

令和 6（2024）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・東口胤成・
上村泰洋・西嶋翔太・渡部亮介・井須小羊子）

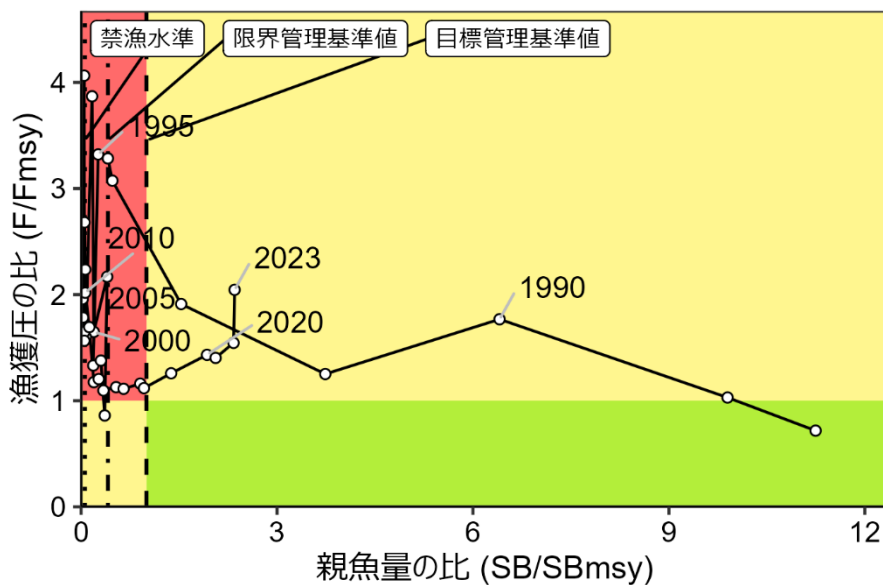
参画機関：北海道立総合研究機構釧路水産試験場・函館水産試験場、青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産海洋研究センター、茨城県水産試験場、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター、静岡県水産・海洋技術研究所、愛知県水産試験場漁業生産研究所、三重県水産研究所、和歌山県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課、大阪府立環境農林水産総合研究所、香川県水産試験場、高知県水産試験場、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、宮崎県水産試験場、鹿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

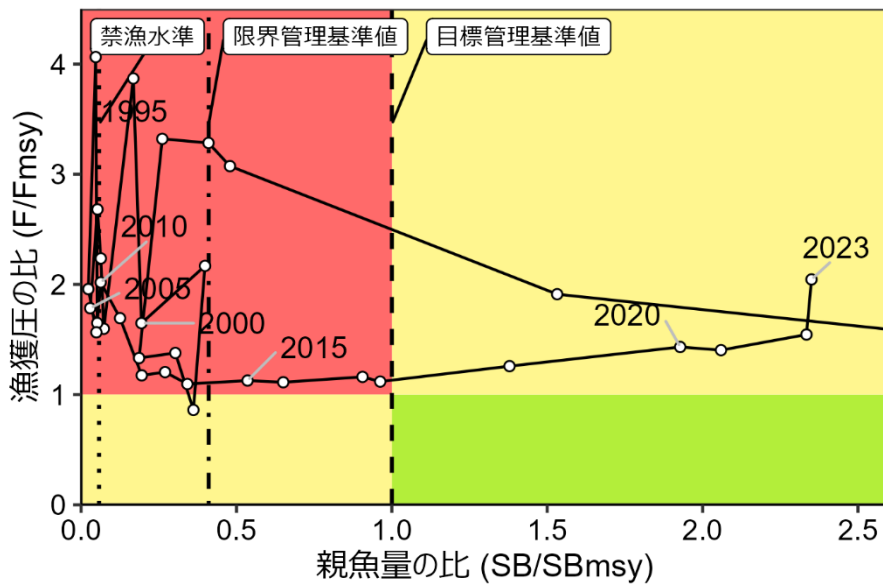
本系群の資源量について、資源量指標値をチューニング指数として用いたコホート解析により計算した。資源量は、1980年代は1千万トン以上の高い水準で推移したが、1990年代に入って急減し、2002年以降2009年まで10万トン前後の低い水準で推移した。その後、比較的良好な加入が続いたこと、および漁獲圧が低下したことにより資源量は増加し、2014年には100万トンを上回った。その後も良好な加入が続いたことにより資源量はさらに増加して、2020年は500万トンを上回った。しかしその後、加入が減少傾向にあり資源はわずかに減少し、2023年の資源量は426.4万トンと推定された。親魚量は2002年以降10万トンを下回る水準で推移したが、2011年以降増加し、2020年には200万トンを上回った。その後は緩やかに増加し、2023年の親魚量は279.1万トンと推定された。

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」および「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、禁漁水準を含む漁獲シナリオが定められた。目標管理基準値は最大持続生産量MSYを実現する親魚量(SBmsy：118.7万トン)であり、本系群の2023年の親魚量は、これを上回る。また、本系群の2023年の漁獲圧は、SBmsyを維持する漁獲圧(Fmsy)を上回る。親魚量の動向は直近5年間(2019～2023年)の推移から「増加」と判断される。漁獲シナリオに基づき、2025年の親魚量および資源量の予測値から算出される2025年のABCは66.3万トンである。

要 約 図 表



上図の拡大



最大持続生産量 (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 (SBmsy)	118.7 万トン
2023 年の親魚量の水準	MSY を実現する水準を上回る
2023 年の漁獲圧の水準	SBmsy を維持する水準を上回る
2023 年の親魚量の動向	増加
MSY	38.9 万トン
2025 年の ABC	66.3 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に即した漁獲管理規則を用いた。 ・ 調整係数 β は、2025 年は 1.30、2026 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。	

直近 5 年と将来 2 年の資源量、親魚量、漁獲量、F/Fmsy、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 (%)
2019	422.4	163.7	72.6	1.26	17.2
2020	516.9	228.9	103.4	1.43	20.0
2021	526.6	244.5	107.8	1.40	20.5
2022	492.2	277.2	112.5	1.55	22.9
2023	426.4	279.1	135.4	2.05	31.8
2024	310.7	198.7	96.5	1.68	31.1
2025	267.8	139.0	66.3	1.30	24.8
・ 2024、2025 年の値は将来予測に基づく平均値である。 ・ 2025 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(水産機構、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(水産機構、北海道～鹿児島 (20)道府県、JAFIC) :市場測定、調査漁獲物 中国漁船の体長組成(2020～2022年) 北太平洋漁業委員会(NPFC)統計による中国・ロシアの漁獲量情報 (https://www.npfc.int/summary-footprint-japanese-sardine-fisheries 、 2024年7月)
資源量指数 ・産卵量 ・0、1歳魚資源量指 標値 ・資源量指標値	卵稚仔調査(周年、水産機構、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、水産機構):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(6～7月、水産機構):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、水産機構):中層トロール、 計量魚探* 房総～常磐海域大中型まき網漁況に基づく未成魚越冬群指数(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（2021～2023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 2023 年は 25.0 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）。日本の漁獲量は、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、2023 年は 57.7 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、2023 年のロシアによる漁獲量は 54.4 万トン、中国による漁獲は 23.3 万トンとなっている。

年齢別漁獲尾数の推移を図 3-2 に示した。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 および図 3-4 に示した（道東は含まない）。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）。ただし、2023 年は 1 月から有効努力量は高くなっていた。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

本系群では外国船による漁獲を考慮して、公海域を含めた北太平洋全体の資源を対象として資源計算を行っており、将来予測における漁獲量や ABC にも外国船による漁獲を含んでいる。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北上期浮魚類資源調査による 0 歳魚および 1 歳魚の標準化 CPUE（catch per unit effort、単位努力量あたりの漁獲量）、北西太平洋秋季浮魚類資源調査による秋季亜寒帯 0 歳魚現存量、潮岬以東海域の産卵量を用い（図 4-1、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 2023 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、補足表 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、親魚量が近年では高い水準まで回復した 2020 年以降も見られていない。2024 年の産卵量は 2010 年代前半の水準にまで減少した。

加入量の指標となる各種調査による資源量指標値を図 4-2、補足表 2-2、および補足表 4-2、4-3、に示した（調査内容は補足資料 4）。いずれの指標値も、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。

これらの指標値のうち、移行域幼稚魚調査や、北西太平洋北上期浮魚類資源調査、北西太平洋秋季浮魚類資源調査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続いたことにより資源量はさらに増加して、2020 年は 500 万トンを上回った。しかしその後、加入が減少傾向にあり資源はわずかに減少し、2023 年の資源量は 426.4 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、2020 年には 200 万トンを上回った。その後は緩やかに増加し、2023 年の親魚量は 279.1 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）。2010 年代は、0 歳魚および 1 歳魚の F は比較的低い値で安定していたが、2021 年以降増加している。

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っている。ただし、2021 年以降 RPS は減少傾向にあり、2023 年の RPS は 12.6 尾/kg であった。

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 2023 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 79%および 120%、親魚量は 80%および 115% となった。

なお、過年度（2020～2023 年度）の資源評価との各種推定値の比較を、補足資料 6 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、2023 年の %SPR は 21.2% となった。現状の漁獲圧として直近 3 年間（2021～2023 年）の平均 F 値から %SPR を算出すると 26.8% 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 を実現する親魚量を維持する 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（F₂₀₂₁₋₂₀₂₃）は、F_{30%SPR} および F_{0.1}、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カー・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 SBmsy を維持する 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（<https://www.jfa.maff.go.jp/j/suisin/attach/pdf/index-590.pdf>）。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。平衡状態における平均親魚量と年齢別平均漁獲量との関係（古市ほか 2020a、水産資源研究所 水産資源研究センター 2020）を図 4-10 に示す。平均親魚量が限界管理基準値以下では 0～3 歳魚が漁獲の殆どを占めている。しかし、親魚量が増加するにつれて漁獲物中での 4 歳魚および 5 歳以上の高齢魚の比率が高くなる傾向がみられる。

(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（SBmsy）と SBmsy を維持する漁獲圧（Fmsy）を基準にした神戸プロットを図 4-11 に示す。また、2023 年の親魚量と漁獲圧、それらの値と管理基準値との比較結果を補足表 3-3 に示した。本系群における 2023 年の親魚量は SBmsy（すなわち目標管理基準値）を上回っており、2023 年の親魚量は SBmsy の 2.35 倍である。また、2023

年の漁獲圧は、 F_{msy} を上回っており、 F_{msy} の 2.05 倍である。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/F_{msy}) とは、各年の F の選択率の下で F_{msy} 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 (2019~2023 年) の推移から増加と判断される。

5. 将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した 2023 年の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2024~2054 年までの将来予測計算を行った (補足資料 2)。2024 年以降の加入量の予測については、通常加入期 (1988~2018 年) のホッカー・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、2024 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 2-5、2-6、詳細は補足資料 2 を参照)。この試行を 5,000 回繰り返して行い、それらの平均値と 90% 予測区間を求めることにより、不確実性の程度を示した。

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 2025 年までは直近 3 年平均 (2021~2023 年) を使用し、2026 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。

2024 年の漁獲圧は現状の漁獲圧 ($F_{2021-2023}$) を仮定した。同年に予測される資源量と現状の漁獲圧から同年の漁獲量を算出した。2025 年以降の漁獲圧は、「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従い、各年に予測される親魚量をもとに算出した。この漁獲シナリオから算出される漁獲圧と各年に予測される資源量から、2025 年以降の漁獲量を算出した。

(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した漁獲管理規則を図 5-1 および図 5-2 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、親魚量が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、直近 (2023 年) 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、2025 年は 1.30、2026 年以降は 0.85 が用いられる。

(3) 2025 年の予測値と ABC の算定

2023 年級群の加入量が直近 10 年間 (2014~2023 年) の中では比較的少ないことと、現状の漁獲圧 ($F_{2021-2023}$) が高いことにより、2025 年に資源はいったん減少する。本系群

の漁獲シナリオに則した漁獲管理規則（2025 年は $\beta = 1.30$ ）から算定される予測漁獲量である 66.3 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。2025 年に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも目標管理基準値を上回り、平均 139.0 万トンと見込まれた。

（4）2026 年以降の予測

2026 年以降も含めた将来予測の結果を図 5-3、表 5-1、5-2 および補足表 3-6、3-7 に示す。漁獲シナリオに則した漁獲管理規則に基づく管理を 10 年間継続した場合（2026 年以降は $\beta=0.85$ ）、2031 年の親魚量の予測値は平均 268.7 万トン（90%予測区間は 186.8 万～355.1 万トン）であり、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、および現状の漁獲圧（F2021-2023）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の 2031 年の親魚量の予測値は平均 170.9 万トン（90%予測区間は 113.0 万～236.0 万トン）であり、目標管理基準値を上回る確率は 92%、限界管理基準値を上回る確率は 100%である。

なお、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が 100%と高く予測されているのは、近年における良好な加入の傾向を取り入れた将来予測を行っているためであ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、2020 年は 500 万トンを上回った。しかしその後、加入が減少傾向にあり資源はわずかに減少し、2023 年の資源量は 426.4 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、2020 年には 200 万トンを上回った。その後は緩やかに増加し、2023 年の親魚量は 279.1 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 SBmsy を維持する水準（Fmsy）と同程度の水準を維持していた。それにともない親魚量は増加し、2018 年以降は MSY を実現する水準（SBmsy）を上回っている。親魚量の動向は直近 5 年間（2019～2023 年）の推移から「増加」と判断される。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り、加えて、2023 年の再生産成功率も比較的低い可能性があり、今後の資源動向については注意が必要である。

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量推定を行い、将来予測における漁獲量や ABC にも外国船の漁獲を含めている。資源計算においては、中国の漁獲物の体長組成および体長・体重関係のデータは利用できたが、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。そのため、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継続して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.
- 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.
- 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.
- 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. 中央水産研報, **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.

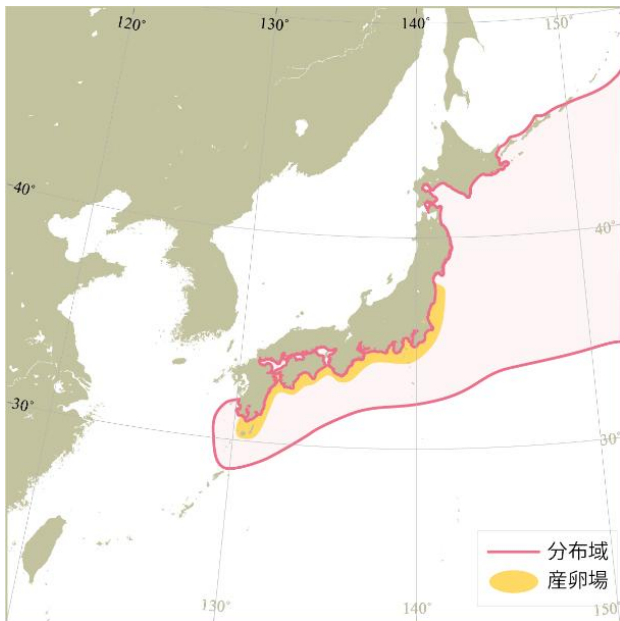


図 2-1. マイワシ太平洋系群の分布域と産卵場

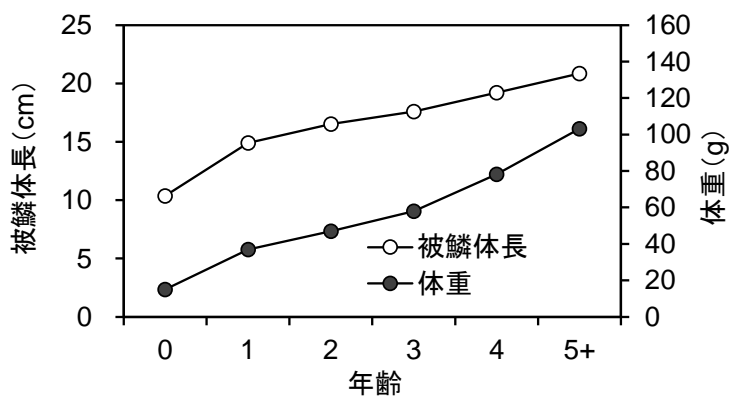


図 2-2. 年齢と成長 (2021~2023 年漁獲物平均)

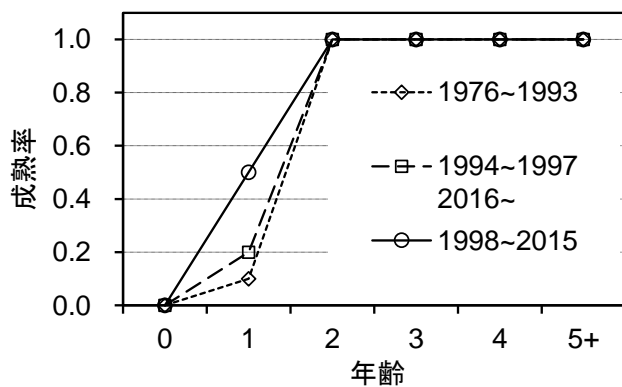


図 2-3. 年齢と成熟割合

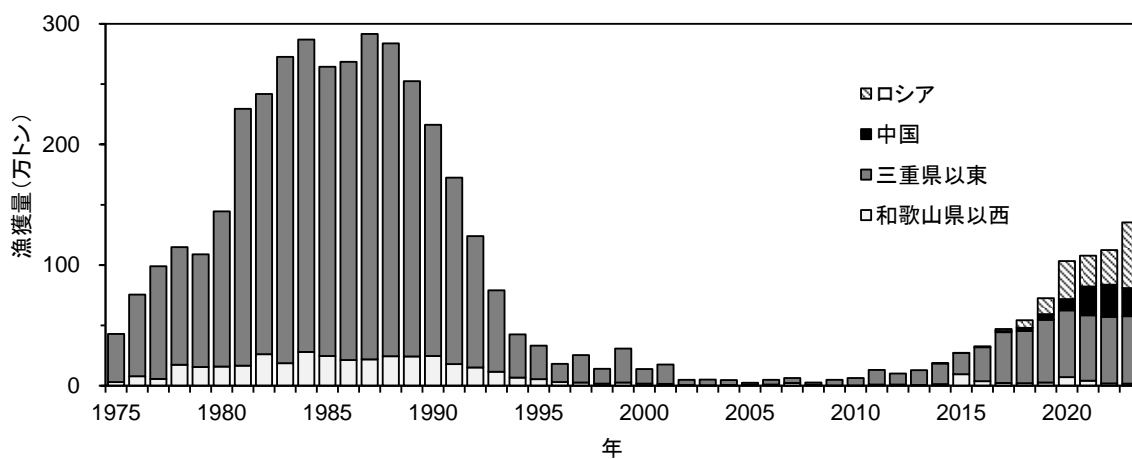


図 3-1. 漁獲量の推移

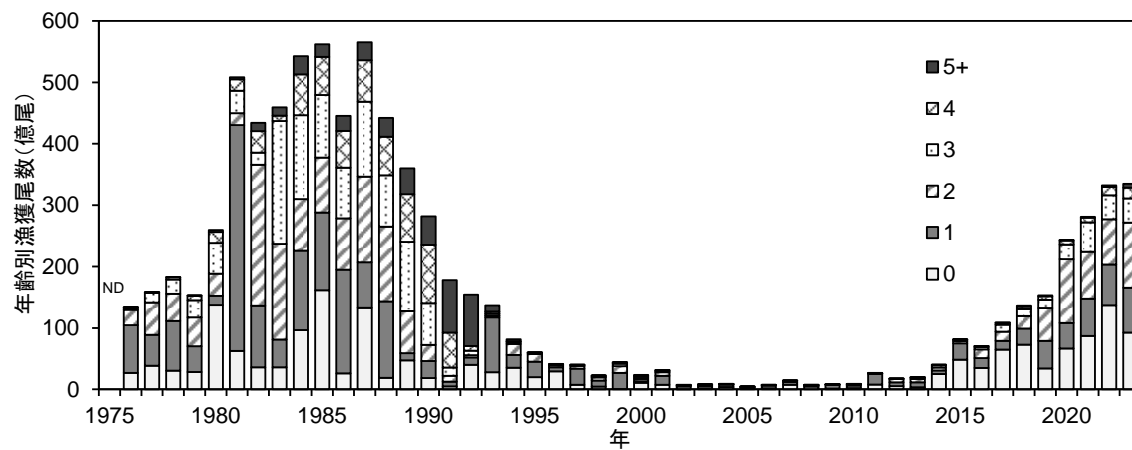


図 3-2. 年齢別漁獲尾数の推移

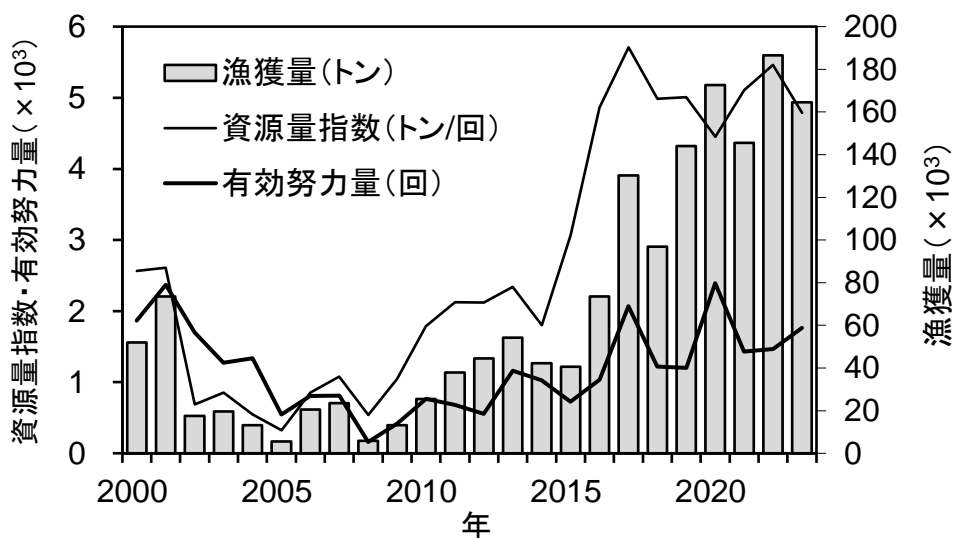


図 3-3. 北部まき網の有効努力量と漁獲量、資源量指数の推移

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 (JAFIC 集計値、道東含まず)。

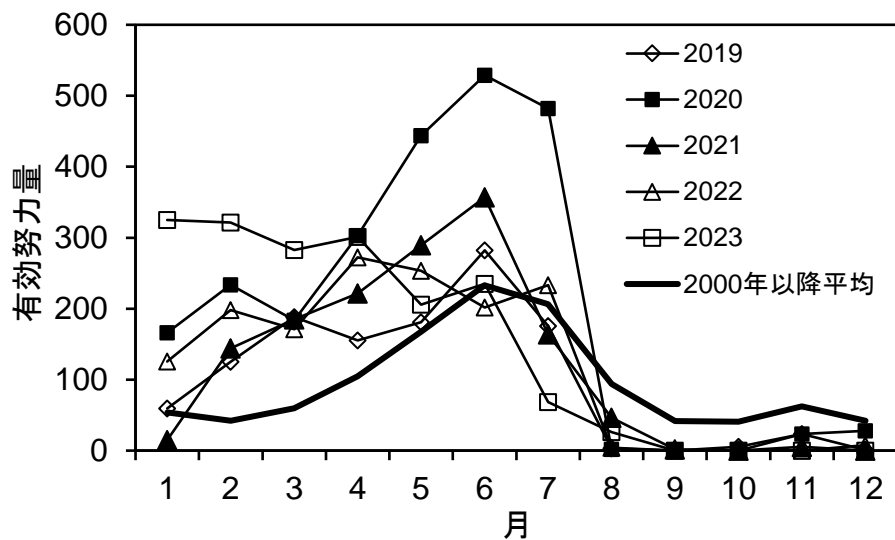


図 3-4. 北部まき網の有効努力量の月推移 (JAFIC 集計値、道東含まず)

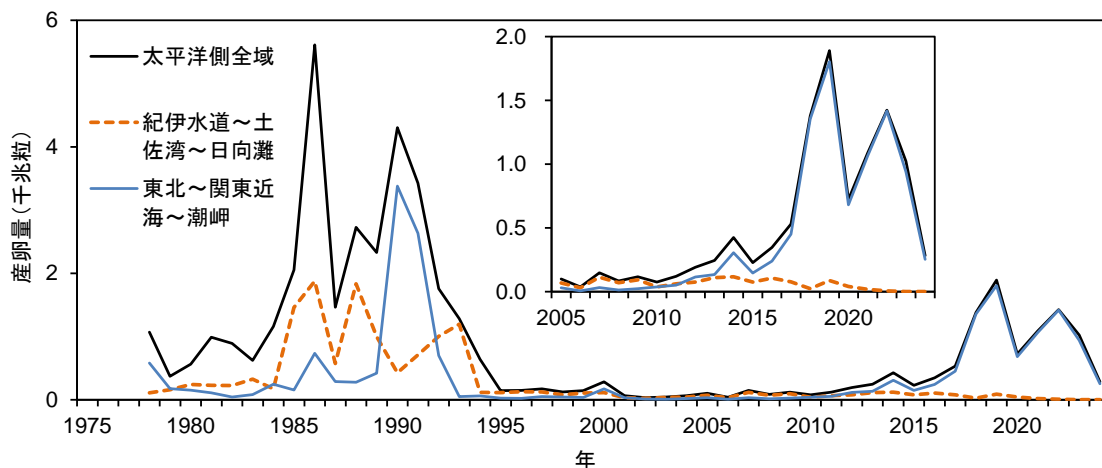


図 4-1. 産卵量の推移（卵稚仔調査協議会による前年 10 月から当年 9 月までの集計値）
 2024 年は 5 月までの暫定値。太平洋側全域は同協議会の区分の海区Ⅰ～Ⅳ、紀伊水道～土佐湾～日向灘は海区Ⅲ、東北～関東近海～潮岬は海区Ⅰ・Ⅱの値。

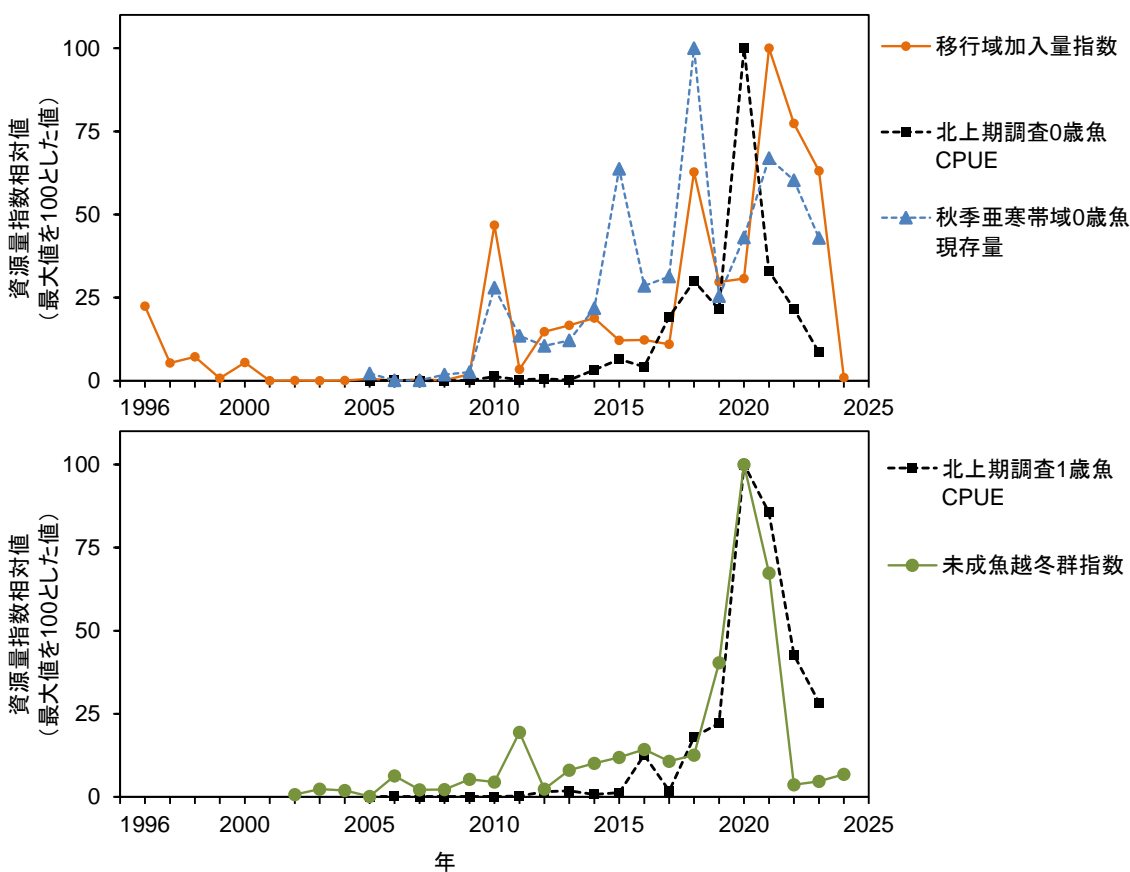


図 4-2. 資源量指数の推移
 上図は加入量の指数、下図は 1 歳魚資源尾数の指数（補足資料 4 を参照）。

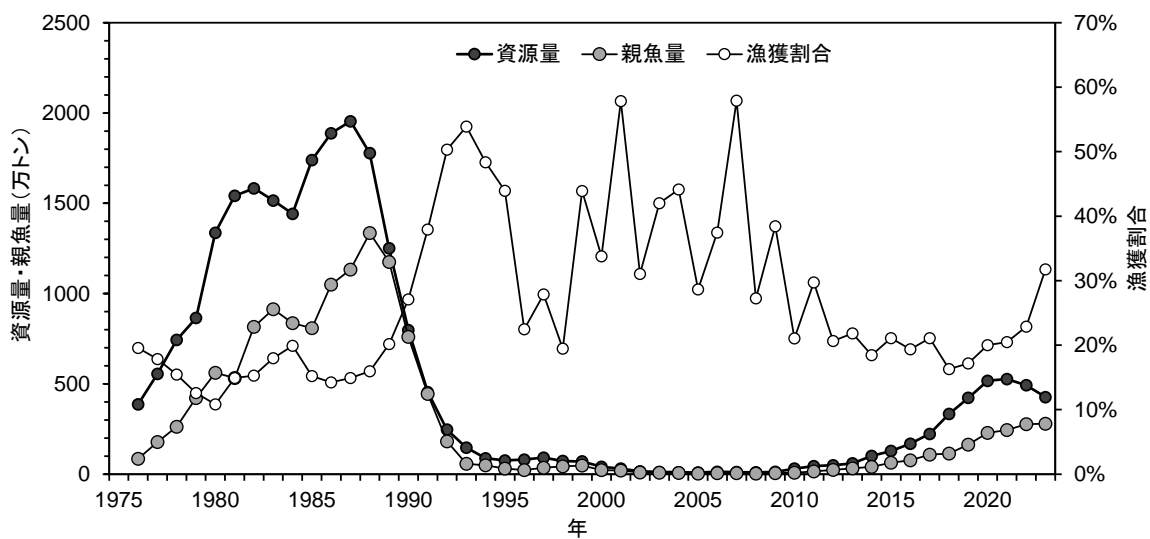


図 4-3. 資源量、親魚量および漁獲割合の推移

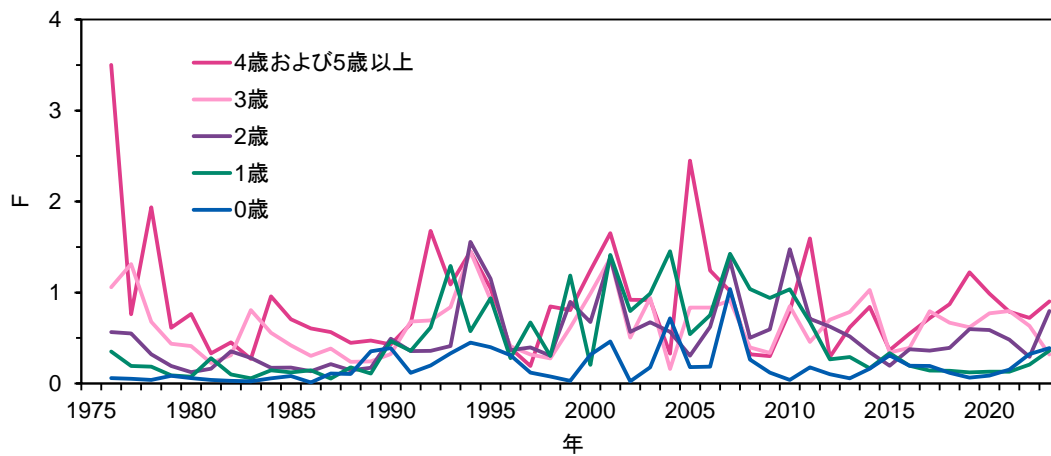


図 4-4. 年齢別漁獲係数 F の推移

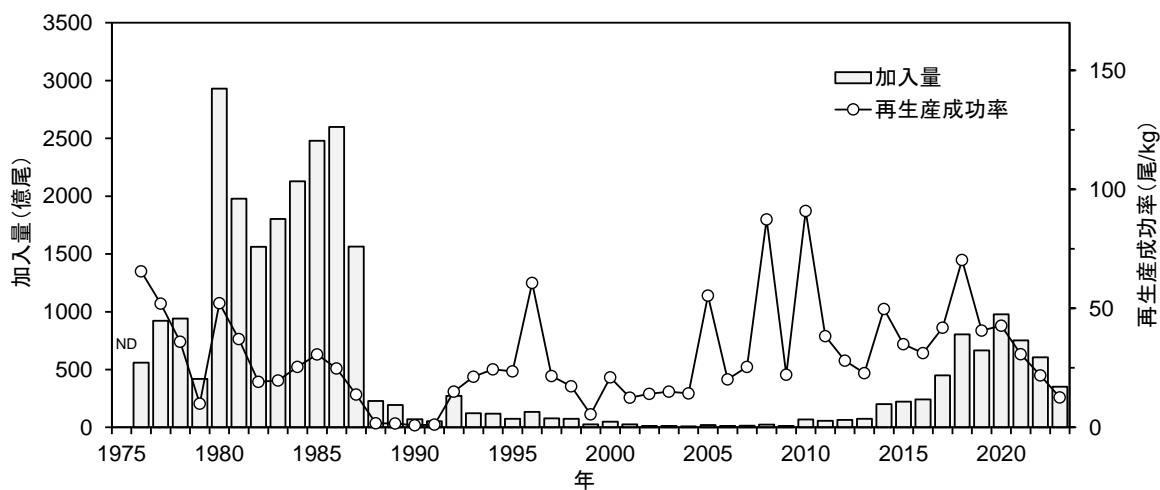


図 4-5. 加入量および再生産成功率 (RPS) の推移

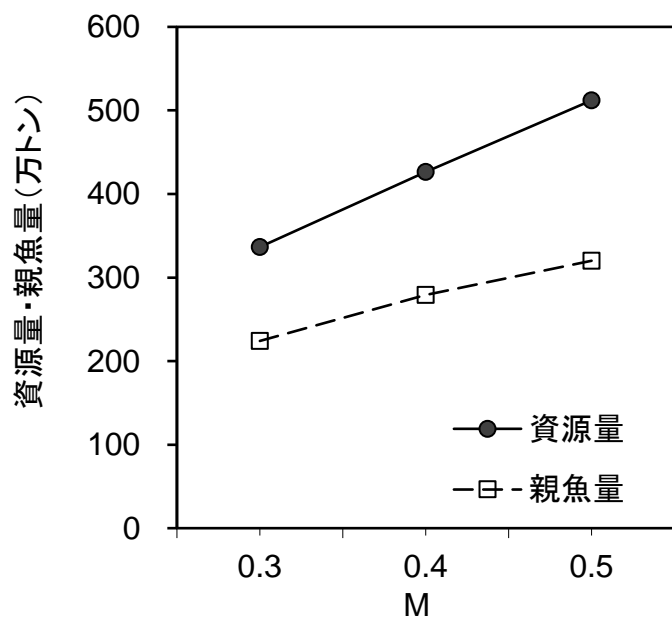


図 4-6. 自然死亡率 M と資源量、親魚量の関係
M の変化に対する 2023 年の推定値の感度解析。

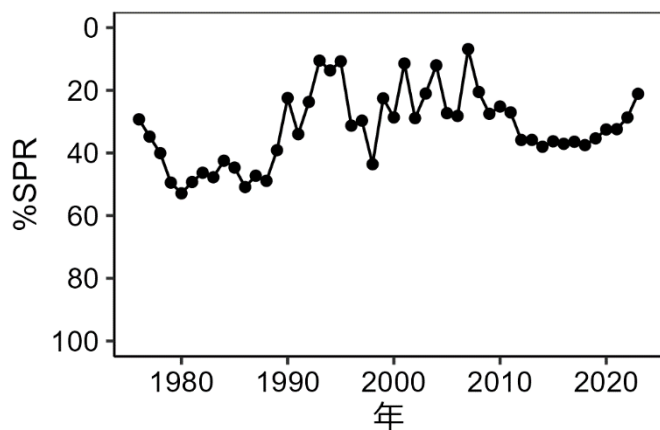


図 4-7. %SPR 値の経年推移

%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。

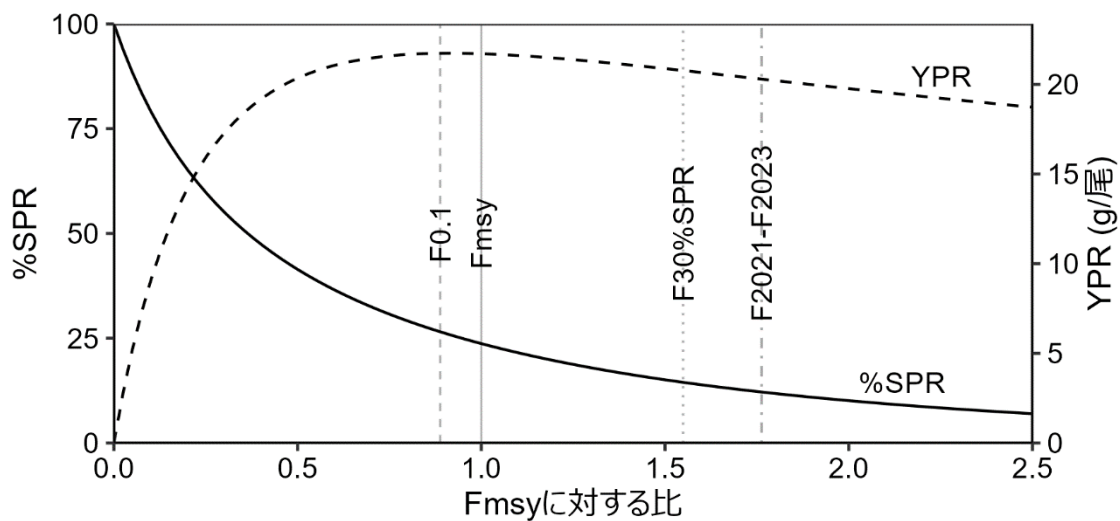
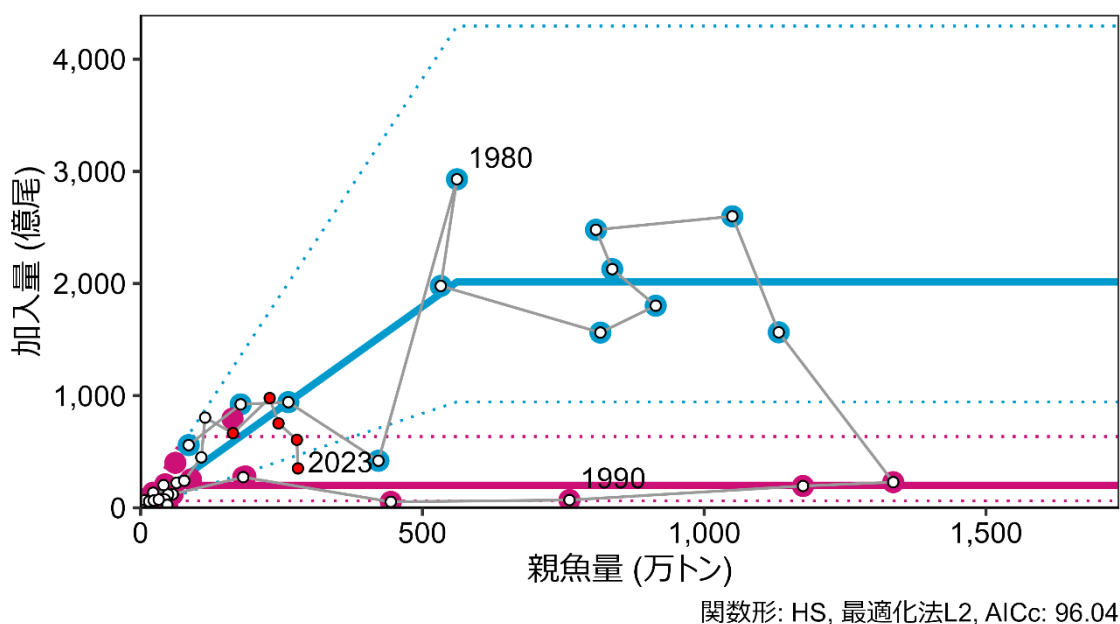


図 4-8. Fmsy に対する YPR（破線）と%SPR（黒線）の関係



上図の拡大

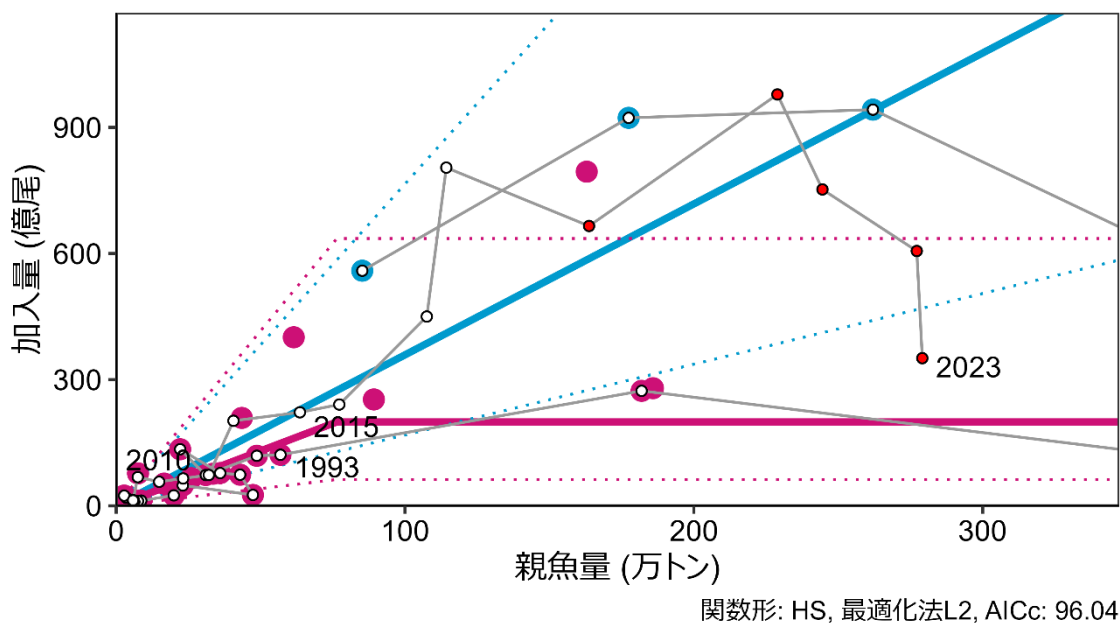


図 4-9. 親魚量と加入量の関係（再生産関係）

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。白抜き丸（直近5年は赤丸）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。図中の数字は加入群の年級（生まれ年）を示す。

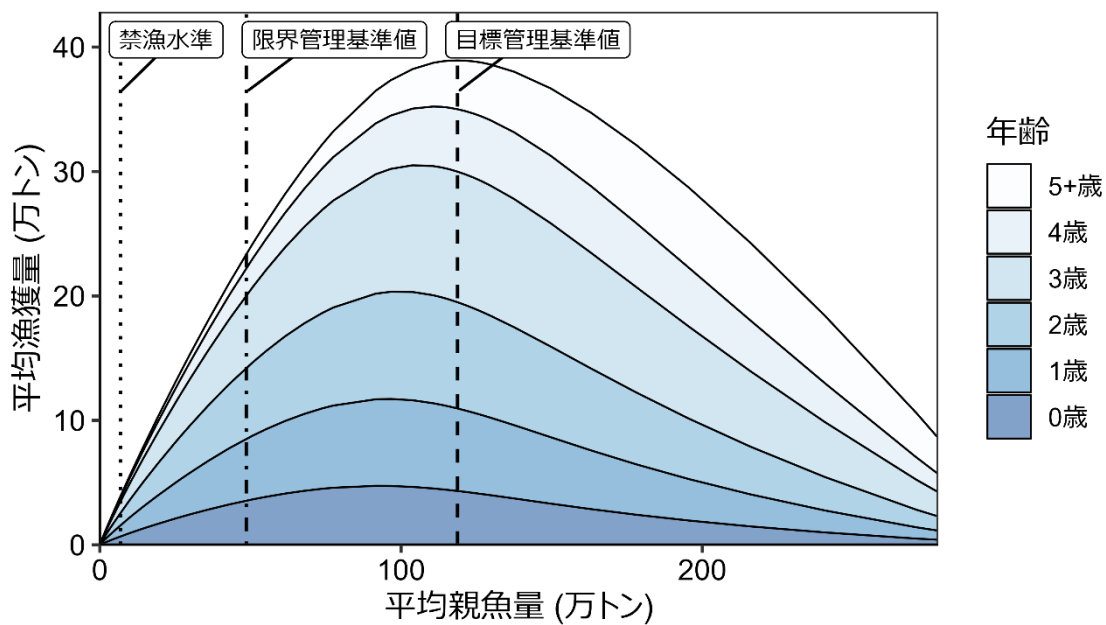
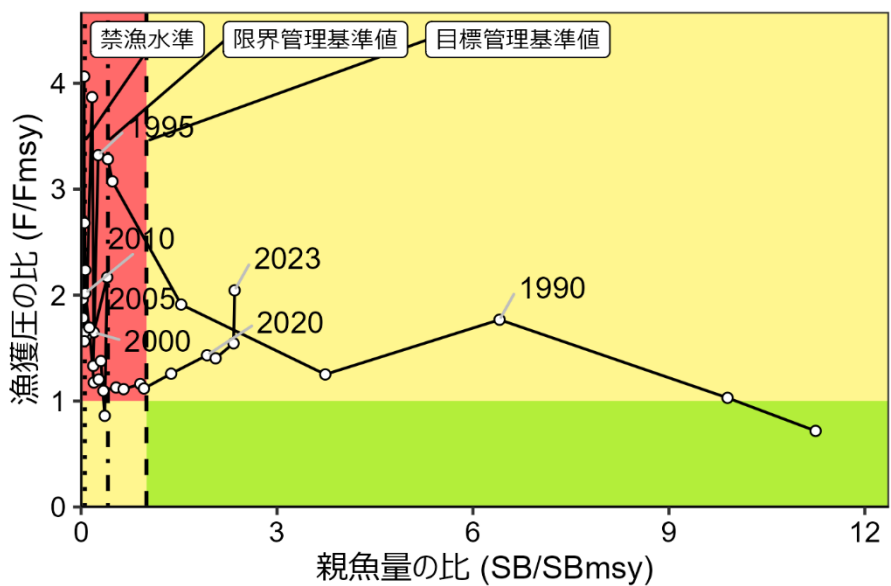


図 4-10. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線

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

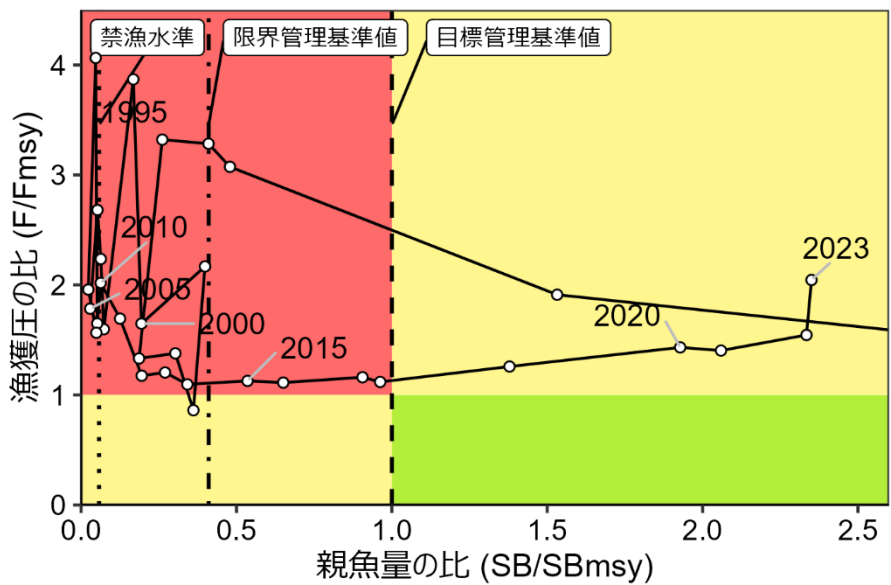
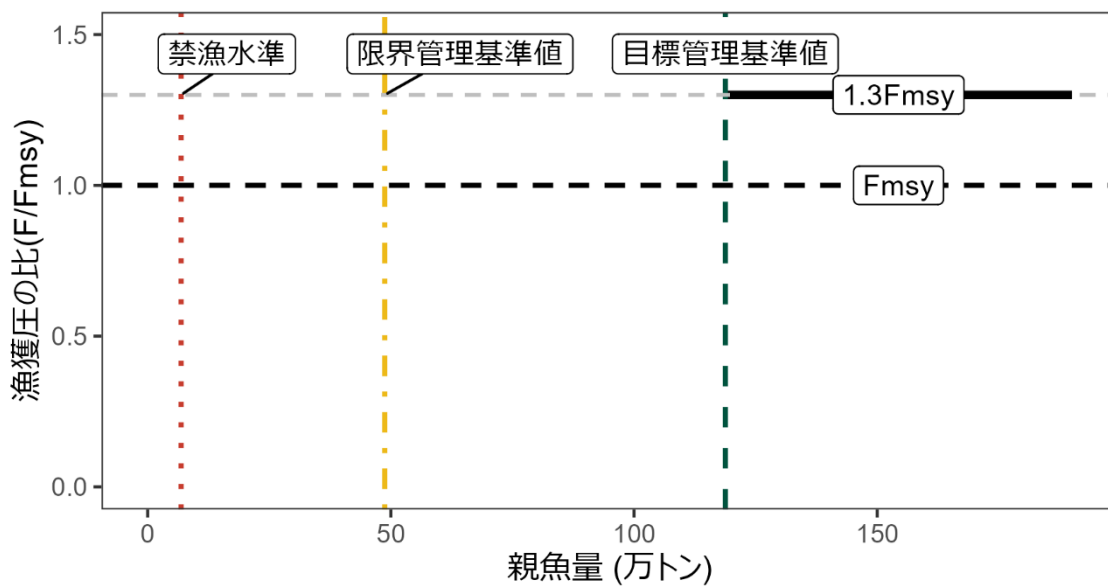


図 4-11. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SB_{msy}) と SB_{msy} を維持する漁獲圧 (F_{msy}) に対する過去の親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)

(a) 縦軸を漁獲圧にした場合



(b) 縦軸を漁獲量にした場合

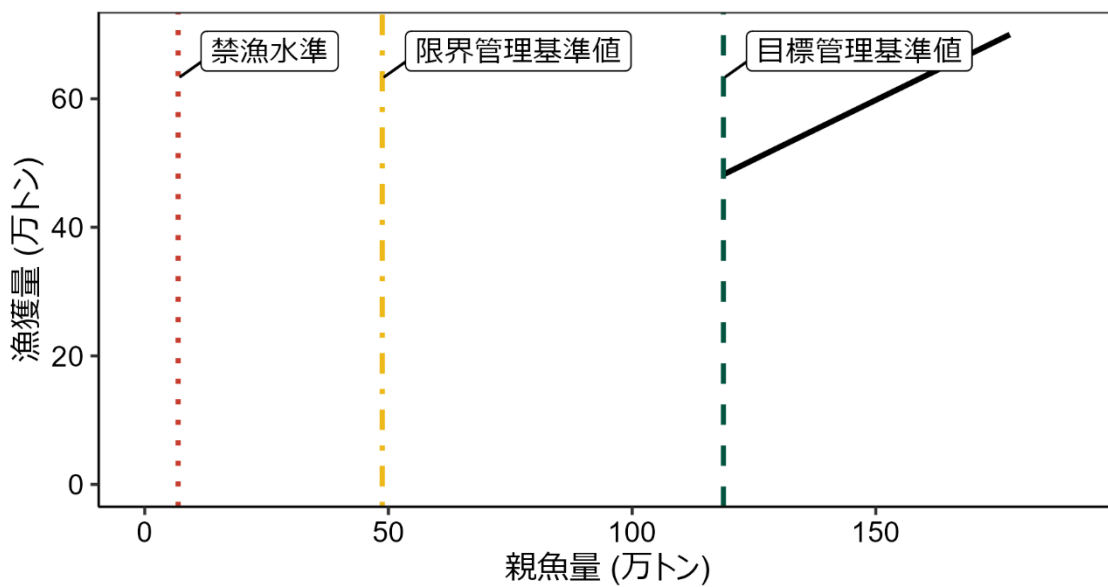
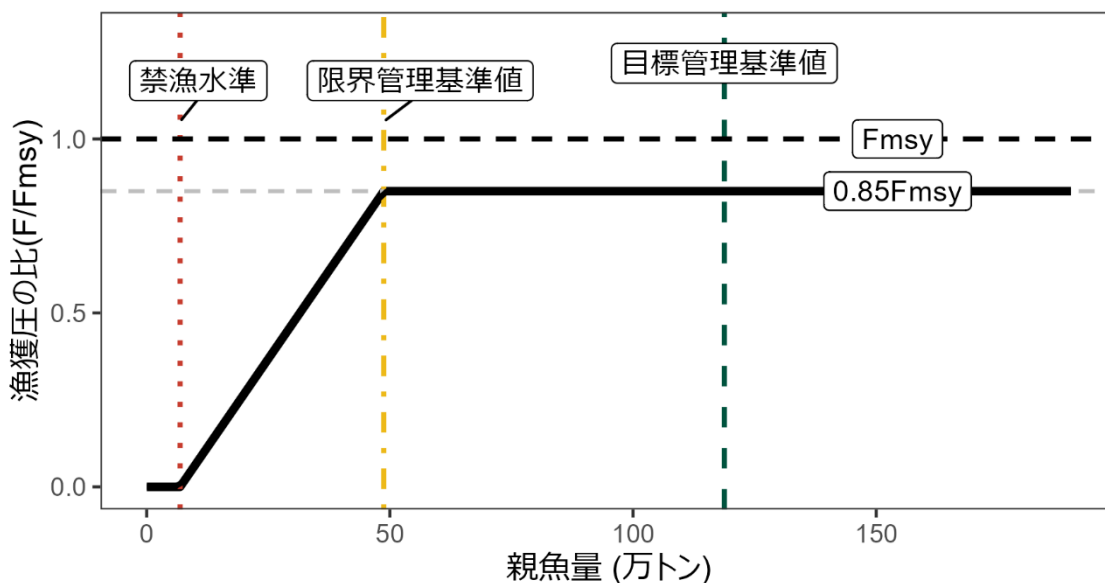


図 5-1. 漁獲シナリオに則した漁獲管理規則 (2025 年)

調整係数 β には 1.30 が用いられる。線種と色は、それぞれ黒破線が F_{msy} 、灰色破線が $1.3F_{msy}$ 、黒太線が漁獲シナリオに則した漁獲管理規則、赤点線が禁漁水準、黄一点鎖線が限界管理基準値、緑破線が目標管理基準値を示している。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、平衡状態における平均的な年齢組成となった場合の漁獲量を示している。親魚量が目標管理基準値を下回った場合、 β は見直される。

(a) 縦軸を漁獲圧にした場合



(b) 縦軸を漁獲量にした場合

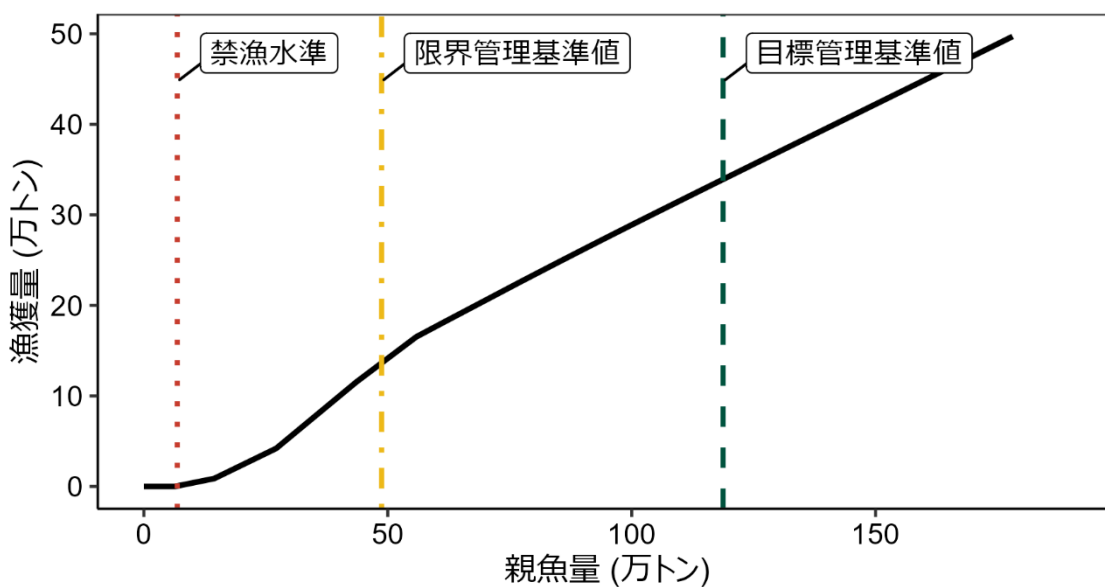


図 5-2. 漁獲シナリオに則した漁獲管理規則 (2026 年以降)

調整係数 β には 0.85 が用いられる。線種と色は、それぞれ黒破線が F_{msy} 、灰色破線が $0.85F_{msy}$ 、黒太線が漁獲シナリオに則した漁獲管理規則、赤点線が禁漁水準、黄一点鎖線が限界管理基準値、緑破線が目標管理基準値を示している。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、平衡状態における平均的な年齢組成となった場合の漁獲量を示している。

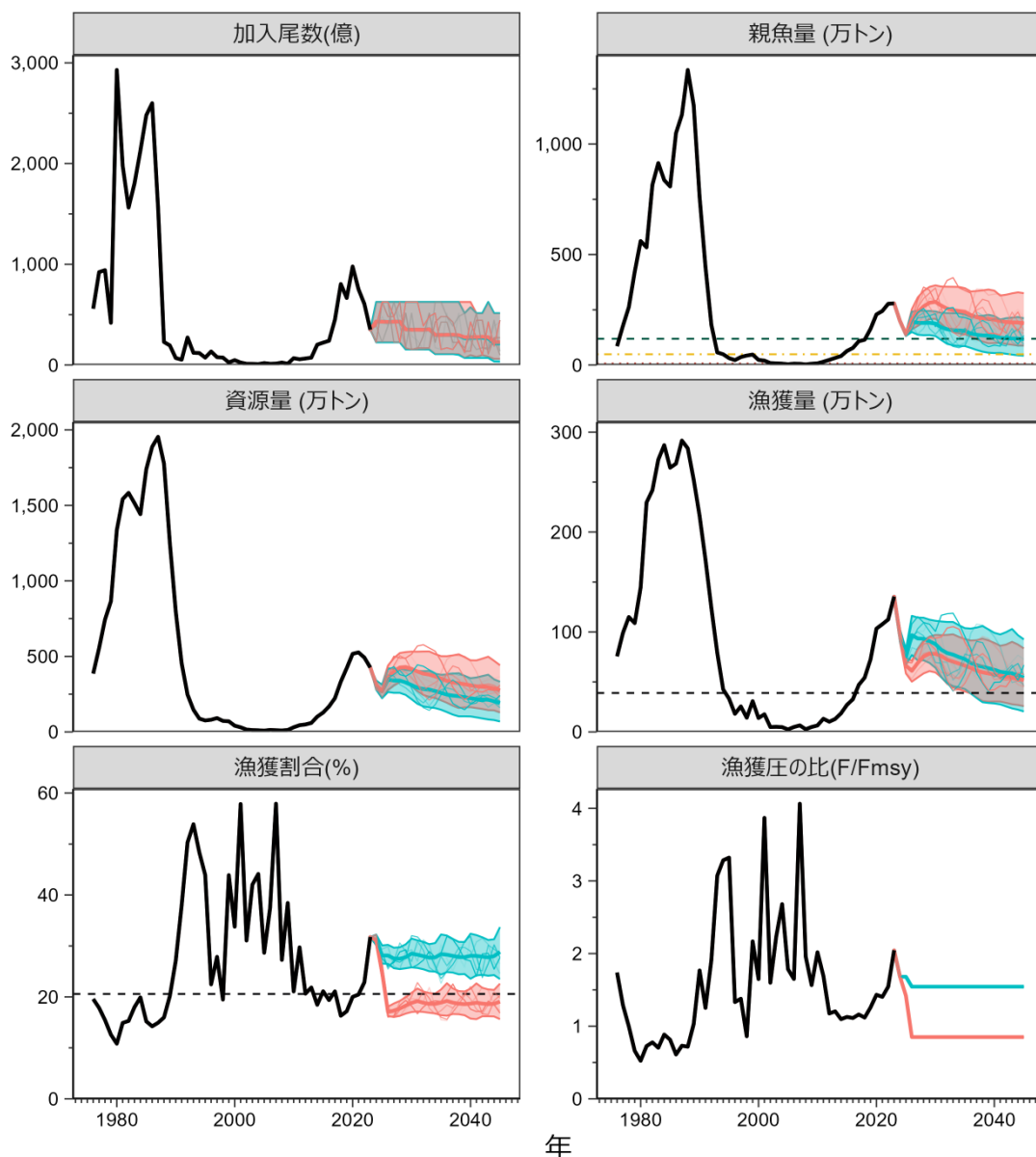


図 5-3. 漁獲シナリオに則した漁獲管理規則に従って漁獲を続けた場合（赤線）と現状の漁獲圧（F2021-2023）で漁獲を続けた場合の将来予測（青色）
 太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる予測区間、細線は 5 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値、黄一点鎖線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準を示す。漁獲量の図の黒破線は最大持続生産量 MSY を、漁獲割合の図の黒破線は目標管理基準値を維持する漁獲割合の水準 (Umsy) を示す。本系群の漁獲シナリオでは調整係数 β に 2025 年は 1.30、2026 年以降は 0.85 が用いられる。2024 年の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2021-2023) により仮定した。

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	28.7	55.4
2006	4.9			4.9	4.0	1.0	13.1	6.2	12	37.5	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	27.3	87.4
2009	4.9			4.9	4.6	0.3	12.8	5.8	13	38.4	22.2
2010	6.5			6.5	6.2	0.3	30.7	7.5	68	21.1	90.9
2011	13.2			13.2	12.2	1.0	44.3	14.9	57	29.7	38.4
2012	10.2			10.2	9.2	0.9	49.2	23.2	65	20.6	28.1
2013	13.0			13.0	12.4	0.6	59.3	32.1	73	21.8	22.8
2014	18.6	0.0		18.6	17.2	1.4	101.0	40.6	202	18.4	49.8
2015	27.1	0.0		27.0	17.5	9.5	128.2	63.6	222	21.1	34.9
2016	32.7	0.7		32.0	28.1	3.9	168.6	77.2	241	19.4	31.2
2017	47.0	1.7	1.0	44.4	42.1	2.3	223.2	107.5	450	21.1	41.8
2018	54.3	6.3	2.6	45.3	43.2	2.2	333.0	114.3	804	16.3	70.4
2019	72.6	13.3	4.6	54.7	52.0	2.6	422.4	163.7	665	17.2	40.6
2020	103.4	31.5	9.3	62.6	55.4	7.1	516.9	228.9	978	20.0	42.7
2021	107.8	25.6	23.7	58.5	54.2	4.3	526.6	244.5	752	20.5	30.8
2022	112.5	28.8	26.7	57.0	55.1	2.0	492.2	277.2	606	22.9	21.9
2023	135.4	54.4	23.3	57.7	56.0	1.7	426.4	279.1	351	31.8	12.6

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	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	97	
0.9			100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99
0.85			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.8			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧					100	99	99	99	98	92	80	74	71

(b) 限界管理基準値を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.9			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.85			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧					100	100	100	100	100	100	100	100	100

2025 年は β を 1.30 とし、2026 以降は β を 0.0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2021-2023) から予測される 96.5 万トンとし、2025 年から漁獲シナリオによる漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2021-F2023、 $\beta = 1.68$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

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 (万トン)

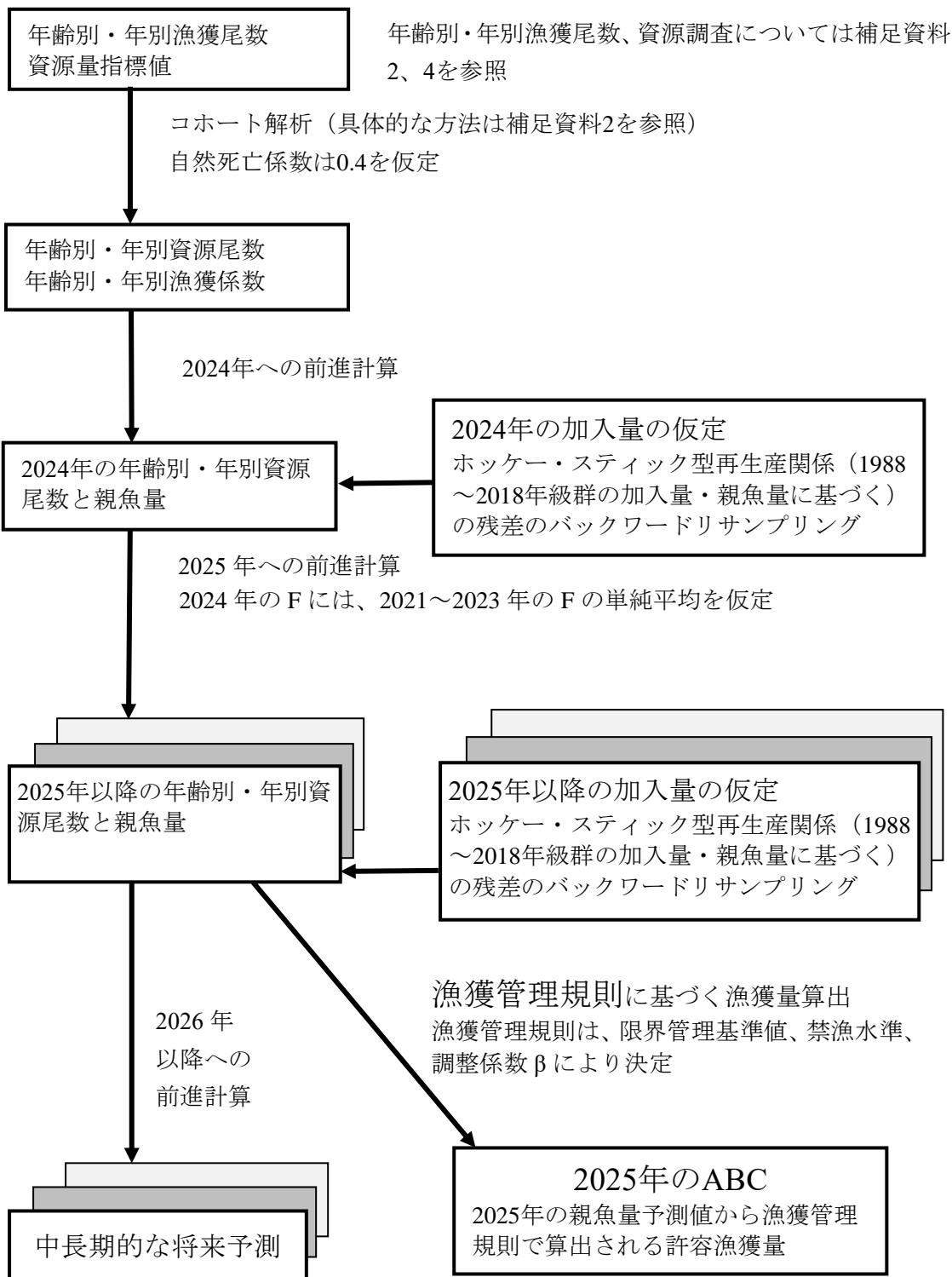
β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	198.7	139.0	207.4	230.3	248.1	258.5	259.5	241.9	228.9	222.6	219.7	216.8
0.9			207.4	236.3	259.8	273.7	276.6	259.3	245.9	239.1	235.7	232.6
0.85			207.4	239.3	265.9	281.8	285.8	268.7	255.1	248.1	244.5	241.2
0.8			207.4	242.5	272.1	290.2	295.4	278.6	264.9	257.6	253.8	250.4
0.7			207.4	248.9	285.2	307.9	316.0	300.1	286.3	278.6	274.2	270.5
0.6			207.4	255.5	299.0	327.1	338.6	324.1	310.5	302.4	297.6	293.5
0.5			207.4	262.3	313.6	347.9	363.6	351.0	338.1	329.7	324.5	320.0
0.4			207.4	269.4	329.1	370.4	391.2	381.3	369.5	361.3	355.7	350.9
0.3			207.4	276.6	345.6	394.8	421.8	415.6	405.6	397.9	392.3	387.3
0.2			207.4	284.1	363.0	421.3	455.9	454.5	447.3	440.9	435.5	430.5
0.1			207.4	291.9	381.5	450.2	493.8	498.9	495.8	491.5	487.1	482.5
0.0			207.4	299.9	401.2	481.7	536.2	549.7	552.5	551.8	549.3	545.9
現状の漁獲圧					196.3	191.2	190.4	190.8	187.7	170.9	161.9	157.9

(b) 漁獲量の平均値 (万トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	96.5	66.3	70.2	76.5	81.6	83.1	81.9	79.0	74.9	73.0	70.9	68.8
0.9		66.3	64.2	71.6	77.7	80.1	79.6	77.2	73.3	71.3	69.3	67.2
0.85		66.3	61.1	69.0	75.4	78.3	78.2	76.0	72.2	70.3	68.3	66.3
0.8		66.3	58.0	66.2	73.1	76.4	76.6	74.7	71.0	69.1	67.2	65.2
0.7		66.3	51.5	60.3	67.8	71.9	72.7	71.3	68.1	66.3	64.5	62.6
0.6		66.3	44.9	53.8	61.6	66.4	67.9	67.1	64.3	62.6	60.9	59.2
0.5		66.3	38.0	46.7	54.6	59.7	61.8	61.5	59.2	57.8	56.3	54.8
0.4		66.3	30.9	39.0	46.4	51.7	54.1	54.4	52.7	51.5	50.2	49.0
0.3		66.3	23.6	30.5	37.1	42.1	44.6	45.3	44.2	43.4	42.4	41.4
0.2		66.3	16.0	21.2	26.4	30.5	32.8	33.7	33.2	32.7	32.0	31.3
0.1		66.3	8.1	11.1	14.1	16.6	18.1	18.9	18.8	18.6	18.3	18.0
0.0		66.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧			74.9	96.8	93.5	93.3	90.8	87.8	82.2	78.9	77.3	74.9

2025 年は β を 1.30 とし、2026 以降は β を 0.0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2021-2023) から予測される 96.5 万トンとし、2025 年から漁獲シナリオによる漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2021-F2023、 $\beta = 1.68$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足資料 1 資源評価の流れ



補足資料 2 計算方法

(1) 年齢別漁獲尾数の推定

年齢別漁獲尾数は以下のように推定した。北海道～宮城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。

ロシア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。中国漁船による漁獲物については、2020～2022年の体長組成および体長－体重関係のデータが NPFC に提供されており、このデータを使用した。データの無い2017～2019年および2023年においては、2020～2022年の年齢組成の平均を充てた。情報が得られていない Age-Length-Key については日本と同じものを使用した。中国漁獲物のデータは予備的なものであり不確実性は大きいものの、尾数では10 cm前後が多いという特徴があった。なお、中国の生物データの提供は中国をはじめとする NPFC 参画国および NPFC 事務局の協力により実現しており、ここに謝意を表す。

(2) 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（Y 年、ここでは 2023 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。

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

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

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

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、2023 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 4 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。

- ① 2005~2023 年の北西太平洋北上期浮魚類資源調査の中層トロール 0 歳魚標準化 CPUE・0 歳魚資源尾数
- ② 2005~2023 年の北西太平洋北上期浮魚類資源調査の中層トロール 1 歳魚標準化 CPUE・1 歳魚資源尾数
- ③ 2005~2023 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
- ④ 2005~2023 年の潮岬以東海域 (海区 I・II) における産卵量・親魚量

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、(7) 式で表されるように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。ペナルティ項は、最新年の年齢別 F と直近 3 年 (2020~2022 年) の平均の年齢別 F との差の二乗和としている。

$$(1 - \lambda) \sum_{k=1}^4 \sum_y [\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})]^2 + \lambda \sum_{a=1}^4 \left(F_{a,2023} - \frac{1}{3} \sum_{y=2020}^{2022} F_{a,y} \right)^2 \quad (7)$$

λ はリッジ回帰におけるペナルティの大きさを表し、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 歳魚資源尾数、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。

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

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

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。北上期調査の 0 歳魚標準化 CPUE ($k=1$) および 1 歳魚標準化 CPUE ($k=2$)、秋季調査の亜寒帯域 0 歳魚現存量 ($k=3$) については、非線形性を仮定し ($b_k \neq 1$)、産卵量 ($k=4$) 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。各指標値の残差プロットについては補足図 2-1 に、各指標値と予測値の関係については補足図 2-2 に示した。それぞれにおいて問題のある残差傾向は見られないと判断し、指標値と予測値の仮定も問題ないと判断された。

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 (2023 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。リッジペナルティの重み λ は、Okamura et al. (2017) に倣い、資源量のレトロスペクティブバイアスが最小となる値を使用した。レトロスペクティブバイアスが最小となる λ を 0.01 刻みで探索した結果、 $\lambda=0.45$ となった。

5 年間のレトロスペクティブ解析により、データの追加・更新が行われることで F の値や資源量推定値に生じる変化を確認した (補足図 2-3)。各指標値のレトロスペクティブバイアスは比較的小さく、問題ないと判断された。

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 2-4)。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 5,000 回繰り返し、信頼区間を求めた。2023 年のそれぞれの推定値の 90% 信頼区間は、加入量 (億尾) [226.3, 659.6]、資源量 (万トン) [352.4, 672.6]、親魚量 (万トン) [218.3, 469.1]、 F_0 [0.19, 0.69]、 F_1 [0.17, 0.73]、 F_2 [0.34, 1.17]、 F_3 [0.15, 0.89]、 F_4 [0.22, 1.21] であった。

(3) 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。将来予測における各種設定には補足表 2-3 の値を用いた。資源尾数や漁獲量の予測は、ABCWG (2024) に基づき、統計ソフトウェア R (version 4.4.0) 用計算パッケージ frasyr (version 2.4.0.0) を用いて実施した。2024 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-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、2024 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 5,000 回繰り返した。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 2-5、2-6)。

- ・将来予測の 1~5 年目：資源評価の最新 5 年分 (2019~2023 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 (2019~2023 年) の残差、または、さらに過去に遡った 5 年分 (2014~2018 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、「令和 6 (2024) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2024-ABCWG02-01)」(水産研究・教育機構 2024) 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 2025 年までは直近 3 年平均 (2021~2023 年) を使用し、2026 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。2024 年の漁獲圧は、直近 3 年 (2021~2023 年) の平均値である現状の漁獲圧 ($F_{2021-2023}$) 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

- ABCWG (2024) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 6 年度) . FRA-SA-2023-ABCWG02-04
- 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 11 July 2024)
- 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. 日水誌, **75**, 661-665.
- 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.
- Pope (1972) An investigation of the accuracy of virtual population using cohort analysis. Res. Bull. inst. Comm. Northw. Atlant. Fish., **9**, 65-74.
- 水産研究・教育機構 (2024) 令和 6 (2024) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2024-ABCWG02-01, 水産研究・教育機構, 横浜, 23pp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-01.pdf.
- 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.

補足表 2-1. (続き)

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	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. (続き)

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. (続き)

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%	28.7%	37.5%	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	1.43
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	0.84	0.91
4歳	1.24	1.65	0.92	0.92	0.33	2.45	1.24	1.02
5歳以上	1.24	1.65	0.92	0.92	0.33	2.45	1.24	1.02
%SPR	28.64	11.44	28.88	21.03	12.02	27.30	28.19	6.85
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	1,918	1,240	1,419
1歳	1,679	2,366	1,047	798	636	293	1,073	690
2歳	938	917	386	317	199	100	114	339
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	2,478	2,503	2,509

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. (続き)

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	2,499	4,823
1歳	178	620	406	1,769	612	813	591	2,668
2歳	36	29	206	76	570	544	470	380
3歳	16	11	14	15	25	240	346	223
4歳	2	6	10	6	4	8	76	40
5歳以上	1	2	8	8	1	5	5	13
計	692	788	852	2,634	1,727	1,939	3,988	8,145

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	60.1	88.7
1歳	9.8	41.9	30.9	97.0	34.2	44.6	30.0	110.0
2歳	2.9	2.7	23.9	8.3	50.2	48.9	44.7	36.4
3歳	1.9	1.1	1.6	1.8	3.0	26.9	41.0	28.3
4歳	0.3	0.7	1.1	0.6	0.6	1.0	9.6	5.2
5歳以上	0.2	0.2	0.9	0.9	0.1	0.8	0.8	1.8
計	27	49	65	132	102	130	186	271
漁獲割合	27.3%	38.4%	21.1%	29.7%	20.6%	21.8%	18.4%	21.1%

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	0.04	0.18	0.10	0.06	0.16	0.31
1歳	1.04	0.94	1.03	0.68	0.27	0.29	0.17	0.33
2歳	0.50	0.60	1.48	0.71	0.63	0.52	0.34	0.19
3歳	0.40	0.34	0.85	0.46	0.70	0.79	1.03	0.34
4歳	0.32	0.30	0.80	1.60	0.29	0.62	0.84	0.37
5歳以上	0.32	0.30	0.80	1.60	0.29	0.62	0.84	0.37
%SPR	20.53	27.50	25.17	27.05	35.86	35.83	38.00	36.27
F/Fmsy	1.96	1.57	2.02	1.69	1.17	1.20	1.10	1.13

年齢別資源尾数 (百万尾)								
年齢\年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	2,415	1,294	6,810	5,710	6,500	7,323	20,210	22,227
1歳	337	1,243	769	4,394	3,205	3,936	4,638	11,501
2歳	111	80	326	183	1,497	1,647	1,973	2,626
3歳	59	45	30	50	60	537	658	938
4歳	11	27	22	8	21	20	164	158
5歳以上	5	8	17	12	3	12	12	51
計	2,938	2,697	7,973	10,356	11,286	13,474	27,655	37,500

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	202	174	171	164	486	409
1歳	19	84	58	241	179	216	236	474
2歳	9	7	38	20	132	148	188	252
3歳	7	5	3	6	7	60	78	119
4歳	1	3	2	1	3	3	21	21
5歳以上	1	1	2	1	0	2	2	7
計	99	128	307	443	492	593	1,010	1,282
親魚量	28	58	75	149	232	321	406	636
RPS	87.4	22.2	90.9	38.4	28.1	22.8	49.8	34.9

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	18
1歳	55	68	76	55	56	55	51	41
2歳	82	93	116	109	88	90	95	96
3歳	123	108	117	122	119	112	118	127
4歳	123	115	109	108	128	128	126	132
5歳以上	142	127	119	119	175	181	155	142

補足表 2-1. (続き)

年齢別漁獲尾数 (百万尾)								
年齢\年	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	3,493	6,466	7,278	3,409	6,661	8,718	13,683	9,261
1歳	1,589	1,451	2,659	4,505	4,186	6,019	6,668	7,289
2歳	1,419	1,496	2,047	5,336	10,363	7,693	7,350	10,586
3歳	384	1,142	1,128	1,320	2,354	4,762	3,918	3,962
4歳	154	275	367	560	649	741	1,344	1,763
5歳以上	34	88	135	170	128	169	261	606
計	7,073	10,918	13,613	15,300	24,342	28,102	33,224	33,466

年齢別漁獲量 (千トン)								
年齢\年	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	71.9	89.1	123.8	53.1	102.3	121.0	221.8	139.5
1歳	75.9	73.2	109.4	182.1	172.3	222.4	224.8	292.6
2歳	112.3	136.8	147.6	302.0	519.8	377.2	335.9	489.1
3歳	43.1	122.8	104.4	112.0	161.0	276.2	217.4	239.2
4歳	18.8	35.8	39.6	56.4	63.0	62.2	98.4	136.7
5歳以上	4.7	12.6	17.8	20.2	15.3	18.6	27.2	57.2
計	327	470	543	726	1,034	1,078	1,125	1,354
漁獲割合	19.4%	21.1%	16.3%	17.2%	20.0%	20.5%	22.9%	31.8%

年齢別漁獲係数 (F)、%SPR、F/Fmsy								
年齢\年	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	0.20	0.19	0.12	0.06	0.09	0.15	0.32	0.39
1歳	0.20	0.14	0.14	0.12	0.13	0.13	0.21	0.36
2歳	0.38	0.36	0.39	0.60	0.59	0.48	0.29	0.80
3歳	0.39	0.80	0.67	0.62	0.77	0.80	0.63	0.32
4歳	0.55	0.72	0.87	1.22	0.99	0.79	0.72	0.90
5歳以上	0.55	0.72	0.87	1.22	0.99	0.79	0.72	0.90
%SPR	37.07	36.41	37.50	35.34	32.50	32.39	28.66	21.13
F/Fmsy	1.11	1.16	1.12	1.26	1.43	1.40	1.54	2.05

年齢別資源尾数 (百万尾)								
年齢\年	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	24,080	45,004	80,415	66,536	97,815	75,223	60,590	35,100
1歳	10,951	13,282	24,873	47,945	41,809	60,113	43,286	29,413
2歳	5,525	6,039	7,715	14,496	28,450	24,598	35,367	23,556
3歳	1,449	2,542	2,824	3,496	5,348	10,586	10,189	17,689
4歳	447	657	769	969	1,263	1,658	3,197	3,622
5歳以上	97	210	284	295	250	377	620	1,245
計	42,548	67,734	116,880	133,737	174,935	172,556	153,250	110,625

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	2023
0歳	496	620	1,368	1,036	1,503	1,044	982	529
1歳	523	670	1,024	1,938	1,721	2,221	1,459	1,181
2歳	437	552	556	820	1,427	1,206	1,616	1,088
3歳	163	274	261	297	366	614	565	1,068
4歳	54	85	83	98	123	139	234	281
5歳以上	13	30	37	35	30	42	65	118
計	1,686	2,232	3,330	4,224	5,169	5,266	4,922	4,264
親魚量	772	1,075	1,143	1,637	2,289	2,445	2,772	2,791
RPS	31.2	41.8	70.4	40.6	42.7	30.8	21.9	12.6

年齢別平均体重 (g)								
年齢\年	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	21	14	17	16	15	14	16	15
1歳	48	50	41	40	41	37	34	40
2歳	79	91	72	57	50	49	46	46
3歳	112	108	93	85	68	58	55	60
4歳	122	130	108	101	97	84	73	78
5歳以上	139	143	132	119	119	111	104	94

補足表 2-2. チューニングに用いた指標値とパラメータ推定値

指標値	①	②	③	④
対象	N ₀	N ₁	N ₀	SSB
2005	5.31	1.06	1,202.79	31.45
2006	15.98	1.32	62.95	7.19
2007	4.26	1.21	59.77*	32.11
2008	7.09	1.17	1,018.06	12.95
2009	15.16	1.06	1,414.79	24.06
2010	173.78	1.21	15,258.18	37.49
2011	43.72	2.74	7,358.56	51.99
2012	78.56	14.41	5,714.65	115.86
2013	29.73	16.95	6,600.84	133.91
2014	439.75	7.04	11,891.65	306.31
2015	883.81	11.75	34,764.07	146.12
2016	576.1	115.64	15,550.85	240.64
2017	2,622.09	16.83	17,091.56	451.61
2018	4,088.5	165.17	54,528.35	1,354.24
2019	2,918.17	202.86	13,870.31	1803.8
2020	13,610.56	916.21	23,473.04	681.31
2021	4,492.42	783.88	36,506.24	1,065.63
2022	2,936.57	390.95	32,893.79	1,417.35
2023	1,163.11	260.75	23,400.37	940.88
2024	-	-	-	253.14
q	4.11E-05	2.08E-04	0.70	0.42
b	1.65	1.32	0.98	1.00**

①北西太平洋北上期浮魚類資源調査による中層トロール0歳魚標準化 CPUE (尾/網/60分)。

②北西太平洋北上期浮魚類資源調査による中層トロール1歳魚標準化 CPUE (尾/網/60分)。

③秋季亜寒帯域0歳魚現存量 (百万尾)。

④潮岬以東海域 (海区I・II) 産卵量 (兆粒)。

* 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。

** b=1 に固定。

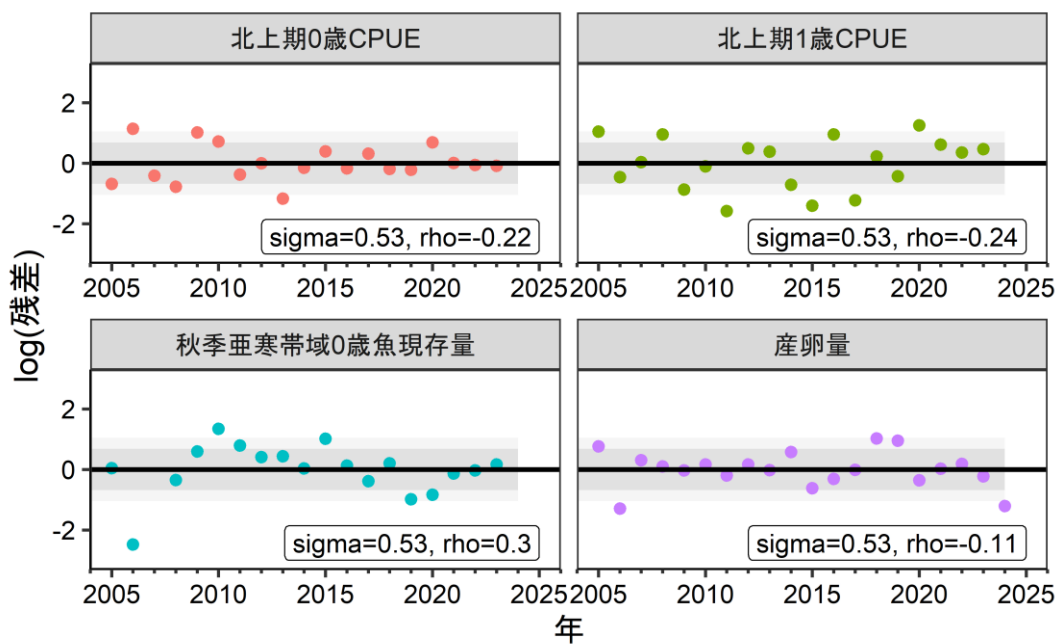
補足表 2-3. 将来予測のパラメータ

年齢	選択率 (注 1)	Fmsy (注 2)	F2021-2023 (注 3)	平均体重(g)		自然 死亡 係数	成熟 割合
				2024～ 2025 年	2026 年 以降		
0 歳	0.36	0.18	0.29	15	17	0.4	0.0
1 歳	0.37	0.18	0.23	37	45	0.4	0.2
2 歳	0.49	0.24	0.52	47	81	0.4	1.0
3 歳	1.00	0.50	0.58	58	105	0.4	1.0
4 歳	1.00	0.50	0.80	78	121	0.4	1.0
5 歳以上	1.00	0.50	0.80	103	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 $F_{current}$ の選択率）。

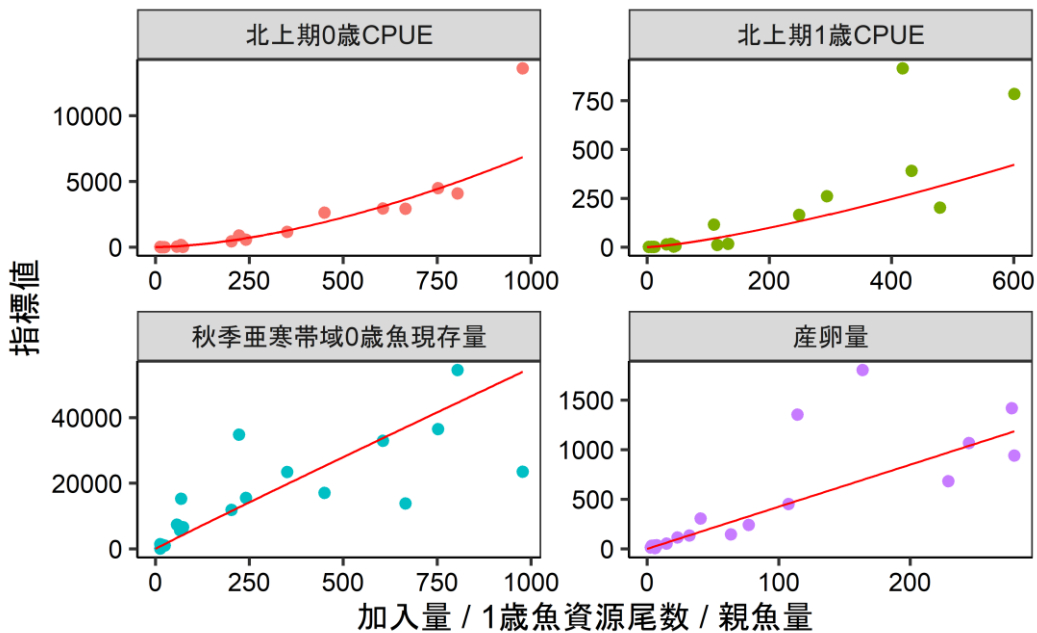
注 2：令和 2 年度研究機関会議で推定された Fmsy（すなわち、令和元年度資源評価での $F_{current}$ に $F_{msy}/F_{current}$ を掛けたもの）。

注 3：今回の資源評価で推定された 2021～2023 年の年齢別の F の単純平均として算出した。この F 値は 2024 年の漁獲量の仮定に使用した。

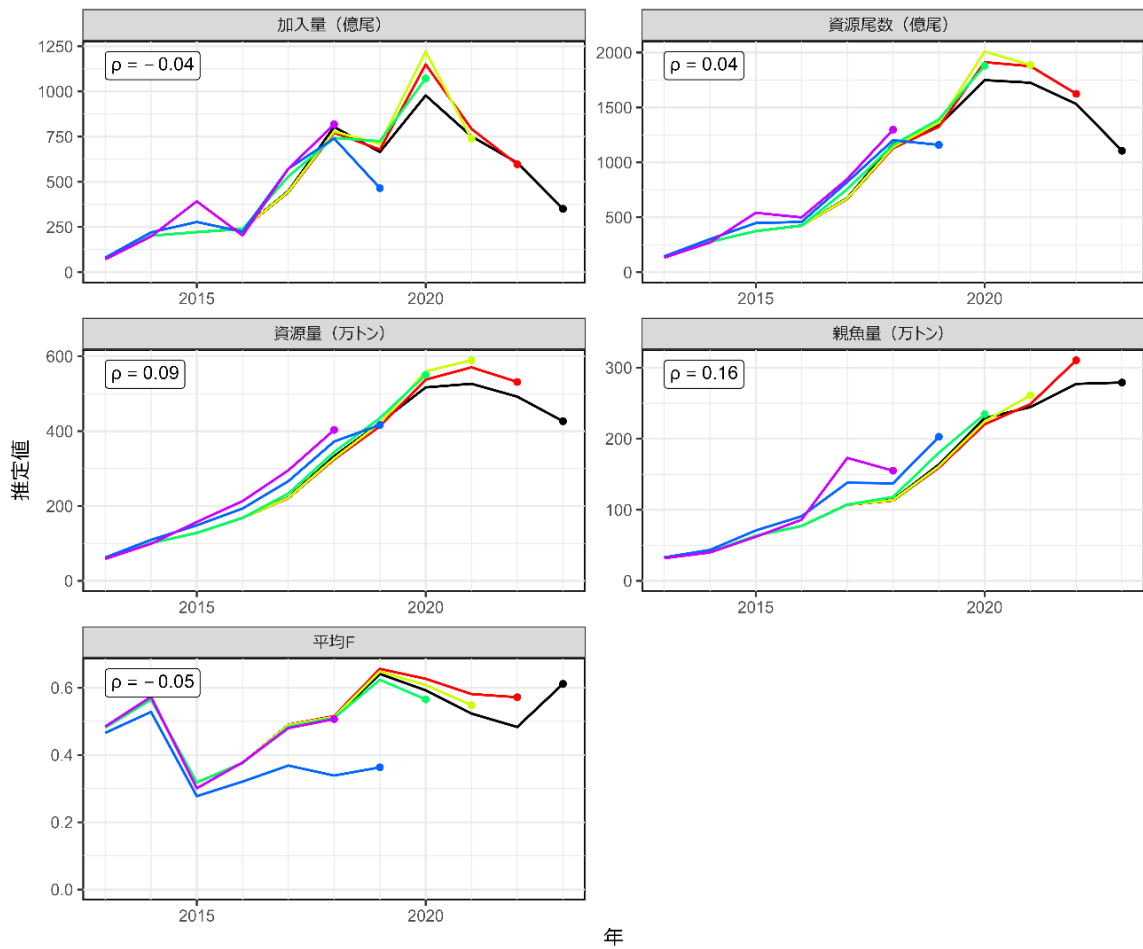


補足図 2-1. 残差プロット

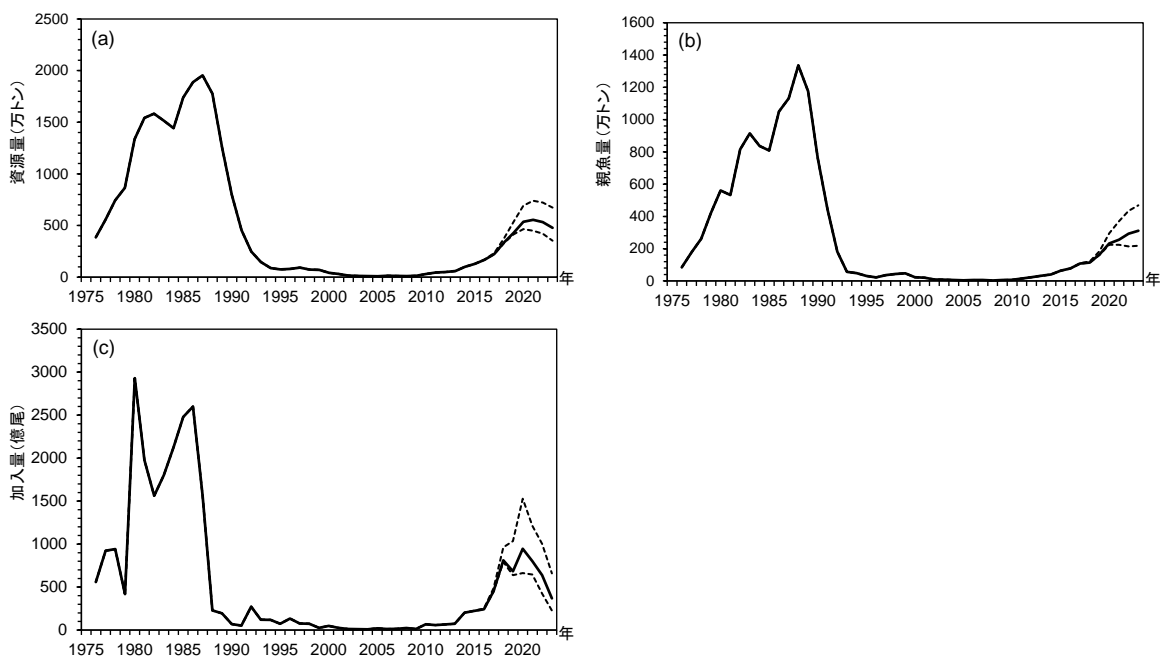
濃い灰色は 80%信頼区間、薄い灰色は 95%信頼区間を示す。sigma は指標値の標準偏差、rho は自己相関係数を示す。



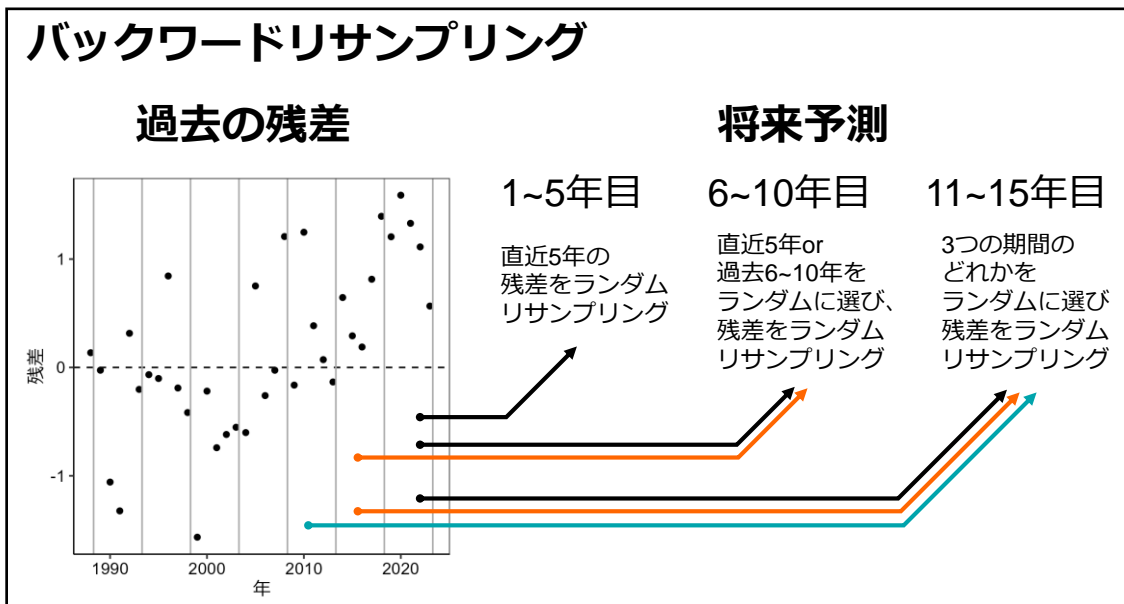
補足図 2-2. 予測加入量、資源尾数、または産卵量と指標値の関係



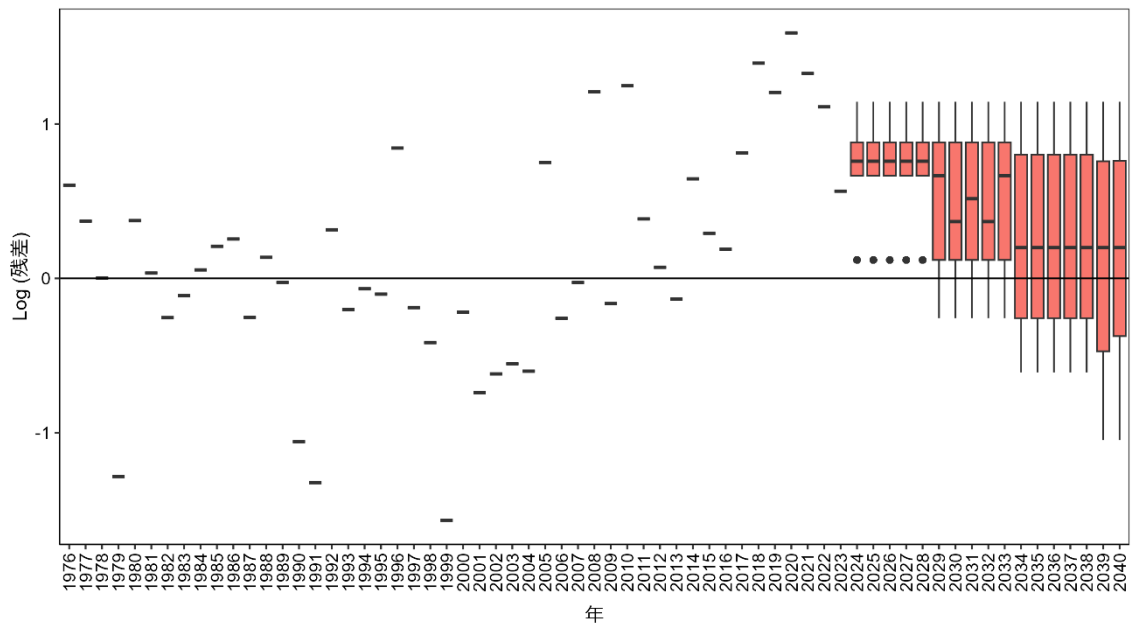
補足図 2-3. レトロスペクティブ解析の結果
Mohn's ρ の値を左上に示す。



補足図 2-4. (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 2-5. バックワードリサンプリングの概念図



補足図 2-6. 加入量の予測値に対する観測値の残差（1976～2023 年）と将来予測において用いられた残差

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	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	SBmsy を維持する漁獲圧 (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	38.9 万トン	最大持続生産量

補足表 3-3. 最新年の親魚量と漁獲圧

項目	値	説明
SB2023	279.1 万トン	2023 年の親魚量
F2023	2023 年の漁獲圧(漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳以上) =(0.39, 0.36, 0.80, 0.32, 0.90, 0.90)	
U2023	31.8%	2023 年の漁獲割合
%SPR (F2023)	21.1%	2023 年の%SPR
%SPR (F2021-2023)	26.8%	現状(2021~2023 年)の漁獲圧に対応する%SPR*
管理基準値との比較		
SB2023/ SBtarget	2.35	最大持続生産量を実現する親魚量に対する 2023 年の親魚量の比
F2023/ Fmsy	2.05	SBmsy を維持する漁獲圧に対する 2023 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	SBmsy を維持する水準を上回る	
親魚量の動向	増加	

* 2023 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

2025 年の ABC (万トン)	2025 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/F2021-2023)	2025 年の 漁獲割合 (%)
66.3	139.0	0.77	24.8
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、2025 年は 1.30、2026 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
漁獲シナリオで使用する β					
$\beta=0.85$	268.7	186.8-355.1	100	100	100
上記と異なる β を使用した場合					
$\beta=1.0$	241.9	166.2-322.7	100	100	100
$\beta=0.8$	278.6	194.4-367.1	100	100	100
$\beta=0.6$	324.1	230.3-421.4	100	100	100
$\beta=0.4$	381.3	276.3-490.5	100	100	100
$\beta=0.2$	454.5	335.4-577.7	100	100	100
$\beta=0.0$	549.7	414.7-689.5	100	100	100
F2021-2023	170.9	113.0-236.0	92	100	100

補足表 3-6. 漁獲シナリオに対応する将来予測

HCR (2025 年は 1.3Fmsy、2026 年以降は 0.85Fmsy で漁獲)

年齢別漁獲係数											
年齢\年	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	0.29	0.24	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
1歳	0.23	0.24	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
2歳	0.52	0.31	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
3歳	0.58	0.65	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
4歳	0.80	0.65	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
5歳以上	0.80	0.65	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
単純平均	0.54	0.46	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	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	43,111	43,029	42,710	43,017	43,062	35,337	35,063	35,113	34,984	35,523	29,889
1歳	15,946	21,664	22,796	24,547	24,724	24,750	20,310	20,153	20,181	20,107	20,417
2歳	13,749	8,466	11,432	13,068	14,072	14,173	14,188	11,642	11,552	11,569	11,526
3歳	7,123	5,460	4,144	6,239	7,132	7,680	7,735	7,744	6,354	6,305	6,314
4歳	8,614	2,663	1,915	1,819	2,738	3,130	3,370	3,395	3,398	2,789	2,767
5歳以上	1,324	2,982	1,984	1,713	1,552	1,886	2,204	2,450	2,569	2,622	2,378
計	89,867	84,264	84,981	90,403	93,280	86,956	82,870	80,497	79,038	78,915	73,291

年齢別平均資源量 (千トン) ※											
年齢\年	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	649	648	713	718	719	590	585	586	584	593	499
1歳	589	800	1,024	1,103	1,111	1,112	912	905	907	903	917
2歳	646	398	930	1,063	1,145	1,153	1,155	947	940	941	938
3歳	413	316	434	654	747	805	810	811	666	661	662
4歳	674	208	231	219	330	377	406	409	410	336	334
5歳以上	136	307	274	237	214	260	304	338	355	362	328
計	3,107	2,678	3,606	3,994	4,266	4,297	4,173	3,997	3,860	3,796	3,677
親魚量	1,987	1,390	2,074	2,393	2,659	2,818	2,858	2,687	2,551	2,481	2,445

年齢別平均漁獲尾数 (百万尾) ※											
年齢\年	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	8,836	7,385	4,986	5,022	5,027	4,125	4,093	4,099	4,084	4,147	3,489
1歳	2,715	3,774	2,703	2,911	2,932	2,935	2,408	2,390	2,393	2,384	2,421
2歳	4,587	1,869	1,739	1,987	2,140	2,155	2,158	1,771	1,757	1,759	1,753
3歳	2,578	2,132	1,172	1,764	2,017	2,171	2,187	2,189	1,797	1,783	1,785
4歳	3,896	1,037	540	513	772	883	950	957	958	786	780
5歳以上	599	1,161	559	483	438	532	621	691	724	739	670
計	23,210	17,360	11,698	12,680	13,325	12,801	12,418	12,096	11,713	11,599	10,899

年齢別平均漁獲量 (千トン) ※											
年齢\年	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	133	111	83	84	84	69	68	68	68	69	58
1歳	100	139	121	131	132	132	108	107	108	107	109
2歳	215	88	141	162	174	175	176	144	143	143	143
3歳	149	124	123	185	211	227	229	229	188	187	187
4歳	305	81	65	62	93	106	115	115	115	95	94
5歳以上	62	120	77	67	60	73	86	95	100	102	93
計	965	663	611	690	754	783	782	760	722	703	683
漁獲割合	31.1%	24.8%	16.9%	17.3%	17.7%	18.2%	18.7%	19.0%	18.7%	18.5%	18.6%

※5,000 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

F2021-2023

年齢別漁獲係数

年齢\年	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
1歳	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
2歳	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
3歳	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
4歳	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
5歳以上	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
単純平均	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54

年齢別平均資源尾数 (百万尾) ※

年齢\年	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	43,111	43,029	42,710	43,017	43,062	35,337	35,063	35,113	34,984	35,521	29,881
1歳	15,946	21,664	21,623	21,463	21,617	21,640	17,757	17,620	17,645	17,580	17,850
2歳	13,749	8,466	11,502	11,480	11,395	11,477	11,489	9,428	9,355	9,368	9,334
3歳	7,123	5,460	3,362	4,568	4,560	4,526	4,558	4,563	3,744	3,715	3,721
4歳	8,614	2,663	2,042	1,257	1,708	1,705	1,692	1,704	1,706	1,400	1,389
5歳以上	1,324	2,982	1,694	1,121	713	727	730	727	729	731	639
計	89,867	84,264	82,933	82,906	83,055	75,412	71,289	69,155	68,163	68,315	62,814

年齢別平均資源量 (千トン) ※

年齢\年	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	649	648	713	718	719	590	585	586	584	593	499
1歳	589	800	971	964	971	972	798	792	793	790	802
2歳	646	398	936	934	927	934	935	767	761	762	760
3歳	413	316	352	479	478	474	478	478	392	389	390
4歳	674	208	246	152	206	206	204	205	206	169	167
5歳以上	136	307	234	155	99	100	101	100	101	101	88
計	3,107	2,678	3,452	3,401	3,399	3,276	3,100	2,929	2,836	2,804	2,706
親魚量	1,987	1,390	1,963	1,912	1,904	1,908	1,877	1,709	1,619	1,579	1,566

年齢別平均漁獲尾数 (百万尾) ※

年齢\年	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	8,836	8,819	8,753	8,816	8,826	7,242	7,186	7,196	7,170	7,280	6,124
1歳	2,715	3,688	3,681	3,654	3,680	3,684	3,023	3,000	3,004	2,993	3,039
2歳	4,587	2,825	3,837	3,830	3,802	3,829	3,833	3,145	3,121	3,126	3,114
3歳	2,578	1,977	1,217	1,654	1,651	1,638	1,650	1,652	1,356	1,345	1,347
4歳	3,896	1,205	923	569	773	771	765	771	772	633	628
5歳以上	599	1,348	766	507	323	329	330	329	330	331	289
計	23,210	19,862	19,179	19,030	19,054	17,494	16,788	16,093	15,752	15,708	14,542

年齢別漁獲量 (千トン) ※

年齢\年	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	133	133	146	147	147	121	120	120	120	121	102
1歳	100	136	165	164	165	166	136	135	135	134	137
2歳	215	133	312	312	309	312	312	256	254	254	253
3歳	149	115	128	173	173	172	173	173	142	141	141
4歳	305	94	111	69	93	93	92	93	93	76	76
5歳以上	62	139	106	70	45	45	46	45	46	46	40
計	965	749	968	935	933	908	878	822	789	773	749
漁獲割合	31.1%	28.0%	28.0%	27.5%	27.4%	27.7%	28.3%	28.1%	27.8%	27.6%	27.7%

※5,000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、1 歳魚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 月から当年 4 月までについて合計した値である（内山 1998）。ここ数年の未成魚越冬群指数については、最近の海洋環境・資源状態の変化によりマイワシ 1 歳以上の越冬時の分布が変化し、1 歳魚の資源量を反映できていない可能性がある。なお、このような状況でも機能する指標値の探索が進められており、1～5 月の宮城県定置網の未成魚（1 歳魚）の CPUE が資源変動のトレンドを捉えられていることが示されている（増田・古市 2022）。

(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。

加入量指数 = \sum [表面水温 1°C の各水温帯における有漁獲点 CPUE 中央値（尾数/網）] × [表面水温 1°C の各水温帯における有漁獲点割合] × [表面水温 1°C ごと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（サンマ資源量直接推定調査、北上期浮魚類資源調査）：水産研究・教育機構が 2001 年以降 6～7 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℃ 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

- 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.
- 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	2024							
I・II区	1,804	681	1,066	1,417	941	253							
I~IV区	1,892	723	1,088	1,423	1,023	284							

卵稚仔調査協議会による前年10月から当年9月までの集計値。

2024年は5月までの暫定値。

補足表 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
	187.4	45.0	60.1	6.1	45.7	0.1	0.8	0.1	0.6	5.0
移行域 加入量指数	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	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	2024	
	102.6	91.9	524.8	248.1	257.1	836.3	646.9	527.7	8.0	

補足表 4-3. 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	2024	
	2,480	1,855	2,178	6,991	17,329	11,661	630	817	1,182	

補足資料 5 資源量指標値標準化の手法

北西太平洋北上期浮魚類資源調査による 中層トロール 0 歳魚 CPUE (以下、北上期 CPUE) および 1 歳魚 CPUE の標準化を行った。0 歳魚 CPUE は加入量 (0 歳魚資源尾数) の指標値、1 歳魚 CPUE は 1 歳魚資源尾数の指標値である。

北西太平洋北上期浮魚類資源調査は 2001 年から開始されているが、耳石サンプルが利用可能で漁獲物の年齢分解が可能な 2005~2023 年の期間を使用した。標準化には、Vector-Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) モデル (Thorson and Barnett 2017) を使用した。VAST は、空間自己相関を考慮することで、相対密度の時空間変動の柔軟な取り扱いを可能にした CPUE 標準化の手法である。

VAST では調査 CPUE (尾/網/時) を、サンプル i の遭遇確率 ($p_1(i)$) と、遭遇時した場合のサンプル i の密度 ($p_2(i)$) に分けて、以下の 2 つの線形予測子で表す。

$$p_1(i) = \beta_1(t_i) + \omega_1(s_i) + \varepsilon_1(s_i, t_i) \quad (19)$$

$$p_2(i) = \beta_2(t_i) + \omega_2(s_i) + \varepsilon_2(s_i, t_i) \quad (20)$$

右辺の第 1 項の $\beta(t_i)$ は調査年 t の効果を表す係数であり、第 2 項の $\omega(s_i)$ は調査年 t における空間のランダム効果、第 3 項の $\varepsilon(s_i, t_i)$ は調査年 t と場所 s における時空間のランダム効果を表している。VAST では初めに、空間情報から、クラスタリングの一種である k-平均法により空間分布を近似するノットを決め、ノットにおける相対密度の時空間変化をモデル化する。先行研究ではノット数は 100 以上とすることを推奨されているので (Thorson 2019)、これに倣い、今回はノット数を 150 (1 歳魚では推定が困難であったため 100) とした。空間効果の確率密度関数は多変量正規分布 (MVN) を使って、

$$\omega_1(\cdot, f) \sim MVN(0, \mathbf{R}_1), \quad \omega_2(\cdot, f) \sim MVN(0, \mathbf{R}_2) \quad (21)$$

と表す。ここで、 \mathbf{R}_1 , \mathbf{R}_2 は Matérn 相関関数であり、

$$\mathbf{R}_1(s_n, s_m) = \frac{1}{2^{\varphi-1}\Gamma(\varphi)} \times (\kappa_1 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|)^{\varphi} \times K_{\nu}(\kappa_1 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|), \quad (22)$$

$$\mathbf{R}_2(s_n, s_m) = \frac{1}{2^{\varphi-1}\Gamma(\varphi)} \times (\kappa_2 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|)^{\varphi} \times K_{\nu}(\kappa_2 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|) \quad (23)$$

と表される。VAST では、 $\varphi = 1$ として推定しない。 Γ はガンマ関数、 K_{ν} は第 2 種の変形ベッセル関数、 κ_1 と κ_2 は非相関率、 $\mathbf{d}(s_n, s_m)$ はノット間の距離、 \mathbf{H} は地理的な異方性 (方角によって相関の程度が異なること) を表す行列であるが、推定が困難であったため異方性を仮定しなかった。同様に、時空間効果の確率密度関数は

$$\varepsilon_1(\cdot, f, t) \sim \begin{cases} MVN(0, \mathbf{R}_1) & \text{if } t = 1 \\ MVN(\rho_{\varepsilon_1} \varepsilon_1(\cdot, f, t-1), \mathbf{R}_1) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (24)$$

$$\varepsilon_2(\cdot, f, t) \sim \begin{cases} MVN(0, \mathbf{R}_2) & \text{if } t = 1 \\ MVN(\rho_{\varepsilon_2} \varepsilon_2(\cdot, f, t-1), \mathbf{R}_2) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (25)$$

で与えられるが、本解析では時空間効果は独立と仮定した ($\rho_{\varepsilon_1} = \rho_{\varepsilon_2} = 0$)。各年の効果 (β) については、漁獲のない年があり、これらの年でも正の標準化 CPUE の値を算出するため、ランダム効果として推定した。

$$\beta_1(t) \sim \begin{cases} Normal(0, \sigma_{\beta_1}^2) & \text{if } t = 1 \\ Normal(\rho_{\beta_1} \beta_1(t-1), \sigma_{\beta_1}^2) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (26)$$

$$\beta_2(t) \sim \begin{cases} Normal(0, \sigma_{\beta_2}^2) & \text{if } t = 1 \\ Normal(\rho_{\beta_2} \beta_2(t-1), \sigma_{\beta_2}^2) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (27)$$

年の効果においても、各年独立と仮定した ($\rho_{\beta_1} = \rho_{\beta_2} = 0$)。

本データを使用した解析では二項分布とガンマ分布を使用したデルタ型のモデルを使用し、予測遭遇率 ($r_1(i)$) と遭遇時の予測 CPUE ($r_2(i)$) を以下の式で表した (Thorson 2017)。

$$r_1(i) = \text{logit}^{-1} p_1(i) \quad (28)$$

$$r_2(i) = a_i \times \log^{-1} p_2(i) \quad (29)$$

a_i はオフセット項であるが、CPUE を目的変数としてオフセット項は 1 とした。CPUE が観測される確率は以下で表され、周辺尤度が最大となるパラメータを推定した。

$$\Pr(b_i = B) = \begin{cases} 1 - r_1(i) & \text{if } B = 0 \\ r_1(i) \times g\{B|r_2(i), \sigma_m^2(c)\} & \text{if } B > 0 \end{cases} \quad (30)$$

上記モデルのパラメータは、最尤法によって推定されるが、多くのランダム効果を伴うため、高速な計算が必要であり、Template Model Builder (Kristensen et al. 2016) と呼ばれる高速最適化ソフトが使用される。

VAST の資源量指標値は各年における各位置の相対密度を $d(x, c, t) = r_1(x, c, t) \times r_2(x, c, t)$ で計算し、各ノットの面積と密度を掛け合わせた値の総和を存在量として求められるが、今回の解析では密度は CPUE (尾/網/60 分) であるため、総和を面積の合計値で割った値を標準化 CPUE (尾/網/60 分) として算出した。

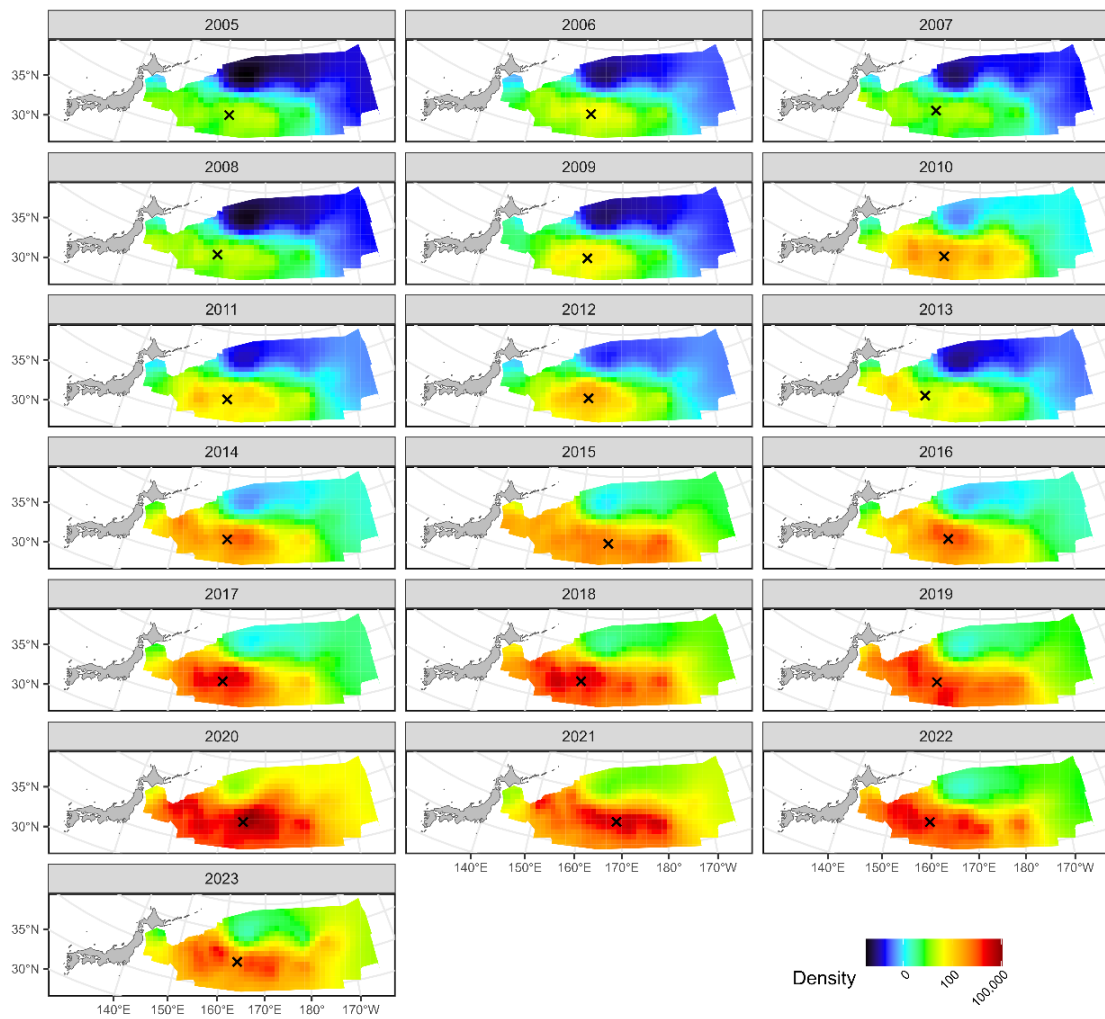
$$I(t) = \frac{\sum_{s=1}^{n_s} (a(s) \times d(s, t))}{\sum_{x=1}^{n_s} a(s)} \quad (31)$$

各ノットの面積の合計値は年によって変わらないため、この処理によって標準化指標値の相対的なトレンドは変わらない。指標値を求める際、ランダム効果の平均補正を行った (Thorson and Kristensen 2016)。VAST のモデル構造については、Thorson (2019) や GitHub (<https://github.com/James-Thorson-NOAA/VAST>) に詳しく記載されている。

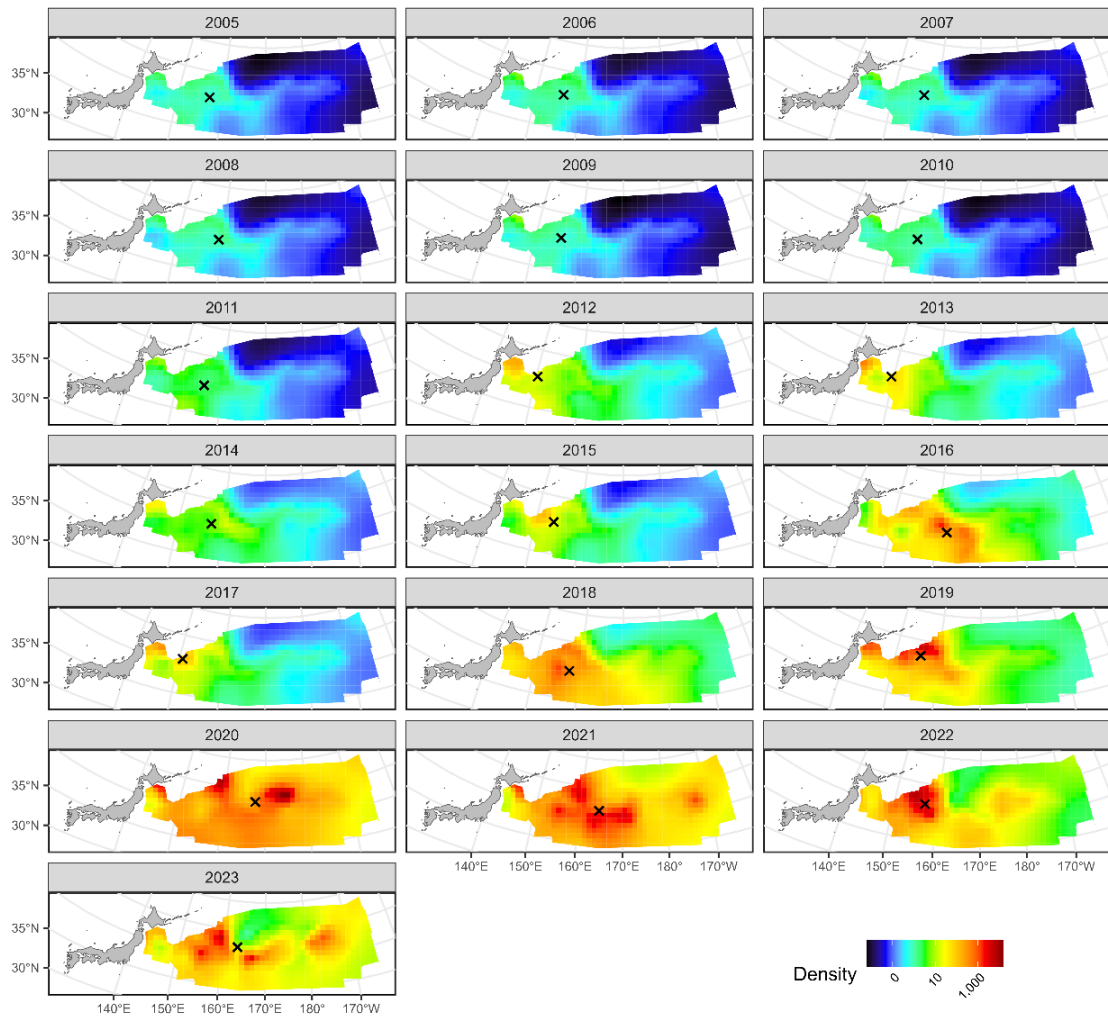
VAST で推定された各年の局所密度の分布を補足図 5-1、5-2 に示す。1 歳魚の分布の変化が顕著に見られており、2016 年以降に分布の重心が東方向に移動し、分布が沖合に拡大していることが明らかになった。0 歳魚 CPUE は 2020 年にピークがあり、1 歳魚 CPUE は 2020-2021 年にピークがあり、2023 年はどちらの CPUE も前年を下回っていた (補足図 5-3)。R パッケージの DHARMa (Hartig 2022) を使用しモデル診断を行ったところ、いずれの解析においても Q-Q プロットは理論上の予測線の上に観測値が載っており、コルモゴロフ-スミルノフ検定において有意差は検出されなかった (補足図 5-4)。

引用文献

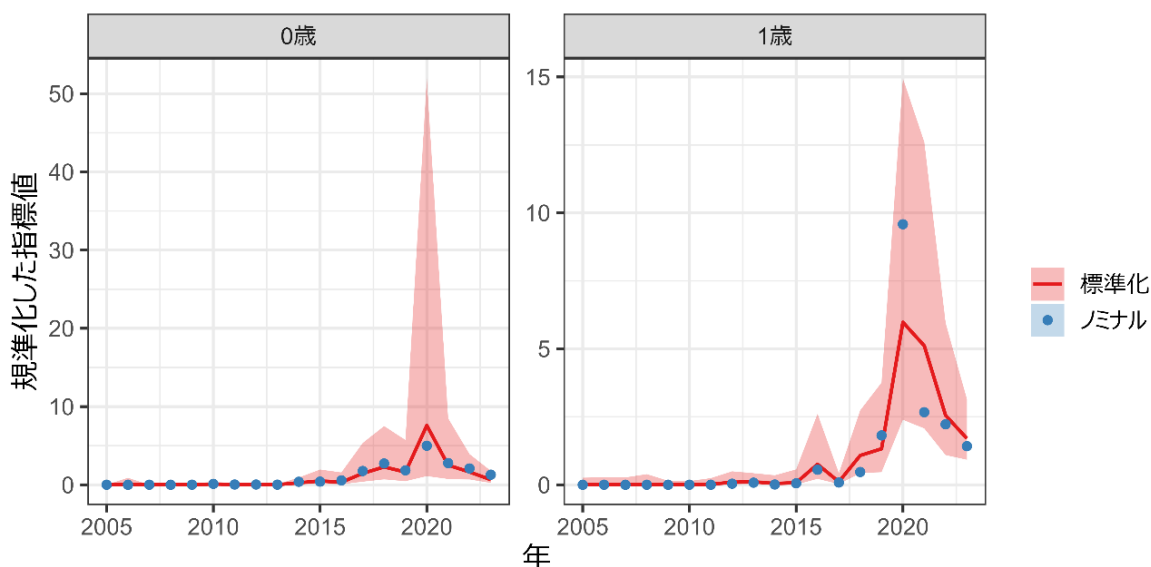
- Hartig, F. (2022) DHARMa: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level/Mixed) Regression Models. R package version 0.4.5. <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMa>.
- Kristensen, K., A. Nielsen, C. E. Berg, H. Skaug and B. M. Bell (2016) TMB: automatic differentiation and Laplace approximation. *J. Stat. Softw.*, **70**, 1-21.
- Thorson, J. T. (2017) Three problems with the conventional delta-model for biomass sampling data, and a computationally efficient alternative. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **75**, 1369-1382.
- Thorson, J. T. (2019) Guidance for decisions using the Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) package in stock, ecosystem, habitat and climate assessments. *Fish. Res.*, **210**, 143-161.
- Thorson, J. T. and LAK. Barnett (2017) Comparing estimates of abundance trends and distribution shifts using single- and multispecies models of fishes and biogenic habitat. *ICES J. Mar. Sci.*, **74**, 1311-1321.
- Thorson, J. T. and K. Kristensen (2016) Implementing a generic method for bias correction in statistical models using random effects, with spatial and population dynamics examples. *Fish. Res.*, **175**, 66-74.



補足図 5-1. 北上期調査データから推定された各年の 0 歳魚の相対密度
 ×印は分布の重心を表す。

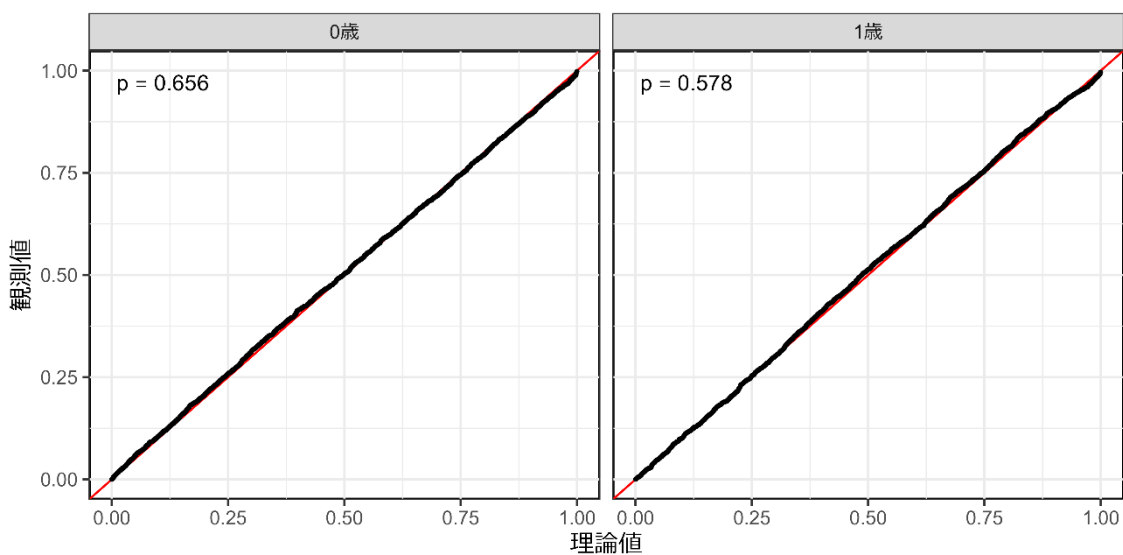


補足図 5-2. 北上期調査データから推定された各年の 1 歳魚の相対密度
 ×印は分布の重心を表す。



補足図 5-3. 北上期調査の 0 歳魚 CPUE および 1 歳魚 CPUE の経年変化

赤実線は今年度評価による標準化指標値、青点はノミナル指標値を表す。平均が 1 となるように標準化した値を示しており、影は 95%信頼区間を表す。ノミナルは CPUE の単純平均を表す。



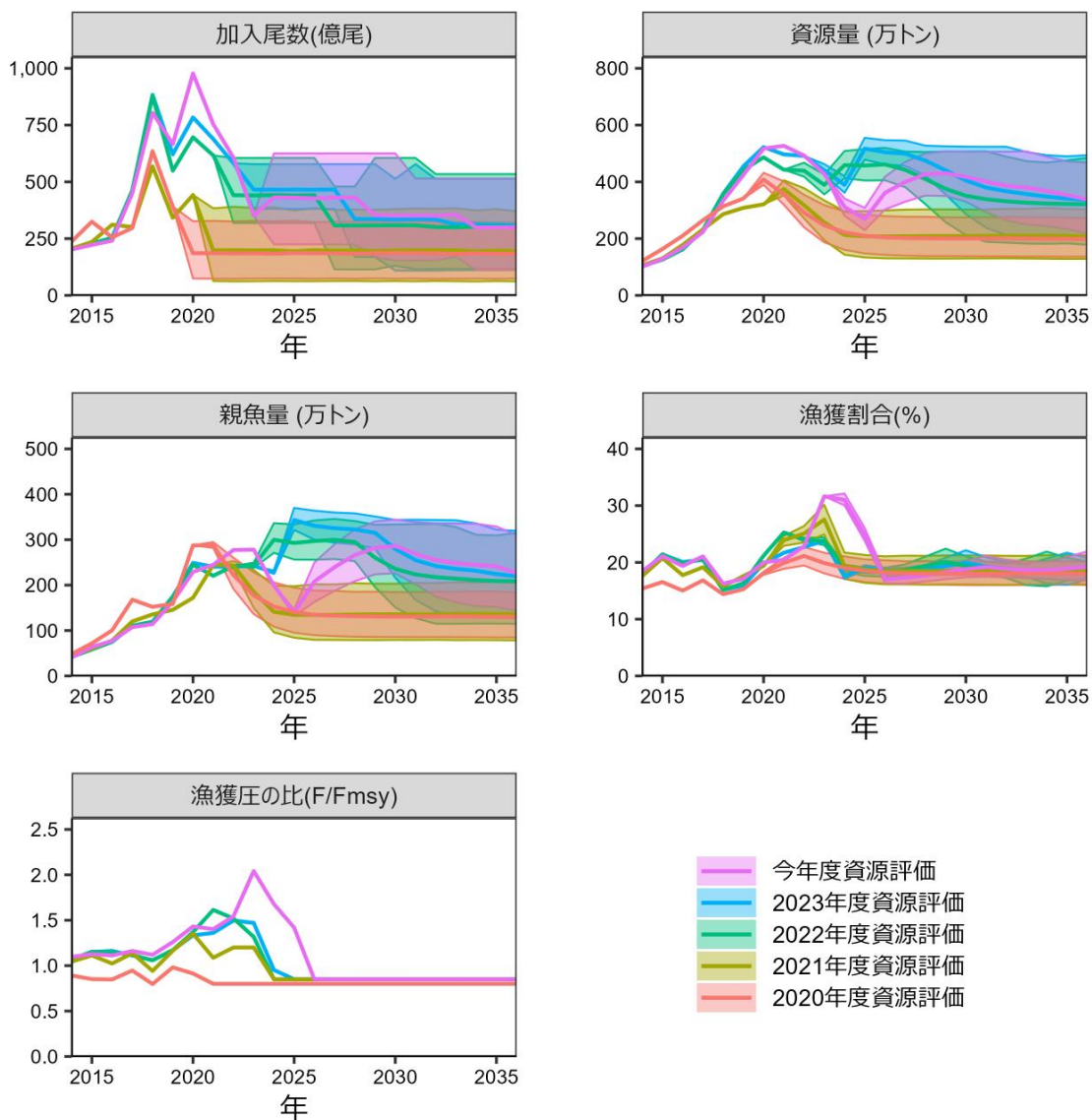
補足図 5-4. 各資源量指標値の解析における標準化残差 (0-1 の範囲に標準化した残差) の Q-Q プロット

左上にコルモゴロフ-スミルノフ検定における p 値を示す。

補足資料 6 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 6-1）。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 6-1）。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（2024年）評価を昨年度評価と比べると、2019年以降の加入量が上方修正され（特に、2020年級群の加入量が25%程度上方修正）、それに伴い2022年の親魚量が15%程度上方修正された（補足図 6-1、補足表 6-1）。親魚量の指標値である産卵量の2024年の値が低く、2019年級群以降の資源量推定値を全体的に下げよう影響していた一方で、今年度から指標値として使用している北上期調査の0、1歳魚標準化CPUEは、資源量を高く推定する方向に影響していた。北上期調査の0、1歳魚標準化CPUEの影響が強く、2019年以降の加入量および2022年の親魚量が上方修正された。ただし、2023年の漁獲量が増加したため、漁獲圧や漁獲割合も増加した。2023年の加入量が想定より低かったこと、および、2023年の漁獲圧が高かったことにより、将来予測における2024年以降の資源量・親魚量の予測値は下方修正された。



補足図 6-1. 評価年度別の加入量、親魚量、資源量、漁獲割合、漁獲圧の比の比較
 加入量、親魚量、資源量、漁獲割合、漁獲圧の比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。太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90% が含まれる予測区間を示す。

補足表 6-1. 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	2019	2020	2021	2022	2023
2022	550	697	617		
2023	621	784	689	582	
2024	665	978	752	606	351

(b) 親魚量 (万トン)

親魚量	年				
評価年度	2019	2020	2021	2022	2023
2022	175	245	221		
2023	175	249	240	241	
2024	164	229	245	277	279

(c) 資源量 (万トン)

資源量	年				
評価年度	2019	2020	2021	2022	2023
2022	442	487	443		
2023	455	522	497	491	
2024	422	517	527	492	426

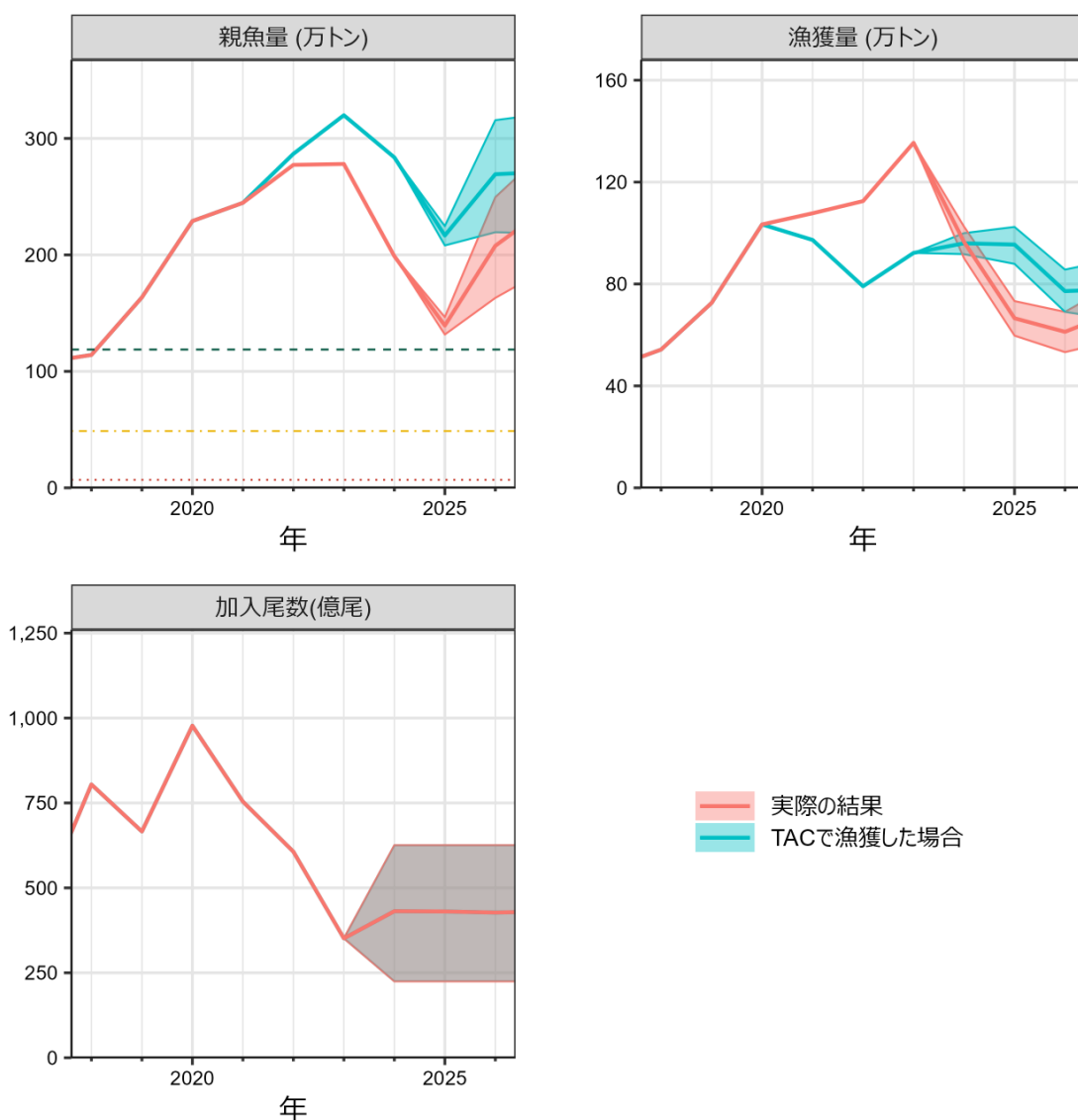
補足資料 7 TAC で漁獲していた場合のシミュレーション

本年度評価による将来予測において、2024～2025年に資源量がいったん急減する。これは、2023年級群の加入量が直近数年の中で低いことが影響していると考えられる。一方で、近年、太平洋系群の漁獲量は増加しており、特に2021年以降は、外国船漁獲量を含めるとTACを超過した漁獲が見られている（補足表 7-1）。漁獲圧が高かったことも、2024～2025年の資源量の急減に関係しているかもしれない。

そこで、漁獲の影響を見るため、2021年以降TACで漁獲していた場合をシミュレーションした。2021～2023年の各年の選択率は本文の評価結果と同じとし、漁獲量がTACに一致するようなFを探索した。2021～2023年の加入量は、本文の評価結果おける再生産関係からの残差を使用し、そのときの親魚量と再生産関係から算出した。その他の設定は、本文の資源量推定および将来予測と同じである。

シミュレーションの結果、TACで漁獲していた場合でも資源量は急減していた（補足図 7-1）。ただし、TACで漁獲していた場合の方が、資源量減少の程度が小さく、漁獲量は安定していた。加入量については違いが見られなかった。これは、ホッケー・スティック型再生産関係の折れ点より多い親魚量が維持されていたためである。

マイワシのように比較的寿命が短い魚種では、わずか一年級群の加入が多少悪かっただけでも、資源量は急減すると考えられる。特に、漁獲圧が高いと、その減少の程度は大きくなり、想定外に資源量が激減する場合もありえる。安定した漁獲を実現するためにも、たとえ資源量が目標管理基準値を上回っていたとしても、 F_{msy} を大きく超えるような漁獲圧で漁獲を続けることは避けた方が良好だろう。



補足図 7-1. TAC で漁獲した場合のシミュレーション結果との比較

親魚量、漁獲量、加入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。太実線は平均値、網掛けは将来予測シミュレーション結果の90%が含まれる予測区間を示す。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値、黄一点鎖線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準を示す。

補足表 7-1. TAC と実漁獲量 (万トン)

	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
TAC	117.5	140.8	97.3	79.1	92.2
日本の漁獲量	54.7	62.6	58.5	57.0	57.7
外国船漁獲含む 太平洋全体の漁獲量	72.6	103.4	107.8	112.5	135.4