

令和 2（2020）年度マイワシ太平洋系群の資源評価

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

参画機関：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・海洋技術研究所、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、資源量指標値をチューニング指数として用いたコホート解析により計算した。資源量は、1980年代は10,000千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100千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1,000千トンを上回った。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、2019年は3,415千トンと推定された。親魚量は2002年以降100千トンを下回る水準で推移したが、2011年以降増加し、2019年の親魚量は1,585千トンと推定された。

令和2年3月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において、本系群の現状の再生産関係には通常加入期（1988～2018年）のホッケー・スティック型が適用されており、これに基づき推定された最大持続生産量（MSY）を実現することのできる水準の親魚量（SB_{msy}）は1,187千トンである。この基準に従うと、本系群の2019年の親魚量は、MSYを実現する水準を上回る。また、本系群に対する2019年の漁獲圧は、MSYを実現する水準の漁獲圧（F_{msy}）と同程度である。親魚量の動向は近年5年間（2015～2019年）の推移から「増加」と判断される。

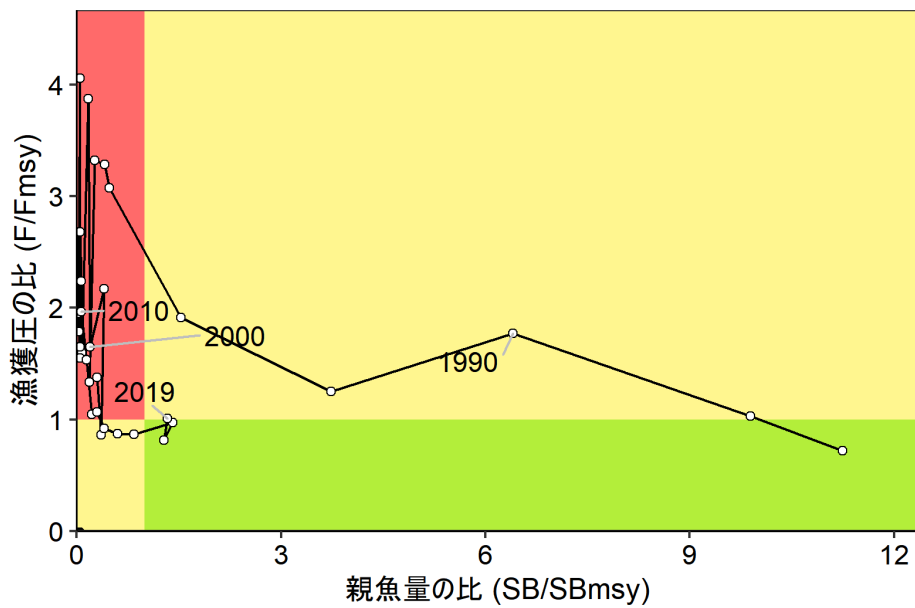
（本系群では、管理基準値や将来予測など、資源管理方針に関する検討会の議論をふまえて最終化される項目については「管理基準値等に関する研究機関会議」において提案された値を暫定的に示した。）

項目	値	説明
現在の環境下において MSY を実現する水準		
SBmsy	1,187 千トン	最大持続生産量(MSY)を実現する親魚量
Fmsy	最大持続生産量(MSY)を実現する漁獲圧 (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳以上) =(0.18, 0.18, 0.24, 0.50, 0.50, 0.50)	
%SPR (Fmsy)	40.0%	Fmsy に対応する%SPR
MSY	389 千トン	最大持続生産量 MSY
2019 年の親魚量と漁獲圧		
SB2019	1,585 千トン	2019 年の親魚量
F2019	2019 年の漁獲圧(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 以上) =(0.05, 0.12, 0.81, 0.32, 0.20, 0.20)	
%SPR (F2019)	39.8%	2019 年の%SPR
%SPR (F2015-2019)	41.8%	現状(2015～2019 年)の漁獲圧に対応する%SPR
MSY を実現する水準に対する比率		
SB2019/ SBmsy	1.33	最大持続生産量(MSY)を実現する親魚量に対する 2019 年の親魚量の比
F2019/ Fmsy	1.01	最大持続生産量(MSY)を実現する漁獲圧に対する 2019 年の漁獲圧の比*

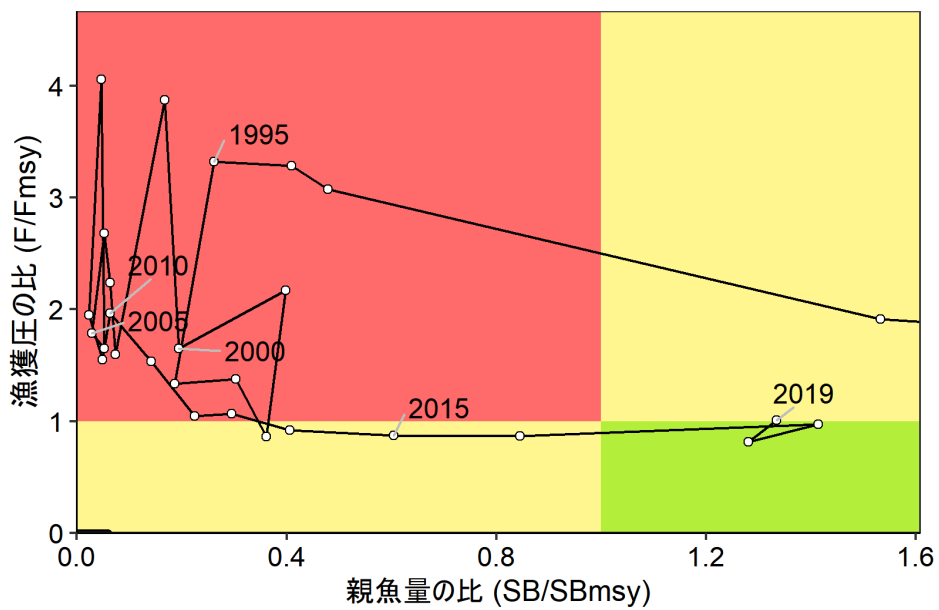
*2019 年の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を%SPR 換算して算出し求めた比率

再生産関係：通常加入期（1988～2018 年）のホッケー・スティック型（自己相関なし）

親魚量の水準	MSY を実現する水準を上回る
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準と同程度
親魚量の動向	増加



上図の拡大



年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F/Fmsy	漁獲割合 (%)
2016	2,100	1,003	316	0.87	15.0
2017	2,647	1,680	446	0.97	16.8
2018	3,137	1,521	452	0.82	14.4
2019	3,415	1,585	521	1.01	15.3
2020	4,103	2,876	742	0.94	18.1
2021	3,617	2,882	—	—	—

2020 年、2021 年の値は、将来予測に基づく値（補足資料 6 参照）。

1. データセット

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	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。

2. 生態

(1) 分布・回遊

本系群は、北西太平洋の本邦沿岸から沖合まで広く分布する(図 2-1)。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)。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、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(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ム期と一致する 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)。ただ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、1,000 千トンを下回った 1990 年代には三陸北部～道東沖の親潮域までに、さらに 500 千トンを下回った 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 年以降、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、2000 年代の低・中水準期では、1 歳：15～16 cm、2 歳：18～19 cm、3 歳以上：20 cm 以上であった。直近 3 年（2017～2019 年）の年齢別平均体長と体重を図 2-2 に示した。近年、年齢別平均体重が小さくなる傾向が見られており（補足表 2-1）、資源の増加に伴って成長が悪くなっている可能性がある。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 2-3 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。

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（図 2-1）。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。

(5) 特記事項

本系群は、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、Chavez et al. 2003）。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 10,000 千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る（Watanabe et al. 1995）、加入量および資源量が激減したとされる。海洋環境などの変化は、環境収容力や加入成功などに影響し（Tanaka 2003、Yatsu et al. 2005）、再生産関係も変化している可能性が考えられる。

2. 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 3-1、表 3-1）。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、2,000 千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。近年は、資源が増加して索餌回遊範囲が拡大し、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 2019 年は 218 千トンに増加した。

(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 4-1、表 3-1）。漁獲量は、1975 年は 500 千トンを下回っていたが、その後増加し、1983～1989 年は 2,500 千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 1,000 千トンを下回り、1995～2001 年は 100 千～300 千トン台で推移した。2002～2010 年は 100 千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 100 千トン以上に増加し、2019 年は 521 千トンであった。近年、資源が増加して回遊範囲が拡大したことにより、ロシアおよび中国による漁獲が増えている。北太平洋漁業委員会（NPFC）への報告によると、2019 年のロシアによる漁獲量は 133 千トン、中国による漁獲は 46 千トンとなっている。現時点では不明な点が多いことから、今年度は外国による漁獲量を考慮せずに資源評価を行った。多くの仮定を置いているが外国漁獲量を考慮した場合の試算も行い、その結果は補足資料 9 に記載した。

(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 3-3 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増加している（図 3-3）。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 3-4）。

3. 資源の状況

(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（図 4-1、図 4-2、補足資料 3）、これらチューニング指数に適合するよう 2019 年の年齢別 F を探索的に求めた。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 3-1、および補足表 2-1 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 4-1、表 4-1）。一方、1980 年代に見られた紀伊水道～日向灘における産卵量の増加は 2020 年現在も見られていない。

加入量の指標となる各種調査による資源量指数を図 4-2 および表 4-2～表 4-5 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、前述の沖合加入群だけを指標とする。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) 資源量と漁獲圧の推移

資源量は 1970 年代に増加し、1980 年代は 10,000 千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 4-3、表 3-1、補足表 2-1）。1994 年に 1,000 千トンを下回り、1999 年まで 700 千～900 千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 100 千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 1,000 千トンを上回った。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、2019 年の資源量は 3,415 千トンと推定された。親魚量は 2002 年以降 100 千トンを下回る水準で推移していたが、2011 年以降増加し、2019 年は 1,585 千トンと推定された（図 4-3、表 3-1、補足表 2-1）。

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 4-3、表 3-1）。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。

加入量と再生産成功率（RPS）の推移を図 4-4、表 3-1 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 を上回る RPS 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。

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 2019 年の資源量、親魚量を推定した（図 4-5）。 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 91% および 114% となった。

項目	値	説明
SB2019	1,585 千トン	2019 年の親魚量
F2019	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳以上) =(0.05, 0.12, 0.81, 0.32, 0.20, 0.20)	
U2019	15.3%	2019 年の漁獲割合

(4) 加入量当たり漁獲量 (YPR)、加入量当たり親魚量 (SPR) および現状の漁獲圧

選択率の影響を考慮して漁獲圧を比較するため、加入量あたり親魚量 (SPR) を基準に、その漁獲圧が無かった場合との比較を行った。図 4-6 に年ごとに漁獲が無かったと仮定した場合の SPR に対する、漁獲があった場合の SPR の割合 (%SPR) の推移を示す。%SPR は漁獲圧が低いほど大きな値となる。1980 年代末から 1990 年代、2000 年代始めにかけては、%SPR は低下し、資源量の減少とともに漁獲圧が上昇するという、資源を減少させるような関係がみられた。2008 年以降の %SPR は増加傾向にあり、漁獲圧は比較的低い水準を維持している。2019 年の %SPR は 39.8% となった。現状の漁獲圧として近年 5 年間 (2015～2019 年) の平均 F 値から %SPR を算出すると 41.8% となった。

現状の漁獲圧に対する YPR と %SPR の関係を図 4-7 に示す。このとき F の選択率としては令和 2 年 3 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において最大持続生産量 MSY を実現する F (Fmsy) の推定に用いた値 (古市ほか 2020a) を用いた。また、年齢別平均体重および成熟割合についても Fmsy 算出時の値を使用した。Fmsy は %SPR に換算すると 40.0% に相当する。現状の漁獲圧 (F2015-2019) は、F30%SPR を下回り、F0.1 と同程度である。

項目	値	説明
%SPR (F2019)	39.8%	2019 年の %SPR
%SPR (F2015-2019)	41.8%	現状 (2015～2019 年) の漁獲圧に対応する %SPR

(5) 再生産関係

親魚量 (重量) と加入量 (尾数) の関係 (再生産関係) を図 4-8 に示す。本系群は、数十年スケールの地球規模の気候～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、Chavez et al. 2003)。海洋環境などの変化は、環境収容力や加入成功などに影響し (Tanaka 2003、Yatsu et al. 2005)、再生産関係も変化している可能性が考えられる。そこで上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」において、本系群の再生産関係は、加入量水準に基づき、再生産関係が通常加入期 (1988～2018 年) と高加入期 (1976～1987 年) の二種類の様態に分けられると仮定された。本資源は、近年良好な加入が続いており、高加入期に移行しつつある可能性があるが、現在ではまだ、過去の高加入期に見られた薩南までの産卵場の拡大が見られず、加えて、春季の親潮面積が小さいなど海洋環境の側面から見ても、過去の高加入期とは異なる点が多い。現在の環境において、過去の高加入期と同規模の加入が生じるかは、かなり不確実である。そのため、上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」において、再生産関係式には通常加入期 (1988～2018 年) において推定されたホッケ－・スティック型再生産関係が適用されている (古市ほか 2020a)。ここで、再生産関係式のパラメータ推定に使用するデータは、令和元 (2019) 年度の資源評価 (古市ほか 2020b) に基づく親魚量・加入量とし、最適化方法には最小二乗法を用いている。加入量の残差の自己相関は考慮していない。再生産関係式の各パラメータを下表に示す。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
ホッケ-スティック型	最小二乗法	無	0.026	764,050	0.705	-

ここで、a は HS の折れ点までの再生産曲線の傾き（千尾/kg）、b は HS の折れ点となる親魚量（トン）である。

(6) 現在の環境下において MSY を実現する水準

本資源は、近年良好な加入が続いており、高加入期に移行しつつある可能性があるが、現在の環境は過去の高加入期と異なる点が多く、過去の高加入期と同規模の加入が生じるかはかなり不確実なため、現状は通常加入期であると想定している。通常加入期の環境下において最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量（SBmsy）および MSY を実現する漁獲量として上記の「管理基準値等に関する研究機関会議」で推定された値（古市ほか 2020a）を下表に示す。

項目	値	説明
SBmsy	1,187 千トン	最大持続生産量(MSY)を実現する親魚量。
Fmsy	最大持続生産量(MSY)を実現する漁獲圧 (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳以上)=(0.18, 0.18, 0.24, 0.50, 0.50, 0.50)	
%SPR (Fmsy)	40.0%	Fmsy に対応する%SPR
MSY	389 千トン	最大持続生産量 MSY

(7) 資源の水準・動向および漁獲圧の水準

MSY を実現する親魚量と漁獲圧を基準にした神戸プロットを図 4-9 に示す。本系群における 2019 年の親魚量は MSY を実現する親魚量（SBmsy）を上回っており、2019 年の親魚量は SBmsy の 1.33 倍である。また、2019 年の漁獲圧は、MSY を実現する漁獲圧（Fmsy）を下回っており、2019 年の漁獲圧は MSY を実現する漁獲圧の 1.01 倍である。なお、神戸プロットに示した漁獲圧の比（F/Fmsy）とは、各年の F の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して求めた値と、各年の F 値との比である。親魚量の動向は、近年 5 年間（2015～2019 年）の推移から増加と判断される。本系群の親魚量は 1990 年代後半から 2010 年代前半にかけては SBmsy を下回っていたが、2014 年以降は漁獲圧が Fmsy 以下または同程度まで低下し、2017 年以降の親魚量は SBmsy を上回る水準に回復・維持されている。

項目	値	説明
SB2019/ SBmsy	1.33	最大持続生産量(MSY)を実現する親魚量に対する 2019 年の親魚量の比
F2019/ Fmsy	1.01	最大持続生産量(MSY)を実現する漁獲圧に対する 2019 年の漁獲圧の比*

* 2019 年の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して算出し求めた比率

親魚量の水準	MSY を実現する水準を上回る
--------	-----------------

漁獲圧の水準	MSY を実現する水準と同程度
親魚量の動向	増加

4. 資源評価のまとめ

本系群の資源量は、1980 年代は 10,000 千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 100 千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 1,000 千トンを上回った。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、2019 年は 3,415 千トンと推定された。親魚量は 2002 年以降 100 千トンを下回る水準で推移したが、2011 年以降に増加し、2019 年の親魚量は 1,585 千トンと推定された。

漁獲圧は 2000 年代後半に減少し、近年は MSY を実現する水準（F_{msy}）を下回るまたは同程度の水準を維持している。親魚量は、漁獲圧の低下にともない増加し、2017 年以降は MSY を実現する水準（S_{Bmsy}）を上回っている。親魚量の動向は近年 5 年間（2015～2019 年）の推移から「増加」と判断される。

5. その他

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と考えられる。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、早期に把握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と考えられる。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。

6. 引用文献

- Chavez, F.P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota, C.M. Niquen (2003) From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 299, 217–221.
- 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.
- 古市 生・由上龍嗣・上村泰洋・井須小羊子・渡部亮介 (2020a) 令和 2 (2020) 年度マイワシ太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書. 水産研究・教育機構, 1-46.
- FRA-SA2020-BPR01-1. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_maiwashi_p.pdf (last accessed 18 July 2020)

- 古市 生・由上龍嗣・上村泰洋・林 晃・井須小羊子・渡部亮介 (2020b) 令和元 (2019) 年度マイワシ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Tanaka, E. (2003) A method for estimating dynamics of carrying capacity using time series of stock and recruitment. *Fish. Sci.*, **69**, 677-686.
- 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. 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.

(執筆者：古市 生・由上龍嗣・上村泰洋・西嶋翔太・井須小羊子・渡部亮介)

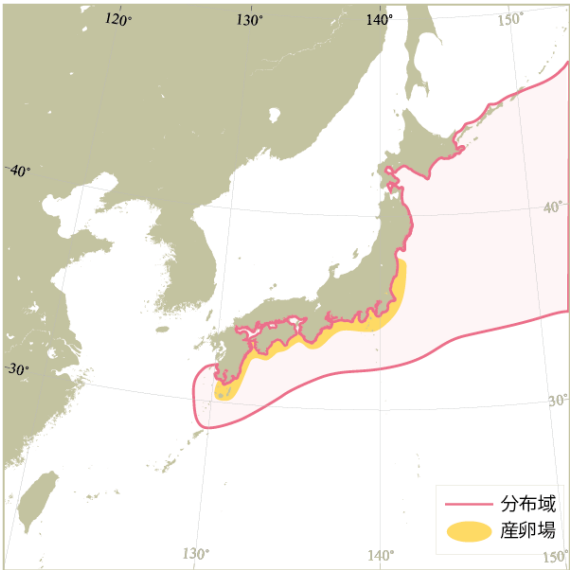


図 2-1. マイワシ太平洋系群の分布域と産卵場

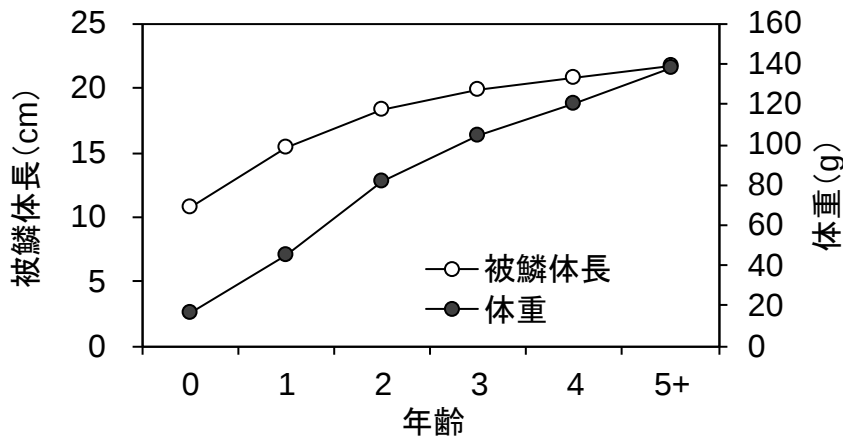


図 2-2. 年齢と成長 (2017～2019 年漁獲物平均)

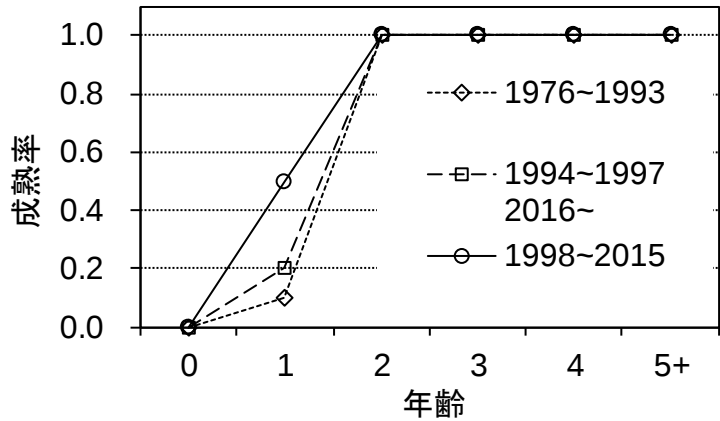


図 2-3. 年齢と成熟割合

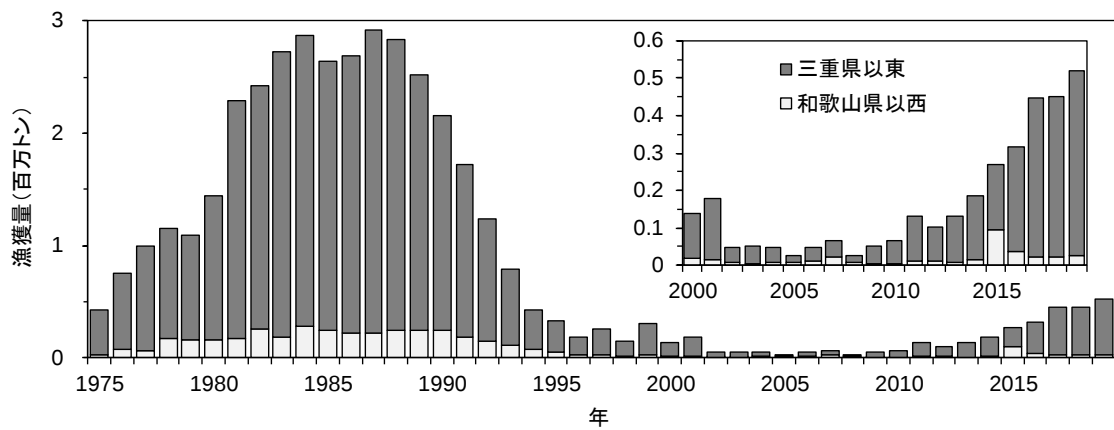


図 3-1. 漁獲量の推移

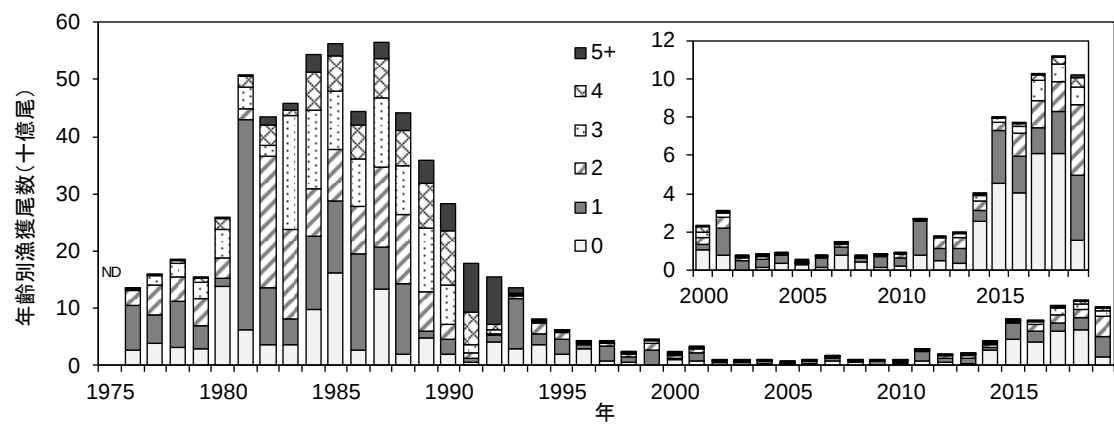


図 3-2. 年齢別漁獲尾数の推移

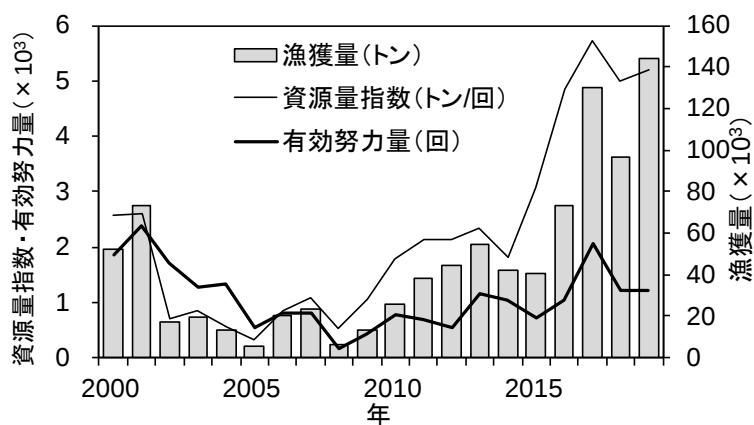


図 3-3. 北部まき網の有効努力量と漁獲量、資源量指数の推移 (JAFIC 集計値、道東含まず)
 努力量＝投網数、資源量指数＝ $\sum$ 緯度経度 30 分単位メッシュの CPUE、有効努力量＝漁獲量／資源密度指数、資源密度指数＝資源量指数／有漁メッシュ数。

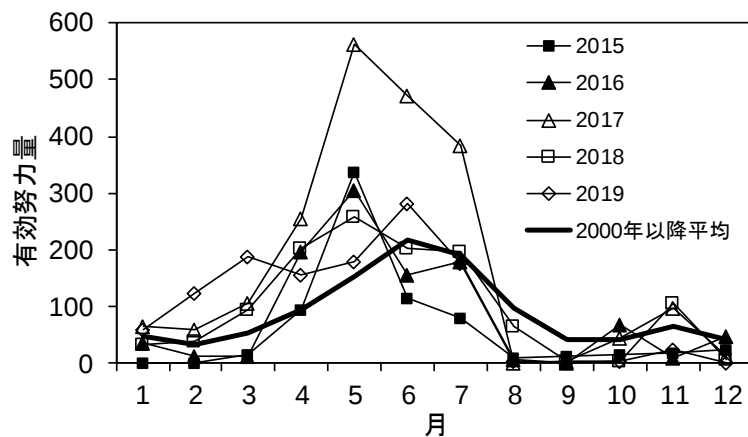


図 3-4. 北部まき網の有効努力量の月推移

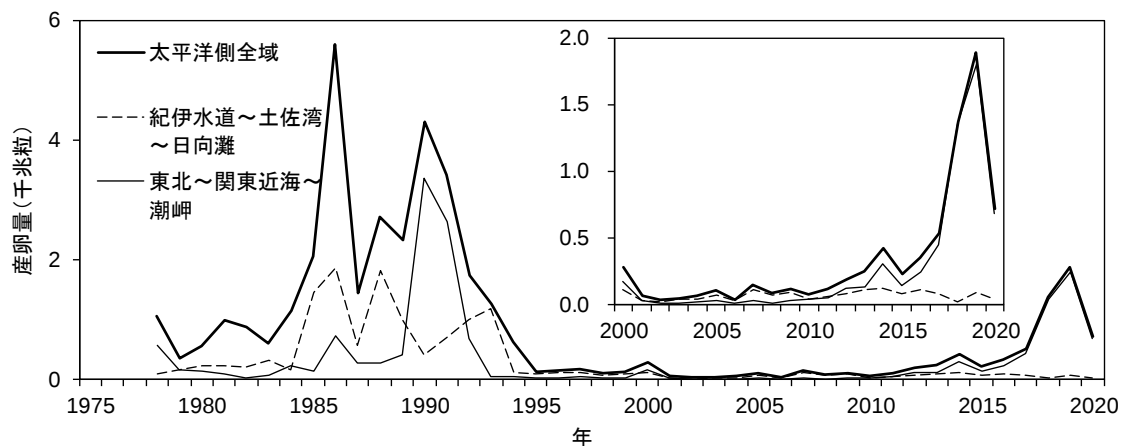


図 4-1. 産卵量の推移 卵稚仔調査協会による前年 10 月から 9 月までの集計値
2020 年は 5 月までの暫定値。太平洋側全域は同協会の区分の海区 I ～IV、紀伊水道～土佐湾～日向灘は海区 III、東北～関東近海～潮岬は海区 I・II の値。

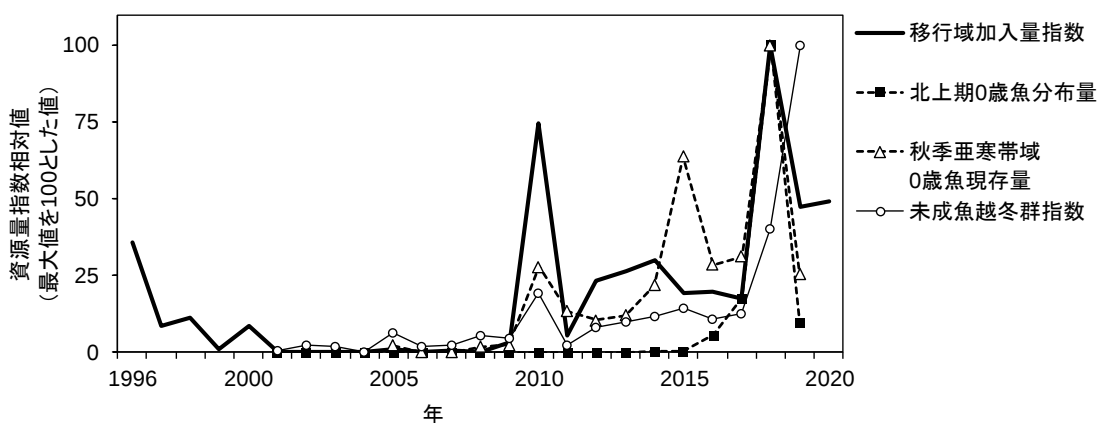


図 4-2. 加入量の指標となる資源量指数の推移 各指数については補足資料 3 を参照。
未成魚越冬群指数は前年の加入量と対応するので 1 年ずらし、2002 年以降を示した。2018 年以降の移行域加入量指数は、前年までと調査時期が異なるため比較には注意が必要。

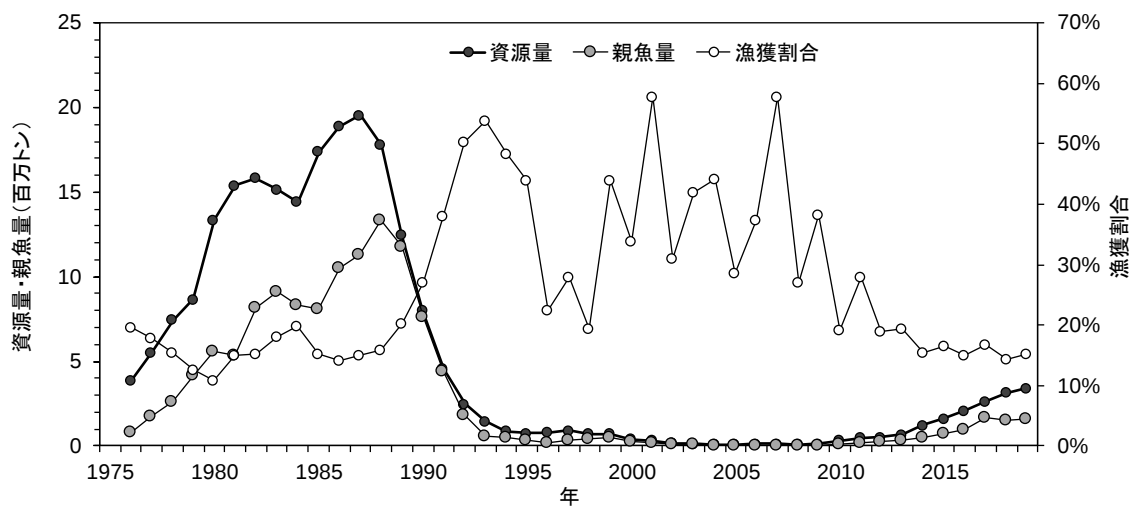


図 4-3. 資源量、親魚量および漁獲割合の推移

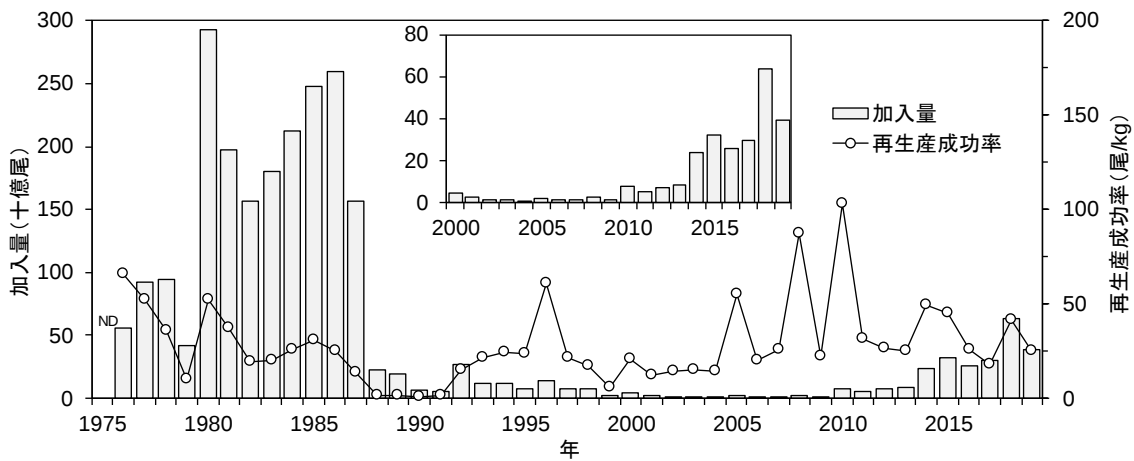


図 4-4. 加入量および再生産成功率（RPS）の推移

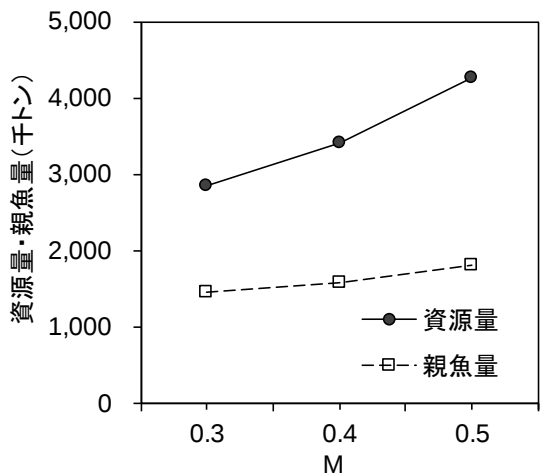


図 4-5. 自然死亡率 M と資源量、親魚量の関係 M の変化に対する 2019 年の推定値の感度解析。

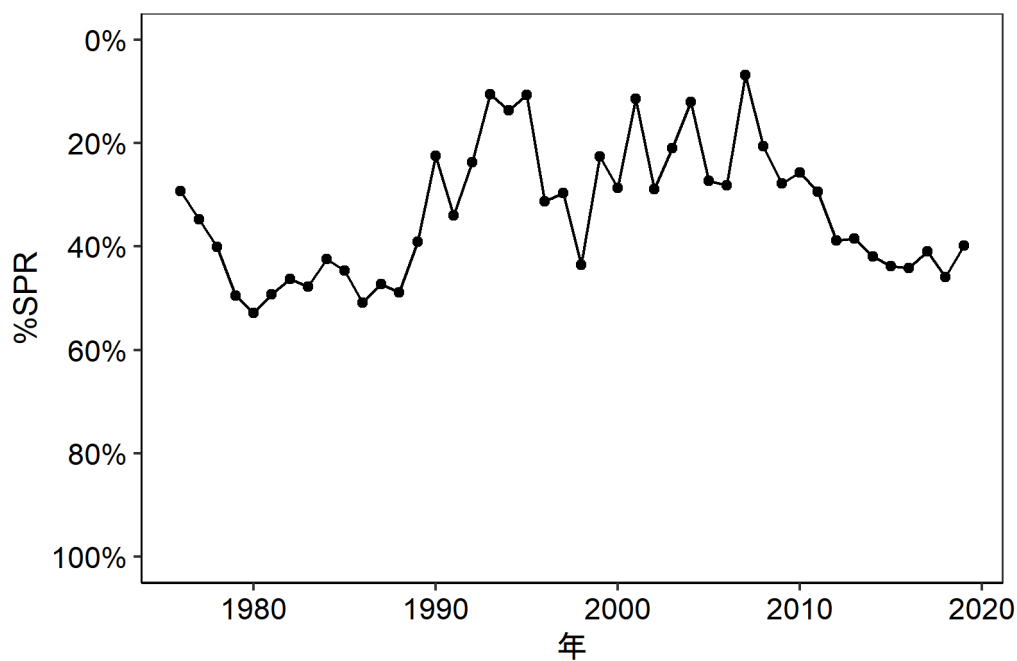


図 4-6. %SPR 値の推移
%SPR は、漁獲がないときの親魚量に対する漁獲があるときの親魚量の割合を示し、F が高い（低い）と %SPR は小さく（大きく）なる。

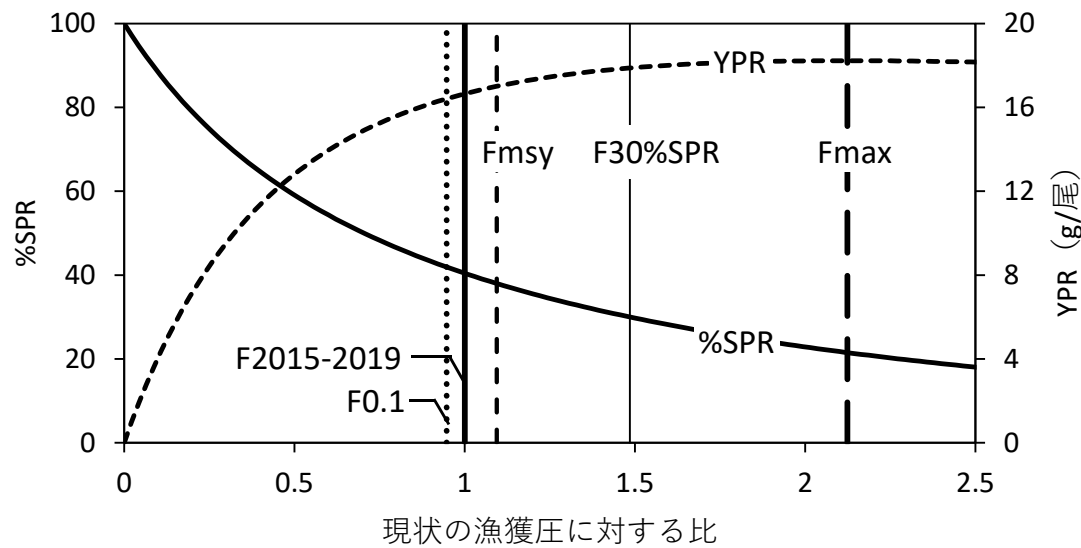
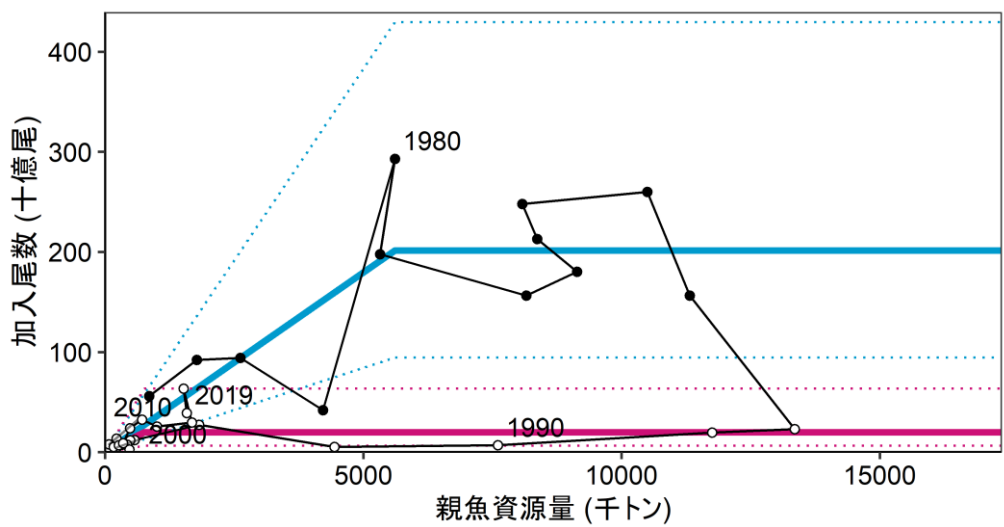


図 4-7. 現状の漁獲圧（F2015-2019）に対する YPR と %SPR の関係



上図の拡大

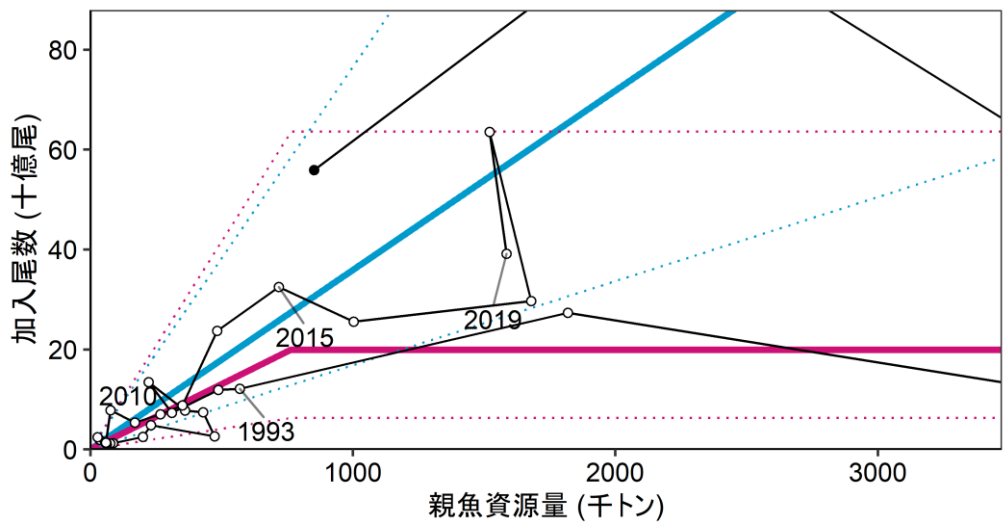
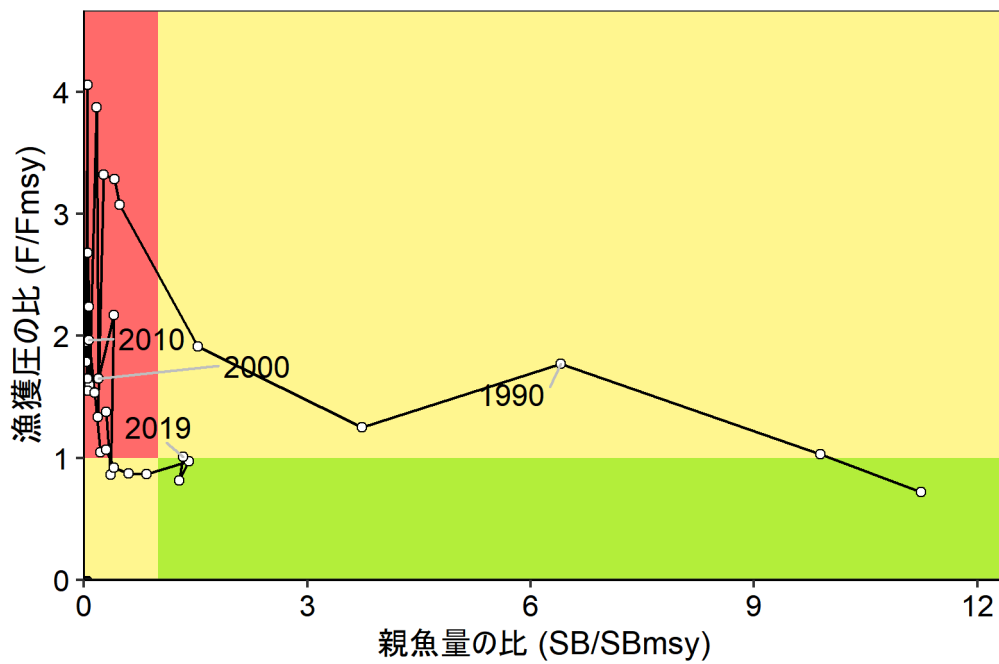


図 4-8. 親魚量と加入量の関係（再生産関係） 令和 2 年 3 月に開催された「管理基準値等に関する研究期間会議」（古市ほか 2020a）で提案された再生産関係式
青線は高加入期（1976～1987 年）の再生産関係、赤線は通常加入期（1988～2018 年）の再生産関係である。丸印は実測データ（1976～2019 年）であり、黒丸は高加入期、白丸は通常加入期の値を示す。再生産関係式の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。図中の数字は年級群を示す。



上図の拡大

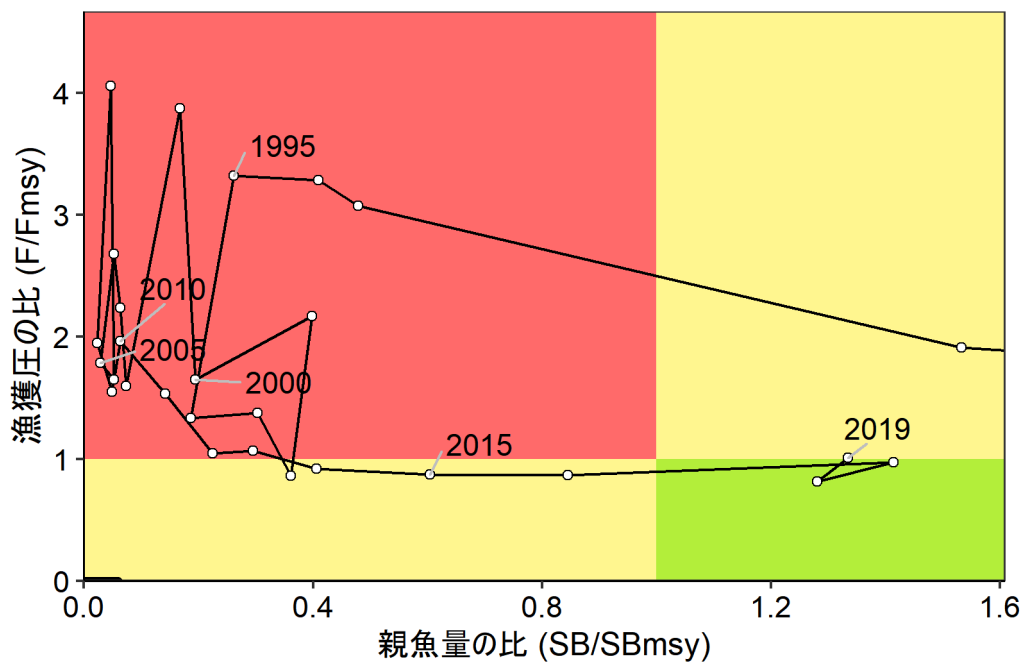


図 4-9. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SB_{msy}) と MSY を実現する漁獲圧 (F_{msy}) に対する、過去の親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)

表 3-1. 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)
	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
1977	991	934	56	5,553	1,774	923	17.8	52.0
1978	1,149	975	174	7,440	2,620	942	15.5	36.0
1979	1,089	933	156	8,647	4,219	419	12.6	9.9
1980	1,445	1,286	159	13,366	5,613	2,930	10.8	52.2
1981	2,296	2,129	167	15,415	5,325	1,978	14.9	37.1
1982	2,419	2,158	261	15,830	8,158	1,562	15.3	19.2
1983	2,725	2,539	186	15,151	9,140	1,802	18.0	19.7
1984	2,870	2,589	281	14,419	8,368	2,128	19.9	25.4
1985	2,644	2,397	247	17,392	8,079	2,479	15.2	30.7
1986	2,685	2,471	214	18,881	10,499	2,600	14.2	24.8
1987	2,916	2,696	220	19,542	11,322	1,565	14.9	13.8
1988	2,838	2,593	244	17,774	13,355	228	16.0	1.7
1989	2,524	2,280	243	12,507	11,754	194	20.2	1.7
1990	2,162	1,916	246	7,981	7,609	69	27.1	0.9
1991	1,724	1,544	180	4,546	4,440	53	37.9	1.2
1992	1,240	1,089	152	2,465	1,819	273	50.3	15.0
1993	791	675	116	1,467	569	121	53.9	21.3
1994	425	357	68	879	487	119	48.3	24.4
1995	332	277	55	756	310	73	43.9	23.6
1996	181	150	31	805	221	134	22.5	60.7
1997	255	228	27	916	360	78	27.9	21.6
1998	142	124	18	727	429	74	19.5	17.2
1999	308	281	27	701	473	26	43.9	5.4
2000	139	122	17	411	231	48	33.8	21.0
2001	177	162	15	305	199	25	57.9	12.4
2002	49	43	6	157	87	12	31.1	14.1
2003	51	46	5	121	75	11	42.0	15.0
2004	48	41	7	109	63	9	44.1	14.3
2005	25	16	9	87	35	19	28.6	55.4
2006	49	40	10	131	62	12	37.4	20.1
2007	65	42	23	112	56	14	57.9	25.4
2008	27	18	9	99	28	24	27.1	87.4
2009	49	46	3	129	59	13	38.2	22.3
2010	65	62	3	338	76	78	19.1	103.2
2011	132	122	10	471	169	53	28.0	31.6
2012	102	92	9	534	266	70	19.0	26.4
2013	130	124	6	666	351	88	19.5	25.1
2014	186	172	14	1,211	483	237	15.4	49.2
2015	270	175	95	1,635	718	325	16.5	45.2
2016	316	278	38	2,100	1,003	255	15.0	25.5
2017	446	423	23	2,647	1,680	297	16.8	17.7
2018	452	430	22	3,137	1,521	635	14.4	41.8
2019	521	495	26	3,415	1,585	391	15.3	24.7

表 4-1. 産卵量（兆粒） 前年 10 月から 9 月までの集計値（2020 年は 5 月までの暫定値）。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。

	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	2020	
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>1,354</u>	<u>1,804</u>	<u>682</u>	
I～IV 区	84	118	75	120	192	245	426	228	347	531	1,378	1,892	723	

表 4-2. 移行域幼稚魚調査（5～6 月）による移行域加入量指数

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
移行域	187.4	45.0	60.1	6.1	45.7	0.1	0.8	0.1	0.6	5.0
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
加入量指数	0.4	3.2	1.2	16.8	391.4	28.8	123.2	139.1	158.0	101.5
	2016	2017	2018	2019	2020					
	102.6	91.9	524.8	248.1	257.1					

表 4-3. 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			

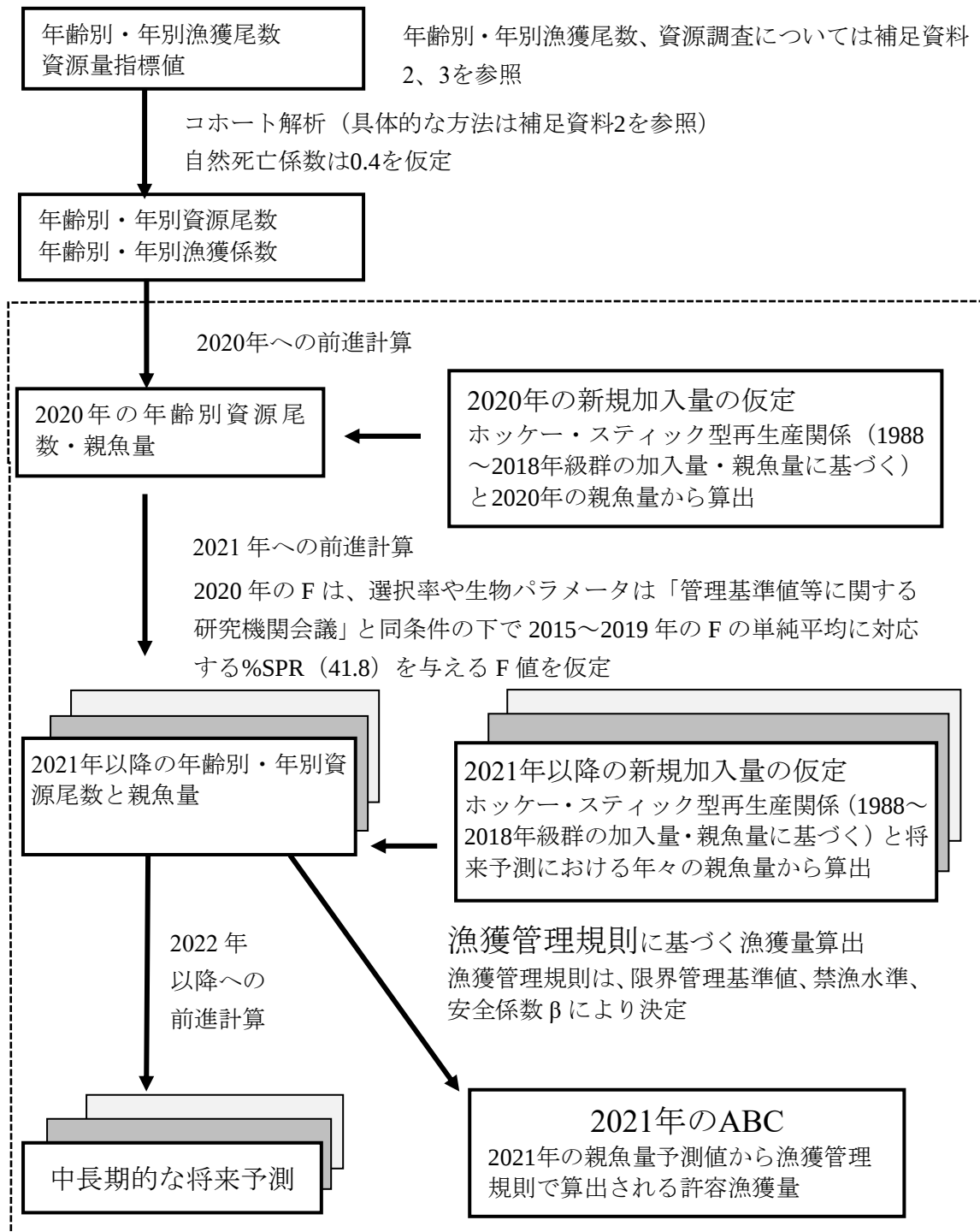
表 4-4. 北太平洋秋季浮魚類資源調査（9～10 月）による秋季亜寒帯域 0 歳魚現存量（百万尾）および分布密度（尾/km²） 下線太字の値はコホート解析のチューニングに用いた値。

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
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>
分布密度	1,284	62	70	1,236	1,792	19,645	9,199	5,569	7,765
	2014	2015	2016	2017	2018	2019			
現存量	<u>11,892</u>	<u>34,764</u>	<u>15,551</u>	<u>17,092</u>	<u>54,528</u>	<u>13,870</u>			
分布密度	13,140	32,159	22,002	14,098	98,409	23,183			

表 4-5. 未成魚越冬群指数（千葉水総研、茨城水試） 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。

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
	7,592	4,109	16,840	11,653	2,853	53,698	41,207	6,740	50,085
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
	41,197	62,928	42,986	39,659	1,588	5,944	224	30	30,541
未成魚	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
越冬群指数	5,802	5,054	239	8,481	1,136	5,763	0	8,480	122
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
	404	342	28	<u>1,093</u>	<u>371</u>	<u>385</u>	<u>921</u>	<u>780</u>	<u>3,374</u>
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	<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>	<u>17,329</u>

補足資料 1. 資源評価の流れ



※ 点線枠内は資源管理方針に関する検討会における管理基準値や漁獲管理規則等の議論をふまえて決定される。（https://www.jfa.maff.go.jp/j/press/sigen/200529_29.html）

補足資料 2. 計算方法

(1) 資源計算方法

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 (結果は補足表 2-1 に示す)。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 2019 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。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）等の指摘がされており、選択率が安定しているという仮定をおかず、2019 年の 0～4 歳の F の値をそれぞれ探索的に推定している。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 2-2）。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 年以降とした（未成年越冬群指数は 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 2005～2019 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 2006～2020 年の未成年越冬群指数（千葉水総研、茨城水試、 I_2)・1 歳魚資源量 (B_1)
- ③ 2005～2020 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。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。これにより、トレードオフがある程度解消された。

$$(1 - \lambda) \sum_{k=1}^3 \sum_y [\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})]^2 + \lambda \left[(1 - \eta) \sum_{a=1}^4 F_{a,2019}^2 + \eta F_{0,2019}^2 \right] \quad (7)$$

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 ρ) は、最新の資源評価の最終年 Y までの (2019 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 $\pm 20\%$ ($\rho = \pm 0.2$) 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 0.93、 η は 0.99 となった。そのときのパラメータの推定値は、 $F_{0,2019} = 0.05$ 、 $F_{1,2019} = 0.12$ 、 $F_{2,2019} = 0.81$ 、 $F_{3,2019} = 0.32$ 、 $F_{4,2019} = F_{5+,2019} = 0.20$ 、 $q_1 = 0.13$ 、 $q_2 = 38.2$ 、 $q_3 = 0.41$ 、 $b_1 = 1.17$ 、 $b_2 = 0.68$ 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 2-1)。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 10,000 回繰り返し、信頼区間を求めた。2019 年のそれぞれの推定値の 90%信頼区間は、加入量 (億尾) [149, 1,094]、資源量 (千トン) [2,426, 6,986]、親魚量 (千トン) [1,161, 3,219]、 F_0 [0.02, 0.14]、 F_1 [0.05, 0.36]、 F_2 [0.21, 1.54]、 F_3 [0.10, 1.16]、 F_4 [0.07, 0.82] であった。

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. 日本水誌, **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.

補足表 2-1. 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
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 2-1. コホート解析結果の詳細（つづき）

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 2-1. コホート解析結果の詳細 (つづき)

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 2-1. コホート解析結果の詳細 (つづき)

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%	27.1%	38.2%	19.1%	28.0%
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	1.03	0.93	1.01	0.55
2歳	0.67	0.57	0.31	0.62	1.35	0.50	0.59	1.42	0.68
3歳	0.94	0.16	0.83	0.83	0.91	0.39	0.33	0.84	0.42
4歳	0.92	0.33	2.45	1.24	1.01	0.32	0.30	0.78	1.51
5歳以上	0.92	0.33	2.45	1.24	1.01	0.32	0.30	0.78	1.51
単純平均	0.77	0.59	1.13	0.81	1.12	0.47	0.43	0.81	0.81
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	2,427	1,309	7,838	5,335
1歳	798	636	293	1,074	691	338	1,251	779	5,083
2歳	317	199	100	114	340	112	80	331	190
3歳	146	108	76	49	41	59	45	30	53
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	2,512	2,951	2,720	9,016	10,681
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	233	163
1歳	49	43	12	87	37	19	85	59	279
2歳	25	20	9	9	31	9	8	38	21
3歳	16	13	8	6	4	7	5	3	7
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	338	471
親魚量	75	63	35	62	56	28	59	76	169
RPS	15.0	14.3	55.4	20.1	25.4	87.4	22.3	103.2	31.6
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

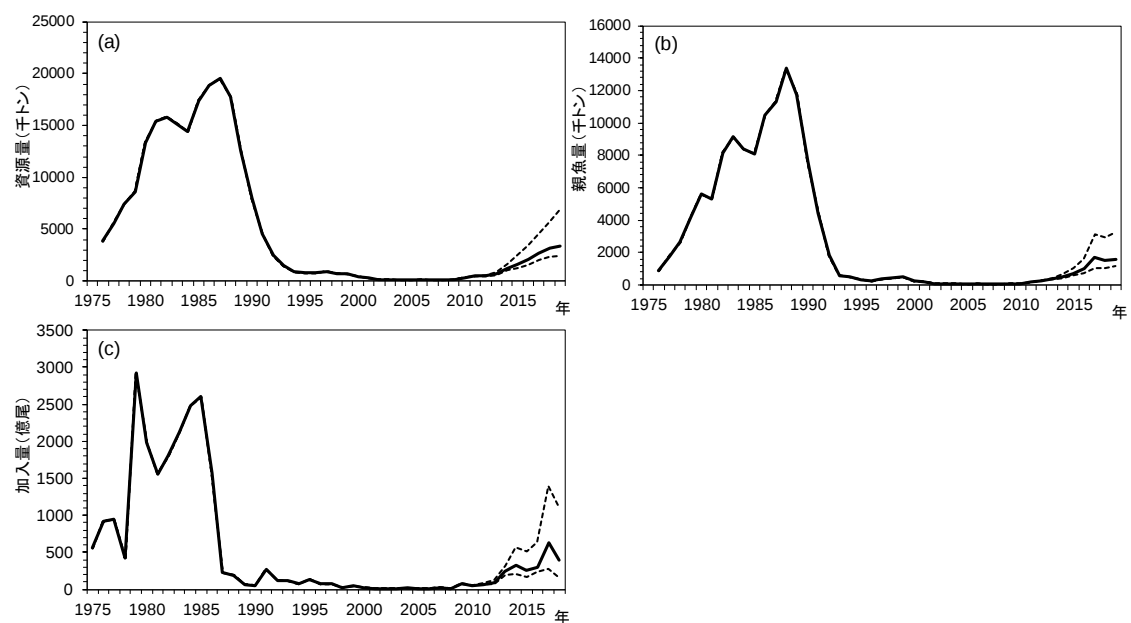
補足表 2-1. コホート解析結果の詳細 (つづき)

年齢別漁獲尾数 (百万尾)								
年齢\年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	515	330	2,554	4,523	4,036	6,088	6,096	1,569
1歳	612	813	567	2,783	1,897	1,378	2,236	3,374
2歳	570	544	483	398	1,252	1,402	1,545	3,698
3歳	25	240	297	211	345	1,078	892	950
4歳	4	8	83	42	138	268	348	479
5歳以上	1	5	3	65	30	86	130	155
計	1,727	1,939	3,987	8,022	7,698	10,299	11,247	10,226
年齢別漁獲量 (千トン)								
年齢\年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	13.6	7.4	62.0	89.1	75.8	83.0	108.1	25.4
1歳	34.2	44.6	30.8	111.8	81.1	70.2	91.9	134.1
2歳	50.2	48.9	47.0	34.9	99.1	129.0	112.8	212.2
3歳	3.0	26.9	35.4	22.1	38.7	116.4	83.8	82.5
4歳	0.6	1.0	10.5	5.0	16.9	35.0	38.0	48.7
5歳以上	0.1	0.8	0.5	7.6	4.2	12.3	17.1	18.4
計	102	130	186	270	316	446	452	521
漁獲割合	19.0%	19.5%	15.4%	16.5%	15.0%	16.8%	14.4%	15.3%
年齢別漁獲係数 (F)								
年齢\年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	0.09	0.05	0.14	0.19	0.21	0.29	0.12	0.05
1歳	0.29	0.26	0.13	0.28	0.14	0.13	0.20	0.12
2歳	0.44	0.60	0.31	0.16	0.25	0.18	0.26	0.81
3歳	0.64	0.42	1.09	0.27	0.25	0.45	0.20	0.32
4歳	0.26	0.51	0.32	0.55	0.36	0.40	0.32	0.20
5歳以上	0.26	0.51	0.32	0.55	0.36	0.40	0.32	0.20
単純平均	0.33	0.39	0.39	0.33	0.26	0.31	0.24	0.28
年齢別資源尾数 (百万尾)								
年齢\年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	7,031	8,796	23,717	32,462	25,546	29,679	63,514	39,147
1歳	2,954	4,292	5,626	13,807	18,057	13,820	14,910	37,584
2歳	1,959	1,479	2,212	3,306	6,976	10,551	8,136	8,163
3歳	65	846	545	1,087	1,891	3,651	5,925	4,189
4歳	24	23	371	123	556	985	1,565	3,241
5歳以上	3	14	15	188	121	316	582	1,048
計	12,035	15,449	32,485	50,973	53,146	59,001	94,631	93,372
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	2019
0歳	185	197	576	640	480	404	1,126	635
1歳	165	236	305	555	772	704	613	1,494
2歳	173	133	215	290	552	971	594	468
3歳	8	95	65	114	212	394	557	364
4歳	3	3	47	15	68	129	171	330
5歳以上	1	2	2	22	17	45	77	124
計	534	666	1,211	1,635	2,100	2,647	3,137	3,415
親魚量	266	351	483	718	1,003	1,680	1,521	1,585
RPS	26.4	25.1	49.2	45.2	25.5	17.7	41.8	24.7
年齢別平均体重 (g)								
年齢\年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	26	22	24	20	19	14	18	16
1歳	56	55	54	40	43	51	41	40
2歳	88	90	97	88	79	92	73	57
3歳	119	112	119	105	112	108	94	87
4歳	128	128	127	118	122	130	109	102
5歳以上	175	181	162	117	139	143	132	119

補足表 2-2. 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	2020
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	13,870.3	
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	17,329.1
③ 潮岬以東海域産卵量 (海区Ⅰ・Ⅱ)	133.9	306.3	146.1	240.6	451.6	1,354.2	1,803.8	681.5



補足図 2-1. (a)資源量、(b)親魚量、(c)加入量の推定値と 90%信頼区間 実線が推定値、破線が 90%信頼区間を示す。

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) 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、コード目合 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、コード目合 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、コード目合 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。

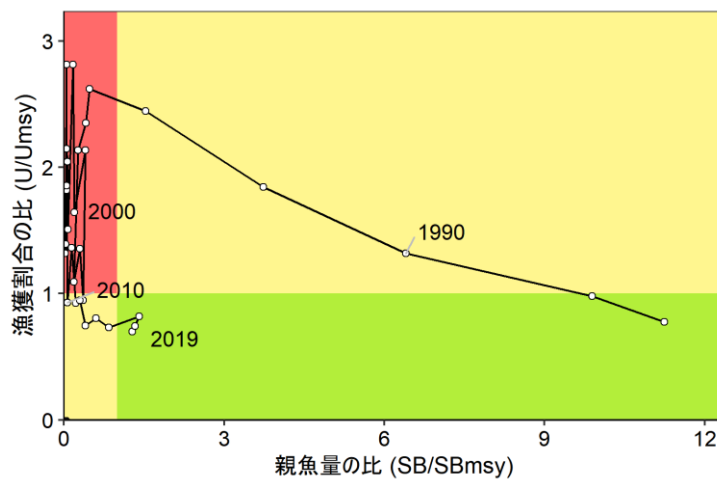
引用文献

- 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.

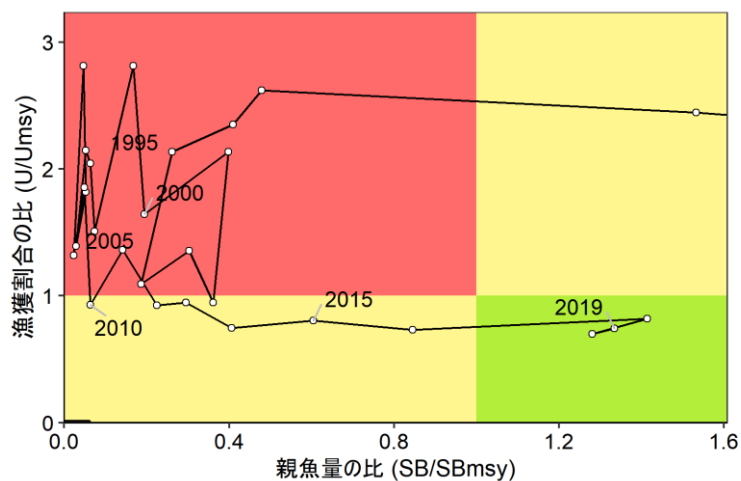
補足資料 4. 漁獲割合に基づく神戸プロット

親魚量(SB)と漁獲割合(U)を基準にした神戸プロットを下図に示す。本系群における漁獲割合は、2012 年以降において MSY を実現する水準(Umsy)より低くなっている。それに伴い親魚量は増加しており、2017 年以降において親魚量は MSY を実現する水準(SBmsy)を上回っている。

項目	値	説明
SBmsy	1,187 千トン	最大持続生産量(MSY)を実現する親魚量
Umsy	20.6%	最大持続生産量(MSY)を実現する漁獲割合
U2019	15.3%	2019 年の漁獲割合
U2019/ Umsy	0.74	最大持続生産量(MSY)を実現する漁獲割合に対する 2019 年の漁獲割合の比



上図の拡大



補足図 4-1. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy) と漁獲割合 (Umsy) に対する、過去の親魚量と漁獲割合の関係 (神戸プロット)

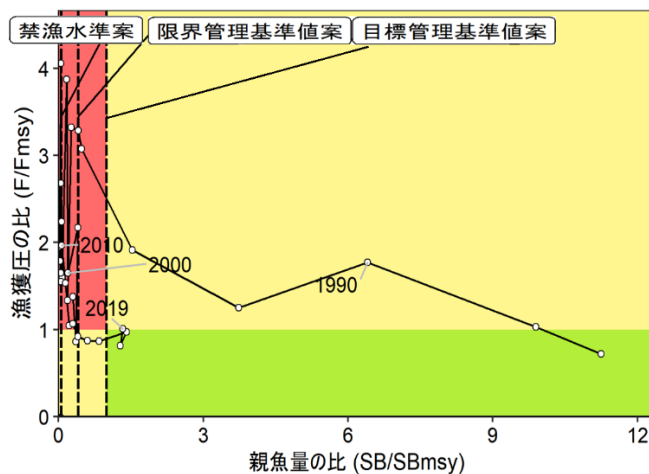
補足資料 5. 管理基準値案と禁漁水準案等

本系群の管理基準値案や禁漁水準案について以下に示す。

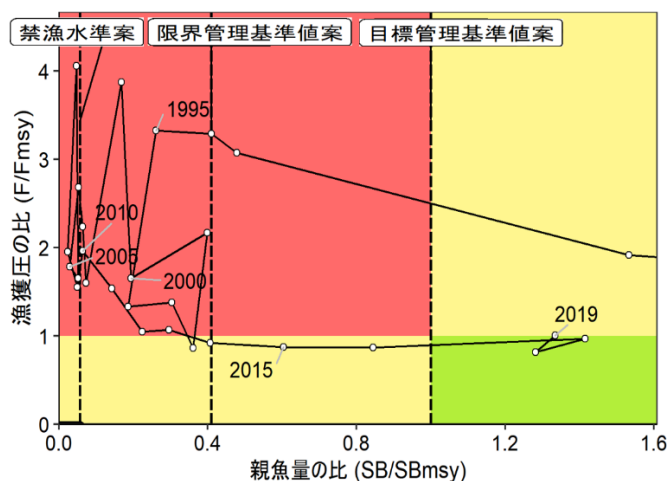
項目	値	説明
SBtarget 案	1,187 千トン	最大持続生産量(MSY)を実現する親魚量(SBmsy)
SBlimit 案	487 千トン	MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量(SB0.6msy)
SBban 案	69 千トン	MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量(SB0.1msy)

令和 2 年 3 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」により、目標管理基準値(SBtarget)には MSY を実現する親魚量(SBmsy:1,187 千トン)、限界管理基準値(SBlimit)には MSY の 60%が得られる親魚量(SB0.6msy:487 千トン)、禁漁水準(SBban)には MSY の 10%が得られる親魚量(SB0.1msy:69 千トン)を用いることが提案されている。

目標管理基準値案と、MSY を実現する漁獲圧(Fmsy)を基準にした神戸プロットを補足図 5-1 に示す。コホート解析により得られた 2019 年の親魚量(SB2019:1,585 千トン)は目標管理基準値案を上回る。本系群における漁獲圧は、2014 年以降 MSY を実現する漁獲圧を下回っていたが、2019 年は同程度と判断される。



上図の拡大



補足図 5-1. 管理基準値案と親魚量・漁獲圧との関係 (神戸プロット)

補足資料 6. 漁獲管理規則案に対応した将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した 2019 年の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2020～2051 年までの将来予測計算を行った（補足資料 7）。将来予測における加入量は、各年の親魚量から予測される値を再生産関係式から与えた。加入量の不確実性として、対数正規分布に従う誤差を仮定し、10,000 回の繰り返し計算を行った。また、手法の妥当性や再生産関係を誤っていた場合の不確実性の検討が不十分であるが、直近の加入の良好な傾向を反映させた場合の将来予測についても計算を行い、補足資料 8 に記載した。

2020 年の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2015-2019）から仮定した。現状の漁獲圧は、管理基準値案を算出した時と同じ選択率や生物パラメータ（平均体重等）の条件下で、今年度評価における 2015～2019 年の漁獲圧に対応する %SPR を与える F 値とした。2021 年以降の漁獲圧には、各年に予測される親魚量をもとに下記の漁獲管理規則案で定められる漁獲圧を用いた。

(2) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則案は、目標管理基準値案以上に親魚量を維持・回復する達成確率を勘案して、親魚量に対応した漁獲圧（F）等を定める漁獲シナリオ案である。「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」では、親魚量が限界管理基準値案を下回った場合には禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を削減するとともに、親魚量が限界管理基準値以上にある場合には F_{msy} に安全係数 β を乗じた値を漁獲圧の上限とするものを提示している。補足図 6-1 に本系群の「管理基準値等に関する研究機関会議」により提案された漁獲管理規則を示す。ここでは例として安全係数 β を 0.8 とした場合を示した。なお、研究機関会議提案では、高加入期に移行していた場合や再生産関係が期間によって明確に分かれておらず全期間を通じて一つであった場合などの不確実性を考慮した結果、 β は標準値の 0.8 が望ましいとされている。

(3) 2021 年の予測値

漁獲管理規則案に基づき試算された 2021 年の平均漁獲量は β を 0.8 とした場合には 698 千トン、 β を 1.0 とした場合には 841 千トンであった。2021 年に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも限界管理基準値を上回り、平均 2,882 千トンと見込まれた（補足表 6-2）。

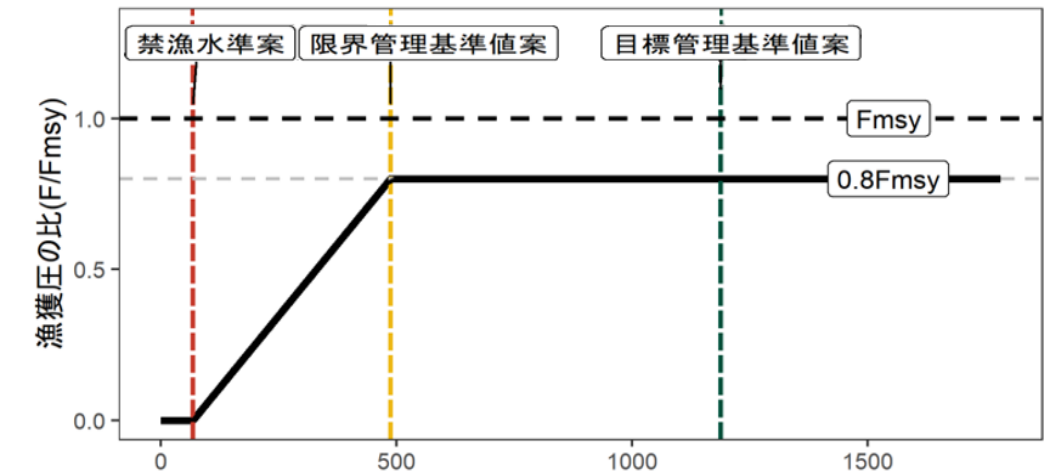
2021 年の親魚量（予測平均値）：2,882 千トン			
項目	2021 年の 漁獲量 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2015-2019)	2021 年の 漁獲割合 (%)
漁獲管理規則案にて研究機関会議が提案した β を使用した場合			
$\beta=0.8$	698	0.85	19
その他の方策（漁獲管理規則案にて異なる β を使用した場合）			
$\beta=1.0$	841	1.07	23
$\beta=0.9$	771	0.96	21
$\beta=0.7$	622	0.75	17
$\beta=0.6$	544	0.64	15
$\beta=0$	0	0	0
F2015-2019	797	1.00	22

(4) 2022 年以降の予測

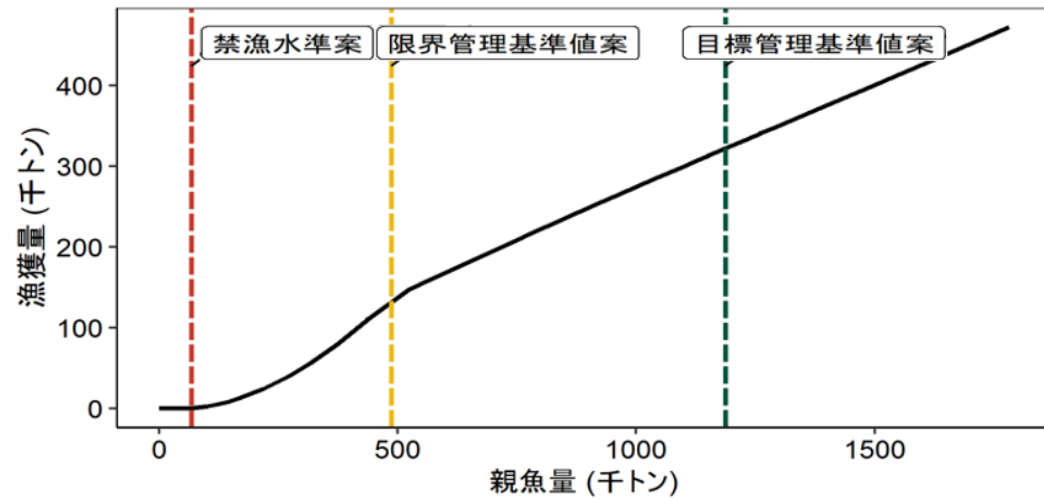
2022 年以降も含めた将来予測の結果を補足図 6-2 および補足表 6-1、6-2 に示す。漁獲管理規則案に基づく管理を 10 年間継続した場合、2031 年の親魚量の予測値は β を 0.8 とした場合には 1,416 千トン（80%信頼区間は 839 千～2,118 千トン）であり、 β を 1.0 とした場合には 1,209 千トン（80%信頼区間は 688 千～1,840 千トン）である。予測値が目標管理基準値案を上回る確率は、 β が 0.9 以下で 50%を上回る。限界管理基準値案を上回る確率は、 β が 1 で 98%、 β が 0.9 で 99%、それ以外で 100%であった。現状の漁獲圧（F2015-2019）を継続した場合の 2031 年の親魚量の予測値は 1,271 千トン（80%信頼区間は 732 千～1,930 千トン）であり目標管理基準値案を上回る確率は 48%、限界管理基準値案を上回る確率は 99%である。

考慮している不確実性： 加入量					
項目	2031 年 の親魚量 (千トン)	80% 信頼区間 (千トン)	2031 年に親魚量が以下の 管理基準値を上回る確率(%)		
			SBtarget 案	SBlimit 案	SBban 案
漁獲管理規則案にて研究機関会議が提案した β を使用した場合					
$\beta=0.8$	1,416	839-2,118	60	100	100
その他の方策（漁獲管理規則案にて異なる β を使用した場合）					
$\beta=1.0$	1,209	688-1,840	43	98	100
$\beta=0.9$	1,309	761-1,978	51	99	100
$\beta=0.7$	1,533	924-2,278	70	100	100
$\beta=0.6$	1,664	1,017-2,451	79	100	100
$\beta=0$	3,090	2,071-4,279	100	100	100
F2015-2019	1,271	732-1,930	48	99	100

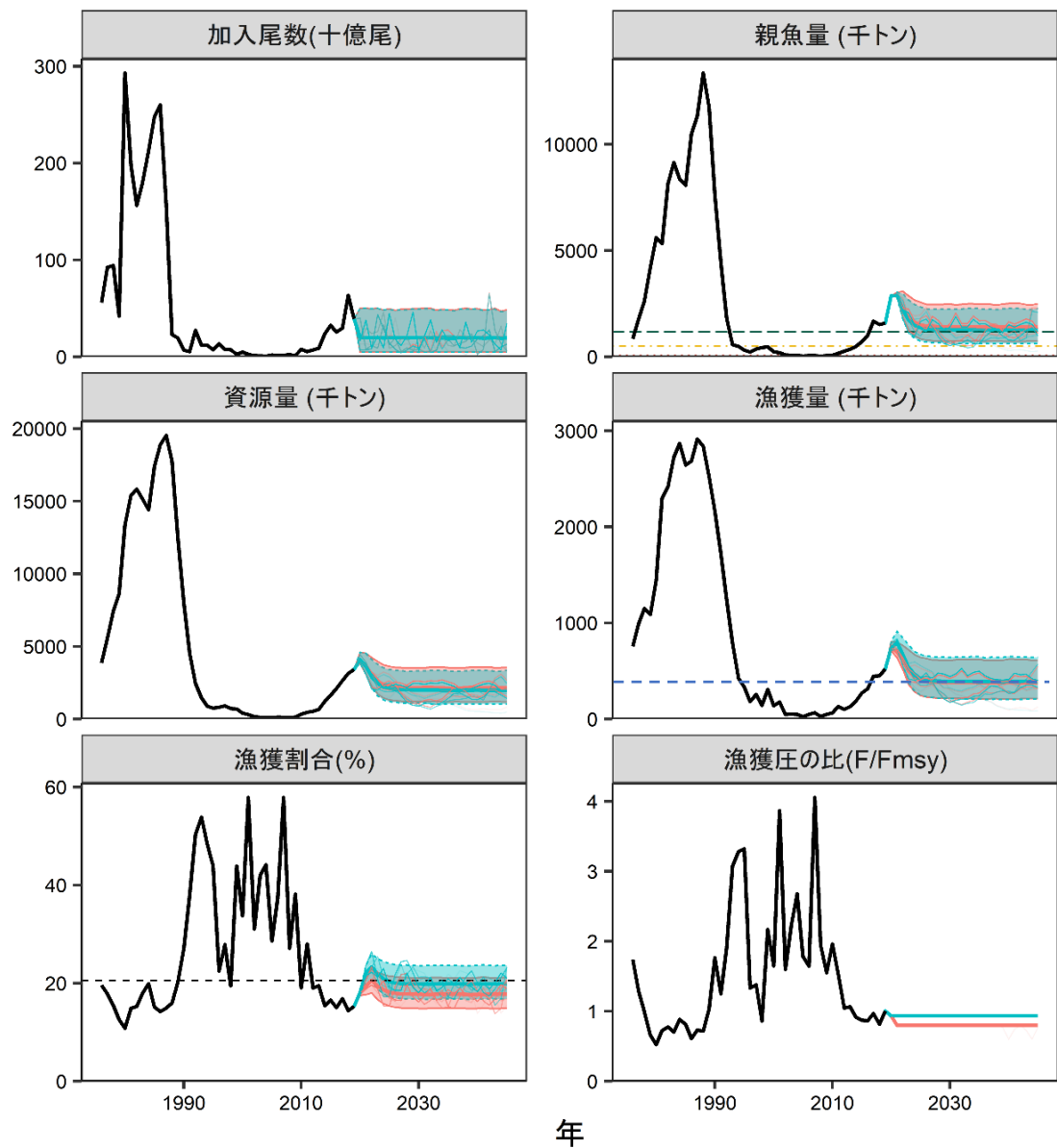
a)縦軸を漁獲圧にした場合



b)縦軸を漁獲量にした場合



補足図 6-1. 漁獲管理規則案



(塗り:5-95%予測区間, 太い実線: 平均値, 細い実線: シミュレーションの1例)

補足図 6-2. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測(赤色)と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測(緑色)

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄点線は限界管理基準値案を示す。漁獲量の図の破線は MSY を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。安全係数 β には 0.8 を用いた。

補足表 6-1. 将来の親魚量が目標・限界管理基準値案を上回る確率

a) 目標管理基準値案を上回る確率

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041
1.0	100	100	100	89	62	51	47	45	45	44	43	43	43
0.9	100	100	100	95	71	60	55	53	53	52	51	51	51
0.8	100	100	100	98	80	70	64	62	62	61	60	60	60
0.7	100	100	100	100	88	78	74	72	71	70	69	70	69
0.6	100	100	100	100	94	86	82	80	80	79	78	79	78
0.5	100	100	100	100	98	92	90	88	87	86	86	86	85
0.4	100	100	100	100	100	97	95	94	93	93	93	93	92
0.3	100	100	100	100	100	99	98	98	97	97	97	97	96
0.2	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99	99
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

b) 限界管理基準値案を上回る確率

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041
1.0	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	98	98	98
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足表 6-2. 将来の親魚量および漁獲量の平均値の推移

a) 親魚量の平均値の推移

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041
1.0	2,876	2,882	2,136	1,655	1,416	1,305	1,253	1,237	1,226	1,218	1,210	1,209	1,205
0.9	2,876	2,882	2,205	1,754	1,519	1,403	1,348	1,332	1,321	1,315	1,308	1,309	1,308
0.8	2,876	2,882	2,276	1,861	1,631	1,512	1,454	1,437	1,426	1,421	1,414	1,416	1,418
0.7	2,876	2,882	2,350	1,975	1,755	1,634	1,572	1,553	1,543	1,537	1,531	1,533	1,537
0.6	2,876	2,882	2,427	2,098	1,891	1,771	1,707	1,686	1,674	1,668	1,662	1,664	1,668
0.5	2,876	2,882	2,506	2,230	2,042	1,925	1,860	1,837	1,824	1,818	1,811	1,814	1,818
0.4	2,876	2,882	2,589	2,372	2,209	2,100	2,035	2,013	1,998	1,991	1,984	1,986	1,990
0.3	2,876	2,882	2,676	2,526	2,394	2,298	2,238	2,217	2,202	2,195	2,187	2,189	2,193
0.2	2,876	2,882	2,765	2,691	2,600	2,523	2,473	2,456	2,444	2,438	2,430	2,432	2,436
0.1	2,876	2,882	2,858	2,869	2,829	2,780	2,746	2,739	2,732	2,729	2,723	2,727	2,732

b) 漁獲量の平均値の推移

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041
1.0	742	841	693	539	462	427	411	404	401	398	397	396	394
0.9	742	771	656	521	452	418	403	396	394	392	391	391	389
0.8	742	698	613	499	437	405	391	384	382	381	380	380	380
0.7	742	622	564	470	417	389	375	369	367	365	365	365	365
0.6	742	544	509	435	392	366	354	348	346	345	344	344	345
0.5	742	462	446	392	358	337	327	321	319	318	318	318	318
0.4	742	377	376	340	316	300	291	286	285	283	283	283	283
0.3	742	288	298	276	261	250	245	241	240	239	238	238	238
0.2	742	196	209	200	193	187	184	182	181	180	180	180	180
0.1	742	100	110	109	107	105	104	104	103	103	103	103	103

補足資料 7. 将来予測の方法

得られた資源量をもとに漁獲管理規則案に基づく将来予測を行った。2020 年漁期以降の加入量の予測については、令和 2 年 3 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において提案された通常加入期（1988～2018 年）のホッケ－・スティック型関係式（ $a=0.026$ 、 $b=764,050$ 、 $SD=0.705$ ）から推定される値を用いた（古市ほか 2020a）。なお、再生産関係のパラメータ推定に使用するデータは、令和元（2019）年度の資源評価（古市ほか 2020b）に基づく親魚量・加入量とし、最適化方法には最小二乗法を用いている。加入量の残差の自己相関を考慮していない。

将来予測における漁獲係数 F は、「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」における 1 系資源の管理規則に基づき算出される値を用いた。将来予測に用いたパラメータは補足表 7-1 に示す。選択率や漁獲物平均体重等の値には、上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」において提案された各種管理基準値の推定に用いた値を引き続き用いた。これらは再生産関係と同じく令和元（2019）年度の資源評価に基づく値であり、選択率および漁獲物平均体重はこの評価における将来予測で設定した値を使用した。2020 年の漁獲圧は現状の漁獲圧（ $F_{2015-2019}$ ）とした。

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法（（9）式）を用いた。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad \text{※} a < 4 \text{ の場合} \quad (9a)$$

$$N_{5+,y+1} = (N_{5+,y} + N_{4,y}) \exp(-F_{4,y} - M) \quad \text{※最高齢グループ} \quad (9b)$$

漁獲尾数は上記で求めた資源尾数と各漁獲シナリオから仮定される F 値をもとに（10）式により求めた。

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

引用文献

- 古市 生・由上龍嗣・上村泰洋・井須小羊子・渡部亮介 (2020a) 令和 2 (2020) 年度マイワシ太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書. 水産研究・教育機構, 1-46. FRA-SA2020-BPR01-1. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_maiwashi_p.pdf (last accessed 18 July 2020)
- 古市 生・由上龍嗣・上村泰洋・林 晃・井須小羊子・渡部亮介 (2020b) 令和元（2019）年度マイワシ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京.

補足図 7-1. 将来予測計算に用いたパラメータ

	選択率 (注 1)	Fmsy (注 2)	F2015-2019 (注 3)	平均体重 (g)	自然死亡 係数	成熟 割合
0 歳	0.36	0.18	0.17	16.7	0.4	0.0
1 歳	0.37	0.18	0.17	44.9	0.4	0.2
2 歳	0.49	0.24	0.23	81.4	0.4	1.0
3 歳	1.00	0.50	0.47	104.8	0.4	1.0
4 歳	1.00	0.50	0.47	120.5	0.4	1.0
5 歳以上	1.00	0.50	0.47	138.1	0.4	1.0

注 1： 令和 2 年度研究機関会議で MSY を実現する水準の推定の際に使用した選択率（すなわち、令和元年度資源評価での $F_{current}$ の選択率）。

注 2： 令和 2 年度研究機関会議で推定された F_{msy} （すなわち、令和元年度資源評価での $F_{current}$ に $F_{msy}/F_{current}$ を掛けたもの）。

注 3： 上記の選択率の下で、今回の資源評価で推定された 2015～2019 年の年齢別の平均 F と同じ漁獲圧を与える F 値を %SPR 換算して算出した。この F 値は 2020 年の漁獲量の仮定に使用した。

補足資料 8. 直近の加入量の良好な傾向を取り入れた場合の将来予測

2014 年以降の加入量が、通常加入期の再生産関係より高い値になっていることから、直近の良好な加入傾向を取り入れた場合の将来予測も試算した。ただし今回の結果は、手法の妥当性や再生産関係を誤っていた場合の不確実性の検討が不十分であるので、注意が必要である。加入量の不確実性として、将来の加入量を観測値と再生産関係式の残差のランダムなリサンプリングによって与え、この試行を 10,000 回繰り返し行った。直近の加入の良好な傾向を反映させるため、後ろ向きに時代を区切って残差のリサンプリングを行うバックワードリサンプリングを採用した。バックワードリサンプリングは以下のような手順で行われている（補足図 8-1）。

- ・将来予測の 1～5 年目：資源評価の最新 5 年分（2015～2019 年）の残差のみから重複を許したリサンプリングを行う
- ・将来予測の 6～10 年目：最新 5 年分（2015～2019 年）の残差、または、さらに過去に遡った 5 年分（2000～2014 年）の残差のどちらかをランダムに選択し、選ばれた方の 5 年分の残差を、重複を許してリサンプリングを行う。
- ・将来予測の 11 年目～：上記の手順のように 5 年ずつリサンプリングできる範囲を追加する。

加入量の不確実性に残差のバックワードリサンプリングを採用したこと以外は、補足資料 6 と同じ設定である。

● 2021 年の予測値

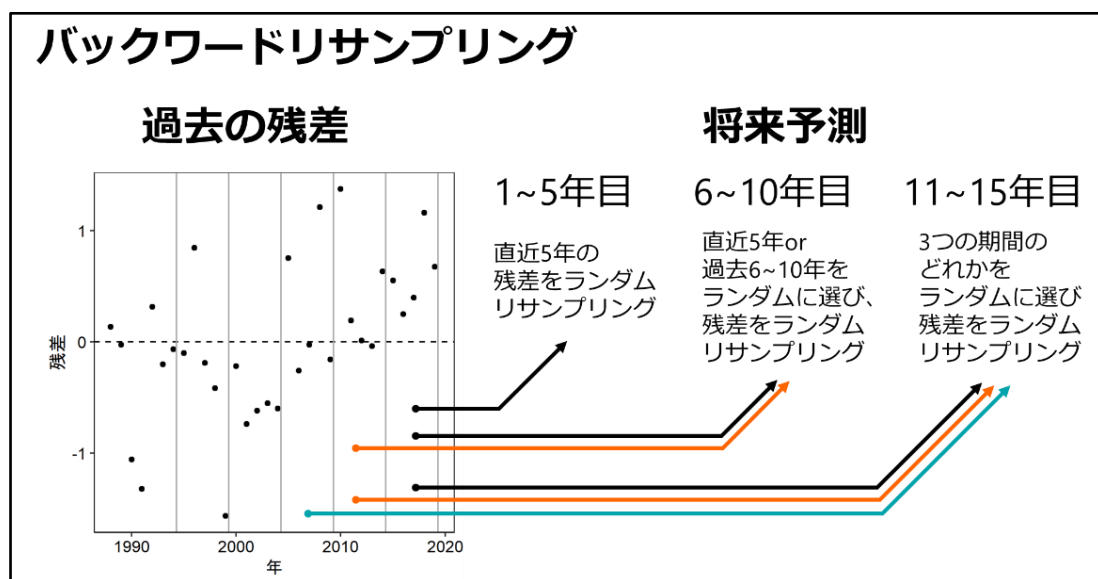
加入量の誤差に残差のバックワードリサンプリングを適用し、漁獲管理規則案に基づき試算された 2021 年の平均漁獲量は、 β を 0.8 とした場合には 747 千トン、 β を 1.0 とした場合には 901 千トンであった。2021 年に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも限界管理基準値案を上回り、平均 2,935 千トンと見込まれた（補足表 8-2）。

2021 年の親魚量（予測平均値）：2,935 千トン			
項目	2021 年の 漁獲量 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2015-2019)	2021 年の 漁獲割合 (%)
漁獲管理規則案にて研究機関会議が提案した β を使用した場合			
$\beta=0.8$	747	0.85	18
その他の方策（漁獲管理規則案にて異なる β を使用した場合）			
$\beta=1.0$	901	1.07	22
$\beta=0.9$	826	0.96	20
$\beta=0.7$	666	0.75	16
$\beta=0.6$	581	0.64	14
$\beta=0$	0	0	0
F2015-2019	853	1.00	21

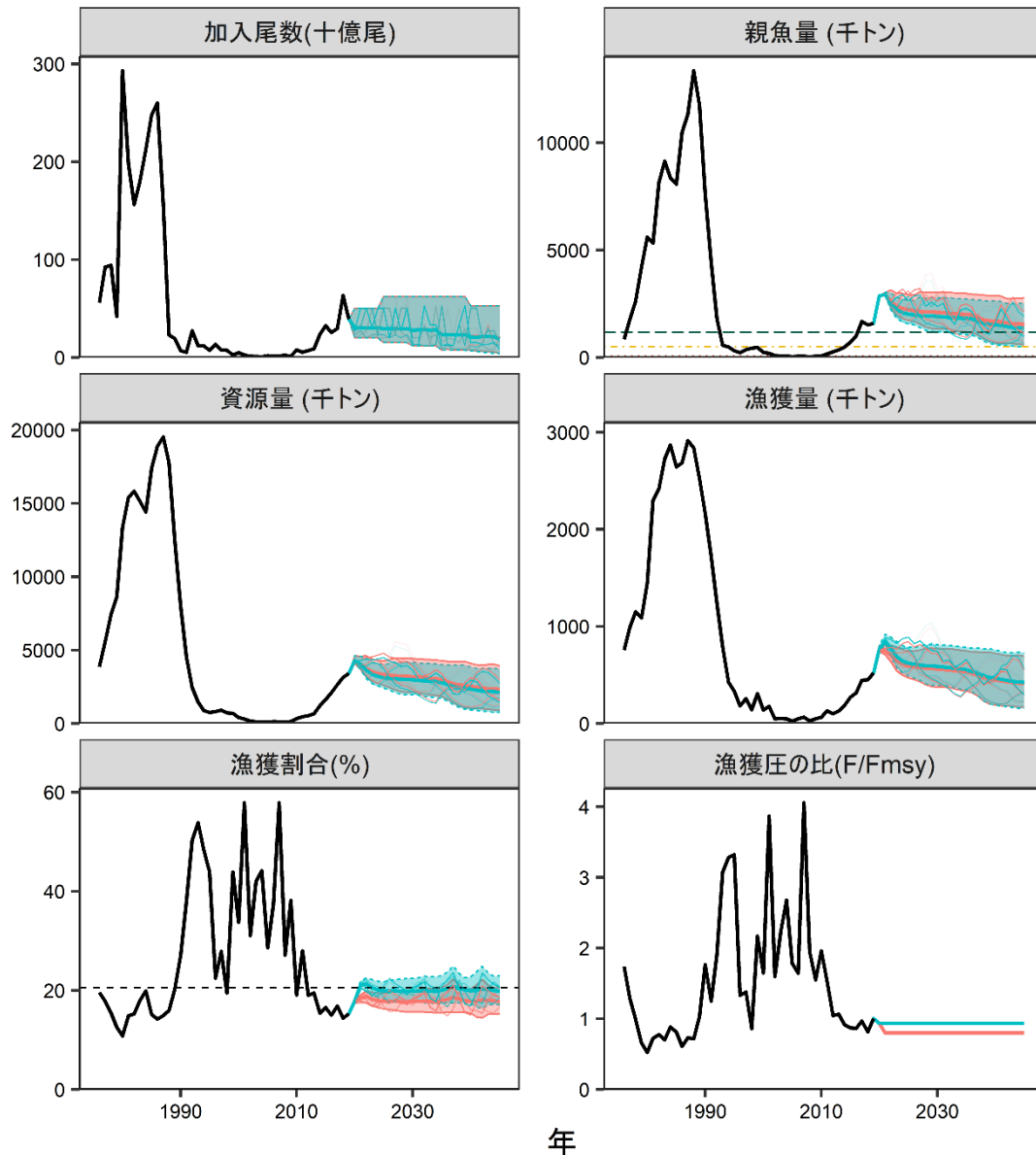
● 2022 年以降の予測

加入量の誤差に残差のバックワードリサンプリングを適用した場合の、2022 年以降も含めた将来予測の結果を補足図 8-2 および補足表 8-1、8-2 に示す。漁獲管理規則案に基づく管理を 10 年間継続した場合、2031 年の親魚量の予測値は β を 0.8 とした場合には 2,096 千トン（80%信頼区間は 1,460 千～2,795 千トン）であり、 β を 1.0 とした場合には 1,819 千トン（80%信頼区間は 1,248 千～2,459 千トン）である。直近の良好は加入を反映するバックワードリサンプリングを採用したので、 β が 1.0 の場合でも、50%以上の確率で予測値が目標管理基準値案を上回る。現状の漁獲圧（F2015-2019）を継続した場合の 2031 年の親魚量の予測値は 1,900 千トン（80%信頼区間は 1,310 千～2,559 千トン）であり目標管理基準値案を上回る確率は 95%、限界管理基準値案を上回る確率は 100%である。

考慮している不確実性： 加入量					
項目	2031 年 の親魚量 (千トン)	80% 信頼区間 (千トン)	2031 年に親魚量が以下の 管理基準値を上回る確率(%)		
			SBtarget 案	SBlimit 案	SBban 案
漁獲管理規則案にて研究機関会議が提案した β を使用した場合					
$\beta=0.8$	2,096	1,460-2,795	99	100	100
その他の方策（漁獲管理規則案にて異なる β を使用した場合）					
$\beta=1.0$	1,819	1,248-2,459	93	100	100
$\beta=0.9$	1,950	1,348-2,617	96	100	100
$\beta=0.7$	2,263	1,589-3,001	100	100	100
$\beta=0.6$	2,452	1,741-3,225	100	100	100
$\beta=0$	4,544	3,430-5,689	100	100	100
F2015-2019	1,900	1,310-2,559	95	100	100



補足図 8-1. 残差のバックワードリサンプリングの概念図



(塗り:5-95%予測区間, 太い実線: 平均値, 細い実線: シミュレーションの1例)

補足図 8-2. 加入量の誤差に残差のバックワードリサンプリングを適用した場合における、管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測(赤色)と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測(緑色) 太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の90%が含まれる90%予測区間、細線は3通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄点線は限界管理基準値案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。安全係数 β には0.8を用いた。

補足表 8-1. 将来の親魚量が目標・限界管理基準値案を上回る確率（加入量の誤差に残差のバックワードリサンプリングを適用した場合）

a) 目標管理基準値案を上回る確率

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	96	93	93	93	63
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	96	96	67
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	70
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	72
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	74
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	77
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	82
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

b) 限界管理基準値案を上回る確率

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足表 8-2. 将来の親魚量および漁獲量の平均値の推移（加入量の誤差に残差のバックワードリサンプリングを適用した場合）

a) 親魚量の平均値の推移

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041
1.0	2,876	2,935	2,458	2,157	2,003	1,932	1,899	1,863	1,847	1,839	1,826	1,819	1,434
0.9	2,876	2,935	2,533	2,275	2,136	2,068	2,035	1,997	1,980	1,972	1,958	1,950	1,545
0.8	2,876	2,935	2,610	2,401	2,281	2,219	2,187	2,148	2,129	2,120	2,105	2,096	1,667
0.7	2,876	2,935	2,690	2,536	2,439	2,386	2,357	2,318	2,298	2,288	2,272	2,263	1,804
0.6	2,876	2,935	2,773	2,680	2,613	2,571	2,548	2,510	2,491	2,480	2,463	2,452	1,958
0.5	2,876	2,935	2,859	2,834	2,802	2,779	2,764	2,730	2,711	2,700	2,682	2,671	2,137
0.4	2,876	2,935	2,949	2,999	3,011	3,011	3,010	2,982	2,965	2,955	2,936	2,925	2,346
0.3	2,876	2,935	3,042	3,176	3,240	3,272	3,291	3,273	3,262	3,254	3,236	3,224	2,595
0.2	2,876	2,935	3,138	3,366	3,493	3,566	3,613	3,611	3,610	3,608	3,592	3,581	2,896
0.1	2,876	2,935	3,238	3,569	3,772	3,899	3,984	4,007	4,023	4,030	4,020	4,013	3,268

b) 漁獲量の平均値の推移

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041
1.0	764	901	801	705	656	631	619	611	604	602	597	590	459
0.9	764	826	755	677	636	615	603	596	589	587	582	576	452
0.8	764	747	703	644	612	593	583	577	570	568	563	557	440
0.7	764	666	645	603	580	566	558	552	546	543	539	533	423
0.6	764	581	580	554	540	530	524	520	514	512	508	503	400
0.5	764	493	507	496	491	485	482	479	474	472	468	464	370
0.4	764	402	426	427	429	428	427	425	422	420	418	414	331
0.3	764	307	336	345	352	355	357	357	355	354	352	349	280
0.2	764	209	235	248	258	263	266	268	267	267	266	264	213
0.1	764	106	124	134	142	147	150	152	152	152	152	151	123

補足資料 9. 外国による漁獲を考慮した場合の試算

本評価では外国による漁獲量を考慮しなかったが、いくつかの仮定を置き、外国による漁獲量を考慮した場合を試算した。外国漁船による漁獲物の年齢組成や年齢別体重は、情報が得られていないため不明であるが、操業海域・時期およびマイワシの回遊経路等を考慮し、宮城県以北のまき網の7～12月の漁獲物と等しいと仮定した。外国による漁獲を含めた漁獲量および年齢別漁獲尾数は補足表 9-1 および補足図 9-1、9-2 に示す。2019 年にロシアの漁獲量が大きく増加しており、外国船による漁獲を考慮することで、主に 2019 年の1歳以上の漁獲尾数が増加した。

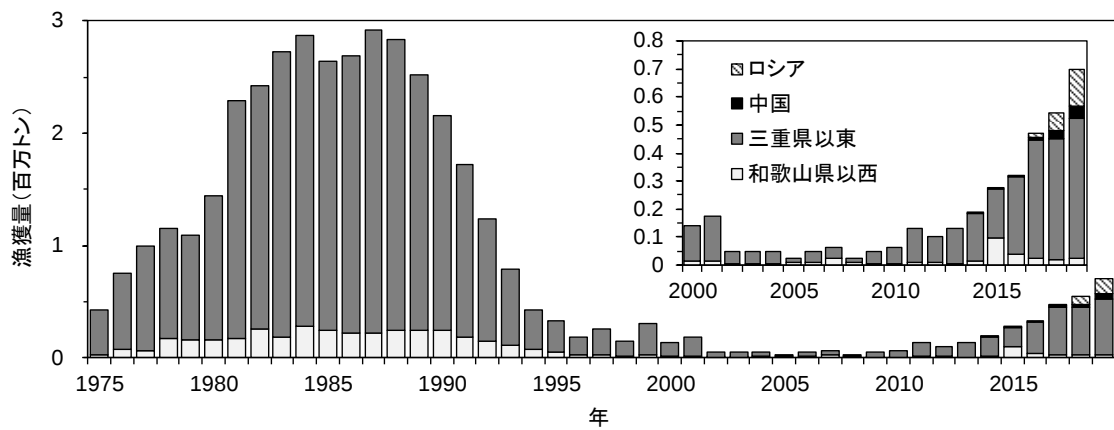
得られた年齢別漁獲尾数に基づき資源量推定を行った。手法は本文と同様である。外国による漁獲量を考慮することで、直近の資源量はわずかに増加したが、全体的な傾向に変化はなかった（補足表 9-1、補足図 9-3、9-4）。一方で、漁獲割合および漁獲圧は直近で増加する傾向になった（補足図 9-3、9-5）。

項目	値	説明
SB2019	1,719 千トン	2019 年の親魚量
F2019	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳以上) =(0.05, 0.15, 1.02, 0.48, 0.22, 0.22)	
U2019	18.9%	2019 年の漁獲割合

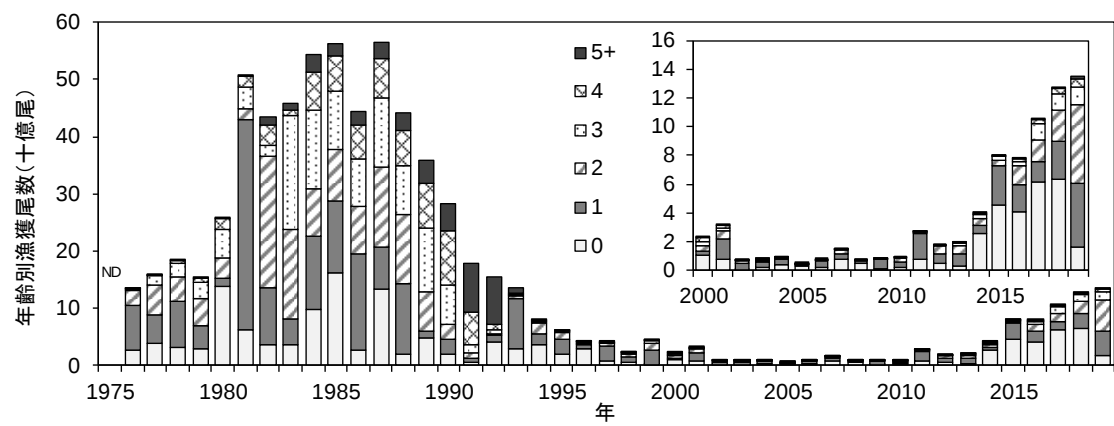
項目	値	説明
%SPR (F2019)	33.8%	2019 年の%SPR
%SPR (F2015-2019)	40.3%	現状 (2015～2019 年) の漁獲圧に対応する%SPR

MSY を実現する水準と比較すると、外国による漁獲量を考慮した推定結果では、2019 年の漁獲圧が MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) を上回っていた（補足図 9-6）。それ以外については全体的な傾向に大きな変化はなく、2019 年の親魚量は MSY を実現する親魚量 (SBmsy) を上回っていた。

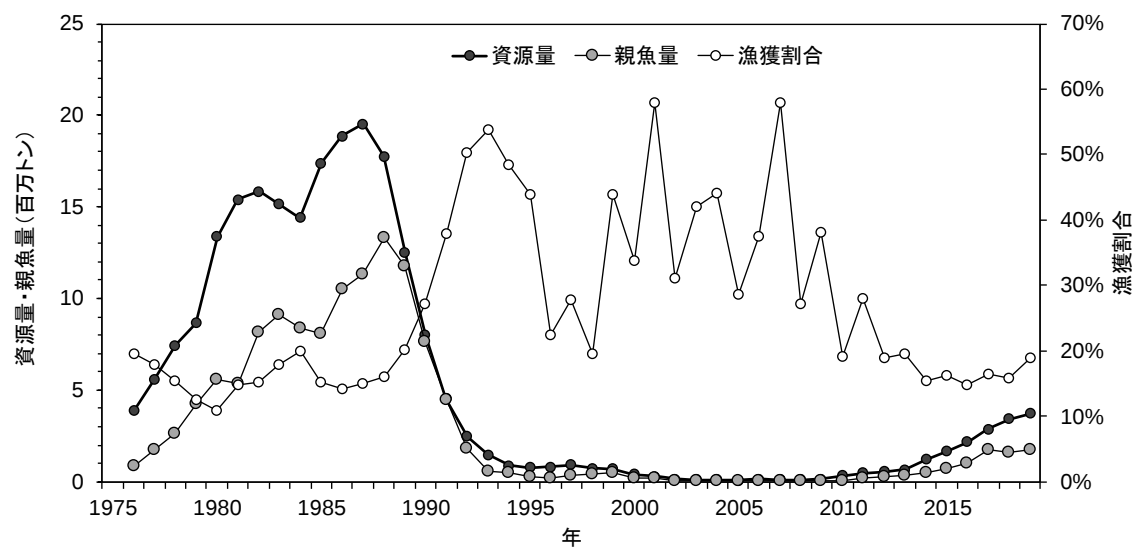
項目	値	説明
SB2019/ SBmsy	1.45	最大持続生産量(MSY)を実現する親魚量に対する 2019 年の親魚量の比
F2019/ Fmsy	1.27	最大持続生産量(MSY)を実現する漁獲圧に対する 2019 年の漁獲圧の比*



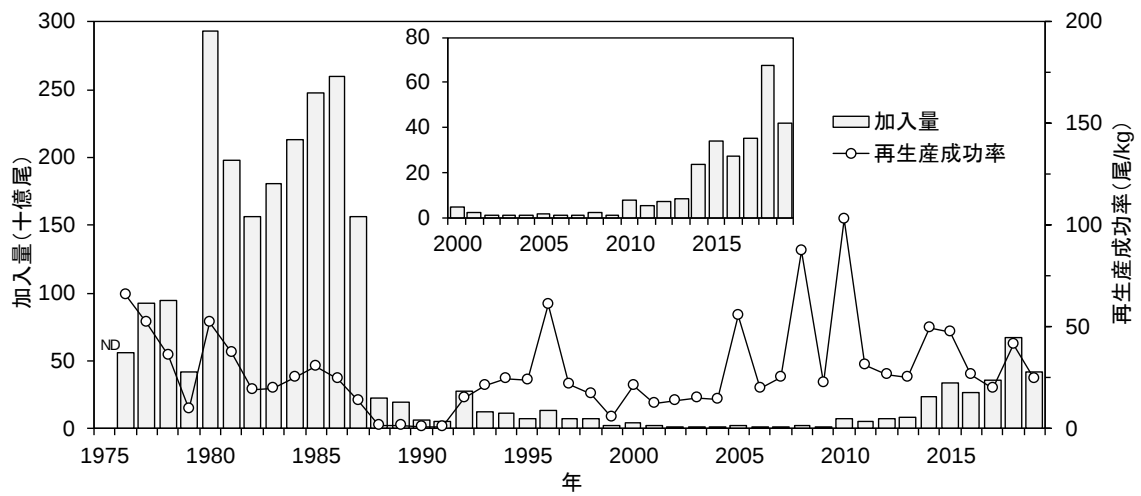
補足図 9-1. 漁獲量の推移



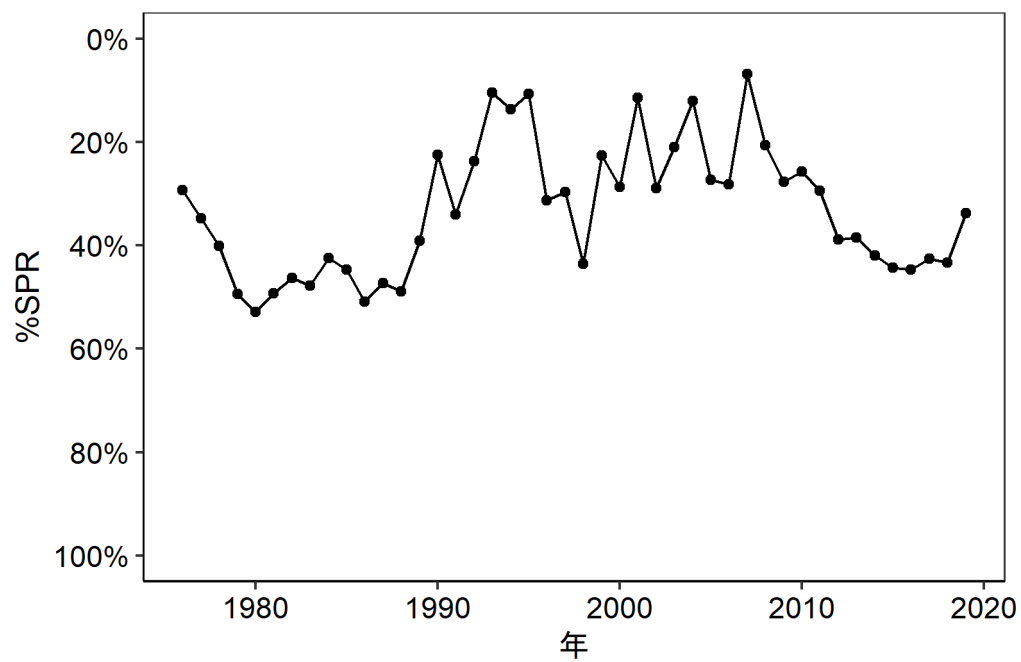
補足図 9-2. 年齢別漁獲尾数の推移



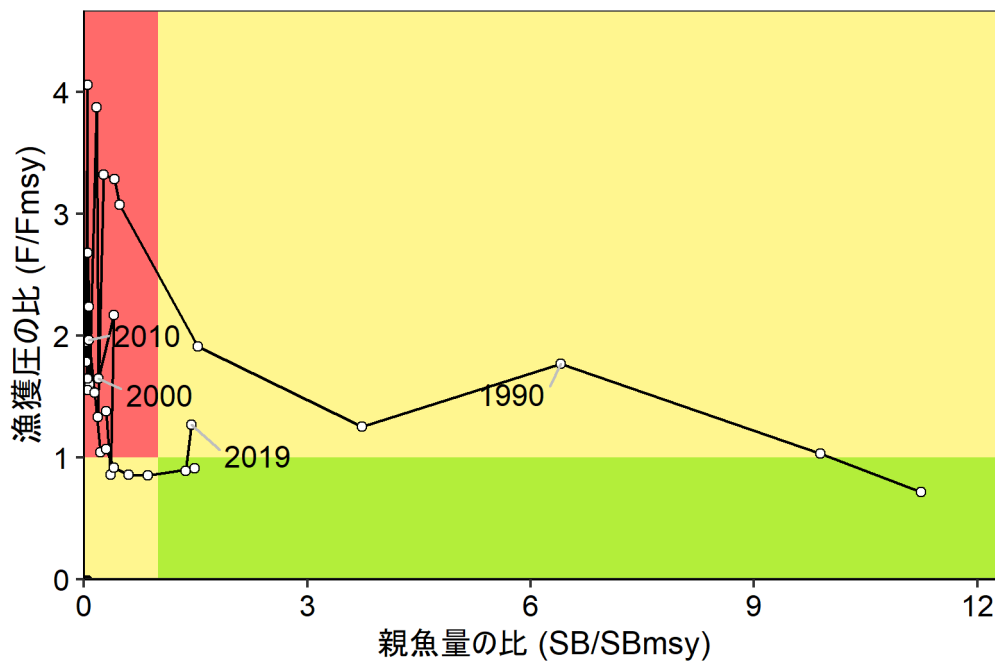
補足図 9-3. 資源量、親魚量および漁獲割合の推移



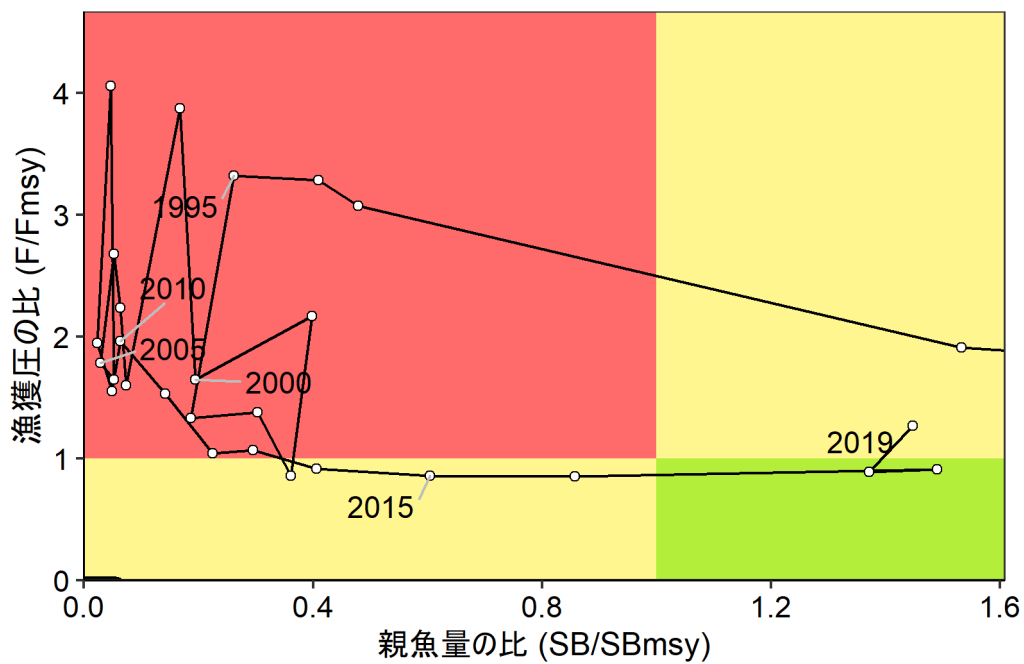
補足図 9-4. 加入量および再生産成功率（RPS）の推移



補足図 9-5. %SPR 値の推移 %SPR は、漁獲がないときの親魚量に対する漁獲があるときの親魚量の割合を示し、F が高い（低い）と %SPR は小さく（大きく）なる。



上図の拡大



補足図 9-6. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy) と MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) に対する、過去の親魚量と漁獲圧の関係 (神戸プロット)

補足表 9-1. 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)
	太平洋 合計	ロシア	中国	日本 合計	三重県 以東	和歌山 県以西					
1975	430			430	400	30					
1976	756			756	677	79	3,862	852	559	19.6	65.6
1977	991			991	934	56	5,553	1,774	923	17.8	52.0
1978	1,149			1,149	975	174	7,440	2,620	942	15.5	36.0
1979	1,089			1,089	933	156	8,647	4,219	419	12.6	9.9
1980	1,445			1,445	1,286	159	13,366	5,613	2,930	10.8	52.2
1981	2,296			2,296	2,129	167	15,415	5,325	1,978	14.9	37.1
1982	2,419			2,419	2,158	261	15,830	8,158	1,562	15.3	19.2
1983	2,725			2,725	2,539	186	15,151	9,140	1,802	18.0	19.7
1984	2,870			2,870	2,589	281	14,419	8,368	2,128	19.9	25.4
1985	2,644			2,644	2,397	247	17,392	8,079	2,479	15.2	30.7
1986	2,685			2,685	2,471	214	18,881	10,499	2,600	14.2	24.8
1987	2,916			2,916	2,696	220	19,542	11,322	1,565	14.9	13.8
1988	2,838			2,838	2,593	244	17,774	13,355	228	16.0	1.7
1989	2,524			2,524	2,280	243	12,507	11,754	194	20.2	1.7
1990	2,162			2,162	1,916	246	7,981	7,609	69	27.1	0.9
1991	1,724			1,724	1,544	180	4,546	4,440	53	37.9	1.2
1992	1,240			1,240	1,089	152	2,465	1,819	273	50.3	15.0
1993	791			791	675	116	1,467	569	121	53.9	21.3
1994	425			425	357	68	879	487	119	48.3	24.4
1995	332			332	277	55	756	310	73	43.9	23.6
1996	181			181	150	31	805	221	134	22.5	60.7
1997	255			255	228	27	916	360	78	27.9	21.6
1998	142			142	124	18	727	429	74	19.5	17.2
1999	308			308	281	27	701	473	26	43.9	5.4
2000	139			139	122	17	411	231	48	33.8	21.0
2001	177			177	162	15	305	199	25	57.9	12.4
2002	49			49	43	6	157	87	12	31.1	14.1
2003	51			51	46	5	121	75	11	42.0	15.0
2004	48			48	41	7	109	63	9	44.1	14.3
2005	25			25	16	9	87	35	19	28.6	55.4
2006	49			49	40	10	131	62	12	37.4	20.1
2007	65			65	42	23	112	56	14	57.9	25.4
2008	27			27	18	9	99	28	24	27.1	87.4
2009	49			49	46	3	129	59	13	38.2	22.3
2010	65			65	62	3	339	76	78	19.1	103.2
2011	132			132	122	10	471	169	53	28.0	31.6
2012	102			102	92	9	534	266	70	19.0	26.4
2013	130			130	124	6	665	351	87	19.5	24.9
2014	186	0		186	172	14	1,212	482	238	15.4	49.5
2015	271	0		270	175	95	1,670	718	342	16.2	47.6
2016	322	7		316	278	38	2,187	1,018	272	14.7	26.7
2017	473	17	10	446	423	23	2,866	1,769	354	16.5	20.0
2018	541	63	26	452	430	22	3,417	1,628	676	15.8	41.6
2019	700	133	46	521	495	26	3,706	1,719	419	18.9	24.4