

令和 5（2023）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（古市 生・由上龍嗣・上村泰洋・
西嶋翔太・渡部亮介・井須小羊子・東口胤成）

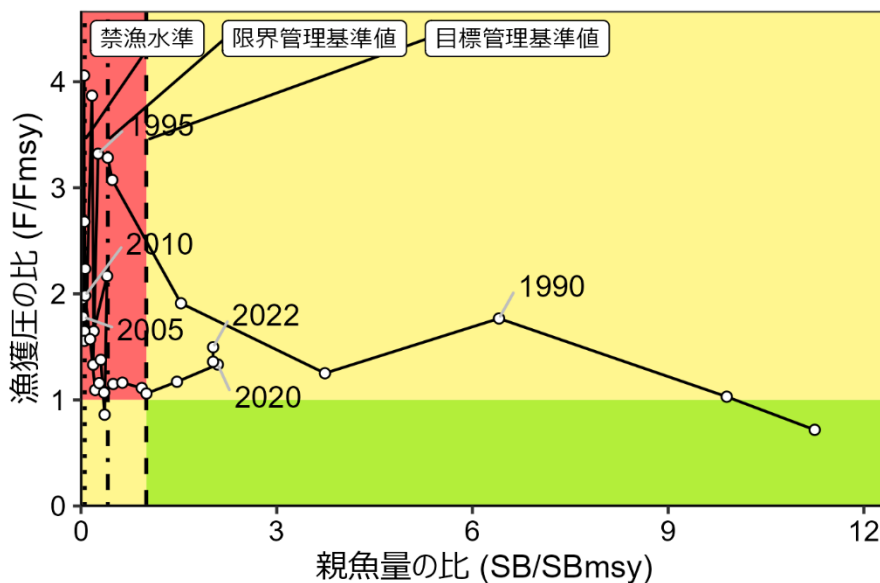
参画機関：北海道立総合研究機構釧路水産試験場・函館水産試験場、青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産海洋研究センター、茨城県水産試験場、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター、静岡県水産・海洋技術研究所、愛知県水産試験場漁業生産研究所、三重県水産研究所、和歌山県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課、大阪府立環境農林水産総合研究所、香川県水産試験場、高知県水産試験場、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、宮崎県水産試験場、鹿児島県水産技術開発センター、漁業情報サービスセンター、海洋生物環境研究所

要 約

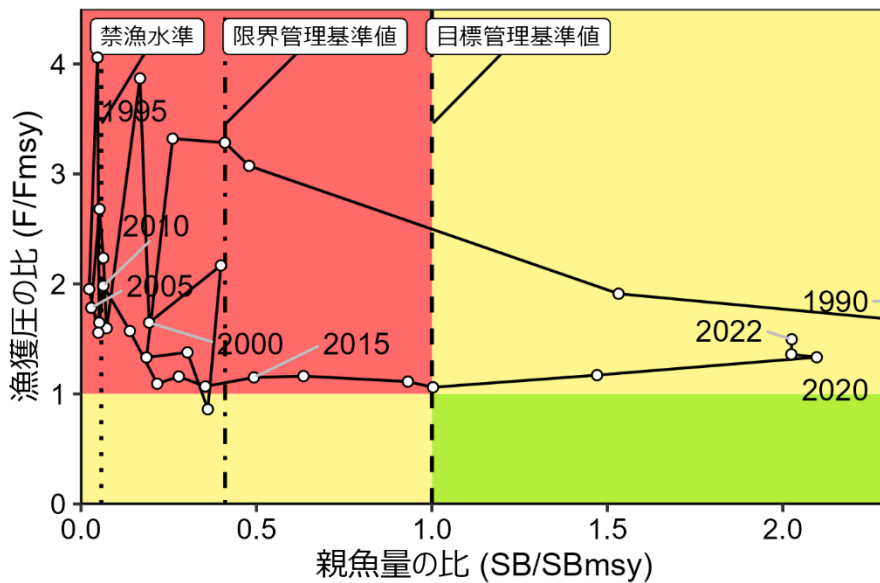
本系群の資源量について、資源量指標値をチューニング指数として用いたコホート解析により計算した。資源量は、1980年代は1千万トン以上の高い水準で推移したが、1990年代に入って急減し、2002年以降2009年まで10万トン前後の低い水準で推移した。その後、比較的良好的な加入が続いたこと、および漁獲圧が低下したことにより資源量は増加し、2014年には100万トンを上回った。その後も良好的な加入が続いたことにより資源量はさらに増加して、2022年は491.4万トンと推定された。親魚量は2002年以降10万トンを下回る水準で推移したが、2011年以降増加し、2022年の親魚量は240.5万トンと推定された。

令和2年9月に開催された「資源管理方針に関する検討会」で取り纏められ「水産政策審議会」を経て、本系群の目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準、および漁獲管理規則が定められた。目標管理基準値は最大持続生産量MSYを実現する親魚量（118.7万トン）であり、本系群の2022年の親魚量は、これを上回る。また、本系群の2022年の漁獲圧は、MSYを実現する水準の漁獲圧（F_{msy}）を上回る。親魚量の動向は直近5年間（2018～2022年）の推移から「増加」と判断される。2024年の親魚量および資源量の予測値と、漁獲管理規則に基づき算出された2024年のABCは68.2万トンである。

要 約 図 表



上図の拡大



MSY、親魚量の水準と動向、および ABC	
MSY を実現する水準の親魚量	118.7 万トン
2022 年の親魚量の水準	MSY を実現する水準を上回る
2022 年の漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を上回る
2022 年の親魚量の動向	増加
最大持続生産量 (MSY)	38.9 万トン
2024 年の ABC	68.2 万トン
コメント: ・ ABC の算定には、令和 2 年 9 月に開催された「資源管理方針に関する検討会」で取り纏められ「水産政策審議会」を経て定められた漁獲シナリオでの漁獲管理規則を用いた。 ・調整係数 β は、2021 年から 2023 年までは 1.20、2024 年以降は 0.85 が用いられる。 ・ABC は外国船による漁獲も合わせた値。	

近年の資源量、漁獲量、漁獲圧、および漁獲割合					
年	資源量 (万トン)	親魚量 (万トン)	漁獲量 (万トン)	F/Fmsy	漁獲割合 (%)
2018	357.8	119.1	54.3	1.06	15.2
2019	454.7	174.6	72.6	1.17	16.0
2020	522.4	249.0	103.4	1.33	19.8
2021	496.7	240.4	107.8	1.36	21.7
2022	491.4	240.5	111.6	1.50	22.7
2023	440.7	242.4	104.9	1.47	23.8
2024	389.4	227.8	68.2	0.85	17.5
・2023 年、2024 年の値は将来予測に基づく平均値である。 ・2024 年の漁獲には ABC の値を用いた。					

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 体長一体重調査・体長一年齢測定調査(水研、北海道～鹿児島(20)道府県、JAFIC):市場測定、調査漁獲物 北太平洋漁業委員会(NPFC)統計(https://www.npfc.int/summary-footprint-japanese-sardine-fisheries 、2023年7月)
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(単位努力量あたり漁獲量)および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」という)、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」という)がある(川端ほか2011、Sakamoto et al. 2019)。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）。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（Niino et al. 2021）。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回遊範囲は縮小し、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回遊範囲は縮小した。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いる。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、2021年以降は西経域においても1歳魚の分布が確認されている。加えて、9～10月の北西太平洋秋季浮魚類資源調査においても、2019年以降、千島列島沖で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程度である。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年間（2020～2022年）の年齢別平均体長と体重を図2-2に示した。2018年以降、年齢別平均体重が低下す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（Kamimura et al. 2022）。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

年齢と成熟割合の関係を図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、1990年代後半以降は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年の年齢別成熟割合を1歳：50%、2歳以上：100%とした。2016年以降の成熟割合は、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1歳：20%、2歳以上：100%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。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1950～1960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、1980～1990 年頃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（図 2-1）。2010 年以降は潮岬以東で産卵量が増加している一方で、1980 年代および 1990 年代のような紀伊水道以西における産卵量の増加は見られていない。

(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。

(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 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とされる。海洋環境などの変化は、環境収容力や加入過程などに影響し（Tanaka 2003、Yatsu et al. 2005、Furuichi et al. 2020）、再生産関係も変化している可能性が考えられる。

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。総漁獲量の 6～9 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（太平洋南区、瀬戸内海区）における漁獲は、三重県以東海域に比べ少ない（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、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。2010 年以降は、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るようになった。道東海域における漁獲量は、2012年の6千トンから2022年は22.5万トンに増加した。2014年以降、ロシア水域および公海域において外国漁船による漁獲が見られるようになり、特に2020年以降、外国漁船による漁獲が急増している。

(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、太平洋各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、さらに太平洋各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、および北太平洋漁業委員会（NPFC）へ報告された外国漁船による漁獲量を用いた（図3-1、表3-1）。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250万トンを超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、2022年は56.1万トンであった。2014年以降、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（図3-1、表3-1）。NPFCへの報告によると、2022年のロシアによる漁獲量は26.7万トン、中国による漁獲は28.8万トンとなっている。

年齢別漁獲尾数は以下のように推定した。北海道～宮崎県太平洋側における主要港における体長測定データを道県別・月別・漁業種別に集計し、道県別・年別に集計した精密測定データから求めた体長・体重関係を用いて、道県別・月別・漁業種別漁獲量に一致するように引き延ばした。体長測定データが欠測した道県・月・漁業種については、担当者の判断で尤もらしいデータ（他漁業種、前後の月、隣県など）を参照した。一方で、年齢査定結果を静岡県以北と愛知県以西の2海域に分けて、4半期別に集計してAge-Length-Keyを作成し、先に求めた道県別・月別・漁業種別体長組成データに充てて年齢別漁獲尾数を求めた。年齢査定結果が欠測した海域・4半期については、近年の平均的な値を充てた。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。以上の手法により推定した漁獲物の年齢組成を図3-2に示す。資源量が極めて低い水準となった2000年代は0、1歳魚が漁獲の主体であり、漁獲物に占める2歳以上の割合は低かったが、資源が増加するにつれ様々な年齢が漁獲されるようになり、2016年以降は2歳以上の割合も高くなっている（図3-2、補足表2-1）。

(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～夏季を中心に高くなる傾向がみられる（図3-4）。

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 4）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 年以降の大中小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 4）、これらチューニング指数に適合するよう 2022 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 4-1、表 4-1）。一方で、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 2023 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 4）。いずれの指数も、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 2001 年以降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 2001 年以降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 1 千万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 4-3、表 3-1、補足表 2-1）。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、2022 年の資源量は 491.4 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、2022 年は 240.5 万トンと推定された（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、2010 年代は比較的低い水準で推移していた。しかし近年、外国船による漁獲が増加し、2019 年以降、漁獲割合は増加傾向にある。漁獲係数 F は、すべての年齢において変動が大きく、増減を繰り返しながら経年変化していた（図 4-4）。2019 年以降、0 歳魚の F は比較的低い値で安定し、1 歳以上の F は増加傾向にある。

加入量と再生産成功率（RPS）の推移を図 4-5、表 3-1 に示した。RPS は、1976～1981 年において、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 2022 年の資源量、親魚量を推定した（図 4-6）。 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 82% および 125%、親魚量は 87% および 118% となった。

なお、過年度（2020～2022 年度）の資源評価との各種推定値の比較を、補足資料 5 にまとめてある。

(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 4-7 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。2000 年代後半に %SPR は増加し、2010 年代は比較的高い水準で推移した。しかし、2019 年以降、%SPR は減少傾向にあり、2022 年の %SPR は 31.3% となった。現状の漁獲圧として直近 3 年間（2020～2022 年）の平均 F 値から %SPR を算出すると 32.8% となった。2019 年以降の漁獲圧の増加傾向には、近年増加している外国船による漁獲が影響していると考えられる。

現状の漁獲圧に対する YPR と %SPR の関係を図 4-8 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 (F_{msy}) 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 F_{msy} 算出時の値を使用した。 F_{msy} は %SPR に換算すると 40.0% に相当する。現状の漁獲圧 ($F_{2020-2022}$) は、 $F_{30\%SPR}$ と同程度であり、 $F_{0.1}$ および F_{msy} を上回る。

(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 4-9 に示す。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）。海洋環境などの変化は、環境収容力や加入過程などに影響し（Tanaka 2003、Yatsu et al. 2005、Furuichi et al. 2020）、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、2014年以降、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ー・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補足表 3-1 に示す（補足資料 3）。

（6）現在の環境下において MSY を実現する水準および管理基準値等

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」で推定し、同年 9 月に修正された、現在（1988 年以降）の環境下における最大持続生産量 MSY、MSY を実現する親魚量（SBmsy）、および MSY を実現する F（Fmsy）を補足表 3-2 に示す（古市ほか 2020a、水産資源研究所 水産資源研究センター 2020）。令和 2 年 9 月に開催された「資源管理方針に関する検討会」および「水産政策審議会」を経て、この MSY（38.9 万トン）を実現する親魚量（SBmsy：118.7 万トン）を目標管理基準値とする資源管理目標が定められた（図 4-10）。また、MSY の 60% の漁獲量が得られる親魚量（48.7 万トン）が限界管理基準値、MSY の 10% の漁獲量が得られる親魚量（6.9 万トン）が禁漁水準とされた（図 4-10）。

（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 4-11 に示す。本系群における 2022 年の親魚量は、MSY を実現する親魚量（SBmsy すなわち目標管理基準値）を上回っており、SBmsy の 2.03 倍である。また、2022 年の漁獲圧は、MSY を実現する漁獲圧（Fmsy）を上回っており、Fmsy の 1.50 倍である。ただし、日本漁船による 2022 年の漁獲量（56.1 万トン）は、Fmsy での漁獲量（87.2 万トン）を下回っている。2019 年以降、外国船による漁獲が増加し、漁獲圧は増加傾向にある。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、直近 5 年間（2018～2022 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 年代にかけては SBmsy を下回っていたが、2012 年以降は漁獲圧が Fmsy と同程度まで削減され親魚量は増加し、2018 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。

5. 将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した 2022 年の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2023～2054 年までの将来予測計算を行った（補足資料 2）。2023 年以降の加入量の予測については、通常加入期（1988～2018 年）のホッケー・スティック型再生産関係式に基づいている。ただし、2014 年以降、通常加入期の再生産関係から予測される平均値より高い加入量が継続している（図 4-9）。今後、数年間は良好な加入が継続することが十分想定されるため、近年における加入量の良好な傾向を取り入れた将来予測を行った。具体的には、2023 年以降の加入量を予測する際、加入量の良好な傾向を反映させるため、観測値と再生産関係式の残差を後ろ向きに期間を 5 年ごとに区切って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（補足図 2-2、詳細は補足資料 2 を参照）。この試行を 10,000 回繰り返し行った。

本系群では、2018 年以降、年齢別体長・体重の低下が見られている。年齢別平均体重については、短期的には直近の成長の遅れが継続する可能性が高いと判断されることから、ABC 算定年である 2024 年までは直近 3 年平均（2020～2022 年）を使用し、2025 年以降は、「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各種管理基準値の推定に用いた値を用いた。

2023 年の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2020-2022）から仮定した。2024 年以降の漁獲圧には、「資源管理方針に関する検討会」で取り纏められ「水産政策審議会」を経て定められた漁獲シナリオにおける漁獲管理規則を用いた。各年に予測される親魚量をもとに漁獲管理規則で定められる漁獲圧と、各年に予測される資源量から、漁獲量を算出した。

(2) 漁獲管理規則

資源管理基本方針で定められた本系群の漁獲シナリオに則った漁獲管理規則を図 5-1 に示す。この漁獲管理規則は、親魚量が限界管理基準値以上にある場合には F_{msy} に調整係数 β を乗じた漁獲圧とし、限界管理基準値を下回った場合には禁漁水準まで直線的に漁獲圧を削減する規則である。本系群の調整係数 β は 0.85 が用いられる。なお、2021～2023 年は、直近の親魚量が目標管理基準値を大きく上回っていることを踏まえ、 β は 1.20 が用いられていた。

(3) 2024 年の予測値と ABC の算定

本系群の漁獲管理規則（2024 年以降は $\beta=0.85$ ）から算定される予測漁獲量である 68.2 万トンを ABC として提示する（補足表 3-4）。ABC は外国船による漁獲も合わせた値である。2024 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 227.8 万トンと見込まれた。

(4) 2025 年以降の予測

2025 年以降も含めた将来予測の結果を図 5-2 および表 5-1、5-2 に示す。本系群の漁獲管理規則に基づく管理を継続した場合（2024 年以降は $\beta=0.85$ ）、2031 年の平均親魚量は 254.9 万トン（90%予測区間は 157.8 万～355.9 万トン）となる。予測値が目標管理基準値を上回る

確率は 100%、限界管理基準値を上回る確率は 100%である。

参考情報として、異なる β を使用した場合の将来予測結果、および現状の漁獲圧 (F2020-2022) を継続した場合の将来予測結果についても示す (補足表 3-5)。現状の漁獲圧を継続した場合、2031 年の平均親魚量は、182.8 万トン (90%予測区間は 104.1 万~264.9 万トン) であり、目標管理基準値を上回る確率は 84%、限界管理基準値を上回る確率は 100%である。

なお、近年における加入量の良好な傾向を取り入れた将来予測を行ったため、2031 年の親魚量の予測値および各種管理基準値を上回る確率は楽観的な値になっていることに留意する必要がある。

6. 資源評価のまとめ

本系群の資源量は、1980 年代は 1 千万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、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、2022 年は 491.4 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 年以降に増加し、2022 年の親魚量は 240.5 万トンと推定された。

漁獲圧は 2000 年代後半に減少し、2010 年代は MSY を実現する水準 (F_{msy}) と同程度の水準を維持していた。ただし 2019 年以降は、外国船による漁獲が増加し、漁獲圧が増加傾向にある。親魚量は、2000 年代後半からの漁獲圧の低下にともない増加し、2018 年以降は MSY を実現する水準 (SB_{msy}) を上回っている。親魚量の動向は直近 5 年間 (2018~2022 年) の推移から「増加」と判断される。

7. その他

北太平洋漁業委員会 (NPFC) に中国およびロシアから北西太平洋公海域およびロシア水域におけるマイワシ漁獲量が報告されたことをうけて、これらの漁獲量を考慮した資源評価を行った。しかし、中国およびロシアの漁獲物の組成について十分な情報が得られていないため、様々な仮定を置いた上での資源評価となっている。資源評価の精度向上のために、漁獲量の値のみならず年齢組成等の情報が必要であり、これらについても報告されるように働きかける必要がある。

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。

8. 引用文献

- Chavez, F.P., Ryan, J., Lluch-Cota, S.E. and 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.
- Furuichi, S., Niino, Y., Kamimura, Y. and R. Yukami (2020) Time-varying relationships between early growth rate and recruitment in Japanese sardine. *Fish. Res.*, **232**, 105723.
- 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 27 July 2021)
- 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.
- Kamimura, Y., K. Tadokoro, S. Furuichi, and R. Yukami (2022) Stronger density-dependent growth of Japanese sardine with lower food availability: Comparison of growth and zooplankton biomass between a historical and current stock-increase period in the western North Pacific. *Fish. Res.* **255**, 106461.
- 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.
- Niino, Y., Furuichi, S., Kamimura, Y. and R. Yukami (2021) Spatiotemporal spawning patterns and early growth of Japanese sardine in the western North Pacific during the recent stock increase. *Fish. Oceanogr.*, **30**, 643-653.

- 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.
- Sakamoto, T., Komatsu, K., Shirai, K., Higuchi, T., Ishimura, T., Setou, T., Kamimura, Y., Watanabe, C. and A. Kawabata (2019). Combining microvolume isotope analysis and numerical simulation to reproduce fish migration history. *Methods Ecol. Evol.*, **10**, 59-69.
- 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.
- 水産資源研究所 水産資源研究センター (2020) レジーム・シフトを考慮した将来予測方法の変更とその影響について. *水産研究・教育機構*, 1 pp. http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/info_202009.pdf (last accessed 1 August 2022)
- 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.

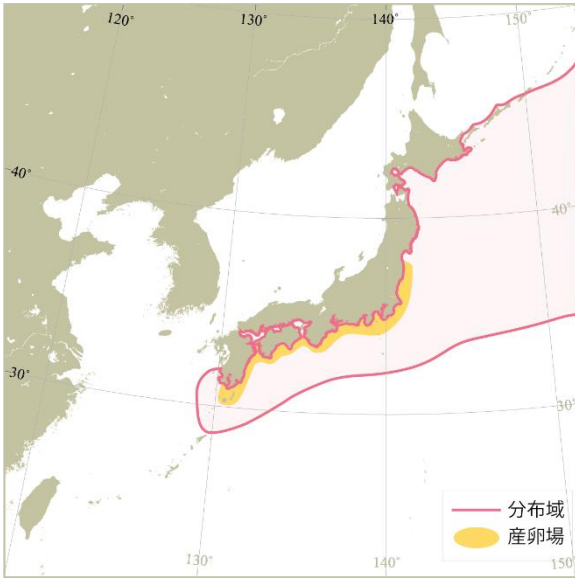


図 2-1. マイワシ太平洋系群の分布域と産卵場

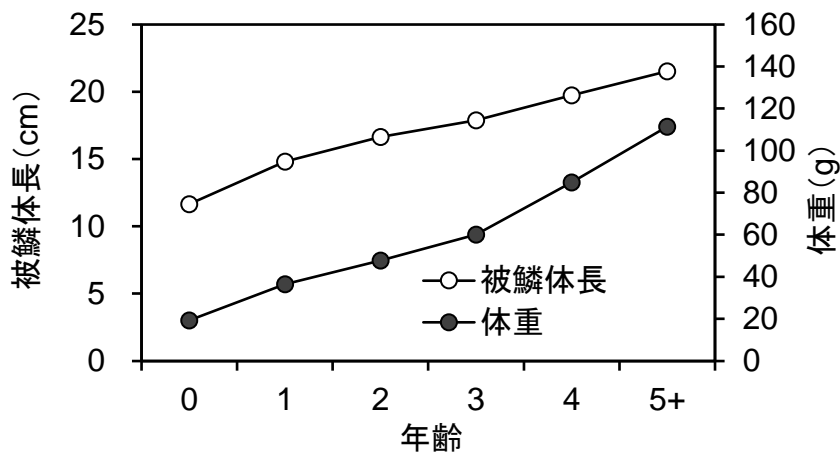


図 2-2. 年齢と成長 (2020~2022 年漁獲物平均)

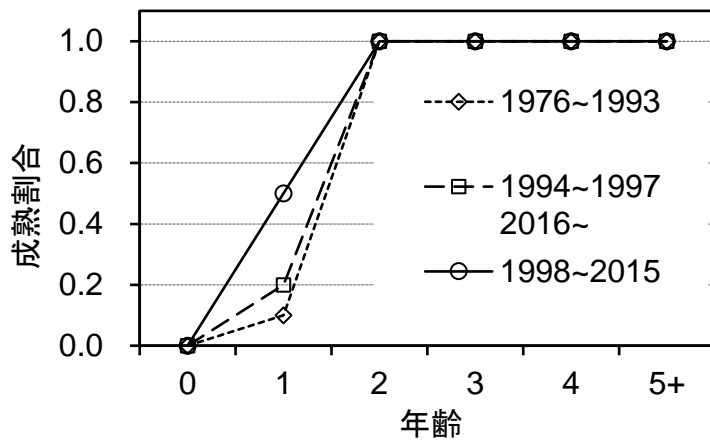


図 2-3. 年齢と成熟割合

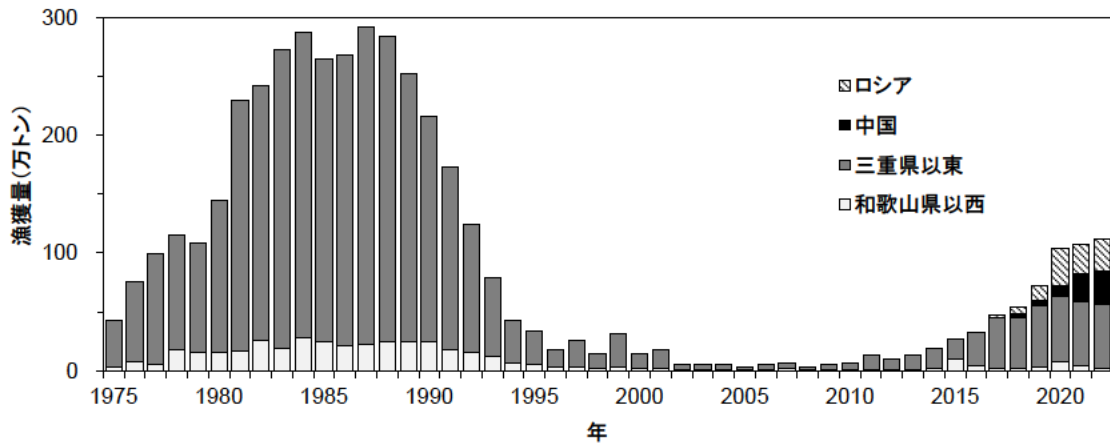


図 3-1. 漁獲量の推移

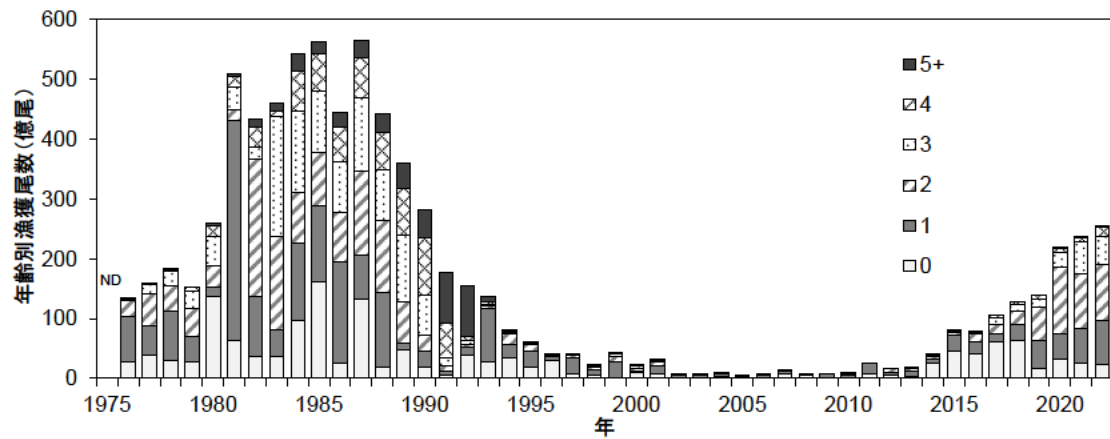


図 3-2. 年齢別漁獲尾数の推移

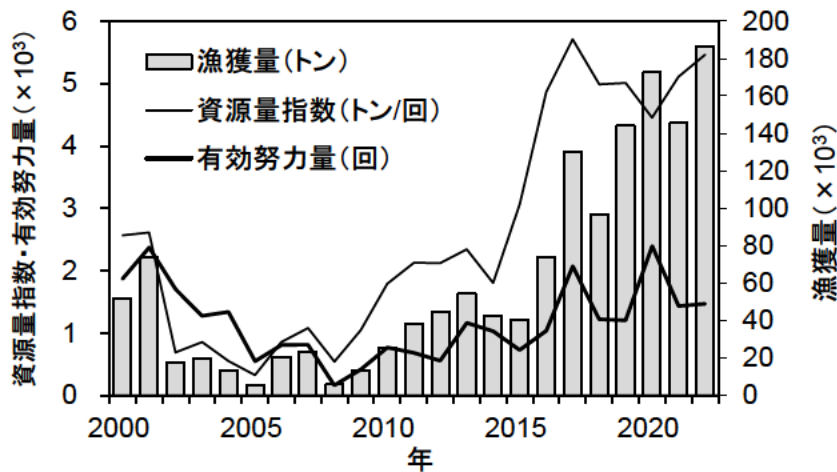


図 3-3. 北部まき網の有効努力量と漁獲量、資源量指数の推移 (JAFIC 集計値、道東含まず)
 努力量=投網数、資源量指数=Σ 緯度経度 30 分単位メッシュの CPUE、有効努力量=漁獲量/資源密度指数、資源密度指数=資源量指数/有漁メッシュ数。

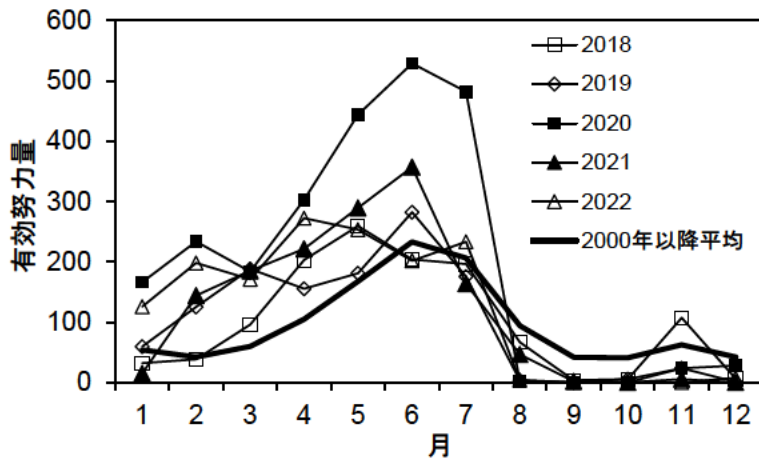


図 3-4. 北部まき網の有効努力量の月推移

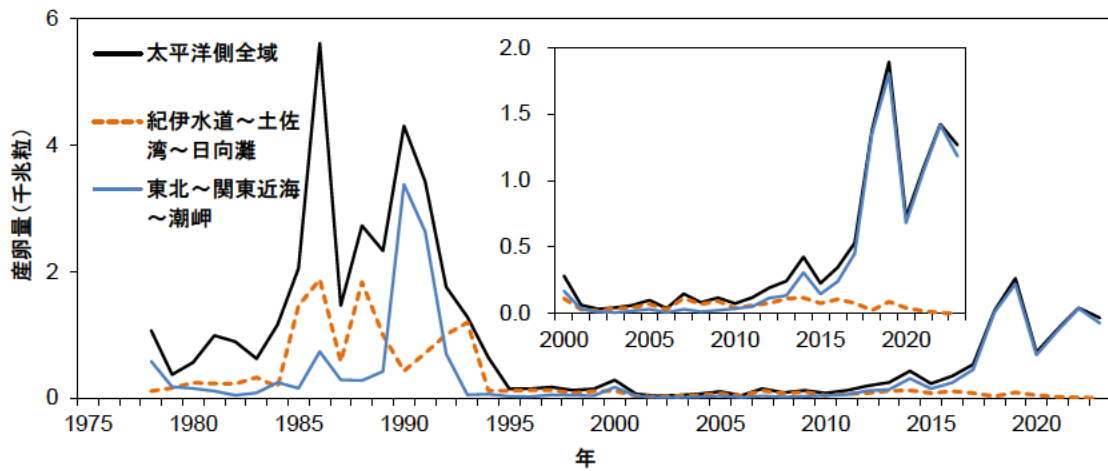


図 4-1. 産卵量の推移 卵稚仔調査協議会による前年 10 月から 9 月までの集計値
2023 年は 5 月までの暫定値。太平洋側全域は同協議会の区分の海区 I～IV、紀伊水道～土佐湾～日向灘は海区 III、東北～関東近海～潮岬は海区 I・II の値。

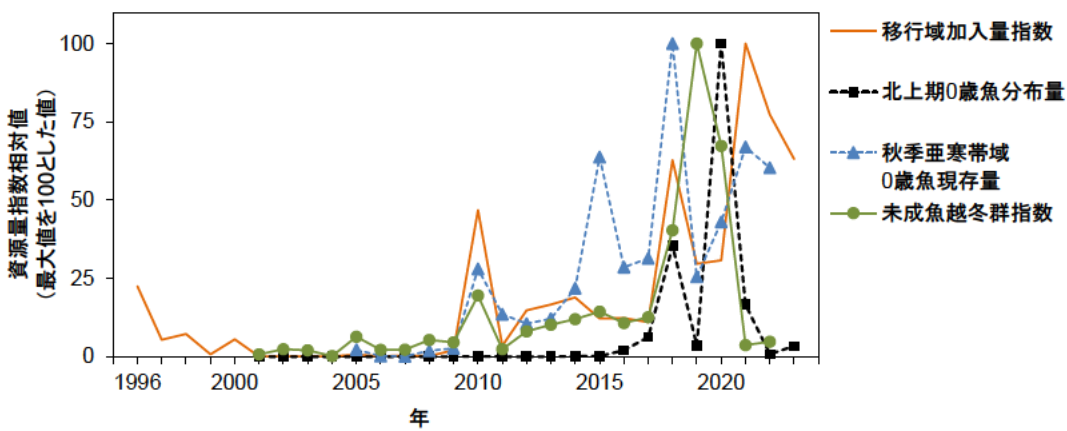


図 4-2. 加入量の指標となる資源量指数の推移 各指数については補足資料 4 を参照。
未成魚越冬群指数は前年の加入量と対応するので 1 年ずらし、2002 年以降を示した。

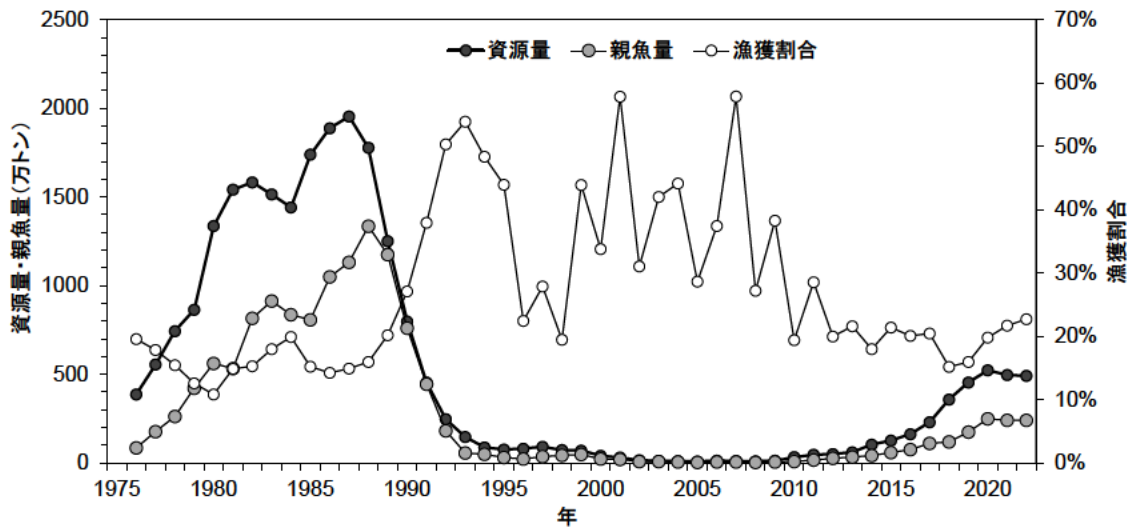


図 4-3. 資源量、親魚量および漁獲割合の推移

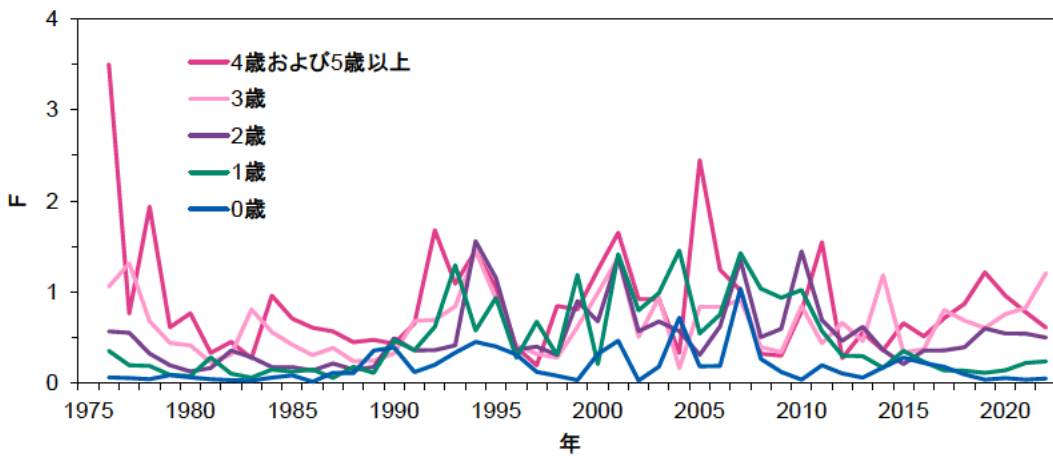


図 4-4. 年齢別漁獲係数 F の推移

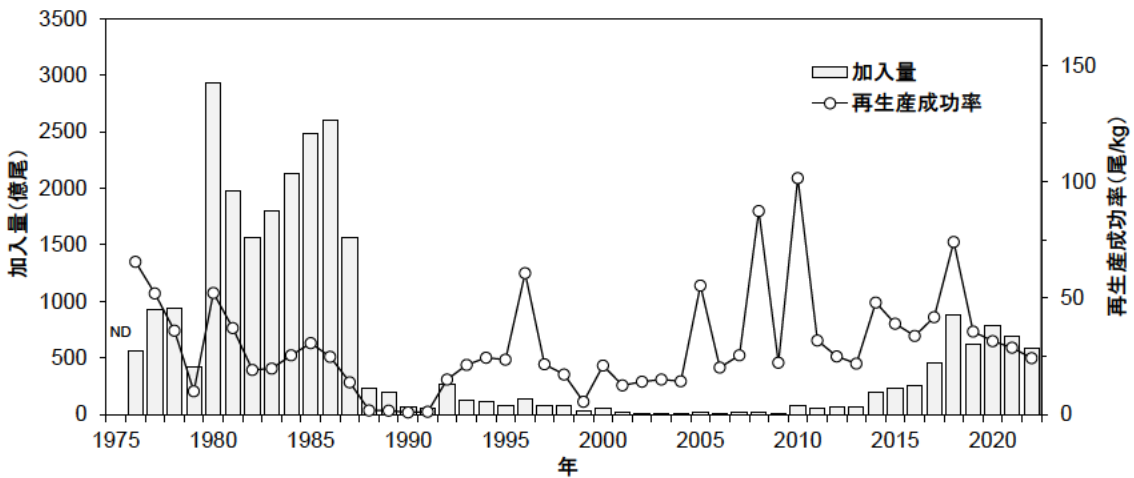


図 4-5. 加入量および再生産成功率 (RPS) の推移

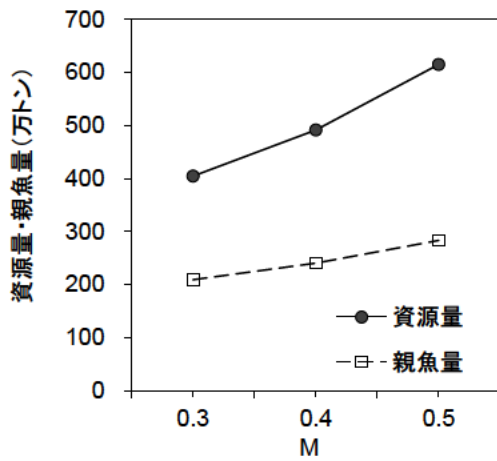


図 4-6. 自然死亡率 M と資源量、親魚量の関係
M の変化に対する 2022 年の推定値の感度解析。

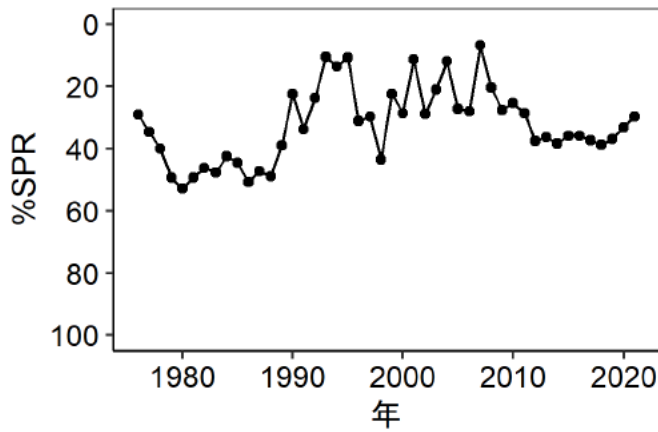


図 4-7. %SPR 値の経年推移

%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。

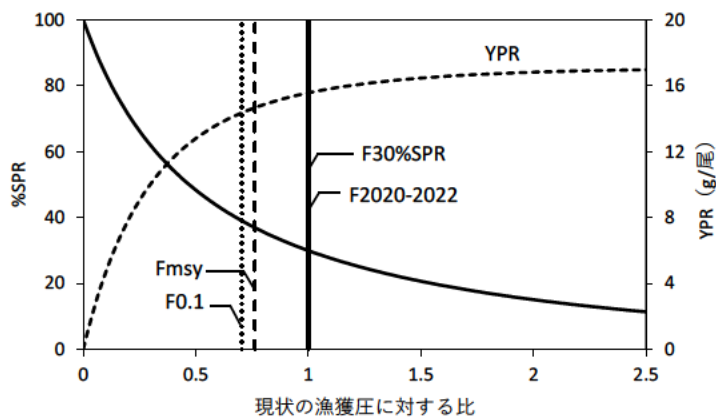
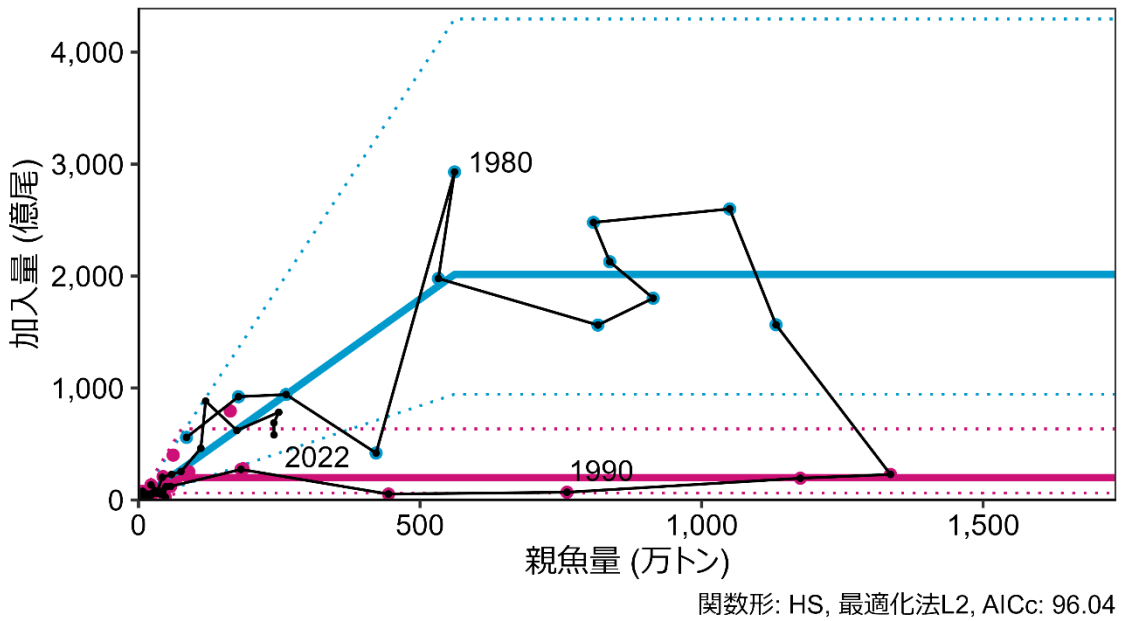


図 4-8. 現状の漁獲圧 (F2020-2022) に対する YPR (破線) と %SPR (黒線) の関係



上図の拡大

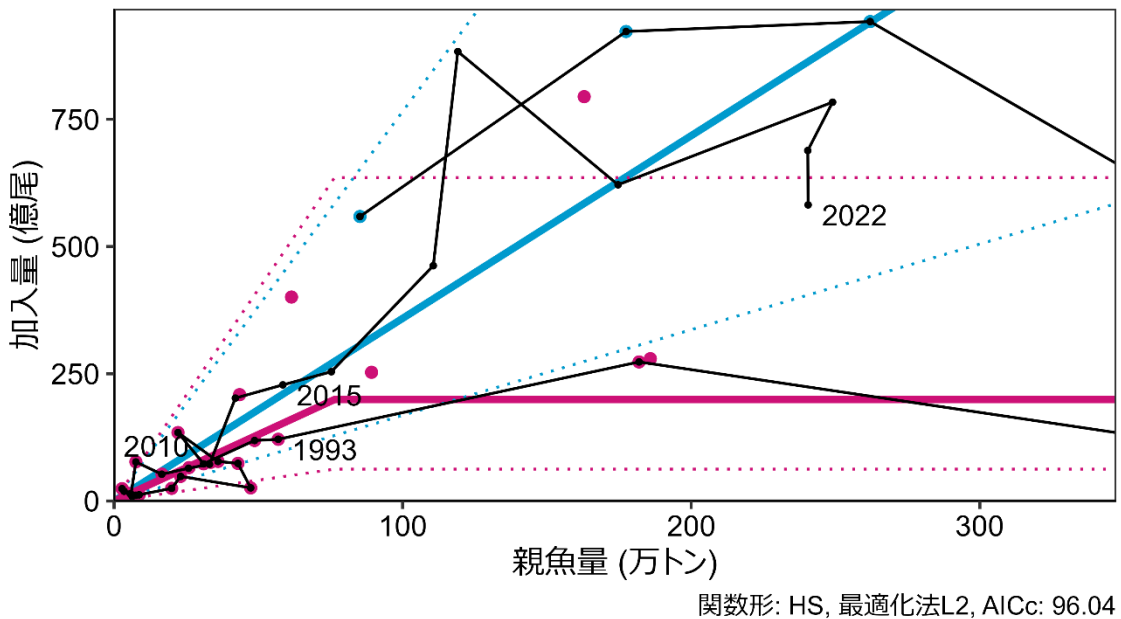


図 4-9. 親魚量と加入量の関係（再生産関係） 令和 2 年 3 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（古市ほか 2020a）で提案された再生産関係式
 青線および青丸は高加入期（1976～1987 年）の再生産関係とその推定に使用したデータ点、赤線および赤丸は通常加入期（1988～2018 年）の再生産関係とその推定に使用したデータ点である。再生産関係式の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。黒丸は、今回の評価により更新された親魚量と加入量の値である。図中の数字は年を示す。

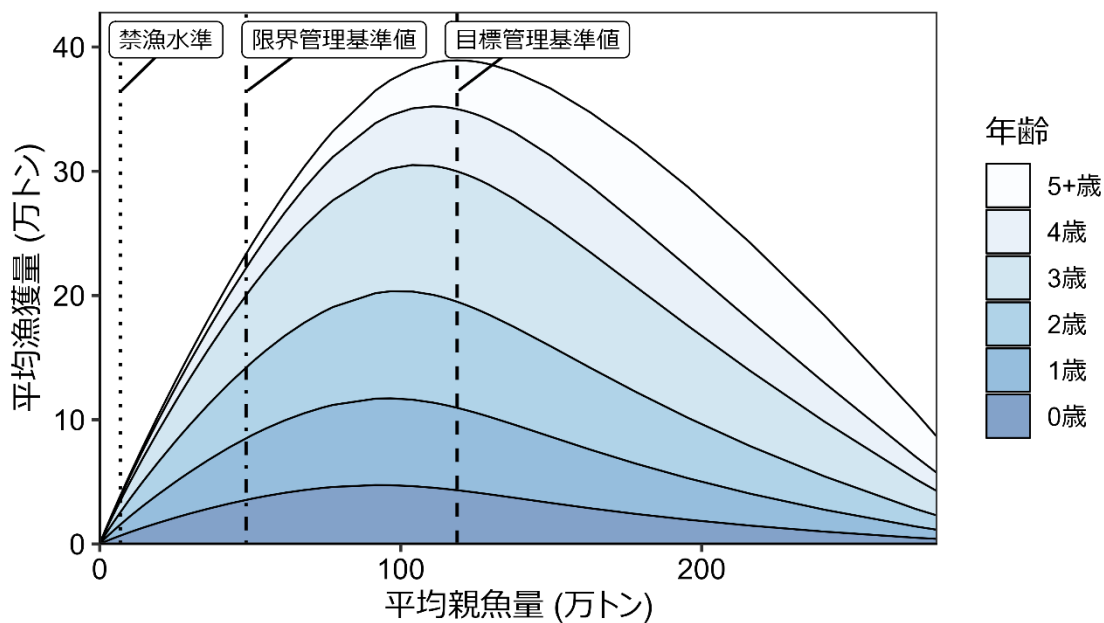
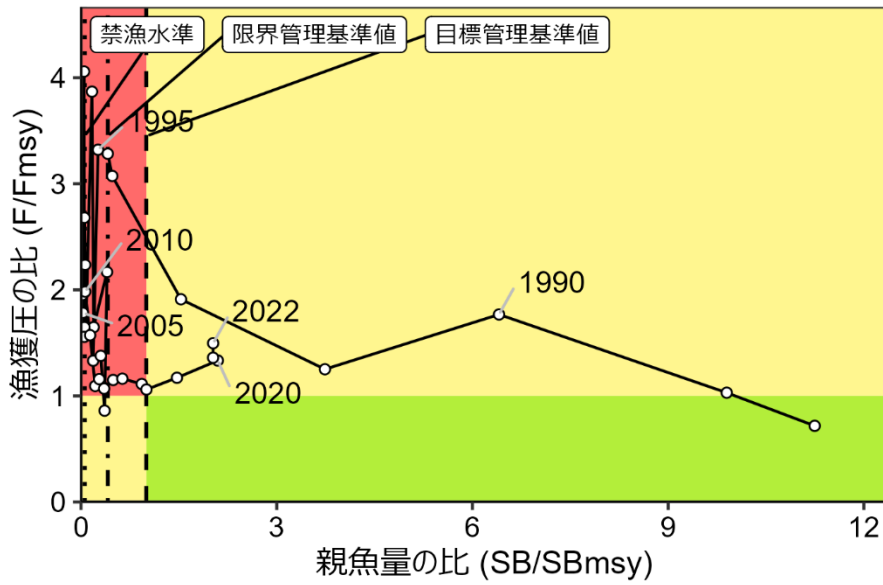


図 4-10. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線

通常加入期の状況を仮定した将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値と、それぞれの管理基準値の位置関係を示す。



上図の拡大

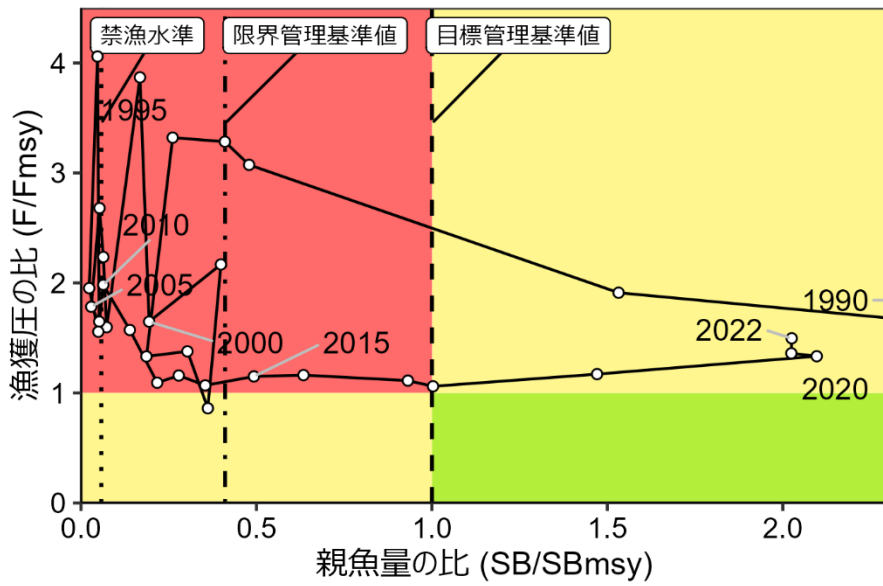
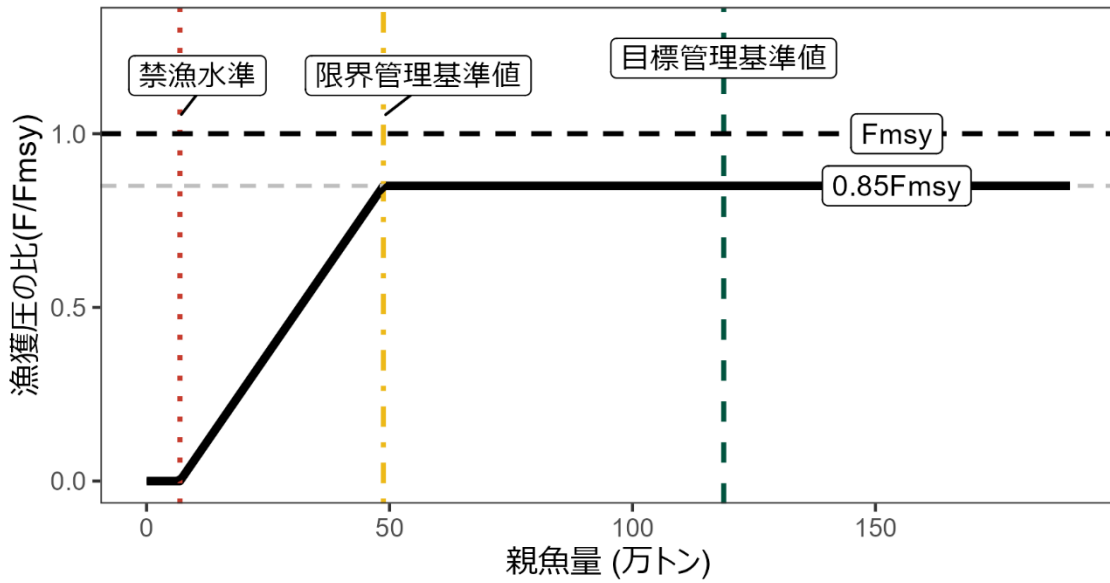


図 4-11. 最大持続生産量 MSY を実現する親魚量(SBmsy)と MSY を実現する漁獲圧(Fmsy) に対する、過去の親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)

(A) 縦軸を漁獲圧にした場合



(B) 縦軸を漁獲量にした場合

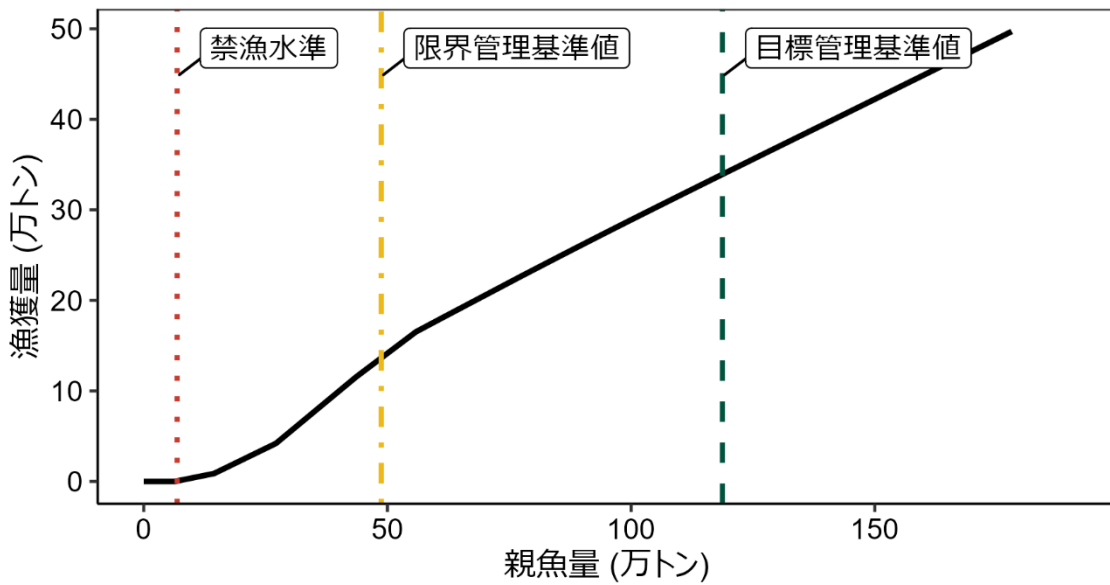


図 5-1. 漁獲管理規則 ($\beta = 0.85$)

黒太線は漁獲管理規則、黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.85F_{msy}$ 、赤破線は禁漁水準、黄色破線は限界管理基準値、緑色破線は目標管理基準値を示す。

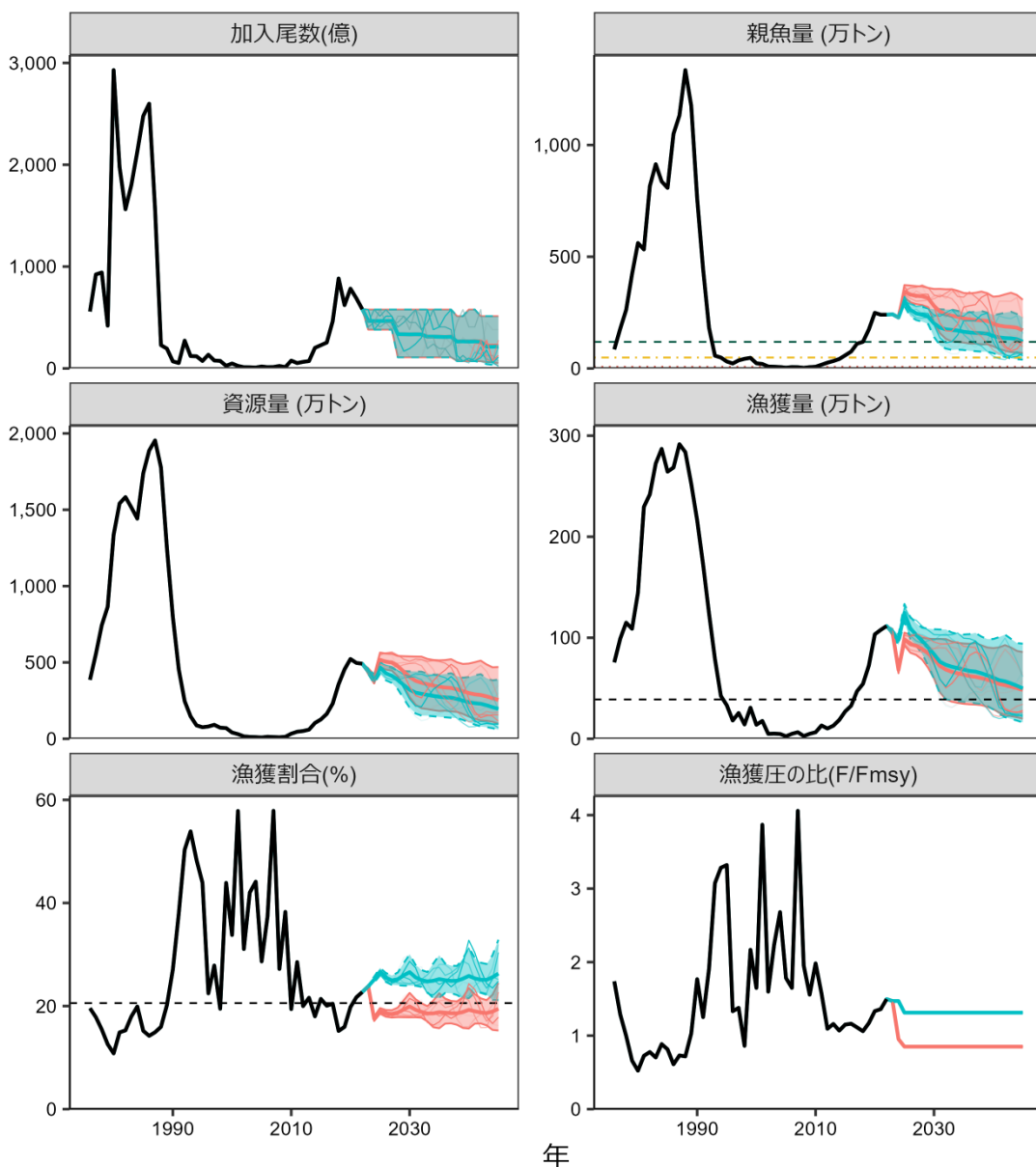


図 5-2. 管理基準値に基づく漁獲管理規則を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）

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、黄点線は限界管理基準値を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。漁獲管理規則を用いた将来予測において、調整係数 β は 0.85 となっている。現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測においては、2024 年以降も現状の漁獲圧を継続している。

表 3-1. 漁獲量とコホート解析結果

年	漁獲量 (万トン)						資源量 (万トン)	親魚量 (万トン)	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	43.0			43.0	40.0	3.0					
1976	75.6			75.6	67.7	7.9	386.2	85.2	559	19.6	65.6
1977	99.1			99.1	93.4	5.6	555.3	177.4	923	17.8	52.0
1978	114.9			114.9	97.5	17.4	744.0	262.0	942	15.5	36.0
1979	108.9			108.9	93.3	15.6	864.7	421.9	419	12.6	9.9
1980	144.5			144.5	128.6	15.9	1,336.6	561.3	2,930	10.8	52.2
1981	229.6			229.6	212.9	16.7	1,541.5	532.5	1,978	14.9	37.1
1982	241.9			241.9	215.8	26.1	1,583.0	815.8	1,562	15.3	19.2
1983	272.5			272.5	253.9	18.6	1,515.1	914.0	1,802	18.0	19.7
1984	287.0			287.0	258.9	28.1	1,441.9	836.8	2,128	19.9	25.4
1985	264.4			264.4	239.7	24.7	1,739.2	807.9	2,479	15.2	30.7
1986	268.5			268.5	247.1	21.4	1,888.1	1,049.9	2,600	14.2	24.8
1987	291.6			291.6	269.6	22.0	1,954.2	1,132.2	1,565	14.9	13.8
1988	283.8			283.8	259.3	24.4	1,777.4	1,335.5	228	16.0	1.7
1989	252.4			252.4	228.0	24.3	1,250.7	1,175.4	194	20.2	1.7
1990	216.2			216.2	191.6	24.6	798.1	760.9	69	27.1	0.9
1991	172.4			172.4	154.4	18.0	454.6	444.0	53	37.9	1.2
1992	124.0			124.0	108.9	15.2	246.5	181.9	273	50.3	15.0
1993	79.1			79.1	67.5	11.6	146.7	56.9	121	53.9	21.3
1994	42.5			42.5	35.7	6.8	87.9	48.7	119	48.3	24.4
1995	33.2			33.2	27.7	5.5	75.6	31.0	73	43.9	23.6
1996	18.1			18.1	15.0	3.1	80.5	22.1	134	22.5	60.7
1997	25.5			25.5	22.8	2.7	91.6	36.0	78	27.9	21.6
1998	14.2			14.2	12.4	1.8	72.7	42.9	74	19.5	17.2
1999	30.8			30.8	28.1	2.7	70.1	47.3	26	43.9	5.4
2000	13.9			13.9	12.2	1.7	41.1	23.1	48	33.8	21.0
2001	17.7			17.7	16.2	1.5	30.5	19.9	25	57.9	12.4
2002	4.9			4.9	4.3	0.6	15.7	8.7	12	31.1	14.1
2003	5.1			5.1	4.6	0.5	12.1	7.5	11	42.0	15.0
2004	4.8			4.8	4.1	0.7	10.9	6.3	9	44.1	14.3
2005	2.5			2.5	1.6	0.9	8.7	3.5	19	28.6	55.4
2006	4.9			4.9	4.0	1.0	13.1	6.2	12	37.4	20.1
2007	6.5			6.5	4.2	2.3	11.2	5.6	14	57.9	25.4
2008	2.7			2.7	1.8	0.9	9.9	2.8	24	27.2	87.4
2009	4.9			4.9	4.6	0.3	12.9	5.9	13	38.3	22.2
2010	6.5			6.5	6.2	0.3	33.3	7.6	77	19.4	101.6
2011	13.2			13.2	12.2	1.0	46.2	16.5	53	28.5	31.8
2012	10.2			10.2	9.2	0.9	50.8	25.8	64	20.0	24.9
2013	13.0			13.0	12.4	0.6	59.9	33.1	72	21.6	21.8
2014	18.6	0.0		18.6	17.2	1.4	103.5	42.0	202	18.0	48.1
2015	27.1	0.0		27.0	17.5	9.5	126.5	58.5	228	21.4	39.0
2016	32.7	0.7		32.0	28.1	3.9	162.8	75.3	254	20.1	33.7
2017	47.0	1.7	1.0	44.4	42.1	2.3	230.0	110.6	462	20.5	41.8
2018	54.3	6.3	2.6	45.3	43.2	2.2	357.8	119.1	883	15.2	74.1
2019	72.6	13.3	4.6	54.7	52.0	2.6	454.7	174.6	621	16.0	35.6
2020	103.4	31.5	9.3	62.6	55.4	7.1	522.4	249.0	784	19.8	31.5
2021	107.8	25.6	23.7	58.5	54.2	4.3	496.7	240.4	689	21.7	28.6
2022	111.6	26.7	28.8	56.1	54.1	2.0	491.4	240.5	582	22.7	24.2

表 4-1. 産卵量（兆粒）

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
I・II区	150	109	43	79	244	153	734	285	277	420	3,379	2,632	697
I~IV区	562	989	892	622	1,158	2,052	5,614	1,462	2,727	2,328	4,304	3,423	1,754
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
I・II区	48	61	26	22	49	42	35	170	32	12	7	18	31
I~IV区	1,280	638	143	148	172	121	145	283	63	33	44	62	101
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
I・II区	7	32	13	24	37	52	116	134	306	146	241	452	1,354
I~IV区	38	148	84	118	75	120	192	245	426	228	347	531	1,378
	2019	2020	2021	2022	2023								
I・II区	1,804	681	1,066	1,417	1,183								
I~IV区	1,892	723	1,088	1,423	1,266								

前年10月から9月までの集計値（2023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。

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 加入量指数	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
移行域 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	2021	2022	2023		
移行域 加入量指数	102.6	91.9	524.8	248.1	257.1	836.3	646.9	527.7		

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
0歳魚	0	5	1	0	1	0	1	1	5	78
1歳以上	19	2	8	1	0	0	0	0	0	5
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳魚	19	18	8	259	313	4,791	15,107	85,559	8,417	241,930
1歳以上	10	14	14	11	14	3	7	22	583	1,332,458
	2021	2022	2023							
0歳魚	40,117	1,850	8,032							
1歳以上	520	815	284							

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）

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
現存量	1,203	63	60	1,018	1,415	15,258	7,359	5,715	6,601	11,892
分布密度	1,284	62	70	1,236	1,792	19,645	9,199	5,569	7,765	13,140
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		
現存量	34,764	15,551	17,092	54,528	13,870	23,473	36,506	32,894		
分布密度	32,159	22,002	14,098	98,409	23,183	46,170	68,428	187,429		

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 4-5. 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
	7,592	4,109	16,840	11,653	2,853	53,698	41,207	6,740	50,085	41,197
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
	62,928	42,986	39,659	1,588	5,944	224	30	30,541	5,802	5,054
未成魚 越冬群指数	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
	239	8,481	1,136	5,763	0	8,480	122	404	342	28
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	1,093	371	385	921	780	3,374	408	1,397	1,757	2,065
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023		
	2,480	1,855	2,178	6,991	17,329	11,661	630	817		

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 5-1. 将来の親魚量が目標管理基準値 (a)、限界管理基準値 (b) を上回る確率

(a) 目標管理基準値を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2041	2051
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	99	93	87	72	45
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	80	52
0.85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	96	83	56
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	85	59
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	89	65
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	71
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	78
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	83
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
F2020-2022	100	100	100	100	100	100	100	100	84	68	63	52	28

(b) 限界管理基準値を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2041	2051
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92
0.85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
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
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	73

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2020-2022) から予測される 104.9 万トンとし、2024 年から漁獲管理規則による漁獲とした。一番下の行に、2024 年以降も現状の漁獲圧 (F2020-2022) を継続した場合の将来予測の結果も示している。太字は漁獲管理規則に基づく管理開始から 10 年目となる目標年の値を示す。

表 5-2. 将来の親魚量 (a) および漁獲量 (b) の平均値の推移

(a) 親魚量の平均値の推移 (万トン)

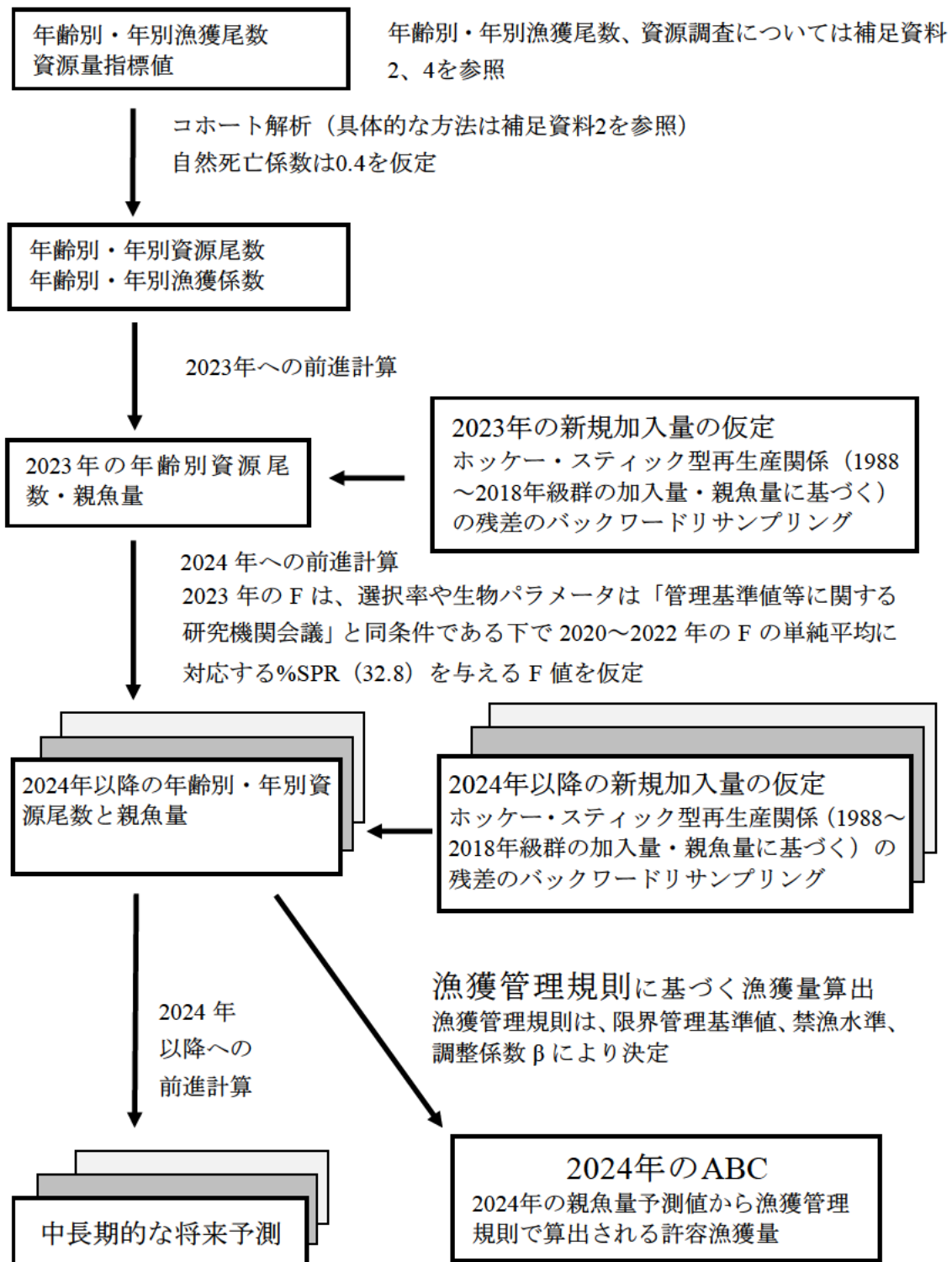
β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2041	2051
1.0	242.4	227.8	328.8	306.2	296.5	291.8	283.7	250.0	227.2	216.2	211.2	171.6	127.2
0.9	242.4	227.8	338.3	322.2	315.3	311.8	303.9	269.2	245.1	232.8	227.0	184.4	138.8
0.85	242.4	227.8	343.2	330.6	325.4	322.5	314.9	279.7	254.9	241.9	235.6	191.4	145.2
0.8	242.4	227.8	348.1	339.2	335.9	333.8	326.5	290.8	265.3	251.7	244.9	198.9	151.9
0.7	242.4	227.8	358.3	357.4	358.2	358.1	351.7	315.2	288.3	273.2	265.3	215.4	166.5
0.6	242.4	227.8	368.9	376.7	382.5	385.1	380.0	342.8	314.6	298.0	288.8	234.4	182.7
0.5	242.4	227.8	379.8	397.3	409.1	415.0	411.9	374.4	345.0	326.8	316.1	256.3	200.7
0.4	242.4	227.8	391.2	419.4	438.1	448.5	447.9	410.6	380.2	360.5	348.2	282.1	221.1
0.3	242.4	227.8	402.9	442.9	470.0	485.8	489.0	452.5	421.6	400.3	386.3	312.7	244.7
0.2	242.4	227.8	415.1	468.0	504.9	527.8	535.8	501.1	470.3	447.8	432.2	349.8	272.9
0.1	242.4	227.8	427.7	494.9	543.2	575.0	589.6	558.1	528.3	505.1	488.0	395.6	307.6
0.0	242.4	227.8	440.8	523.7	585.5	628.2	651.7	625.1	597.9	575.0	556.9	453.5	351.4
F2020-2022	242.4	227.8	301.0	262.0	246.3	240.0	231.8	201.7	182.8	174.9	171.9	138.7	93.6

(b) 漁獲量の平均値の推移 (万トン)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2041	2051
1.0	104.9	78.3	108.4	100.2	97.1	92.7	87.7	81.6	74.3	70.8	68.7	56.2	41.8
0.9	104.9	71.6	102.0	96.0	94.0	90.3	85.8	80.1	73.0	69.4	67.2	55.0	41.6
0.85	104.9	68.2	98.5	93.6	92.1	88.8	84.6	79.1	72.1	68.5	66.3	54.2	41.3
0.8	104.9	64.7	94.8	91.0	90.1	87.1	83.2	78.0	71.1	67.5	65.2	53.4	40.9
0.7	104.9	57.6	86.8	84.9	85.1	83.0	79.7	75.1	68.6	65.0	62.7	51.3	39.7
0.6	104.9	50.2	77.8	77.8	79.0	77.8	75.1	71.1	65.1	61.7	59.4	48.5	37.9
0.5	104.9	42.5	67.9	69.4	71.5	71.1	69.2	65.8	60.5	57.3	55.1	44.9	35.2
0.4	104.9	34.6	56.9	59.5	62.3	62.6	61.4	58.8	54.4	51.5	49.4	40.3	31.5
0.3	104.9	26.4	44.8	47.9	50.9	51.8	51.4	49.6	46.1	43.7	41.9	34.1	26.7
0.2	104.9	17.9	31.3	34.3	37.2	38.3	38.4	37.4	35.0	33.3	31.9	26.0	20.2
0.1	104.9	9.1	16.4	18.5	20.4	21.3	21.6	21.3	20.1	19.2	18.5	15.0	11.6
0.0	104.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F2020-2022	104.9	97.8	124.5	109.2	103.0	96.8	90.5	83.7	76.2	73.2	71.3	58.0	39.8

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2020-2022) から予測される 104.9 万トンとし、2024 年から漁獲管理規則による漁獲とした。一番下の行に、2024 年以降も現状の漁獲圧 (F2020-2022) を継続した場合の将来予測の結果も示している。太字は漁獲管理規則に基づく管理開始から 10 年目となる目標年の値を示す。

補足資料 1 資源評価の流れ



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 2022 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、2022 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 2005~2022 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・0 歳魚資源尾数
- ② 2006~2021 年の未成魚越冬群指数（千葉水総研、茨城水試）・1 歳魚資源量
- ③ 2005~2023 年の潮岬以東海域（海区 I・II）における産卵量・親魚量

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。また、②の未成魚越冬群指数は、近年の海洋環境・資源状態の変化によりマイワシ 1 歳魚の越冬時の分布が変化し、昨年に引き続き 1 歳魚資源量を反映していない可能性が高かったため、2022 年および 2023 年の値をチューニングから除外した。現在、未成魚越冬群指数に代わる新たな指標値の開発が進められている（増田・古市 2023）。

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、親魚量のレトロスペクティブバイアスを小さくすると加入量のレトロスペクティブ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が、近年本系群では高齢魚の F に比べ 0 歳魚の F が小さい傾向にあるため、高齢魚に合わせてペナルティの大きさを決定すると、0 歳魚の F を抑えるには十分なペナルティを与えることができず、一方で 0 歳魚に合わせてペナルティの大きさを決定すると、高齢魚の F へのペナルティが大きくなりすぎ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。

$$(1 - \lambda) \sum_{k=1}^3 \sum_y [\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})]^2 + \lambda \left[(1 - \eta) \sum_{a=1}^4 F_{a,2022}^2 + \eta F_{0,2022}^2 \right] \quad (7)$$

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。

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

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

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 (2022 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 0.72、 η は 0.99 となった。そのときのパラメータの推定値は、 $F_{0,2022} = 0.05$ 、 $F_{1,2022} = 0.23$ 、 $F_{2,2022} = 0.50$ 、 $F_{3,2022} = 1.21$ 、 $F_{4,2022} = F_{5+,2022} = 0.61$ 、 $q_1 = 0.59$ 、 $q_2 = 35.74$ 、 $q_3 = 0.46$ 、 $b_1 = 1.00$ 、 $b_2 = 0.70$ となった。

推定された資源量、親魚量、加入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。2022 年のそれぞれの推定値の 90% 信頼区間は、加入量 (億尾) [93.7, 2,056.0]、資源量 (万トン) [3,596.5, 10022.4]、親魚量 (万トン) [1,762.8, 4536.1]、 F_0 [0.01, 0.34]、 F_1 [0.09, 2.30]、 F_2 [0.21, 2.22]、 F_3 [0.26, 2.37]、 F_4 [0.13, 1.77] であった。

(2) 将来予測方法

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。2023 年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) のホッケー・スティック型関係式 ($a=0.026$ 、 $b=764,050$ 、 $SD=0.705$) に基づいている (古市ほか 2020a)。ただし 2014 年以降、通常加入期の再生産関係から予測される平均値より高い加入量が継続している (図 4-9)。今後も (少なくとも短期的には) 良好な加入が継続することは十分に想定されるため、この加入量の良好な傾向を取り入れた将来予測を行った。具体的には加入量の不確実性として、2023 年以

降の加入量を、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。直近の加入量の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、直近の加入量の傾向の影響が徐々に緩和されるような仮定となっている（補足図 2-2）。

- ・将来予測の 1～5 年目：資源評価の最新 5 年分（2018～2022 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（2018～2022 年）の残差、または、さらに過去に遡った 5 年分（2013～2017 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する範囲を追加する。

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 2-3 に示す。パラメータは基本的に、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、この評価における将来予測で設定した値となっている。年齢別平均体重については、短期的には直近の成長の遅れが継続する可能性が高いと判断されることから、ABC 算定年である 2024 年までは直近 3 年平均（2020～2022 年）を使用し、2025 年以降は、「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各種管理基準値の推定に用いた値を用いた。2023 年の漁獲圧は、外国船による漁獲が急増した 2020 年以降の平均値である現状の漁獲圧（ $F_{2020-2022}$ ）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。

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

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

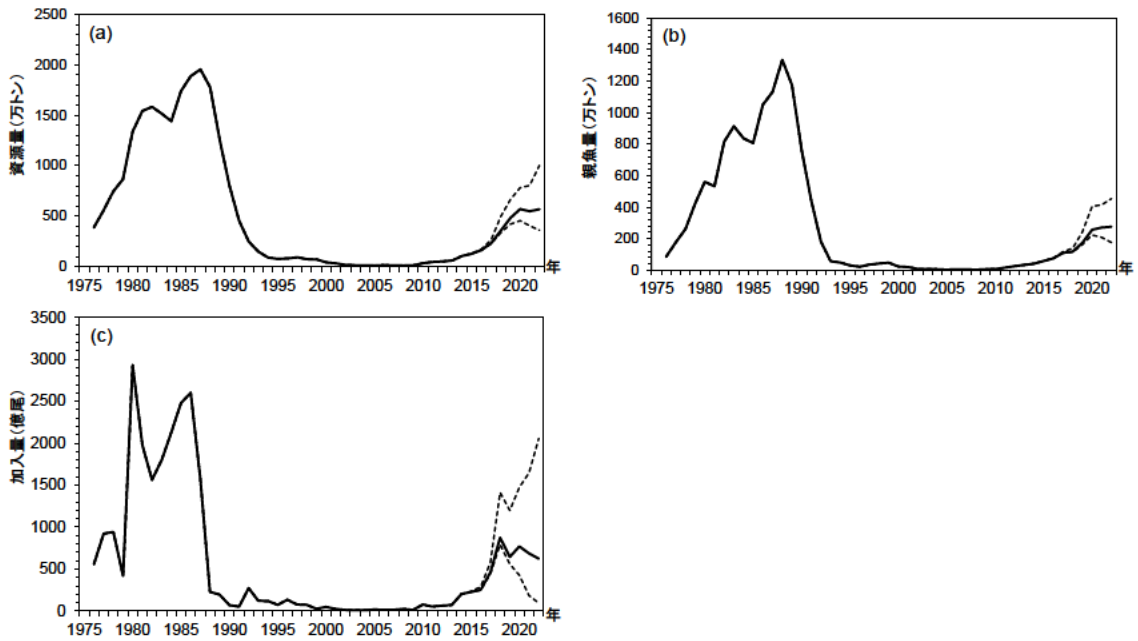
漁獲尾数は上記で求めた資源尾数と各漁獲シナリオから仮定される F 値をもとに (10) 式により求めた。

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

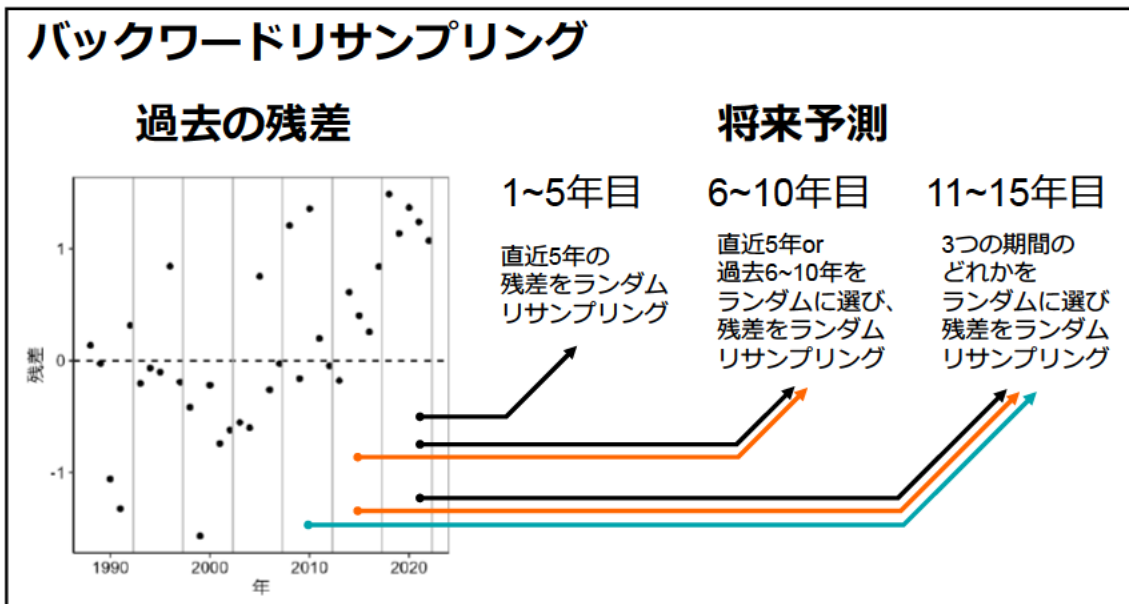
引用文献

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 27 July 2021)

- 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.
- 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.
- 増田義男・古市 生 (2023) 宮城県沿岸域におけるマイワシの来遊と越冬. 黒潮の資源海洋研究, **24**, 71-76.
- 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. (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。



補足図 2-2. バックワードリサンプリングの概念図

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
0歳	2,688	3,838	3,043	2,828	13,733	6,276	3,578	3,601
1歳	7,763	5,052	8,106	4,208	1,500	36,761	10,028	4,538
2歳	2,542	5,224	4,401	4,714	3,591	1,964	22,951	15,526
3歳	278	1,636	2,353	2,750	4,998	3,654	2,007	20,050
4歳	98	53	346	745	1,790	1,845	3,494	874
5歳以上	1	1	27	19	324	348	1,365	1,358
計	13,370	15,803	18,276	15,264	25,937	50,849	43,422	45,946
年齢別漁獲量 (千トン)								
年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
0歳	67.2	80.6	66.9	96.1	288.4	119.2	68.0	43.2
1歳	434.7	293.0	421.5	231.4	103.5	1,396.9	411.1	190.6
2歳	213.5	438.8	369.7	381.8	290.9	167.0	1,216.4	916.0
3歳	29.2	171.8	247.1	288.8	509.8	354.5	182.7	1,343.4
4歳	11.6	6.2	40.8	87.9	211.3	214.1	370.4	81.2
5歳以上	0.1	0.1	3.4	2.5	41.2	44.2	170.6	150.7
計	756	991	1,149	1,089	1,445	2,296	2,419	2,725
漁獲割合	19.6%	17.8%	15.5%	12.6%	10.8%	14.9%	15.3%	18.0%
年齢別漁獲係数 (F)、%SPR、F/Fmsy								
年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
0歳	0.06	0.05	0.04	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02
1歳	0.35	0.19	0.18	0.09	0.07	0.28	0.10	0.06
2歳	0.57	0.55	0.32	0.19	0.13	0.16	0.35	0.28
3歳	1.06	1.31	0.68	0.44	0.41	0.23	0.31	0.81
4歳	3.50	0.76	1.94	0.61	0.76	0.33	0.45	0.27
5歳以上	3.50	0.76	1.94	0.61	0.76	0.33	0.45	0.27
%SPR	29.25	34.76	40.04	49.45	52.89	49.27	46.30	47.74
F/Fmsy	1.74	1.29	1.00	0.66	0.52	0.73	0.78	0.70
年齢別資源尾数 (百万尾)								
年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
0歳	55,898	92,251	94,204	41,921	292,971	197,812	156,249	180,202
1歳	31,999	35,269	58,696	60,655	25,786	185,141	127,459	101,808
2歳	7,185	15,094	19,506	32,709	37,214	16,056	94,007	77,228
3歳	520	2,735	5,841	9,472	18,066	22,005	9,155	44,224
4歳	123	121	494	1,989	4,097	8,018	11,759	4,493
5歳以上	1	3	39	52	742	1,512	4,592	6,982
計	95,727	145,473	178,779	146,797	378,875	430,545	403,220	414,937
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
0歳	1,397	1,937	2,072	1,425	6,152	3,758	2,969	2,162
1歳	1,792	2,046	3,052	3,336	1,779	7,035	5,226	4,276
2歳	604	1,268	1,638	2,649	3,014	1,365	4,982	4,556
3歳	55	287	613	995	1,843	2,134	833	2,963
4歳	15	14	58	235	483	930	1,246	418
5歳以上	0	0	5	7	94	192	574	775
計	3,862	5,553	7,440	8,647	13,366	15,415	15,830	15,151
親魚量	852	1,774	2,620	4,219	5,613	5,325	8,158	9,140
RPS	65.6	52.0	36.0	9.9	52.2	37.1	19.2	19.7
年齢別平均体重 (g)								
年齢\年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
0歳	25	21	22	34	21	19	19	12
1歳	56	58	52	55	69	38	41	42
2歳	84	84	84	81	81	85	53	59
3歳	105	105	105	105	102	97	91	67
4歳	118	118	118	118	118	116	106	93
5歳以上	127	127	127	127	127	127	125	111

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	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
0歳	9,656	16,152	2,612	13,293	1,857	4,733	1,831	482
1歳	12,952	12,648	16,897	7,413	12,465	1,176	2,798	775
2歳	8,377	8,947	8,340	13,945	12,176	6,865	2,632	944
3歳	13,665	10,192	8,256	12,206	8,351	11,210	6,753	1,373
4歳	6,671	6,217	5,976	6,746	6,310	7,801	9,491	5,685
5歳以上	2,958	2,039	2,452	2,929	3,073	4,185	4,655	8,525
計	54,278	56,194	44,531	56,532	44,231	35,970	28,160	17,784
年齢別漁獲量 (千トン)								
年齢\年	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
0歳	77.2	290.7	26.1	79.8	22.3	47.3	9.2	1.9
1歳	531.0	505.9	709.7	348.4	610.8	52.9	114.7	23.2
2歳	452.4	438.4	492.1	753.0	706.2	405.0	152.6	82.1
3歳	929.2	682.8	619.2	817.8	626.3	840.8	533.5	133.2
4歳	560.3	516.0	555.7	600.4	561.6	725.5	863.7	562.8
5歳以上	319.4	210.0	281.9	316.4	310.4	452.0	488.8	920.7
計	2,870	2,644	2,685	2,916	2,838	2,524	2,162	1,724
漁獲割合								
年齢\年	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
0歳	19.9%	15.2%	14.2%	14.9%	16.0%	20.2%	27.1%	37.9%
年齢別漁獲係数 (F)、%SPR、F/Fmsy								
年齢\年	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
0歳	0.06	0.08	0.01	0.11	0.10	0.35	0.39	0.12
1歳	0.14	0.12	0.14	0.05	0.18	0.11	0.47	0.36
2歳	0.17	0.17	0.14	0.21	0.15	0.17	0.49	0.36
3歳	0.56	0.42	0.30	0.38	0.24	0.24	0.32	0.68
4歳	0.96	0.71	0.61	0.57	0.45	0.47	0.43	0.66
5歳以上	0.96	0.71	0.61	0.57	0.45	0.47	0.43	0.66
%SPR	42.46	44.66	50.87	47.25	48.89	39.11	22.46	33.98
F/Fmsy	0.88	0.81	0.61	0.73	0.72	1.03	1.77	1.25
年齢別資源尾数 (百万尾)								
年齢\年	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
0歳	212,801	247,911	259,954	156,475	22,847	19,437	6,923	5,308
1歳	117,844	134,739	152,955	172,114	94,005	13,794	9,154	3,142
2歳	64,528	68,389	79,963	88,695	109,303	52,808	8,283	3,845
3歳	39,056	36,396	38,518	46,773	48,037	63,299	29,778	3,398
4歳	13,228	14,992	16,053	19,060	21,359	25,363	33,252	14,432
5歳以上	5,866	4,916	6,586	8,276	10,402	13,608	16,310	21,641
計	453,324	507,343	554,029	491,392	305,952	188,309	103,701	51,765
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	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
0歳	1,702	4,462	2,600	939	274	194	35	21
1歳	4,832	5,390	6,424	8,089	4,606	621	375	94
2歳	3,485	3,351	4,718	4,790	6,340	3,116	480	335
3歳	2,656	2,439	2,889	3,134	3,603	4,747	2,352	330
4歳	1,111	1,244	1,493	1,696	1,901	2,359	3,026	1,429
5歳以上	633	506	757	894	1,051	1,470	1,713	2,337
計	14,419	17,392	18,881	19,542	17,774	12,507	7,981	4,546
親魚量	8,368	8,079	10,499	11,322	13,355	11,754	7,609	4,440
RPS	25.4	30.7	24.8	13.8	1.7	1.7	0.9	1.2
年齢別平均体重 (g)								
年齢\年	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
0歳	8	18	10	6	12	10	5	4
1歳	41	40	42	47	49	45	41	30
2歳	54	49	59	54	58	59	58	87
3歳	68	67	75	67	75	75	79	97
4歳	84	83	93	89	89	93	91	99
5歳以上	108	103	115	108	101	108	105	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	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	4,003	2,806	3,517	1,973	2,948	725	451	61
1歳	1,190	8,933	2,089	2,533	651	2,638	993	2,606
2歳	363	317	1,788	1,231	336	449	490	1,108
3歳	738	321	319	193	128	139	148	421
4歳	768	329	125	42	28	30	142	174
5歳以上	8,352	932	328	60	12	10	71	59
計	15,414	13,637	8,168	6,033	4,103	3,990	2,295	4,428
年齢別漁獲量 (千トン)								
年齢\年	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	72.1	16.8	38.7	66.8	99.9	20.3	10.8	2.2
1歳	64.3	544.9	117.0	123.3	31.7	168.8	51.7	155.6
2歳	30.1	25.1	168.1	103.8	28.3	44.4	38.7	85.0
3歳	70.9	35.9	38.3	22.8	15.1	16.1	14.9	39.9
4歳	76.0	44.1	16.9	6.1	3.9	4.0	16.6	17.6
5歳以上	927.1	124.0	46.0	9.4	1.8	1.5	8.7	7.6
計	1,240	791	425	332	181	255	142	308
漁獲割合	50.3%	53.9%	48.3%	43.9%	22.5%	27.9%	19.5%	43.9%
年齢別漁獲係数 (F)、%SPR、F/Fmsy								
年齢\年	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	0.20	0.33	0.45	0.40	0.31	0.12	0.08	0.03
1歳	0.62	1.29	0.58	0.94	0.28	0.67	0.30	1.19
2歳	0.36	0.41	1.56	1.15	0.37	0.40	0.31	0.90
3歳	0.69	0.84	1.45	0.92	0.41	0.32	0.27	0.62
4歳	1.68	1.09	1.45	1.05	0.39	0.19	0.85	0.81
5歳以上	1.68	1.09	1.45	1.05	0.39	0.19	0.85	0.81
%SPR	23.71	10.51	13.65	10.74	31.28	29.68	43.59	22.57
F/Fmsy	1.91	3.07	3.28	3.32	1.33	1.38	0.86	2.17
年齢別資源尾数 (百万尾)								
年齢\年	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	27,329	12,127	11,889	7,312	13,445	7,777	7,388	2,580
1歳	3,163	15,042	5,832	5,090	3,286	6,599	4,619	4,583
2歳	1,472	1,146	2,769	2,199	1,338	1,669	2,263	2,283
3歳	1,805	690	509	392	466	622	752	1,116
4歳	1,153	605	200	80	104	207	303	383
5歳以上	12,546	1,716	524	114	46	68	152	131
計	47,467	31,326	21,722	15,185	18,685	16,942	15,478	11,076
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	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	492	73	131	248	455	218	177	91
1歳	171	918	327	248	160	422	241	274
2歳	122	91	260	185	113	165	179	175
3歳	173	77	61	46	55	72	76	106
4歳	114	81	27	11	15	28	36	39
5歳以上	1,393	228	73	18	7	11	19	17
計	2,465	1,467	879	756	805	916	727	701
親魚量	1,819	569	487	310	221	360	429	473
RPS	15.0	21.3	24.4	23.6	60.7	21.6	17.2	5.4
年齢別平均体重 (g)								
年齢\年	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	18	6	11	34	34	28	24	35
1歳	54	61	56	49	49	64	52	60
2歳	83	79	94	84	84	99	79	77
3歳	96	112	120	118	118	116	101	95
4歳	99	134	135	143	143	134	118	102
5歳以上	111	133	140	156	150	154	122	127

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	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0歳	1,071	753	24	152	375	260	172	750
1歳	255	1,466	471	410	399	101	464	430
2歳	377	564	137	127	71	22	43	206
3歳	320	196	50	73	13	35	23	20
4歳	235	103	27	31	9	46	13	7
5歳以上	89	71	17	12	5	22	3	3
計	2,347	3,154	725	804	872	486	718	1,416

年齢別漁獲量 (千トン)								
年齢\年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0歳	31.7	12.7	0.8	2.9	10.2	6.2	3.7	20.2
1歳	11.1	79.2	26.9	25.2	27.3	4.1	37.5	22.7
2歳	28.7	44.7	10.9	9.9	7.2	1.9	3.6	19.0
3歳	30.9	19.0	5.1	7.8	1.6	3.8	2.7	2.0
4歳	25.3	11.8	3.0	3.6	1.0	5.6	1.5	0.8
5歳以上	11.0	9.2	2.2	1.6	0.6	3.2	0.3	0.3
計	139	177	49	51	48	25	49	65
漁獲割合	33.8%	57.9%	31.1%	42.0%	44.1%	28.6%	37.4%	57.9%

年齢別漁獲係数 (F)、%SPR、F/Fmsy								
年齢\年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0歳	0.32	0.46	0.02	0.18	0.72	0.18	0.19	1.04
1歳	0.20	1.41	0.80	0.99	1.45	0.54	0.75	1.42
2歳	0.68	1.39	0.57	0.67	0.57	0.31	0.62	1.35
3歳	0.99	1.38	0.50	0.94	0.16	0.83	0.83	0.91
4歳	1.24	1.65	0.92	0.92	0.33	2.45	1.24	1.01
5歳以上	1.24	1.65	0.92	0.92	0.33	2.45	1.24	1.01
%SPR	28.64	11.44	28.88	21.03	12.02	27.31	28.21	6.86
F/Fmsy	1.65	3.87	1.60	2.24	2.68	1.78	1.65	4.06

年齢別資源尾数 (百万尾)								
年齢\年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0歳	4,838	2,483	1,220	1,134	895	1,919	1,241	1,420
1歳	1,679	2,366	1,047	798	636	293	1,073	691
2歳	938	917	386	317	199	100	114	340
3歳	624	320	153	146	108	76	49	41
4歳	404	156	54	62	38	62	22	14
5歳以上	154	108	34	24	23	30	5	5
計	8,636	6,350	2,895	2,481	1,900	2,479	2,504	2,511

年齢別資源量 (千トン)、親魚量 (千トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)								
年齢\年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0歳	143	42	41	21	24	46	26	38
1歳	73	128	60	49	43	12	87	37
2歳	71	73	31	25	20	9	9	31
3歳	60	31	16	16	13	8	6	4
4歳	43	18	6	7	4	8	2	2
5歳以上	19	14	4	3	3	4	1	1
計	411	305	157	121	109	87	131	112
親魚量	231	199	87	75	63	35	62	56
RPS	21.0	12.4	14.1	15.0	14.3	55.4	20.1	25.4

年齢別平均体重 (g)								
年齢\年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0歳	30	17	33	19	27	24	21	27
1歳	44	54	57	61	68	41	81	53
2歳	76	79	79	78	102	88	83	92
3歳	96	97	102	107	124	109	118	99
4歳	107	115	112	117	111	122	113	111
5歳以上	123	129	132	138	118	143	108	110

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	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	459	121	209	760	515	330	2,554	4,523
1歳	178	620	406	1,769	612	813	567	2,783
2歳	36	29	206	76	570	544	483	398
3歳	16	11	14	15	25	240	297	211
4歳	2	6	10	6	4	8	83	42
5歳以上	1	2	8	8	1	5	3	65
計	692	788	852	2,634	1,727	1,939	3,987	8,022

年齢別漁獲量 (千トン)								
年齢\年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	11.7	2.6	6.2	23.2	13.6	7.4	62.0	89.1
1歳	9.8	41.9	30.9	97.0	34.2	44.6	30.8	111.8
2歳	2.9	2.7	23.9	8.3	50.2	48.9	47.0	34.9
3歳	1.9	1.1	1.6	1.8	3.0	26.9	35.4	22.1
4歳	0.3	0.7	1.1	0.6	0.6	1.0	10.5	5.0
5歳以上	0.2	0.2	0.9	0.9	0.1	0.8	0.5	7.6
計	27	49	65	132	102	130	186	271
漁獲割合	27.2%	38.3%	19.4%	28.5%	20.0%	21.6%	18.0%	21.4%

年齢別漁獲係数 (F)、%SPR、F/Fmsy								
年齢\年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	0.26	0.12	0.03	0.19	0.10	0.06	0.17	0.28
1歳	1.04	0.93	1.02	0.57	0.30	0.29	0.16	0.35
2歳	0.50	0.59	1.45	0.69	0.46	0.62	0.36	0.21
3歳	0.39	0.34	0.84	0.43	0.66	0.46	1.18	0.33
4歳	0.32	0.30	0.79	1.55	0.27	0.55	0.36	0.66
5歳以上	0.32	0.30	0.79	1.55	0.27	0.55	0.36	0.66
%SPR	20.59	27.64	25.51	28.83	37.60	36.46	38.42	35.97
F/Fmsy	1.95	1.56	1.98	1.57	1.09	1.16	1.07	1.15

年齢別資源尾数 (百万尾)								
年齢\年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	2,422	1,303	7,670	5,259	6,431	7,223	20,213	22,820
1歳	338	1,248	775	4,970	2,903	3,889	4,572	11,458
2歳	111	80	329	187	1,883	1,444	1,942	2,600
3歳	59	45	30	52	63	796	522	906
4歳	11	27	22	9	23	22	337	107
5歳以上	5	8	17	12	3	13	13	165
計	2,946	2,710	8,841	10,488	11,304	13,387	27,599	38,056

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	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	62	28	228	160	169	162	490	450
1歳	19	84	59	273	162	214	248	460
2歳	9	8	38	20	166	130	189	228
3歳	7	5	3	6	7	89	62	95
4歳	1	3	2	1	3	3	43	13
5歳以上	1	1	2	1	1	2	2	19
計	99	129	333	462	508	599	1,035	1,265
親魚量	28	59	76	165	258	331	420	585
RPS	87.4	22.2	101.6	31.8	24.9	21.8	48.1	39.0

年齢別平均体重 (g)								
年齢\年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	26	21	30	31	26	22	24	20
1歳	55	68	76	55	56	55	54	40
2歳	82	93	116	109	88	90	97	88
3歳	123	108	117	122	119	112	119	105
4歳	123	115	109	108	128	128	127	118
5歳以上	142	127	119	119	175	181	162	117

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	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	4,095	6,105	6,381	1,712	3,224	2,529	2,228
1歳	1,947	1,419	2,663	4,579	4,271	5,774	7,550
2歳	1,317	1,521	2,123	5,623	11,111	9,077	9,213
3歳	358	1,145	1,173	1,345	2,434	5,467	4,770
4歳	142	274	365	565	671	736	1,486
5歳以上	31	89	136	170	128	169	268
計	7,890	10,553	12,840	13,994	21,838	23,751	25,515
年齢別漁獲量 (千トン)							
年齢\年	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	76.9	83.4	110.5	28.9	58.0	44.4	49.8
1歳	83.6	72.9	109.8	185.7	175.4	195.9	258.5
2歳	104.4	141.1	155.1	318.1	554.2	441.0	413.5
3歳	40.2	124.5	109.8	115.7	165.6	314.7	259.9
4歳	17.3	35.8	39.6	57.0	65.1	62.9	106.9
5歳以上	4.3	12.7	18.0	20.2	15.3	18.8	27.6
計	327	470	543	726	1,034	1,078	1,116
漁獲割合	20.1%	20.5%	15.2%	16.0%	19.8%	21.7%	22.7%
年齢別漁獲係数 (F)、%SPR、F/Fmsy							
年齢\年	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	0.22	0.18	0.09	0.03	0.05	0.03	0.05
1歳	0.23	0.14	0.13	0.11	0.14	0.22	0.23
2歳	0.35	0.36	0.39	0.60	0.54	0.54	0.50
3歳	0.37	0.80	0.68	0.60	0.75	0.82	1.21
4歳	0.51	0.71	0.87	1.21	0.96	0.78	0.61
5歳以上	0.51	0.71	0.87	1.21	0.96	0.78	0.61
%SPR	35.71	37.47	38.71	36.90	34.08	33.33	31.34
F/Fmsy	1.16	1.11	1.06	1.17	1.33	1.36	1.50
年齢別資源尾数 (百万尾)							
年齢\年	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	25,401	46,238	88,310	62,135	78,368	68,869	58,187
1歳	11,594	13,674	25,996	53,972	40,249	49,893	44,094
2歳	5,402	6,177	8,004	15,245	32,429	23,483	28,717
3歳	1,417	2,543	2,896	3,628	5,616	12,641	8,309
4歳	434	657	767	980	1,330	1,772	3,998
5歳以上	95	213	286	296	254	408	720
計	44,343	69,502	126,259	136,256	158,246	157,065	144,025
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	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	477	632	1,529	1,049	1,411	1,210	1,301
1歳	498	702	1,072	2,189	1,653	1,692	1,510
2歳	428	573	585	862	1,617	1,141	1,289
3歳	159	276	271	312	382	728	453
4歳	53	86	83	99	129	151	287
5歳以上	13	31	38	35	30	45	74
計	1,628	2,300	3,578	4,547	5,224	4,967	4,914
親魚量	753	1,106	1,191	1,746	2,490	2,404	2,405
RPS	33.7	41.8	74.1	35.6	31.5	28.6	24.2
年齢別平均体重 (g)							
年齢\年	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	19	14	17	17	18	18	22
1歳	43	51	41	41	41	34	34
2歳	79	93	73	57	50	49	45
3歳	112	109	94	86	68	58	54
4歳	122	131	109	101	97	85	72
5歳以上	139	143	132	119	120	111	103

補足表 2-2. チューニングに用いた各指数の値

	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	23,473.0
② 未成魚越冬群指数	1,396.7	370.9	385.4	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	681.3

	2021	2022	2023
① 秋季亜寒帯域0歳魚 現存量(百万尾)	36,506.2	32,893.8	
② 未成魚越冬群指数	11,660.9	629.8	816.8
③ 潮岬以東海域産卵量 (海区 I・II)	1,065.6	1,417.3	1,183.4

* 2007 年の秋季亜寒帯域 0 歳魚現存量および 2022・2023 年の未成魚越冬群指数は、推定精度が低い（過小推定）と考えられたため、チューニングから除外した。

補足表 2-3. 将来予測計算に用いたパラメータ

	選択率 (注 1)	Fmsy (注 2)	F2020～ 2022 (注 3)	平均体重(g)		自然 死亡 係数	成熟 割合
				2023～ 2024 年	2025 年 以降		
0 歳	0.36	0.18	0.24	19	17	0.4	0.0
1 歳	0.37	0.18	0.24	36	45	0.4	0.2
2 歳	0.49	0.24	0.32	48	81	0.4	1.0
3 歳	1.00	0.50	0.65	60	105	0.4	1.0
4 歳	1.00	0.50	0.65	85	121	0.4	1.0
5 歳以上	1.00	0.50	0.65	111	138	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 Fcurrent の選択率）。

注 2：令和 2 年度研究機関会議で推定された Fmsy（すなわち、令和元年度資源評価での Fcurrent に Fmsy/Fcurrent 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 2020～2022 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 2023 年の漁獲量の仮定に使用した。

補足資料 3 各種パラメータと評価結果の概要

補足表 3-1. 再生産関係式のパラメータ

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

a と b は各再生産関係式の推定パラメータ、S.D.は加入量の標準偏差、 ρ は自己相関係数である。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。

補足表 3-2. 管理基準値と MSY

項目	値	説明
SBtarget	118.7 万トン	目標管理基準値。最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy)
SBlimit	48.7 万トン	限界管理基準値。MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy)
SBban	6.9 万トン	禁漁水準。MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.1msy)
Fmsy	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧 (漁獲係数 F) (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	38.9 万トン	最大持続生産量 MSY

補足表 3-3. 最新年の親魚量と漁獲圧

項目	値	説明
SB2022	240.5 万トン	2022 年の親魚量
F2022	2022 年の漁獲圧(漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳以上) =(0.05, 0.23, 0.50, 1.21, 0.61, 0.61)	
U2022	22.7%	2022 年の漁獲割合
%SPR(F2022)	31.3%	2022 年の%SPR
%SPR(F2020-2022)	32.8%	現状(2020~2022 年)の漁獲圧に対応する%SPR*
管理基準値との比較		
SB2022/ SBmsy (SBtarget)	2.03	最大持続生産量を実現する親魚量(目標管理基準値)に対する 2022 年の親魚量の比
F2022/ Fmsy	1.50	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2022 年の漁獲圧の比*
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 を実現する水準を上回る	
親魚量の動向	増加	

* 2022 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。

補足表 3-4. ABC と予測親魚量

2024 年の ABC (万トン)	2024 年の親魚量 予測平均値 (万トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2020-2022)	2024 年の 漁獲割合(%)
68.2	227.8	0.65	17.5
コメント: <ul style="list-style-type: none"> • ABC の算定には、令和 2 年 9 月に開催された「資源管理方針に関する検討会」で取り纏められ「水産政策審議会」を経て定められた漁獲シナリオでの漁獲管理規則を用いた。 • 調整係数 β は、2021~2023 年までは 1.20、2024 年以降は 0.85 が用いられる。 • ABC は外国船による漁獲も合わせた値。 			

補足表 3-5. 異なる β を用いた将来予測結果

考慮している不確実性: 加入量					
項目	2031 年の親魚量 (万トン)	90% 予測区間 (万トン)	2031 年に親魚量が以下の 管理基準値を上回る確率(%)		
			SBtarget	SBlimit	SBban
漁獲管理規則で使用する β					
$\beta=0.85$	254.9	157.8–355.9	100	100	100
上記と異なる β を使用した場合					
$\beta=1.0$	227.2	136.6–321.8	99	100	100
$\beta=0.8$	265.3	166.0–368.7	100	100	100
$\beta=0.6$	314.6	205.5–428.1	100	100	100
$\beta=0.4$	380.2	260.0–505.3	100	100	100
$\beta=0.2$	470.3	336.3–608.8	100	100	100
$\beta=0.0$	597.9	447.8–751.9	100	100	100
F2020-2022	182.8	104.1–264.9	84	100	100

補足表 3-5. 異なる β を用いた将来予測結果 (つづき)

考慮している不確実性: 加入量			
	親魚量が管理基準値を 50%以上の確率で上回る年		
	SBtarget	SBlimit	SBban
漁獲管理規則で使用する β			
$\beta=0.85$	2023 年以降	2023 年以降	2023 年以降
上記と異なる β を使用した場合			
$\beta=1.0$	2023 年以降	2023 年以降	2023 年以降
$\beta=0.8$	2023 年以降	2023 年以降	2023 年以降
$\beta=0.6$	2023 年以降	2023 年以降	2023 年以降
$\beta=0.4$	2023 年以降	2023 年以降	2023 年以降
$\beta=0.2$	2023 年以降	2023 年以降	2023 年以降
$\beta=0.0$	2023 年以降	2023 年以降	2023 年以降
F2020-2022	2023 年以降	2023 年以降	2023 年以降

補足表 3-6. 漁獲管理規則に対応する将来予測

HCR (2024 年以降は 0.85Fmsy で漁獲)

年齢別漁獲係数											
年齢\年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	0.24	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
1歳	0.24	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
2歳	0.32	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
3歳	0.65	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
4歳	0.65	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
5歳以上	0.65	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
単純平均	0.46	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

年齢別平均資源尾数 (百万尾) ※											
年齢\年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	46,608	46,559	46,588	46,530	46,625	33,619	33,568	33,395	33,538	33,431	31,196
1歳	37,179	24,637	26,760	26,776	26,743	26,798	19,322	19,293	19,194	19,276	19,214
2歳	23,376	19,573	14,123	15,340	15,349	15,330	15,361	11,076	11,060	11,003	11,050
3歳	11,706	11,409	10,683	7,708	8,372	8,378	8,367	8,384	6,045	6,036	6,005
4歳	1,665	4,079	5,007	4,688	3,383	3,674	3,677	3,672	3,679	2,653	2,649
5歳以上	1,726	1,184	2,313	3,217	3,474	3,013	2,939	2,907	2,891	2,888	2,435
計	122,260	107,441	105,474	104,259	103,946	90,812	83,234	78,727	76,407	75,287	72,549

年齢別平均資源量 (千トン) ※											
年齢\年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	900	899	777	776	778	561	560	557	560	558	521
1歳	1,354	897	1,202	1,203	1,201	1,204	868	867	862	866	863
2歳	1,117	935	1,149	1,248	1,249	1,248	1,250	901	900	895	899
3歳	703	685	1,119	808	877	878	877	878	633	632	629
4歳	141	346	603	565	408	443	443	443	443	320	319
5歳以上	192	132	319	444	480	416	406	401	399	399	336
計	4,407	3,894	5,171	5,044	4,993	4,749	4,404	4,048	3,798	3,670	3,568
親魚量	2,424	2,278	3,432	3,306	3,254	3,225	3,149	2,797	2,549	2,419	2,356

年齢別平均漁獲尾数 (百万尾) ※											
年齢\年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	8,069	5,435	5,438	5,432	5,443	3,924	3,919	3,898	3,915	3,903	3,642
1歳	6,533	2,921	3,173	3,175	3,171	3,177	2,291	2,288	2,276	2,286	2,278
2歳	5,204	2,977	2,148	2,333	2,334	2,332	2,336	1,685	1,682	1,673	1,680
3歳	4,602	3,226	3,020	2,179	2,367	2,369	2,366	2,370	1,709	1,707	1,698
4歳	653	1,150	1,412	1,322	954	1,036	1,037	1,035	1,037	748	747
5歳以上	677	334	652	907	980	850	829	820	815	814	687
計	25,737	16,043	15,844	15,348	15,249	13,688	12,777	12,096	11,435	11,130	10,732

年齢別平均漁獲量 (千トン) ※											
年齢\年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	156	105	91	91	91	65	65	65	65	65	61
1歳	238	106	143	143	142	143	103	103	102	103	102
2歳	249	142	175	190	190	190	190	137	137	136	137
3歳	276	194	316	228	248	248	248	248	179	179	178
4歳	55	98	170	159	115	125	125	125	125	90	90
5歳以上	75	37	90	125	135	117	114	113	113	112	95
計	1,049	682	985	936	921	888	846	791	721	685	663
漁獲割合	24%	18%	19%	19%	18%	19%	19%	20%	19%	19%	19%

※10,000 回の繰り返し計算を行った平均値である。

補足表 3-7. 現状の漁獲圧に対応する将来予測

F2020-2022

年齢別漁獲係数											
年齢\年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
1歳	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
2歳	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
3歳	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
4歳	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
5歳以上	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
単純平均	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46

年齢別平均資源尾数 (百万尾) ※											
年齢\年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	46,608	46,559	46,588	46,530	46,625	33,619	33,568	33,395	33,538	33,423	31,143
1歳	37,179	24,637	24,610	24,626	24,595	24,645	17,770	17,744	17,652	17,728	17,667
2歳	23,376	19,573	12,970	12,956	12,964	12,948	12,975	9,355	9,341	9,293	9,333
3歳	11,706	11,409	9,553	6,330	6,323	6,327	6,319	6,332	4,566	4,559	4,535
4歳	1,665	4,079	3,976	3,329	2,206	2,204	2,205	2,202	2,207	1,591	1,589
5歳以上	1,726	1,184	1,838	2,031	1,872	1,424	1,267	1,213	1,193	1,187	970
計	122,260	107,441	99,535	95,802	94,585	81,167	74,104	70,241	68,497	67,781	65,237

年齢別平均資源量 (千トン) ※											
年齢\年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	900	899	777	776	778	561	560	557	560	558	520
1歳	1,354	897	1,106	1,106	1,105	1,107	798	797	793	796	794
2歳	1,117	935	1,056	1,054	1,055	1,054	1,056	761	760	756	760
3歳	703	685	1,001	663	662	663	662	663	478	478	475
4歳	141	346	479	401	266	266	266	265	266	192	191
5歳以上	192	132	254	280	258	197	175	167	165	164	134
計	4,407	3,894	4,672	4,282	4,125	3,847	3,517	3,212	3,022	2,944	2,873
親魚量	2,424	2,278	3,010	2,620	2,463	2,400	2,318	2,017	1,828	1,749	1,719

年齢別平均漁獲尾数 (百万尾) ※											
年齢\年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	8,069	8,060	8,065	8,055	8,071	5,820	5,811	5,781	5,806	5,786	5,391
1歳	6,533	4,329	4,325	4,327	4,322	4,331	3,123	3,118	3,102	3,115	3,104
2歳	5,204	4,357	2,887	2,884	2,886	2,883	2,888	2,083	2,080	2,069	2,078
3歳	4,602	4,485	3,755	2,488	2,486	2,487	2,484	2,489	1,795	1,792	1,783
4歳	653	1,600	1,559	1,305	865	864	865	864	865	624	623
5歳以上	677	464	721	796	734	558	497	476	468	466	381
計	25,737	23,296	21,312	19,857	19,364	16,943	15,668	14,810	14,115	13,852	13,360

年齢別漁獲量 (千トン) ※											
年齢\年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	156	156	135	134	135	97	97	96	97	97	90
1歳	238	158	194	194	194	195	140	140	139	140	139
2歳	249	208	235	235	235	235	235	169	169	168	169
3歳	276	269	393	261	260	261	260	261	188	188	187
4歳	55	136	188	157	104	104	104	104	104	75	75
5歳以上	75	52	100	110	101	77	69	66	65	64	53
計	1,049	978	1,245	1,092	1,030	968	905	837	762	732	713
漁獲割合	24%	25%	27%	25%	25%	25%	26%	26%	25%	25%	25%

※10,000回の繰り返し計算を行った平均値である。

補足資料 4 調査結果の概要

(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量、および水揚物の体長、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、コッド目合 10 mm）による幼稚魚採集調査を実施し、加入量指数を西田ほか（2001）を改変した次の方法で算出している。

$$\text{加入量指数} = \sum [\text{表面水温 } 1^{\circ}\text{C の各水温帯における有漁獲点 CPUE 中央値 (尾数/網)}] \times [\text{表面水温 } 1^{\circ}\text{C の各水温帯における有漁獲点割合}] \times [\text{表面水温 } 1^{\circ}\text{C の各水温帯の調査対象海域全体に対する面積割合}]。$$
- ② 北西太平洋北上期浮魚類資源調査（西部北太平洋サンマ資源調査、北上期浮魚類資源調査）：水産研究・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 145～180 度の亜寒帯域の表面水温 10～15 °C 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。

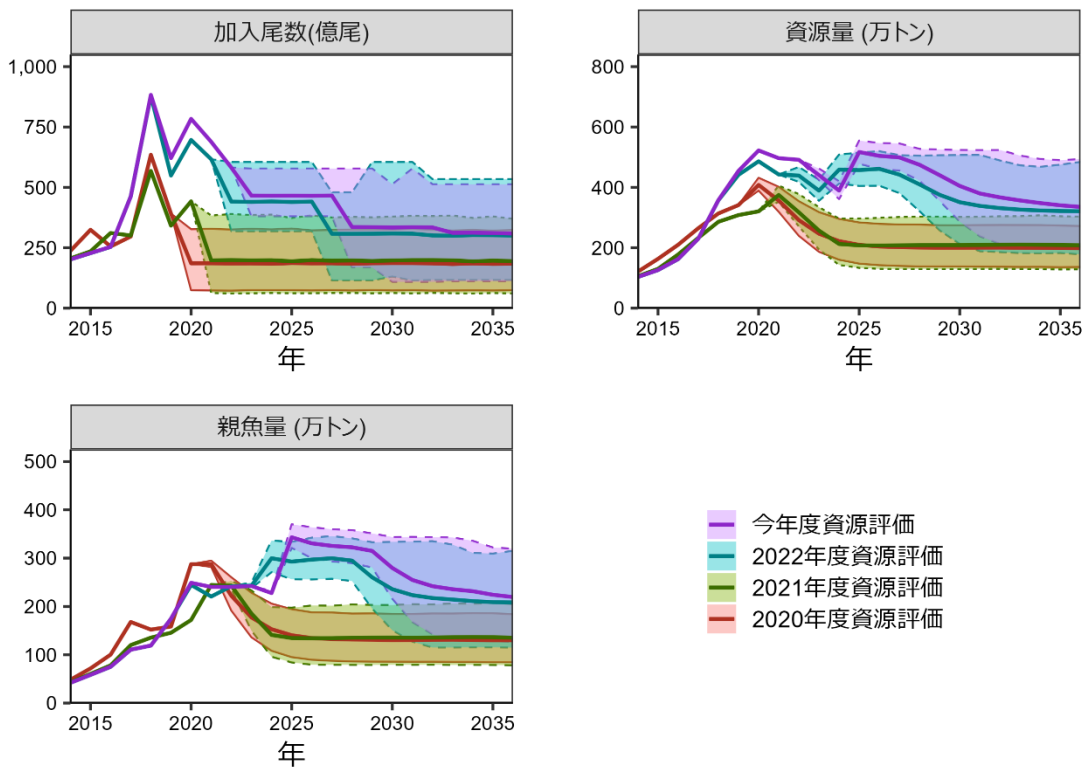
引用文献

- 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 5 過年度評価結果との比較

2020 年度以降の資源評価による各種推定値を比較すると、2022 年度評価から加入量、親魚量、資源量は上方修正された（補足図 5-1）。これは、2022 年度から外国船による漁獲も考慮した資源評価を行っているためである。また 2022 年度評価からは、近年における加入量の良好な傾向を取り入れるためにバックワードリサンプリングによる将来予測を行っているため、将来予測における加入量の予測値は高くなっている（補足図 5-1）。それに伴い、将来予測における親魚量および資源量の予測値も高くなっている。

今年度（2023 年）評価を昨年度評価と比べると、2019 年級群以降のそれぞれの加入量が 12%程度上方修正され、それに伴い 2021 年の資源量は 12%程度、親魚量は 9%程度上方修正された（補足図 5-1、補足表 5-1）。上方修正の理由として、2020 年級群および 2019 年級群は 2022 年では 2 歳魚、3 歳魚となるが、2022 年の 2 歳魚の漁獲尾数は 92 億尾、3 歳魚は 48 億尾と多く、遡って 2020 年級群および 2019 年級群の加入量が上方修正されたと考えられる。加えて、2023 年の産卵量の値が高かったことも、2019 年級群以降の加入量の上方修正に影響していると考えられる。



(塗り:10-90%予測区間, 太い実線: 平均値)

補足図 5-1. 評価年度別の加入量、親魚量、資源量の比較

加入量、親魚量、資源量の推定結果および漁獲管理規則に基づく将来予測結果を示す。漁獲管理規則における調整係数 β は、2021～2023 年は $\beta=1.20$ で、2024 年以降は $\beta=0.85$ である。

補足表 5-1. 評価年度別の各年の加入量、親魚量、および資源量

(a) 加入量 (億尾)

加入量	年				
評価年度	2018	2019	2020	2021	2022
2022	880	550	697	617	
2023	883	621	784	689	582

(b) 親魚量 (万トン)

親魚量	年				
評価年度	2018	2019	2020	2021	2022
2022	119	175	245	221	
2023	119	175	249	240	241

(c) 資源量 (万トン)

資源量	年				
評価年度	2018	2019	2020	2021	2022
2022	357	442	487	443	
2023	358	455	522	497	491