	190	86	63	204	101	144	132
5 歳以上	24	127	71	45	88	64	73
計	881	1,408	1,523	1,443	1,475	1,466	1,467
漁獲割合	19%	26%	28%	27%	27%	27%	27%

表 3-4. 各漁獲シナリオにおける将来予測 (0.8Fmed)

0.8Fmed

年齢別漁獲係数

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	0.19	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
1 歳	0.19	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
2 歳	0.25	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
3 歳	0.52	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
4 歳	0.51	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
5 歳以上	0.51	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
単純平均	0.36	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42

年齢別資源尾数 (百万尾)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	46,833	73,202	72,017	78,199	83,825	89,413	95,824
1 歳	48,218	26,037	39,400	38,762	42,089	45,117	48,125
2 歳	7,375	26,721	13,962	21,127	20,785	22,569	24,193
3 歳	4,123	3,851	13,360	6,981	10,563	10,392	11,284
4 歳	4,786	1,651	1,410	4,894	2,557	3,869	3,807
5 歳以上	523	2,130	1,388	1,027	2,173	1,736	2,057
計	111,859	133,592	141,537	150,990	161,993	173,098	185,291

年齢別資源量 (千トン)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	781	1,221	1,202	1,305	1,399	1,492	1,599
1 歳	2,166	1,170	1,770	1,741	1,891	2,027	2,162
2 歳	600	2,175	1,136	1,719	1,692	1,837	1,969
3 歳	432	403	1,400	731	1,107	1,089	1,182
4 歳	577	199	170	590	308	466	459
5 歳以上	72	294	192	142	300	240	284
計	4,629	5,462	5,869	6,229	6,696	7,150	7,655
親魚量	2,114	3,305	3,252	3,531	3,785	4,037	4,326

年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	6,542	11,810	11,619	12,616	13,523	14,425	15,459
1 歳	6,840	4,264	6,453	6,349	6,893	7,389	7,882
2 歳	1,335	5,559	2,905	4,395	4,324	4,696	5,033
3 歳	1,359	1,430	4,961	2,592	3,923	3,859	4,190
4 歳	1,573	612	522	1,813	947	1,433	1,410
5 歳以上	172	789	514	380	805	643	762
計	17,822	24,464	26,974	28,145	30,416	32,446	34,737

年齢別漁獲量 (千トン)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	109	197	194	211	226	241	258
1 歳	307	192	290	285	310	332	354
2 歳	109	452	236	358	352	382	410
3 歳	142	150	520	272	411	404	439
4 歳	190	74	63	218	114	173	170
5 歳以上	24	109	71	53	111	89	105
計	881	1,173	1,374	1,396	1,524	1,621	1,736
漁獲割合	19%	21%	23%	22%	23%	23%	23%

表 3-5. 各漁獲シナリオにおける将来予測 (F30%SPR)

F30%SPR

年齢別漁獲係数

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	0.19	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
1 歳	0.19	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
2 歳	0.25	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
3 歳	0.52	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
4 歳	0.51	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
5 歳以上	0.51	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
単純平均	0.36	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51

年齢別資源尾数 (百万尾)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	46,833	73,202	67,788	69,577	70,627	71,195	72,181
1 歳	48,218	26,037	37,659	34,874	35,794	36,334	36,626
2 歳	7,375	26,721	13,334	19,286	17,860	18,331	18,608
3 歳	4,123	3,851	12,577	6,276	9,078	8,406	8,628
4 歳	4,786	1,651	1,245	4,068	2,030	2,936	2,719
5 歳以上	523	2,130	1,226	801	1,579	1,170	1,331
計	111,859	133,592	133,830	134,882	136,967	138,373	140,093

年齢別資源量 (千トン)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	781	1,221	1,131	1,161	1,179	1,188	1,204
1 歳	2,166	1,170	1,692	1,567	1,608	1,632	1,645
2 歳	600	2,175	1,085	1,570	1,453	1,492	1,514
3 歳	432	403	1,318	658	951	881	904
4 歳	577	199	150	490	245	354	328
5 歳以上	72	294	169	111	218	162	184
計	4,629	5,462	5,545	5,556	5,654	5,708	5,780
親魚量	2,114	3,305	3,061	3,141	3,189	3,214	3,259

年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	6,542	13,936	12,906	13,246	13,446	13,554	13,742
1 歳	6,840	5,031	7,276	6,738	6,916	7,020	7,077
2 歳	1,335	6,515	3,251	4,703	4,355	4,470	4,537
3 歳	1,359	1,632	5,329	2,659	3,846	3,562	3,656
4 歳	1,573	698	526	1,720	858	1,241	1,149
5 歳以上	172	900	518	339	667	495	563
計	17,822	28,712	29,807	29,404	30,088	30,342	30,723

年齢別漁獲量 (千トン)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	109	233	215	221	224	226	229
1 歳	307	226	327	303	311	315	318
2 歳	109	530	265	383	354	364	369
3 歳	142	171	558	279	403	373	383
4 歳	190	84	63	207	103	150	139
5 歳以上	24	124	72	47	92	68	78
計	881	1,368	1,500	1,439	1,488	1,496	1,516
漁獲割合	19%	25%	27%	26%	26%	26%	26%

表 3-6. 各漁獲シナリオにおける将来予測 (0.8F30%SPR)

0.8F30%SPR

年齢別漁獲係数

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	0.19	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
1 歳	0.19	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
2 歳	0.25	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
3 歳	0.52	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
4 歳	0.51	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
5 歳以上	0.51	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
単純平均	0.36	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41

年齢別資源尾数 (百万尾)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	46,833	73,202	72,771	79,792	86,342	93,000	100,628
1 歳	48,218	26,037	39,706	39,472	43,281	46,833	50,445
2 歳	7,375	26,721	14,072	21,459	21,333	23,391	25,311
3 歳	4,123	3,851	13,499	7,109	10,841	10,777	11,817
4 歳	4,786	1,651	1,441	5,051	2,660	4,056	4,032
5 歳以上	523	2,130	1,417	1,072	2,295	1,858	2,217
計	111,859	133,592	142,906	153,955	166,751	179,916	194,451

年齢別資源量 (千トン)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	781	1,221	1,214	1,331	1,441	1,552	1,679
1 歳	2,166	1,170	1,784	1,773	1,944	2,104	2,266
2 歳	600	2,175	1,145	1,746	1,736	1,904	2,060
3 歳	432	403	1,414	745	1,136	1,129	1,238
4 歳	577	199	174	609	321	489	486
5 歳以上	72	294	196	148	317	256	306
計	4,629	5,462	5,927	6,353	6,894	7,434	8,035
親魚量	2,114	3,305	3,286	3,603	3,898	4,199	4,543

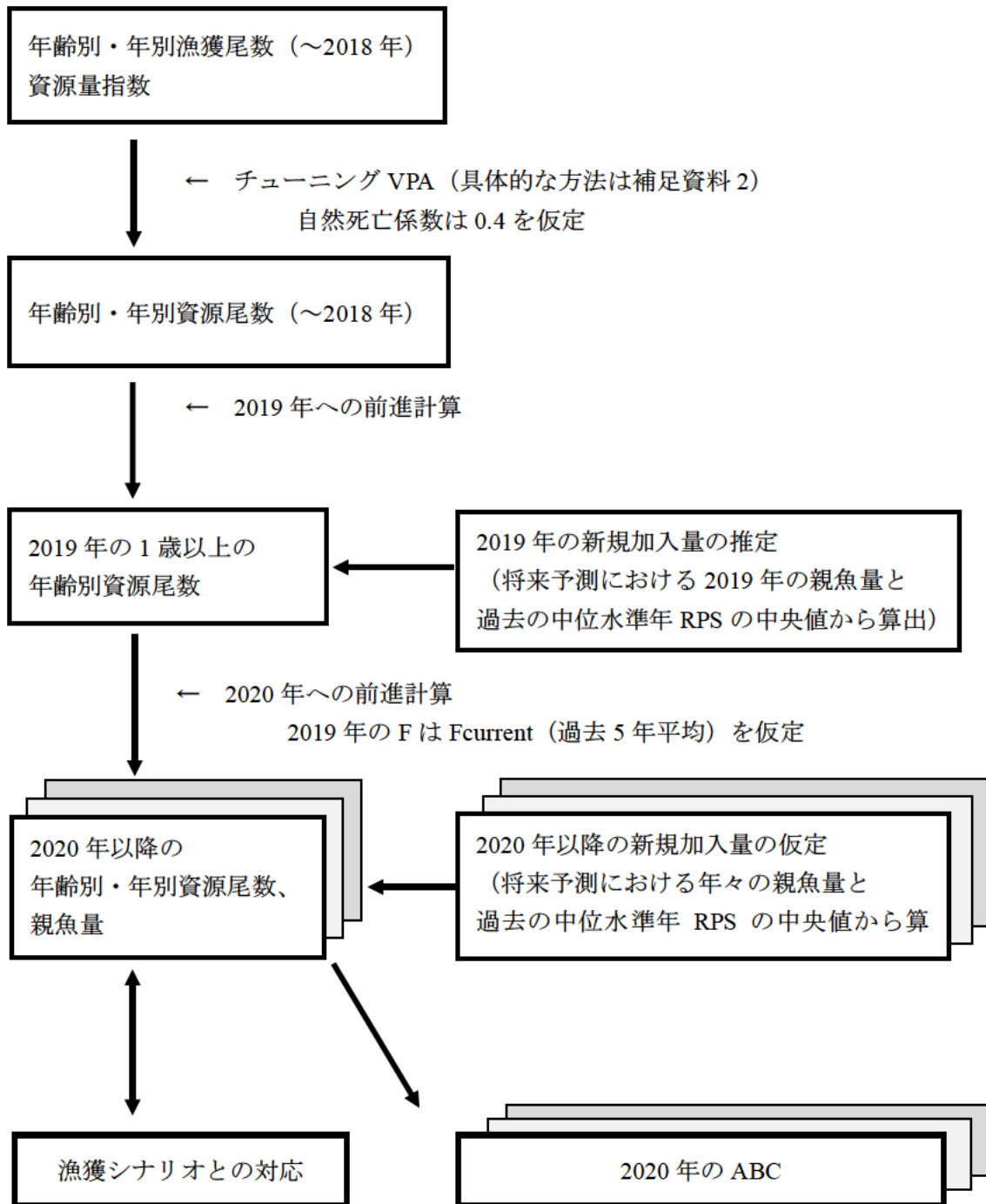
年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	6,542	11,436	11,369	12,466	13,489	14,529	15,721
1 歳	6,840	4,130	6,298	6,261	6,865	7,428	8,001
2 歳	1,335	5,390	2,838	4,328	4,303	4,718	5,105
3 歳	1,359	1,393	4,883	2,571	3,921	3,898	4,274
4 歳	1,573	596	520	1,822	960	1,464	1,455
5 歳以上	172	768	511	387	828	670	800
計	17,822	23,713	26,419	27,835	30,366	32,708	35,357

年齢別漁獲量 (千トン)

年齢\年	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0 歳	109	191	190	208	225	242	262
1 歳	307	186	283	281	308	334	359
2 歳	109	439	231	352	350	384	415
3 歳	142	146	512	269	411	408	448
4 歳	190	72	63	220	116	176	175
5 歳以上	24	106	71	53	114	93	110
計	881	1,139	1,348	1,384	1,525	1,637	1,771
漁獲割合	19%	21%	23%	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。

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 2018 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 (ターミナル F) 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)。指数と適合させる期間は、秋季浮魚類調査が開始された 2005 年以降した (未成魚越冬群指数は 1 歳魚資源量の指数であり前年の加入量に対応するため 2006 年以降)。

① 2005~2017 年の北西太平洋秋季浮魚類資源調査の秋季亜寒帯域 0 歳魚現存量 (I_1) ・

0 歳魚資源尾数 (N_0)

② 2006～2018 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 2005～2018 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。ターミナル F の推定値を安定化させるために、リッジ VPA (Okamura et al. 2017) をコホート解析に適用した。これは、残差平方和にペナルティ項を加えた関数を最小化することでターミナル F を求める手法であり、ペナルティの大きさはレトロスペクティブバイアス (Mohn's ρ , Mohn 1999) を最小にするよう決められる。しかし本系群では、親魚量のバイアスを小さくすると加入量のバイアスが負の方向に大きくなるというトレードオフの関係が見られた (補足図 2-1)。通常のリッジ VPA のペナルティ項は最終年の年齢別 F の二乗和となっているため、0 歳魚の F が高齢魚の F の影響により過大になっている可能性が考えられた。そこで本評価では、(7) 式で表されるように、ペナルティに対する重みを 1 歳以上と 0 歳魚で変える手法を使用した。ペナルティに対する重みを 1 歳以上と 0 歳魚で変えることで、トレードオフがある程度解消された (補足図 2-1)。

$$(1 - \lambda) \sum_{k=1}^3 \sum_y [\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})]^2 + \lambda \left[(1 - \eta) \sum_{a=1}^4 F_{a,2018}^2 + \eta F_{0,2018}^2 \right] \quad (7)$$

λ はリッジ回帰におけるペナルティの大きさを表し、 η はペナルティ項における 1 歳以上の F に対する 0 歳魚の F の相対的な重みを表し、それぞれ 0 から 1 の間の値をとる。 $I_{k,y}$ は指標 k の y 年の値をそれぞれ表す。 q_k は指標 k の比例定数であり、 $X_{k,y}$ はコホート解析から計算される y 年における指標 k の対象 (加入量、1 歳魚資源量、親魚量) の値であり、 b_k は指標値と VPA の推定値の関係における非線形性を表す係数である。 q_k および b_k は、それぞれ以下の (8) 式で推定した。

$$q_k = \exp \left\{ \frac{1}{n_k} \sum_y \ln \left(\frac{I_{k,y}}{X_y^{b_k}} \right) \right\} \quad (8a)$$

$$b_k = \frac{Cov[\ln(I_k), \ln(X_k)]}{V[\ln(X_k)]} \quad (8b)$$

ここで n_k はチューニングに使用した指標 k の年数であり、 V と Cov はそれぞれ分散と共分散を表す。秋季亜寒帯域 0 歳魚現存量 ($k=1$) と未成魚越冬群指数 ($k=2$) については、非線形性を仮定した ($b_k \neq 1$)。産卵量 ($k=3$) については、親魚量とおおよそ比例関

係を示したため、 $b_k = 1$ に固定した。

レトロスペクティブバイアス (Mohn's p) は、最新の資源評価の最終年 Y までの (2018 年) までのフルデータに対する各年の推定値と、最新データを i 年分落とした場合の最終年 ($Y-i$ 年) の推定値との相対値の平均値である。データを遡る年数は 5 年とした。 λ と η の選択方法は次のようにした。 λ と η を 0~1 の範囲において 0.01 刻みで変化させ、資源量・親魚量・資源尾数・加入量・ F の平均すべてのレトロスペクティブバイアスが $\pm 20\%$ ($p = \pm 0.2$) 以内になる λ と η の組み合わせを選抜し、その中でレトロスペクティブバイアスの絶対値の総和が最小になるものを使用した。 λ は 0.90、 η は 0.99 となった。そのときのパラメータの推定値は、 $F_{0,2018} = 0.10$ 、 $F_{1,2018} = 0.22$ 、 $F_{2,2018} = 0.27$ 、 $F_{3,2018} = 0.14$ 、 $F_{4,2018} = F_{5+,2018} = 0.56$ 、 $q_1 = 0.11$ 、 $q_2 = 65.6$ 、 $q_3 = 0.42$ 、 $b_1 = 1.19$ 、 $b_2 = 0.56$ となった。

推定された加入量、資源量、親魚量の不確実性をノンパラメトリックブートストラップ法により評価した (補足図 2-2)。チューニング時の観測値と予測値の残差をリサンプリングすることで、新たな資源量指標値を作成し、それを使って VPA を繰り返し計算した。計算は 1,000 回繰り返し、信頼区間を求めた。2018 年のそれぞれの推定値の 80% 信頼区間は、加入量 (億尾) [475, 1863]、資源量 (千トン) [2821, 6339]、親魚量 (千トン) [1220, 2891]、 F_0 [0.04, 0.17]、 F_1 [0.09, 0.59]、 F_2 [0.11, 0.65]、 F_3 [0.07, 0.39]、 F_4 [0.16, 1.12] であった。

2019 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 (22.1 尾/kg) に親魚量を乗じて求めた。2019 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。

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

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

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 2016~2018 年の漁獲物の平均値とした (補足表 2-2)。年齢別漁獲尾数は次の (10) 式で求めた。

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

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いく、「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、2018 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 2010 年以降の資源量の増加に伴い、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.

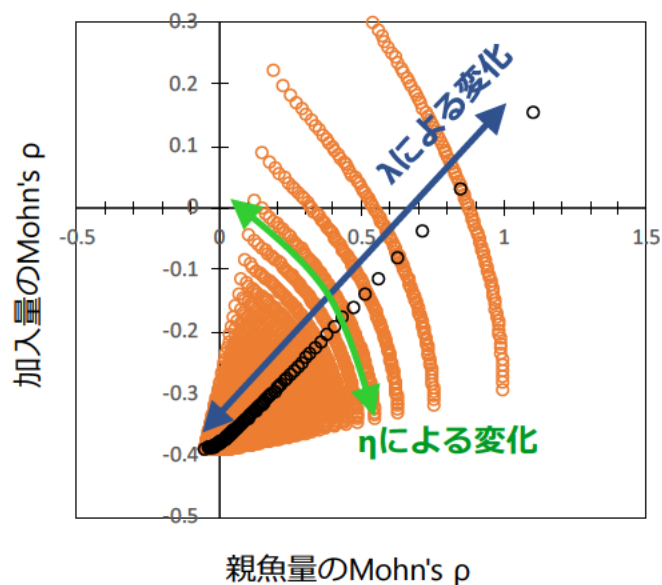
平松一彦 (2009) マイワシ太平洋系群の資源評価に用いられる VPA の信頼性の検討. 日水誌, **75**, 661-665.

Pope (1972) An investigation of the accuracy of virtual population using cohort analysis. Res. Bull. inst. Comm. Northw. Atlant. Fish., **9**, 65-74.

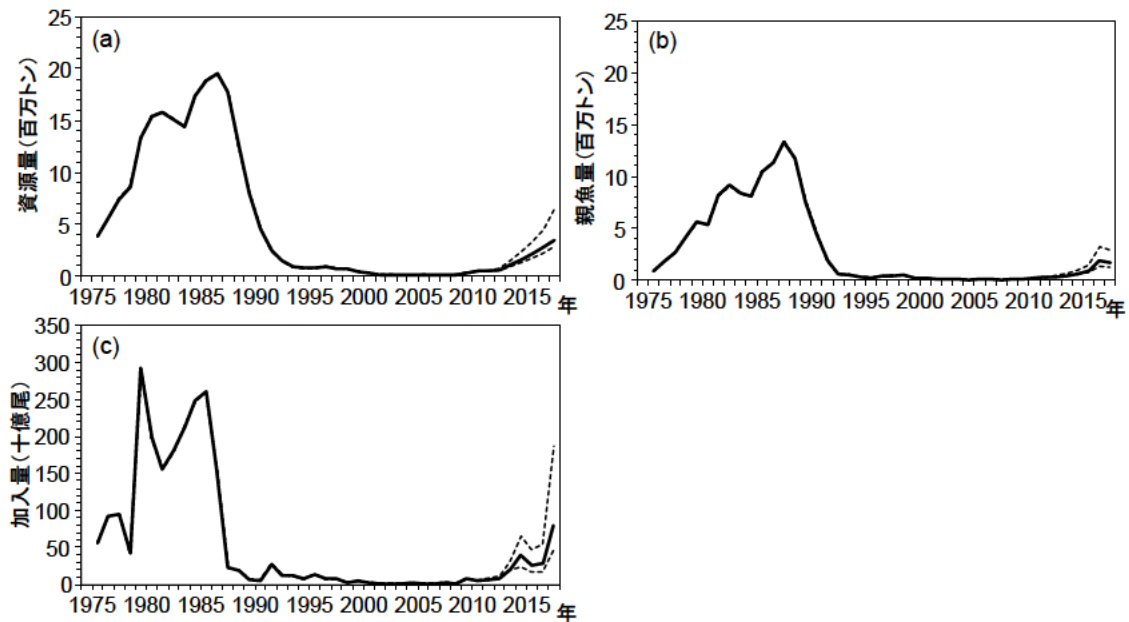
田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, **28**, 1-200.

Mohn, R. (1999) The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data. ICES J. Mar. Sci., **56**, 473-488.

Okamura, H., Y. Yamashita and M. Ichinokawa (2017) Ridge virtual population analysis to reduce the instability of fishing mortalities in the terminal year. ICES J. Mar. Sci., **74**, 2427-2436.



補足図 2-1. 親魚量と加入量のレトロスペクティブバイアスの関係 黒丸は、通常のリッジ VPA で λ を変化させたもの。オレンジの丸は、0 歳と 1 歳以上でペナルティの重みを変えたリッジ VPA で λ と η を変化させたもの。



補足図 2-2. (a) 資源量、(b) 親魚量、(c) 加入量の推定値と 80%信頼区間。実線が推定値、破線が信頼区間を示す。

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	2012
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	5,714.6
② 未成魚越冬群指数		1,093.5	370.9	385.4	921.2	780.3	3,373.9	408.3
③ 潮岬以東海域産卵量 (海区Ⅰ・Ⅱ)	31.4	7.2	32.1	12.9	24.1	37.5	52.0	115.9

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
① 秋季亜寒帯域0歳魚 現存量(百万尾)	6,600.8	11,891.7	34,764.1	15,550.9	17,091.6	54,528.3	
② 未成魚越冬群指数	1,396.7	1,757.4	2,064.8	2,480.0	1,855.0	2,178.1	6,990.8
③ 潮岬以東海域産卵量 (海区Ⅰ・Ⅱ)	133.9	306.3	146.1	240.6	451.6	1,365.5	1,821.1

補足表 2-2. 将来予測（2019 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
2016～2018年平均体重(g)	16.7	44.9	81.4	104.8	120.5	138.1

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年越冬群指数が求められている。未成年越冬群指数とは、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) 卵稚仔調査

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：水産研究・教育機構が 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。

加入量指数＝ Σ [表面水温 1℃ の各水温帯における有漁獲点 CPUE 中央値（尾数/網）]
 × [表面水温 1℃ の各水温帯における有漁獲点割合] × [表面水温 1℃ 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）：水産研究・教育機構が 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：水産研究・教育機構が 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

- 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.
- 内山雅史 (1998) 越冬期の未成魚. 「マイワシの資源変動と生態変化 (水産学シリーズ 119)」
渡邊良朗・和田時夫編, 恒星社厚生閣, 東京, 103-113.

補足資料 4 コホート解析結果の詳細

補足表 4-1. コホート解析による年齢別漁獲尾数、漁獲係数、資源量（1976～1984）

年齢別漁獲尾数（百万尾）									
年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
0歳	2,688	3,838	3,043	2,828	13,733	6,276	3,578	3,601	9,656
1歳	7,763	5,052	8,106	4,208	1,500	36,761	10,028	4,538	12,952
2歳	2,542	5,224	4,401	4,714	3,591	1,964	22,951	15,526	8,377
3歳	278	1,636	2,353	2,750	4,998	3,654	2,007	20,050	13,665
4歳	98	53	346	745	1,790	1,845	3,494	874	6,671
5歳以上	1	1	27	19	324	348	1,365	1,358	2,958
計	13,370	15,803	18,276	15,264	25,937	50,849	43,422	45,946	54,278
年齢別漁獲量（千トン）									
年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
0歳	67.2	80.6	66.9	96.1	288.4	119.2	68.0	43.2	77.2
1歳	434.7	293.0	421.5	231.4	103.5	1,396.9	411.1	190.6	531.0
2歳	213.5	438.8	369.7	381.8	290.9	167.0	1,216.4	916.0	452.4
3歳	29.2	171.8	247.1	288.8	509.8	354.5	182.7	1,343.4	929.2
4歳	11.6	6.2	40.8	87.9	211.3	214.1	370.4	81.2	560.3
5歳以上	0.1	0.1	3.4	2.5	41.2	44.2	170.6	150.7	319.4
計	756	991	1,149	1,089	1,445	2,296	2,419	2,725	2,870
漁獲割合	19.6%	17.8%	15.5%	12.6%	10.8%	14.9%	15.3%	18.0%	19.9%
年齢別漁獲係数（F）									
年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
0歳	0.06	0.05	0.04	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.06
1歳	0.35	0.19	0.18	0.09	0.07	0.28	0.10	0.06	0.14
2歳	0.57	0.55	0.32	0.19	0.13	0.16	0.35	0.28	0.17
3歳	1.06	1.31	0.68	0.44	0.41	0.23	0.31	0.81	0.56
4歳	3.50	0.76	1.94	0.61	0.76	0.33	0.45	0.27	0.96
5歳以上	3.50	0.76	1.94	0.61	0.76	0.33	0.45	0.27	0.96
単純平均	1.51	0.60	0.85	0.34	0.37	0.23	0.28	0.29	0.47
年齢別資源尾数（百万尾）									
年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
0歳	55,898	92,251	94,204	41,921	292,971	197,812	156,249	180,202	212,801
1歳	31,999	35,269	58,696	60,655	25,786	185,141	127,459	101,808	117,844
2歳	7,185	15,094	19,506	32,709	37,214	16,056	94,007	77,228	64,528
3歳	520	2,735	5,841	9,472	18,066	22,005	9,155	44,224	39,056
4歳	123	121	494	1,989	4,097	8,018	11,759	4,493	13,228
5歳以上	1	3	39	52	742	1,512	4,592	6,982	5,866
計	95,727	145,473	178,779	146,797	378,875	430,545	403,220	414,937	453,324
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
0歳	1,397	1,937	2,072	1,425	6,152	3,758	2,969	2,162	1,702
1歳	1,792	2,046	3,052	3,336	1,779	7,035	5,226	4,276	4,832
2歳	604	1,268	1,638	2,649	3,014	1,365	4,982	4,556	3,485
3歳	55	287	613	995	1,843	2,134	833	2,963	2,656
4歳	15	14	58	235	483	930	1,246	418	1,111
5歳以上	0	0	5	7	94	192	574	775	633
計	3,862	5,553	7,440	8,647	13,366	15,415	15,830	15,151	14,419
親魚量	852	1,774	2,620	4,219	5,613	5,325	8,158	9,140	8,368
RPS	65.6	52.0	36.0	9.9	52.2	37.1	19.2	19.7	25.4
年齢別平均体重（g）									
年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
0歳	25	21	22	34	21	19	19	12	8
1歳	56	58	52	55	69	38	41	42	41
2歳	84	84	84	81	81	85	53	59	54
3歳	105	105	105	105	102	97	91	67	68
4歳	118	118	118	118	118	116	106	93	84
5歳以上	127	127	127	127	127	127	125	111	108

補足表 4-2. コホート解析による年齢別漁獲尾数、漁獲係数、資源量（続き、1985～1993）

年齢別漁獲尾数（百万尾）									
年齢\年	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	16,152	2,612	13,293	1,857	4,733	1,831	482	4,003	2,806
1歳	12,648	16,897	7,413	12,465	1,176	2,798	775	1,190	8,933
2歳	8,947	8,340	13,945	12,176	6,865	2,632	944	363	317
3歳	10,192	8,256	12,206	8,351	11,210	6,753	1,373	738	321
4歳	6,217	5,976	6,746	6,310	7,801	9,491	5,685	768	329
5歳以上	2,039	2,452	2,929	3,073	4,185	4,655	8,525	8,352	932
計	56,194	44,531	56,532	44,231	35,970	28,160	17,784	15,414	13,637
年齢別漁獲量（千トン）									
年齢\年	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	290.7	26.1	79.8	22.3	47.3	9.2	1.9	72.1	16.8
1歳	505.9	709.7	348.4	610.8	52.9	114.7	23.2	64.3	544.9
2歳	438.4	492.1	753.0	706.2	405.0	152.6	82.1	30.1	25.1
3歳	682.8	619.2	817.8	626.3	840.8	533.5	133.2	70.9	35.9
4歳	516.0	555.7	600.4	561.6	725.5	863.7	562.8	76.0	44.1
5歳以上	210.0	281.9	316.4	310.4	452.0	488.8	920.7	927.1	124.0
計	2,644	2,685	2,916	2,838	2,524	2,162	1,724	1,240	791
漁獲割合	15.2%	14.2%	14.9%	16.0%	20.2%	27.1%	37.9%	50.3%	53.9%
年齢別漁獲係数（F）									
年齢\年	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	0.08	0.01	0.11	0.10	0.35	0.39	0.12	0.20	0.33
1歳	0.12	0.14	0.05	0.18	0.11	0.47	0.36	0.62	1.29
2歳	0.17	0.14	0.21	0.15	0.17	0.49	0.36	0.36	0.41
3歳	0.42	0.30	0.38	0.24	0.24	0.32	0.68	0.69	0.84
4歳	0.71	0.61	0.57	0.45	0.47	0.43	0.66	1.68	1.09
5歳以上	0.71	0.61	0.57	0.45	0.47	0.43	0.66	1.68	1.09
単純平均	0.37	0.30	0.32	0.26	0.30	0.42	0.47	0.87	0.84
年齢別資源尾数（百万尾）									
年齢\年	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	247,911	259,954	156,475	22,847	19,437	6,923	5,308	27,329	12,127
1歳	134,739	152,955	172,114	94,005	13,794	9,154	3,142	3,163	15,042
2歳	68,389	79,963	88,695	109,303	52,808	8,283	3,845	1,472	1,146
3歳	36,396	38,518	46,773	48,037	63,299	29,778	3,398	1,805	690
4歳	14,992	16,053	19,060	21,359	25,363	33,252	14,432	1,153	605
5歳以上	4,916	6,586	8,276	10,402	13,608	16,310	21,641	12,546	1,716
計	507,343	554,029	491,392	305,952	188,309	103,701	51,765	47,467	31,326
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	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	4,462	2,600	939	274	194	35	21	492	73
1歳	5,390	6,424	8,089	4,606	621	375	94	171	918
2歳	3,351	4,718	4,790	6,340	3,116	480	335	122	91
3歳	2,439	2,889	3,134	3,603	4,747	2,352	330	173	77
4歳	1,244	1,493	1,696	1,901	2,359	3,026	1,429	114	81
5歳以上	506	757	894	1,051	1,470	1,713	2,337	1,393	228
計	17,392	18,881	19,542	17,774	12,507	7,981	4,546	2,465	1,467
親魚量	8,079	10,499	11,322	13,355	11,754	7,609	4,440	1,819	569
RPS	30.7	24.8	13.8	1.7	1.7	0.9	1.2	15.0	21.3
年齢別平均体重（g）									
年齢\年	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	18	10	6	12	10	5	4	18	6
1歳	40	42	47	49	45	41	30	54	61
2歳	49	59	54	58	59	58	87	83	79
3歳	67	75	67	75	75	79	97	96	112
4歳	83	93	89	89	93	91	99	99	134
5歳以上	103	115	108	101	108	105	108	111	133

補足表 4-3. コホート解析による年齢別漁獲尾数、漁獲係数、資源量（続き、1994～2002）

年齢別漁獲尾数（百万尾）									
年齢\年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
0歳	3,517	1,973	2,948	725	451	61	1,071	753	24
1歳	2,089	2,533	651	2,638	993	2,606	255	1,466	471
2歳	1,788	1,231	336	449	490	1,108	377	564	137
3歳	319	193	128	139	148	421	320	196	50
4歳	125	42	28	30	142	174	235	103	27
5歳以上	328	60	12	10	71	59	89	71	17
計	8,168	6,033	4,103	3,990	2,295	4,428	2,347	3,154	725
年齢別漁獲量（千トン）									
年齢\年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
0歳	38.7	66.8	99.9	20.3	10.8	2.2	31.7	12.7	0.8
1歳	117.0	123.3	31.7	168.8	51.7	155.6	11.1	79.2	26.9
2歳	168.1	103.8	28.3	44.4	38.7	85.0	28.7	44.7	10.9
3歳	38.3	22.8	15.1	16.1	14.9	39.9	30.9	19.0	5.1
4歳	16.9	6.1	3.9	4.0	16.6	17.6	25.3	11.8	3.0
5歳以上	46.0	9.4	1.8	1.5	8.7	7.6	11.0	9.2	2.2
計	425	332	181	255	142	308	139	177	49
漁獲割合	48.3%	43.9%	22.5%	27.9%	19.5%	43.9%	33.8%	57.9%	31.1%
年齢別漁獲係数（F）									
年齢\年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
0歳	0.45	0.40	0.31	0.12	0.08	0.03	0.32	0.46	0.02
1歳	0.58	0.94	0.28	0.67	0.30	1.19	0.20	1.41	0.80
2歳	1.56	1.15	0.37	0.40	0.31	0.90	0.68	1.39	0.57
3歳	1.45	0.92	0.41	0.32	0.27	0.62	0.99	1.38	0.50
4歳	1.45	1.05	0.39	0.19	0.85	0.81	1.24	1.65	0.92
5歳以上	1.45	1.05	0.39	0.19	0.85	0.81	1.24	1.65	0.92
単純平均	1.16	0.92	0.36	0.32	0.44	0.72	0.78	1.32	0.62
年齢別資源尾数（百万尾）									
年齢\年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
0歳	11,889	7,312	13,445	7,777	7,388	2,580	4,838	2,483	1,220
1歳	5,832	5,090	3,286	6,599	4,619	4,583	1,679	2,366	1,047
2歳	2,769	2,199	1,338	1,669	2,263	2,283	938	917	386
3歳	509	392	466	622	752	1,116	624	320	153
4歳	200	80	104	207	303	383	404	156	54
5歳以上	524	114	46	68	152	131	154	108	34
計	21,722	15,185	18,685	16,942	15,478	11,076	8,636	6,350	2,895
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	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
0歳	131	248	455	218	177	91	143	42	41
1歳	327	248	160	422	241	274	73	128	60
2歳	260	185	113	165	179	175	71	73	31
3歳	61	46	55	72	76	106	60	31	16
4歳	27	11	15	28	36	39	43	18	6
5歳以上	73	18	7	11	19	17	19	14	4
計	879	756	805	916	727	701	411	305	157
親魚量	487	310	221	360	429	473	231	199	87
RPS	24.4	23.6	60.7	21.6	17.2	5.4	21.0	12.4	14.1
年齢別平均体重（g）									
年齢\年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
0歳	11	34	34	28	24	35	30	17	33
1歳	56	49	49	64	52	60	44	54	57
2歳	94	84	84	99	79	77	76	79	79
3歳	120	118	118	116	101	95	96	97	102
4歳	135	143	143	134	118	102	107	115	112
5歳以上	140	156	150	154	122	127	123	129	132

補足表 4-4. コホート解析による年齢別漁獲尾数、漁獲係数、資源量（続き、2003～2011）

年齢別漁獲尾数（百万尾）									
年齢\年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0歳	152	375	260	172	750	459	121	209	760
1歳	410	399	101	464	430	178	620	406	1,769
2歳	127	71	22	43	206	36	29	206	76
3歳	73	13	35	23	20	16	11	14	15
4歳	31	9	46	13	7	2	6	10	6
5歳以上	12	5	22	3	3	1	2	8	8
計	804	872	486	718	1,416	692	788	852	2,634
年齢別漁獲量（千トン）									
年齢\年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0歳	2.9	10.2	6.2	3.7	20.2	11.7	2.6	6.2	23.2
1歳	25.2	27.3	4.1	37.5	22.7	9.8	41.9	30.9	97.0
2歳	9.9	7.2	1.9	3.6	19.0	2.9	2.7	23.9	8.3
3歳	7.8	1.6	3.8	2.7	2.0	1.9	1.1	1.6	1.8
4歳	3.6	1.0	5.6	1.5	0.8	0.3	0.7	1.1	0.6
5歳以上	1.6	0.6	3.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.9	0.9
計	51	48	25	49	65	27	49	65	132
漁獲割合	42.0%	44.1%	28.6%	37.4%	57.9%	27.2%	38.2%	19.3%	28.4%
年齢別漁獲係数（F）									
年齢\年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0歳	0.18	0.72	0.18	0.19	1.04	0.26	0.12	0.03	0.19
1歳	0.99	1.45	0.54	0.75	1.42	1.04	0.93	1.02	0.57
2歳	0.67	0.57	0.31	0.62	1.35	0.50	0.59	1.44	0.69
3歳	0.94	0.16	0.83	0.83	0.91	0.39	0.34	0.84	0.43
4歳	0.92	0.33	2.45	1.24	1.01	0.32	0.30	0.79	1.54
5歳以上	0.92	0.33	2.45	1.24	1.01	0.32	0.30	0.79	1.54
単純平均	0.77	0.59	1.13	0.81	1.12	0.47	0.43	0.82	0.83
年齢別資源尾数（百万尾）									
年齢\年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0歳	1,134	895	1,919	1,241	1,420	2,423	1,304	7,707	5,276
1歳	798	636	293	1,073	691	338	1,249	776	4,995
2歳	317	199	100	114	340	111	80	329	188
3歳	146	108	76	49	41	59	45	30	52
4歳	62	38	62	22	14	11	27	22	9
5歳以上	24	23	30	5	5	5	8	17	12
計	2,481	1,900	2,479	2,505	2,511	2,947	2,713	8,880	10,531
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	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0歳	21	24	46	26	38	62	28	229	161
1歳	49	43	12	87	37	19	84	59	274
2歳	25	20	9	9	31	9	8	38	20
3歳	16	13	8	6	4	7	5	3	6
4歳	7	4	8	2	2	1	3	2	1
5歳以上	3	3	4	1	1	1	1	2	1
計	121	109	87	131	112	99	129	334	464
親魚量	75	63	35	62	56	28	59	76	166
RPS	15.0	14.3	55.4	20.1	25.4	87.4	22.2	101.9	31.8
年齢別平均体重（g）									
年齢\年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0歳	19	27	24	21	27	26	21	30	31
1歳	61	68	41	81	53	55	68	76	55
2歳	78	102	88	83	92	82	93	116	109
3歳	107	124	109	118	99	123	108	117	122
4歳	117	111	122	113	111	123	115	109	108
5歳以上	138	118	143	108	110	142	127	119	119

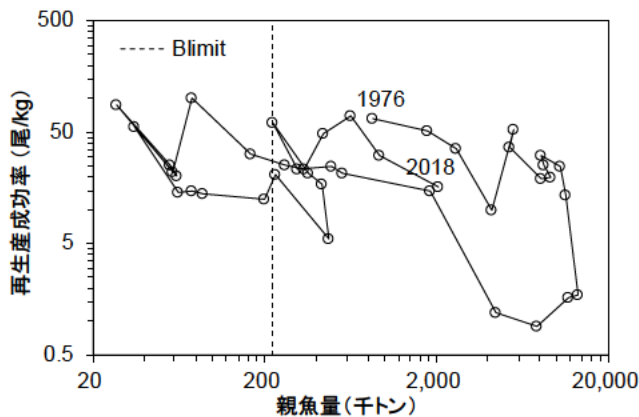
補足表 4-5. コホート解析による年齢別漁獲尾数、漁獲係数、資源量（続き、2012～2018）

年齢別漁獲尾数（百万尾）							
年齢\年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	515	330	2,554	4,523	4,036	6,088	6,156
1歳	612	813	567	2,783	1,897	1,378	2,257
2歳	570	544	483	398	1,252	1,402	1,529
3歳	25	240	297	211	345	1,078	883
4歳	4	8	83	42	138	268	349
5歳以上	1	5	3	65	30	86	130
計	1,727	1,939	3,987	8,022	7,698	10,299	11,304
年齢別漁獲量（千トン）							
年齢\年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	13.6	7.4	62.0	89.1	75.8	83.0	108.7
1歳	34.2	44.6	30.8	111.8	81.1	70.2	92.7
2歳	50.2	48.9	47.0	34.9	99.1	129.0	111.6
3歳	3.0	26.9	35.4	22.1	38.7	116.4	83.1
4歳	0.6	1.0	10.5	5.0	16.9	35.0	38.1
5歳以上	0.1	0.8	0.5	7.6	4.2	12.3	17.2
計	102	130	186	270	316	446	451
漁獲割合	19.8%	21.1%	17.4%	16.5%	14.6%	15.9%	13.0%
年齢別漁獲係数（F）							
年齢\年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	0.10	0.05	0.16	0.15	0.22	0.31	0.10
1歳	0.30	0.29	0.15	0.34	0.11	0.13	0.22
2歳	0.46	0.61	0.35	0.19	0.31	0.13	0.27
3歳	0.66	0.45	1.16	0.32	0.32	0.63	0.14
4歳	0.27	0.54	0.35	0.63	0.46	0.58	0.56
5歳以上	0.27	0.54	0.35	0.63	0.46	0.58	0.56
単純平均	0.34	0.42	0.42	0.37	0.31	0.39	0.31
年齢別資源尾数（百万尾）							
年齢\年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	6,567	7,611	20,894	40,075	25,286	27,962	79,451
1歳	2,914	3,980	4,832	11,915	23,160	13,646	13,759
2歳	1,900	1,452	2,003	2,774	5,708	13,972	8,019
3歳	63	807	528	947	1,534	2,801	8,218
4歳	23	22	345	111	462	746	995
5歳以上	3	13	14	170	100	239	371
計	11,469	13,885	28,615	55,992	56,251	59,366	110,813
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	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	173	171	507	790	475	381	1,403
1歳	163	219	262	479	990	695	565
2歳	168	130	195	243	452	1,285	585
3歳	8	90	63	99	172	302	773
4歳	3	3	44	13	56	97	109
5歳以上	1	2	2	20	14	34	49
計	514	615	1,073	1,644	2,159	2,796	3,484
親魚量	260	335	435	615	892	1,859	1,629
RPS	25.3	22.7	48.0	65.2	28.3	15.0	48.8
年齢別平均体重（g）							
年齢\年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	26	22	24	20	19	14	18
1歳	56	55	54	40	43	51	41
2歳	88	90	97	88	79	92	73
3歳	119	112	119	105	112	108	94
4歳	128	128	127	118	122	130	109
5歳以上	175	181	162	117	139	143	132

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

2019 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 22.1 万トン (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 (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 (2016 ~ 2018 年) の平均値とし、1 歳魚の成熟率は 0.2 とした (図 2、3)。

- ① 親魚量 < Blimit (22.1 万トン) 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 ~ 2016 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 ~ 2017 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