

令和 4（2022）年度マイワシ対馬暖流系群の資源評価

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

水産技術研究所 環境・応用部門

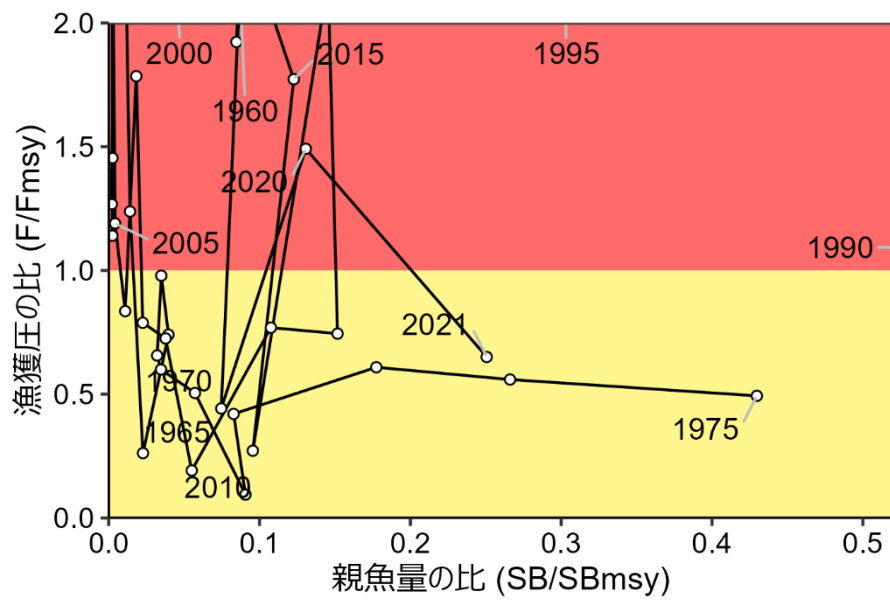
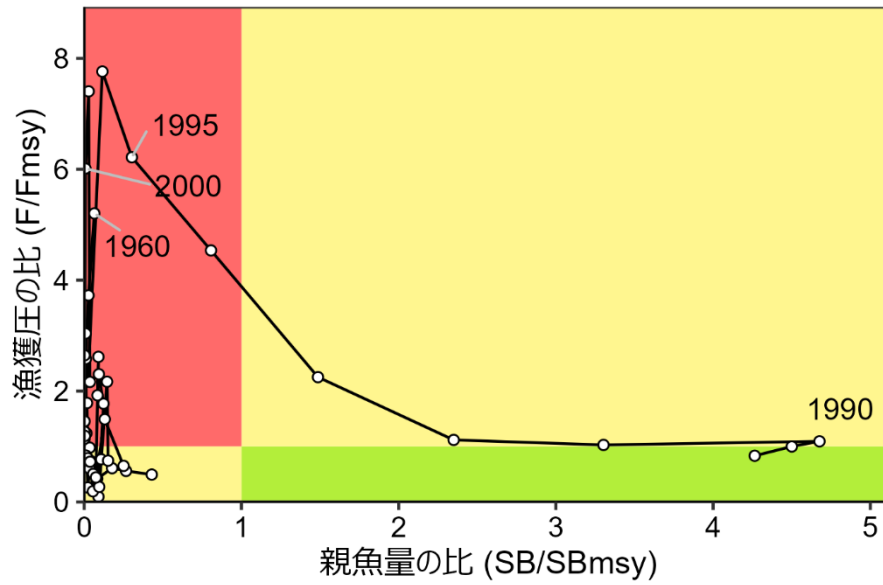
参画機関：青森県産業技術センター水産総合研究所、秋田県水産振興センター、山形県水産研究所、新潟県水産海洋研究所、富山県農林水産総合技術センター水産研究所、石川県水産総合センター、福井県水産試験場、京都府農林水産技術センター海洋センター、兵庫県立農林水産技術総合センター但馬水産技術センター、鳥取県水産試験場、島根県水産技術センター、山口県水産研究センター、福岡県水産海洋技術センター、佐賀県玄海水産振興センター、長崎県総合水産試験場、熊本県水産研究センター、鹿児島県水産技術開発センター、海洋生物環境研究所

要 約

本系群の資源量について、2021 年までの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推定した。資源量は、1970 年代から増加し、1988 年には 1 千万トンに達した。しかし、1990 年代に急減し、2001～2003 年には過去最低水準である 5 千トン前後になった。2004 年以降資源量は増加し、2010 年に 10 万トンを超えた後、2019 年まで 20 万トン前後で推移した。2020 年より増加傾向にあり、2021 年には 54.1 万トンと推定された。親魚量は 2011～2020 年には 8 万～17 万トンで推移していたが、2021 年は 27.4 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（109.3 万トン）であり、本系群の 2021 年の親魚量は、これを下回る。また、本系群の 2021 年の漁獲圧は、 MSY を実現する水準の漁獲圧（ F_{msy} ）を下回る。親魚量の動向は近年 5 年間（2017～2021 年）の推移から「増加」と判断される。2023 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 2023 年の ABC は 14.3 万トンである。

要 約 図 表



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	1,093 千トン
2021 年の親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る
2021 年の漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る
2021 年の親魚量の動向	増加
最大持続生産量 (MSY)	338 千トン
2023 年の ABC	143 千トン
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 年までは親魚量によらず 0.8、2024 年以降は 0.75 が用いられる。	

近年の資源量、漁獲量、漁獲圧、および漁獲割合					
年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F/Fmsy	漁獲割合 (%)
2017	174	93	54	1.92	31
2018	176	99	71	2.62	40
2019	198	82	14	0.44	7
2020	398	143	73	1.49	18
2021	541	274	55	0.65	10
2022	737	410	97	0.72	13
2023	938	503	143	0.80	15
・2022 年、2023 年の値は将来予測に基づく平均値である。 ・2022 年の漁獲には TAC の値を、2023 年の漁獲には ABC の値を用いた。					

1. データセット

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(青森～鹿児島(17)府県) 大中型まき網漁業漁獲成績報告書(水産庁) 月別体長組成調査(水研、青森～鹿児島(17)府県) ・市場測定 体長一年齢測定調査(水研) ・市場測定、年齢査定
資源量指数 ・親魚量 ・資源量指標値	卵稚仔調査(周年、水研、青森～鹿児島(17)府県) ・ノルパックネット* 石川県中型まき網漁獲量(石川県、FRA-SA2022-SC03-10)* 島根県中型まき網漁獲量(島根県、FRA-SA2022-SC03-11)*
自然死亡係数 (M)	年当たり $M=0.4$ を仮定 (Wada and Jacobson 1998)

*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

本系群は東シナ海北部から日本海にかけて広く分布し、分布域は資源量とともに変化すると考えられている(図 2-1)。資源量の多かった 1980 年代には日本海の沖合域にも分布していたが、資源量が減少した 2000 年以降の分布域は沿岸域に限られていた(檜山 1998、Muko et al. 2018)。この分布域内において、マイワシは大小さまざまな規模で季節回遊していると考えられる(伊東 1961、黒田 1991)。しかし、本系群の回遊に関する科学的知見は不足している。

(2) 年齢・成長

マイワシの成長速度は、水温や餌料などの環境要因だけでなく、年齢といった内的要因の影響も受け、高齢になるほど成長が遅くなる。また、資源水準と同調した変動を示すことも指摘されており、資源増加期に成長が速く、資源高水準期に遅くなる(Hiyama et al. 1995)。近年における本系群の成長は、生育場により異なるが、満 1 年で体長 16 cm 程度、2 年で 19 cm 程度、3 年で 20 cm 程度に達する。寿命は 7 歳程度と推定される。図 2-2 に、2017～2021 年の各年齢における漁獲物の被鱗体長と体重の平均値を示した

(3) 成熟・産卵

日本のマイワシの成熟開始年齢は資源量によって変動することが知られている(森本 2010)。地理的な違いはみられるものの、過去の資源高水準期では、満 1 歳魚での産卵は稀であり、産卵群の主体は 2 歳以上であった。資源減少期に入ると成熟した満 1 歳魚が確認

され、資源水準が低かった 2008～2010 年では満 1 歳魚の多くが成熟していたとの報告もある（米田ほか 2013）。個体が成熟し産卵できるかどうかは、産卵期前にどれだけ栄養を蓄えられたかによると考えられている（森本 2010）。また、水温等の環境要因が成熟を促進または抑制する条件になっていることから（Matsuyama et al. 1991）、成熟開始年齢は短期的な環境要因の変化の影響も受けると考えられる。これらの知見から、本系群の評価で使用する年齢別成熟率は、資源水準を指標として似たような時期には同等の数値をとると仮定した（図 2-3）。近年では、個体の精密測定や生殖腺の組織学的観察の結果より、2016 年に 1 歳魚の成熟率の低下が認められた（安田ほか 2018）。この成熟率の低下は資源水準の増加を反映したものであると考えられ、2021 年の 1 歳魚の成熟率はこれと同じであると仮定した。2021 年の年齢別成熟率は、0 歳魚で 0%、1 歳魚で 25%、2 歳以上で 100%とした。

本系群の産卵期は冬から春（1～6 月）であり、低緯度海域ほど早く産卵する傾向がある。産卵場は能登半島から九州西岸にかけての沿岸域に形成されるが（図 2-1）、産卵場の主体となる海域は年変動する。資源増加期である 1986 年までは九州北部海域と日本海西部海域の卵豊度が高かったのに対し、資源減少期である 1990 年以降では日本海北部海域での卵豊度が高かった（檜山 1998、後藤 1998、Furuichi et al. 2020）。九州沿岸部に限ると、資源水準が高い年代には薩南海域で、低い年代には五島以北で多くの卵が採集される傾向がみられている（松岡・小西 2001）。また、海面水温が低いほど、日本海北部での産卵は減少し、九州沖合での産卵が増える傾向がみられた（Furuichi et al. 2020）。2021 年は九州沿岸部から日本海北部までの広い海域でマイワシ卵が確認された。

（4）被捕食関係

仔魚期には、かいあし類などの動物プランクトンを捕食する（Nakai 1962）。成魚期には、動物プランクトンに加えて珪藻類などの植物プランクトンやカタクチイワシなどの卵も濾過捕食する（Nakai 1962、馬場ほか 2018）。索餌期は主に春から秋である。春季における植物プランクトンの季節増殖のタイミングが本系群の加入に影響することが指摘されている（Kodama et al. 2018）。本系群の捕食者は、仔魚期では大型動物プランクトンや小型魚類等であり、成魚期では大型魚類および哺乳類、海鳥類等と考えられる。

（5）特記事項

マイワシの資源量は中長期変動する海洋環境の影響を受けることが指摘されている（Yatsu et al. 2005）。本系群は歴史的に数十年規模の資源変動を示し、その資源変動は海洋生態系におけるレジームシフトに対する応答と認識されてきた（Ohshimo et al. 2009）。本系群の資源量は 1960 年代から 1970 年代初頭において低かったが、1970 年代中盤以後、急激に増加傾向を示し、1980 年代後半に最大値を示した後、急激に減少した。この資源変動は、冬季のモンスーン指標に起因する海洋環境の変化の影響を受けたと考えられている（Ohshimo et al. 2009）。資源量や海洋環境の変化は、個体の成長や成熟、加入成功に影響し、再生産関係も変化する可能性がある。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

対馬暖流域に生息するマイワシは、まき網、定置網、棒受網などで漁獲される。主要な漁業は、東シナ海および日本海南西部では中小型まき網漁業および大中型まき網漁業、日本海中北部では定置網漁業および中小型まき網漁業である。

資源水準の高かった 1980 年代では沿岸域から沖合域にかけて広く漁場が形成されたが、近年の漁場は主に沿岸域である。

(2) 漁獲量の推移

本評価では、漁業・養殖業生産統計年報の日本海および東シナ海側に位置する青森県～鹿児島県の合計値に、大中型まき網漁業漁獲成績報告書より太平洋海区に所属する漁船による当該海域における漁獲量を加え、日本海区および東シナ海区に所属する漁船による太平洋海域における漁獲量を差し引いた値とした（図 3-1、表 3-1）。

漁獲量は、1983 年に 100 万トンを超え、1991 年まで 100 万トン以上であったが、その後急速に減少し、2001 年には 1 千トンまで落ち込んだ。その後、2004 年以降は増加傾向となり、2013 年の漁獲量は 8.5 万トンと 2000 年以後で最も多かった。2014 年は漁獲量が急減し 9 千トンとなったが、その後は増加し、2015～2018 年の漁獲量は 5.4 万～7.1 万トンを推移した。2019 年の漁獲量は 1.4 万トンまで再び減少したが、2020 年は 7.3 万トンと増加した。2021 年の漁獲量は 5.5 万トンであり、日本海北部（青森県～石川県）と日本海西部（福井県～山口県）では前年並みであったが、東シナ海（福岡県～鹿児島県）では前年の 2 割程度に減少した（図 3-1）。

年齢別・年別漁獲尾数を図 3-2、補足資料 8 に示す。1990 年代後半から 2010 年にかけて、漁獲物の年齢構成は 0 歳魚が主体であった。2011 年以降は 1 歳以上の漁獲尾数の割合が増加している。2014 年および 2019 年の漁獲量の急減は、2015 年および 2020 年の漁獲物に 2 歳以上の魚が平年通り含まれていたことから、資源量の低下によるものではなく、漁場となる沿岸域への来遊が少なかったためと考えられる。2021 年は 3 歳以上の高齢魚の漁獲尾数が少なかった。

対馬暖流域では日本の他に韓国もマイワシを漁獲しており、かつてはロシアによる漁獲もあった。韓国の漁獲量は 1987 年に 19 万トンを記録したが、その後は減少した。2000～2015 年の漁獲量は 0～4 千トン、2016 年以降は 1 千～8 千トンの漁獲があったが、2021 年の漁獲量は 90 トンに減少した（水産統計（韓国海洋水産部）、<http://www.fips.go.kr>、2022 年 3 月）。ロシアの漁獲量は 1991 年まで 20 万トンを超えていたが、1992 年には 7 万トンとなり、それ以後の漁獲はほとんどない（ジガーリン 未発表資料）。中国によるマイワシ（Pacific sardine）漁獲量は、2007～2020 年にかけて 9.5 万～17 万トンであり、横ばいで推移している（FAO Fishery and Aquaculture Statistics. Global capture production 1950-2020、<http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>、2022 年 6 月）。ただし、マイワシ対馬暖流系群の漁獲動向と異なるため、精査が必要である。これら外国による漁獲量は、本系群を対象としたものであるか不明なため、本資源評価の計算には含めなかった。

(3) 漁獲努力量

本系群の近年における主漁場は、隠岐諸島周辺を中心とする日本海南西部海域であり、本系群の漁獲量の3～7割を占める。この海域の主要な漁業は中型まき網漁業で、漁船のほとんどが島根県に属しており、マアジ、マサバ、マイワシ等の浮魚類を主な対象として操業している。マイワシ資源が極めて低水準であった2000年代前半は、他魚種を対象とした操業で混獲される場合が多く、マイワシに対する漁獲努力量を把握することは困難であった。近年はマイワシがまとまって水揚げされるようになってきたため、島根県籍のまき網船の延べ網数が本系群の漁獲努力量の指標として利用できると考えられる(図3-3、表3-2)。延べ網数は、2007～2020年は2.3千～3.6千網で推移しており、2021年は2.3千網であった。

また、能登半島周辺を中心とする日本海中部海域の漁獲量は近年安定しており、石川県の漁獲量は本系群の漁獲量の2～3割を占める。石川県の主要な漁業は定置網漁業であるが、中型まき網漁業も石川県の漁獲量の3割程度を占め、本系群の資源状況を反映する重要な漁業の一つと言える。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

漁獲量、漁獲物の生物測定および鱗などの年齢形質による年齢査定から年齢別・年別漁獲尾数を算出し、1960～2021年までの期間でコホート解析を行った。コホート解析においては、2004～2021年の産卵量、および2007～2021年の資源量指標値(島根県籍船団のまき網漁業により水揚げされるマイワシの標準化された1網当りの漁獲量、石川県内でまき網漁業により水揚げされるマイワシの抽出データによる1隻当たりの漁獲量)を用いて2021年の漁獲係数Fの調整を行った(補足資料1～2)。

(2) 資源量指標値の推移

漁獲係数Fの調整に使用した資源量指標値を補足表2-4に、各指標値の平均値で割り、規格化した値の推移を図4-1に示す。九州西岸から日本海で実施された卵稚仔調査に基づく本資源の産卵量は、2000年代後半には1兆～17兆粒の範囲で推移したが、2010年以降10兆～100兆粒に増加した。2020年は268兆粒と極めて多く、1995年以降初めて200兆粒を超えたが、2021年は98兆粒であった(補足表2-4)。島根県籍船団による中型まき網漁業で漁獲されたマイワシの標準化された1網当りの漁獲量は、2000年代後半は低い値であったが、2011年以降変動は大きいものの増加傾向を示しており、2021年は2017年に次いで二番目に高い値であった(図4-1、補足表2-4、補足図6-1)。石川県内でまき網漁業により水揚げされるマイワシの抽出データによる1隻当たりの漁獲量は、2011年以降、変動はあるが緩やかな増加傾向を示した(補足表2-4、補足図6-2)。2021年は2018年や2020年と同様に高い値であった(図4-1)。

夏季に行われている魚群分布調査「計量魚探などを用いた浮魚類魚群量調査」におけるマイワシの採集状況について補足資料4に示した。夏季のマイワシの分布範囲に対してこれまでの調査海域が限られていたため、2019年より日本海の広域も含めた調査を開始した。現時点では、これらの調査結果から信頼できるマイワシの資源量指標値が得られていないと考え、資源計算には用いず、参考資料とした。引き続き調査を実施して、データの蓄積を

継続し、調査・解析手法の改善に取り組む予定である。

(3) 資源量と漁獲圧の推移

コホート解析により求めた資源量は 1970 年代から増加し、1988 年には 1 千万トンに達したと推定される（図 4-2、表 3-1）。その後減少し、1995 年には 100 万トンを下回り、2001 年には 1 万トンを下回った。2004 年以降の資源量は増加傾向にあり、2010 年には 10 万トンを超えた。2019 年まで 20 万トン前後を推移したが、2020 年以降増加し、2021 年の資源量は 54.1 万トンまで増加した。親魚量（資源計算の成熟魚資源量）は 2005 年以降増加傾向にあり、2011 年には 10 万トンを超えた。2020 年までは 8 万～17 万トンで推移したが、2021 年は 27.4 万トンと推定された。昨年度評価と比べると、2017～2020 年の資源量および 2018～2020 年の親魚量が下方修正された（補足資料 7）。これは、2021 年の年齢別漁獲尾数にもとづき算出された 2020 年の 2 歳以上の資源量が下方修正されたことにより、2017 年級群、2018 年級群の加入量が遡って下方修正されたためである。

加入量（資源計算の 0 歳魚資源尾数）は、1971 年から増加し、1980 年代は 1000 億尾を超えた年が出現した（図 4-3、表 3-1）。1987 年以降減少し、2002 年には 0.42 億尾まで減少した。その後増加傾向が見られ、2010 年以降は 18 億～57 億尾で推移したが、2020 年の加入量は 85 億尾と高かった。2021 年の加入量は 75 億尾と推定された。昨年度評価と比べると、2021 年の年齢別漁獲尾数にもとづき算出された 2019 年級群、2020 年級群の加入量が上方修正された。

年齢別資源量は、1～3 歳魚が占める割合が高い（図 4-4、補足資料 8）。中でも、1 歳魚の資源量がほとんどの年で最も多かった。2021 年は 1 歳魚と 2 歳魚の占める割合が高く、資源量は前年よりも増加した一方で、0 歳魚と 3 歳魚以上の資源量は減少した。

再生産成功率は変動が大きく、1980 年代後半から 1990 年代前半にかけて低い値で推移した（図 4-5）。これは加入量が最大となった後、急激に減少する時期と一致する。1990 年代中盤に増加した後、変動しながら横ばいに推移している。近年では 2010、2019、2020 年において比較的高い値が認められた。

資源量計算では自然死亡係数（ M ）は 0.4 を仮定したが、この値を 0.3、0.5 に変更して、2021 年の資源量と親魚量を計算した（図 4-6）。 M の値が大きくなると、いずれの値も大きくなり、 M が 0.3 の場合は 0.4 の場合の 74～75%、 M が 0.5 の場合は 142～143% の値となった。

年齢別漁獲係数 F は、1965 年から 1990 年代前半は比較的低い値で緩やかな増加傾向を示した（図 4-7、補足資料 8）。1990 年代中盤以降から急激に増加し、経年変動が大きくなった。2005 年以降は増減を繰り返しながら推移している。0～1 歳では 2016～2018 年の、3 歳以上では 2015 年以降の漁獲係数が高かった。全ての年齢で 2019 年の漁獲係数は低かったが、2020 年は増加し、2021 年は再び低くなった。

漁獲割合は、1990 年代後半には 50%を超える高い水準となる年もあったが、2001 年以降は 4～36% で変動しながら推移している（図 4-8）。2021 年は 10% となった。

(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 4-9 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。%SPR は年代によって変動が大きく、2001～2009 年は 20～52%で推移していたが、その後は 19～79%であった。2021 年は 52.4%となった。現状の漁獲圧として近年 5 年間（2017～2021 年）の平均 F 値から %SPR を算出すると 31.7%となった。

現状の漁獲圧に対する YPR と %SPR の関係を図 4-10 に示す。このとき F の選択率としては令和 2 年 3 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において最大持続生産量 MSY を実現する F (Fmsy) の推定に用いた値（高橋ほか 2020b）を用いた。また、年齢別平均体重および成熟割合についても Fmsy 算出時の値を使用した。Fmsy は %SPR に換算すると 41.1%に相当する。現状の漁獲圧 (F2017-2021) は Fmsy や F0.1 を上回るが、F30%SPR は下回る。

(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 4-11 に示す。上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」により、本系群の再生産関係は、通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）と高加入期（1976～1987 年）の二種類の加入容態に分けられ、それぞれの期間でホッケ－・スティック型再生産関係式を適用することが提案された（高橋ほか 2020b）。2021 年の加入状況は、近年の再生産関係を含む通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）に属していると考えられる。通常加入期におけるホッケ－・スティック型関係式の各パラメータを補足表 3-1 に示す。ここで、再生産関係のパラメータ推定に使用するデータは、令和元（2019）年度の資源評価（高橋ほか 2020a）においてプラスグループを修正して得られた親魚量・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。

(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 月に修正した通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）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 を実現する漁獲圧 (Fmsy) を補足表 3-2 に示す（高橋ほか 2020b、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」で取り纏められ「水産政策審議会」を経て、この MSY (33.8 万トン) を実現する親魚量 (SBmsy : 109.3 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。また、MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量 (46.5 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 (6.6 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（高橋ほか 2020b）を図 4-12 に示す。平均親魚量が限界管理基準値以下では 0～2 歳魚の占める割合が高いが、親魚量が増加するにつれて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 を実現する親魚量と漁獲圧を基準にした神戸プロットを図 4-13 に示す。また、2021

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 2021 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)、および MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy すなわち限界管理基準値) を下回る。2021 年の親魚量は SBmsy の 0.25 倍である。また、2021 年の漁獲圧は MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) を下回っており、2021 年の漁獲圧は Fmsy の 0.65 倍である。なお、神戸プロットに示した漁獲圧の比 (F/Fmsy) とは、各年の F の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して求めた値と、各年の F 値との比である。親魚量の動向は、近年 5 年間 (2017~2021 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 2021 年の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2022~2051 年までの将来予測計算を行った (補足資料 2)。将来予測には加入量の不確実性を考慮した。将来予測における加入量は、各年の親魚量から再生産関係式を用いて予測した。加入量の不確実性は、その予測値に対数正規分布に従う誤差を与えることで考慮した。無作為抽出した誤差を与える計算を 10,000 回行い、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。2022 年の漁獲圧は、同年の漁獲量が令和 4 年管理年度 (令和 4 年 1~12 月) 漁獲可能量 (TAC) 9.7 万トンになるよう調整した (Fmsy の 0.72 倍)。2023 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のっとり漁獲管理規則を図 5-1、図 5-2 に示す。この漁獲管理規則では、2021~2023 年は親魚量によらず調整係数 $\beta=0.8$ とする一定の漁獲圧で漁獲する (図 5-1)。2024 年以降は、親魚量が限界管理基準値以上にある場合には $\beta=0.75$ で、親魚量が限界管理基準値を下回った場合は禁漁水準まで直線的に漁獲圧を削減する規則である (図 5-2)。なお、2021~2023 年の親魚量によらず調整係数 $\beta=0.8$ とする漁獲圧は、漁獲管理規則導入時の漁獲量の減少を緩和するための措置である。

(3) 2023 年の予測値と ABC の算定

本系群の漁獲管理規則から算定される 2023 年の予測漁獲量である 14.3 万トンを ABC として提示する (補足表 3-4)。2023 年に予測される親魚量は、限界管理基準値を 69%の確率で上回り、平均 50.3 万トンと見込まれた。

(4) 2024 年以降の予測

2024 年以降も含めた将来予測の結果を図 5-3、表 5-1、5-2、補足表 3-5 に示す。漁獲管理規則に基づく管理を 10 年間継続した場合、2031 年の親魚量の予測値は 128.9 万トン (90%予測区間は 63.3 万~224.7 万トン) であり、予測値が目標管理基準値を上回る確率は 60%、限界管理基準値を上回る確率は 99%である。

参考情報として、2024 年以降に異なる β を使用した場合、および 2023 年以降も現状の漁獲圧 (F2017-2021) を継続した場合の将来予測結果についても示す。2024 年以降の β を 0.7 とした場合、2031 年の親魚量の予測値は平均 134.5 万トン (90%予測区間は 67.4 万~233.0 万トン) であり、目標管理基準値を上回る確率は 65%、限界管理基準値を上回る確率は 99% である。一方、2023 年以降、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 63.6 万トン (90%予測区間は 18.1 万~133.5 万トン) であり目標管理基準値を上回る確率は 10%、限界管理基準値を上回る確率は 63%である。また、2023 年の漁獲圧を $0.8F_{msy}$ とせず、2023 年から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原則の漁獲管理規則 (図 5-2、 $\beta=0.75$) に従った漁獲を行った場合には、2031 年の親魚量の予測値は平均 129.2 万トン (90%予測区間は 63.8 万~224.7 万トン) であり、目標管理基準値を上回る確率は 60%、限界管理基準値を上回る確率は 99%である。

漁獲管理規則に基づく管理を継続した場合、親魚量が目標管理基準値を 50%以上の確率で上回る年は、2029 年以降となると予測された。限界管理基準値を 50%以上の確率で上回る年は、2023 年と予測された。仮に漁獲圧をゼロにした場合でも ($\beta=0$)、親魚量が目標管理基準値を 50%以上の確率で上回るのは 2026 年になると予測された。

6. 資源評価のまとめ

本系群の親魚量は、1994 年から 2021 年まで MSY を実現する水準 SB_{msy} を下回った。2019 年を除く 2015 年以降の漁獲圧は F_{msy} より高い値で推移していたが、2021 年は F_{msy} を下回った。親魚量の動向は近年 5 年間 (2017~2021 年) の推移から増加と判断される。

7. その他

現在の資源量は、2000 年代前半に比べて増加したものの、1980 年代の資源量と比べると依然として低い水準にある。また、本系群の再生産成功率の年変動は大きい (図 4-5)。今後、資源量が増加するにつれ加入量が増加し、高加入期の再生産関係式が実現する可能性がある。本資源の利用・管理にあたっては、再生産関係の見直しに伴う漁獲管理規則の見直し、移行をどのように進めるかを十分に考慮して実施する必要がある。平成 21 (2009) 年度から平成 23 (2011) 年度にかけて「日本海西部・九州西部海域マアジ (マサバ・マイワシ) 資源回復計画」が開始され、小型魚保護のため、大中型まき網漁業は小型魚を主とする漁獲があった場合には集中的な漁獲圧をかけないよう速やかに漁場移動を行い、中・小型まき網漁業は団体毎に一定日数の休漁や水揚げ日数制限等の漁獲制限を行うという取り組みが実施された。同措置は資源管理指針・計画のもとで現在も継続されている。日本海南西部では休漁、もしくは 1 日 1 船団当たりの漁獲制限が複数期間にわたって実施された。今後も、このような措置が引き続き実施されることが望ましいと考えられる。

8. 引用文献

馬場 孝・森本晴之・後藤常夫・南條暢聡・尾田昌紀・上野陽一郎 (2018) 春季日本海におけるマイワシとカタクチイワシの同時同所採集物を用いた食性比較. 日水誌, **84**, 288-290.

- Furuichi, S., T. Yasuda, H. Kurota, M. Yoda, K. Suzuki, M. Takahashi and M. Fukuwaka (2020) Disentangling the effects of climate and density-dependent factors on spatiotemporal dynamics of Japanese sardine spawning. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **633**, 157-168.
- 後藤常夫 (1998) 1979～1994年春季の日本海におけるマイワシ卵の豊度と分布. 日水研報告, **48**, 51-60.
- 檜山義明 (1998) 対馬暖流域での回遊範囲と成長速度. マイワシの資源変動と生態変化 (渡邊良朗・和田時夫編), 恒星社厚生閣, 東京, 35-44.
- Hiyama, Y., H. Nishida and T. Goto (1995) Interannual fluctuations in recruitment and growth of the sardine, *Sardinops melanostictus*, in the Sea of Japan and adjacent waters. *Res. Popul. Ecol.*, **37**, 177-183.
- 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. 日水研報告, **9**, 1-227.
- Kodama T., T. Wagawa, S. Ohshimo, H. Morimoto, N. Iguchi, K. Fukudome, T. Goto, M. Takahashi and T. Yasuda (2018) Improvement in recruitment of Japanese sardine with delay of spring phytoplankton bloom in the Sea of Japan. *Fish. Oceanogr.*, **27**, 289-371.
- 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. 中央水研報告, **3**, 25-278.
- Matsuyama, M., S. Adachi, Y. Nagahama, C. Kitajima and S. Matsuura (1991) Annual reproductive cycle of the captive female Japanese sardine *Sardinops melanostictus*: relationship to ovarian development and serum levels of gonadal steroid hormones. *Mar. Biol.*, **108**, 21-29.
- 松岡正信・小西芳信 (2001) 1979～1995年の九州周辺海域におけるマイワシの産卵量と分布. 水産海洋研究, **65**, 67-731.
- 森本晴之 (2010) 日本産マイワシにおける繁殖特性の時空間変化とその個体群動態への影響. 水産海洋研究, **74** (特集号), 35-45.
- Muko, S., S. Ohshimo, H. Kurota, T. Yasuda and M. Fukuwaka (2018) Long-term distribution change of Japanese sardine in the Sea of Japan with their population dynamics. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **593**, 141-154.
- Nakai, Z. (1962) Studies relevant to mechanisms underlying the fluctuation in the catch of the Japanese sardine, *Sardinops melanosticta* (Temminck & Schlegel). *Jap. J. of Ichth.*, **9**, 1-115.
- Ohshimo, S., H. Tanaka and Y. Hiyama (2009) Long-term stock assessment and growth changes of the Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the Sea of Japan and East China Sea from 1953 to 2006. *Fish. Oceanogr.*, **18**, 346-358.
- 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)
- 高橋素光・黒田啓行・依田真里・竹垣草世香・安田十也 (2020a) 令和元 (2019) 年度マイワシ対馬暖流系群の資源評価. 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.
- 高橋素光・黒田啓行・依田真里・竹垣草世香・安田十也 (2020b) 令和2 (2020) 年度マイワシ対馬暖流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-BRP01-2. ※2020 年 9 月に管理基準値案が更新された
https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_maiwashi_tc.pdf (last
accessed 18 July 2020)

Wada, T., and L. D. Jacobson (1998) Regimes and stock-recruitment relationships in Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*), 1951-1995. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **55**, 2455-2463.

安田十也・黒田啓行・林 晃・依田真里・鈴木 圭・高橋素光 (2018) 平成 29 (2017) 年度
マイワシ対馬暖流系群の資源評価. 平成 29 年度我が国周辺水域の漁業資源評価 (魚種
別系群別資源評価・TAC 種), 第 1 分冊, 15-52.

Yatsu, A., T. Watanabe, M. Ishida, H. Sugisaki and L. D. Jacobson (2005) Environmental effects on
recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel
Scomber japonicus with recommendations for management. Fish. Oceanogr., **14**, 263-278.

米田道夫・田中寛繁・本田 聡・西田 宏・梨田一也・廣田祐一・石田 実・大下誠二・宮
辺 伸・伊藤春香・清水昭男 (2013) 2008－2010 年の西日本沿岸域におけるマイワシの
性成熟, 産卵期およびバッチ産卵数. 水産海洋研究, **77**, 59-67.

(執筆者：向草世香、高橋素光、黒田啓行、依田真里、日野晴彦)

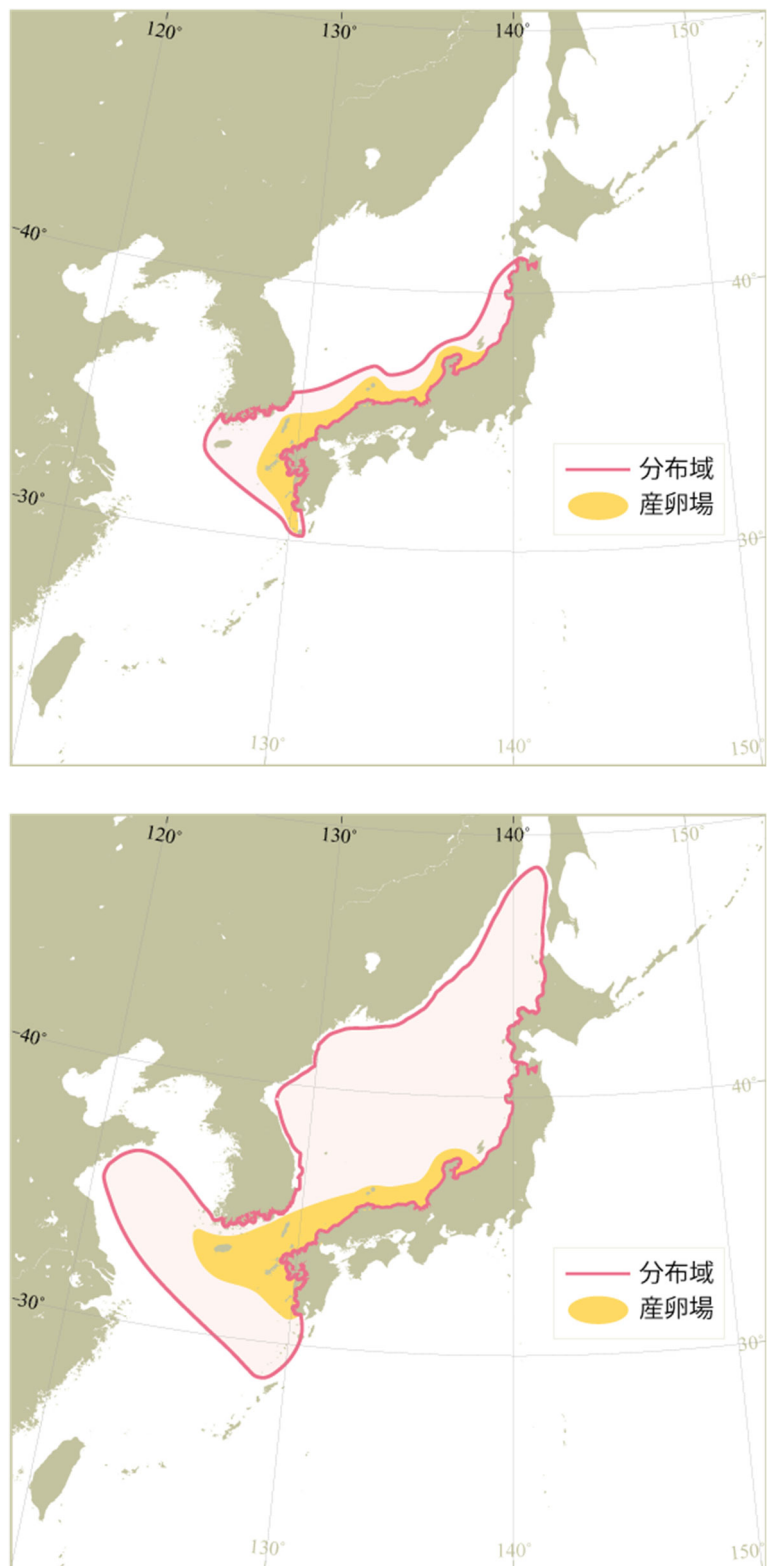


図 2-1. マイワシ対馬暖流系群の分布・回遊および生活史と漁場形成模式図(上:低水準期、
下:高水準期)

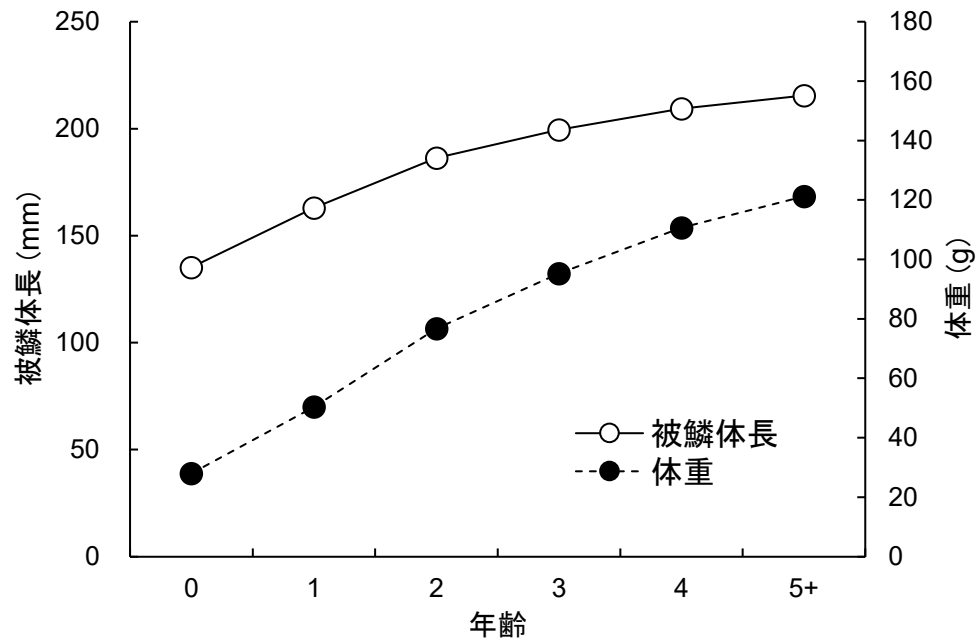


図 2-2. 年齢と成長

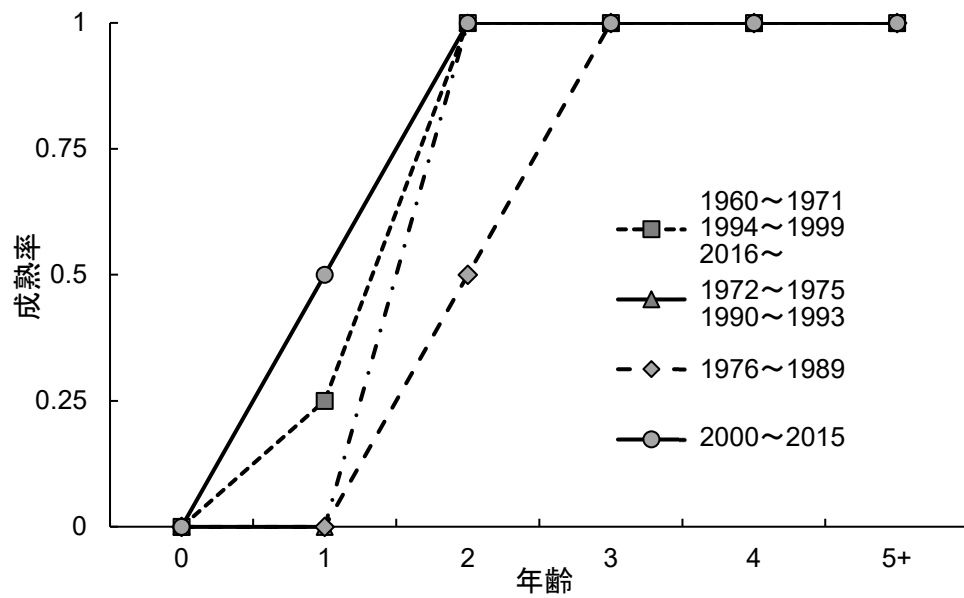


図 2-3. 年齢と成熟割合

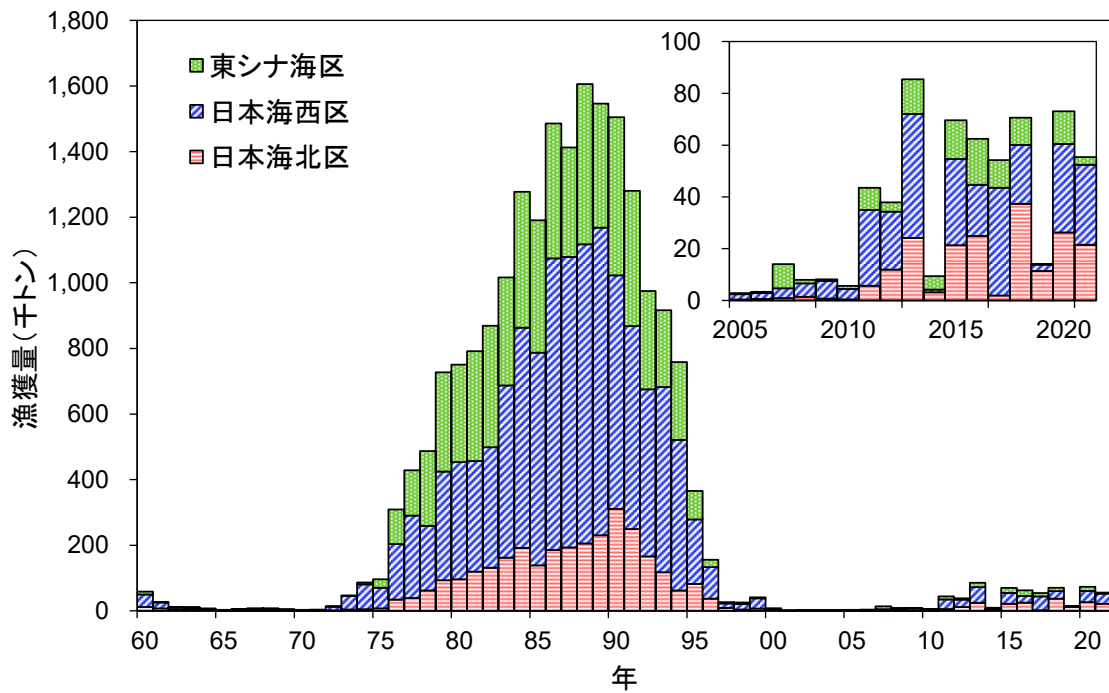


図 3-1. 漁獲量の推移

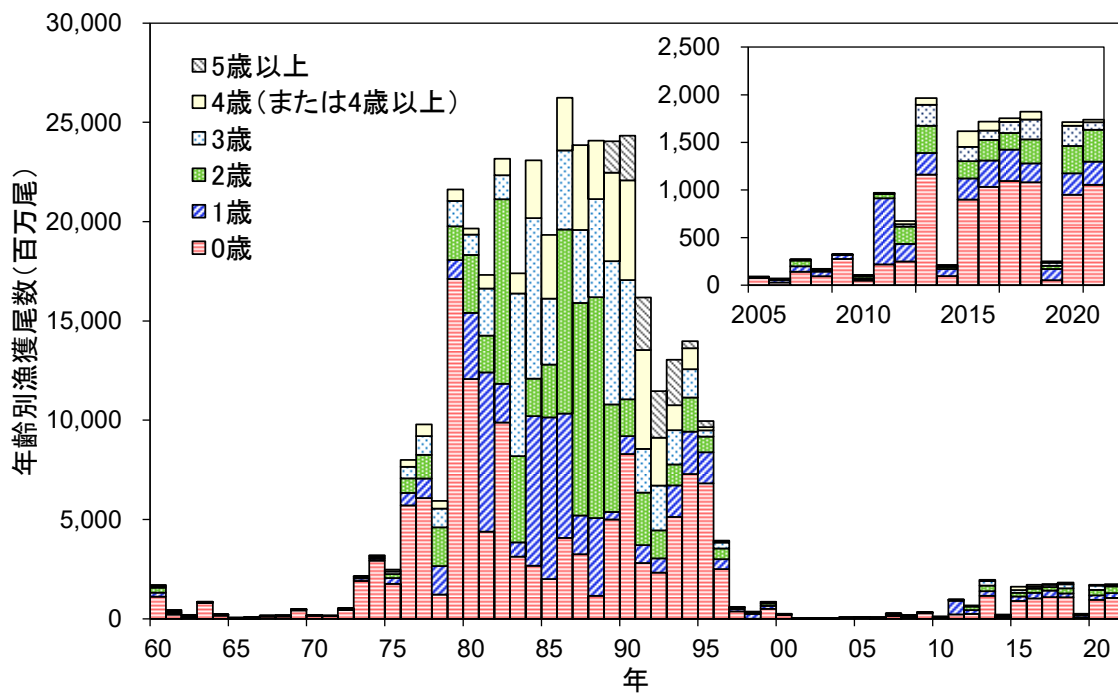


図 3-2. 年齢別漁獲尾数の推移

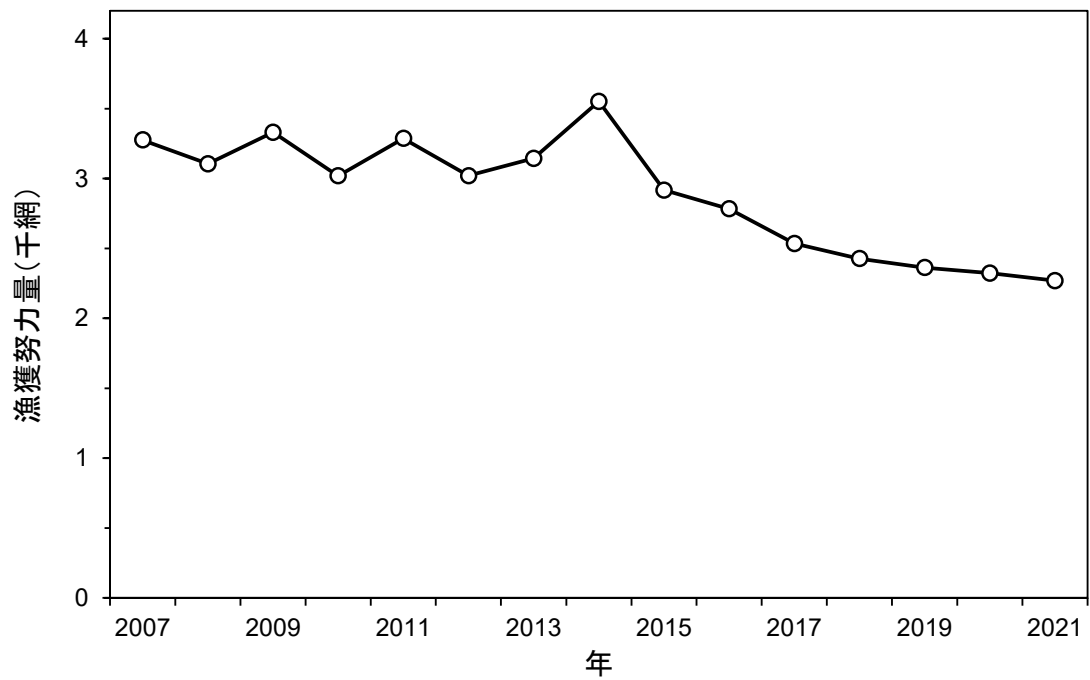


図 3-3. 島根県籍中型まき網船団の漁獲努力量（網数）の推移

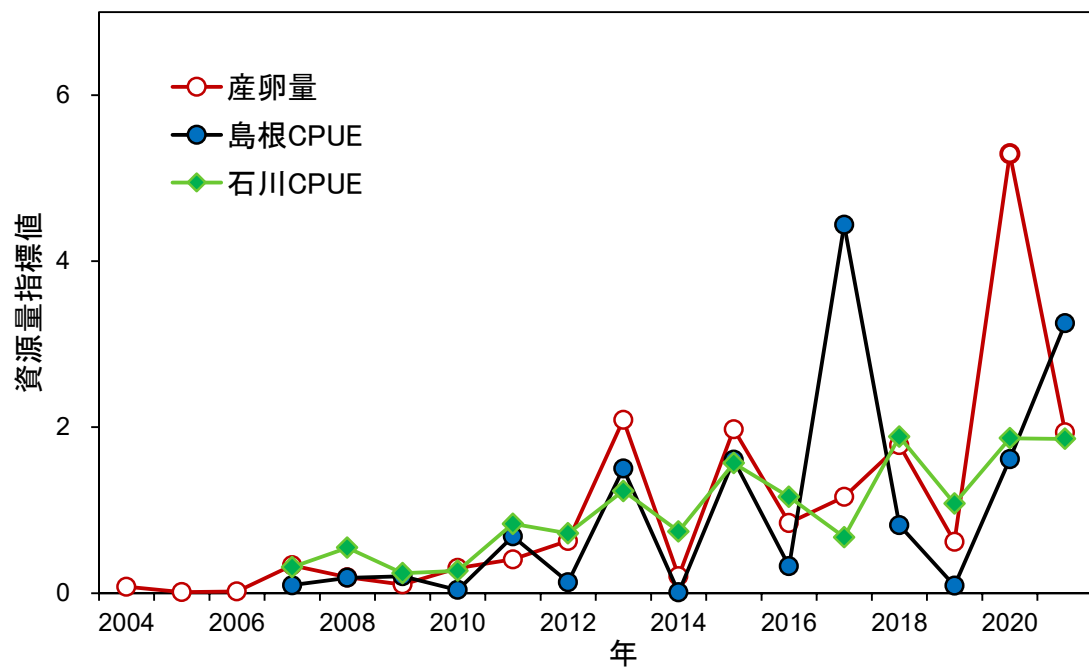


図 4-1. 資源量指標値の推移（平均値で割って規格化した数値）

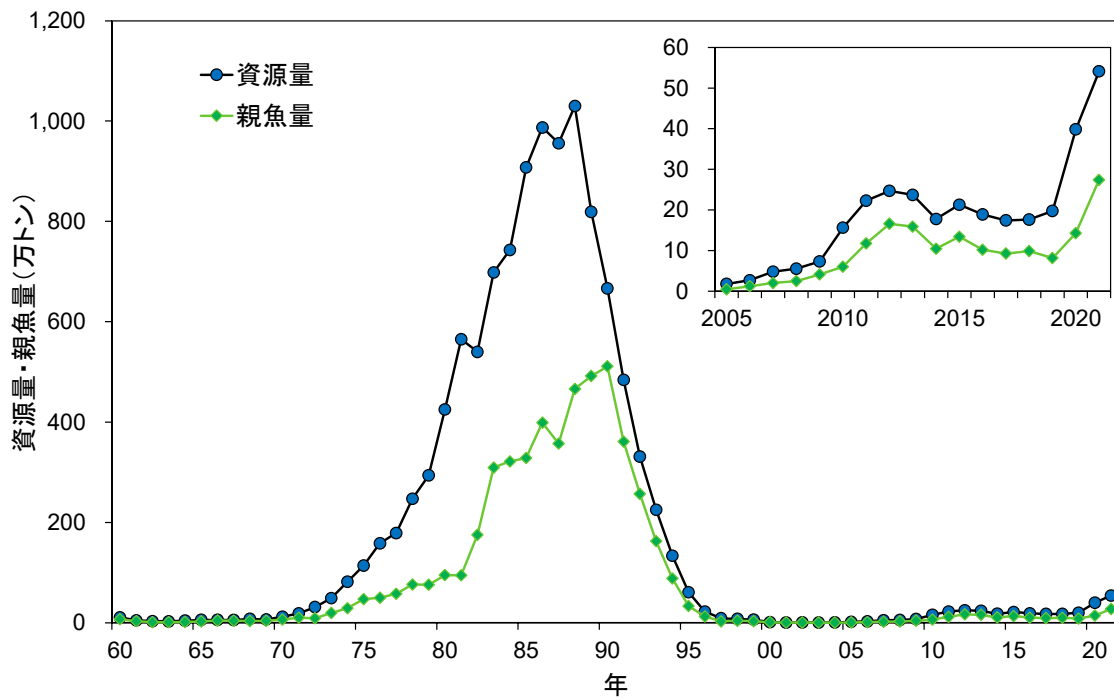


図 4-2. 資源量と親魚量の推移

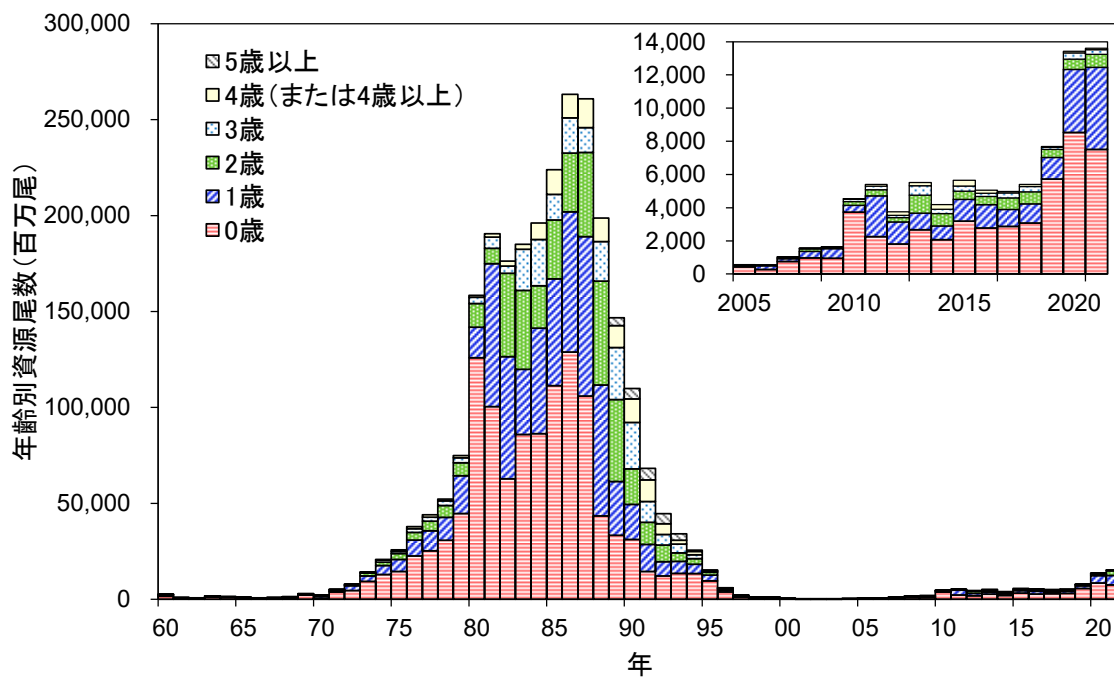


図 4-3. 年齢別資源尾数の推移

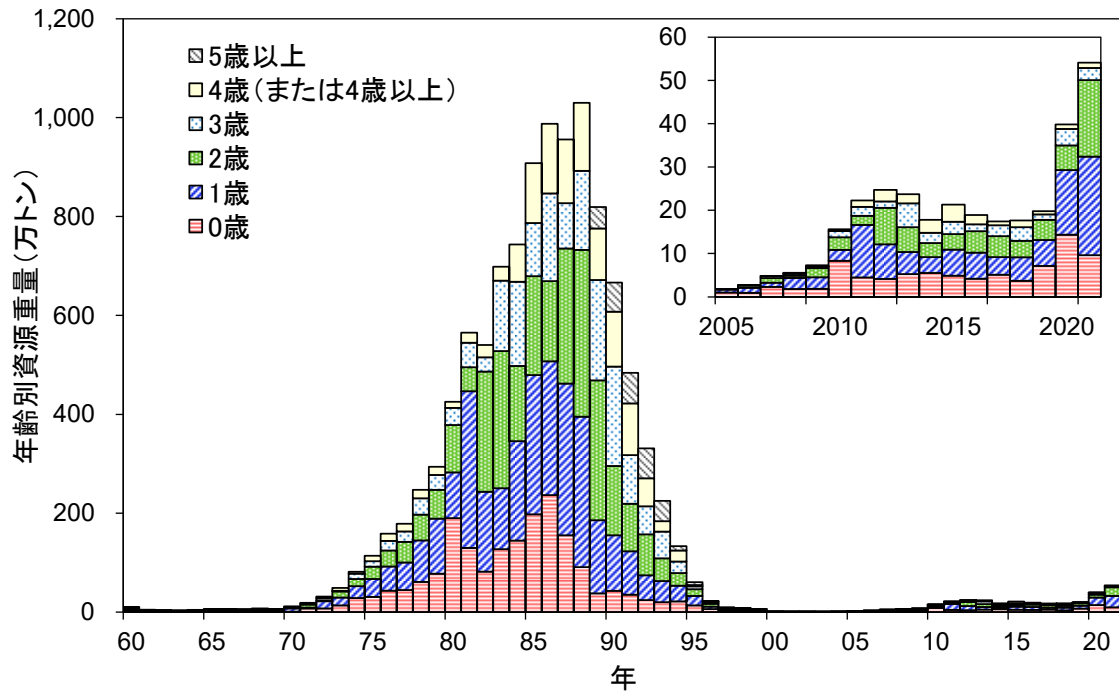


図 4-4. 年齢別資源重量の推移

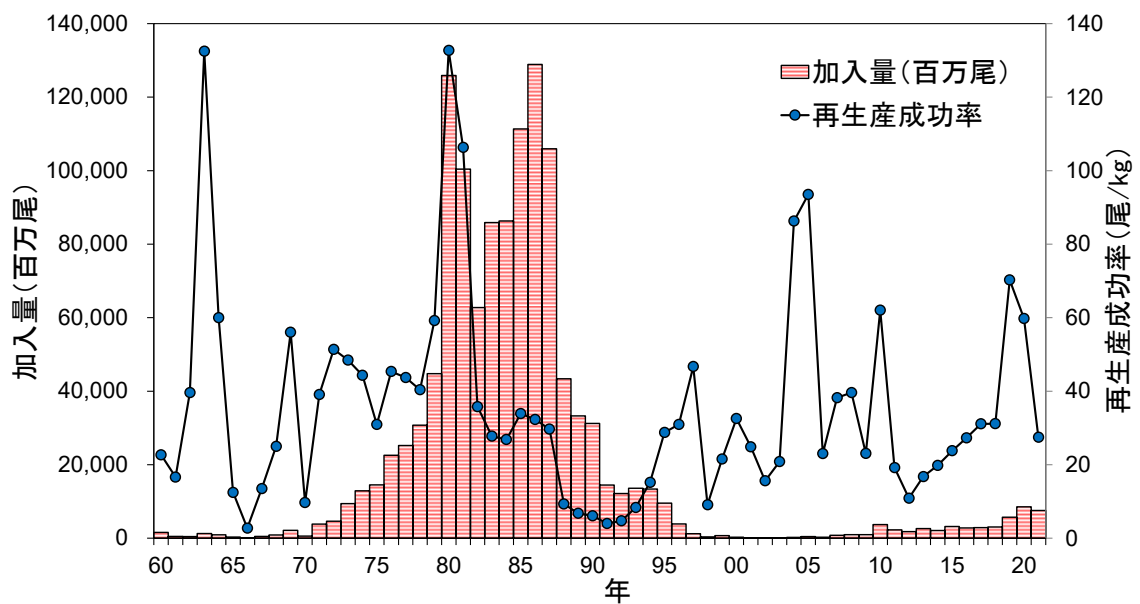


図 4-5. 加入量と再生産成功率の推移

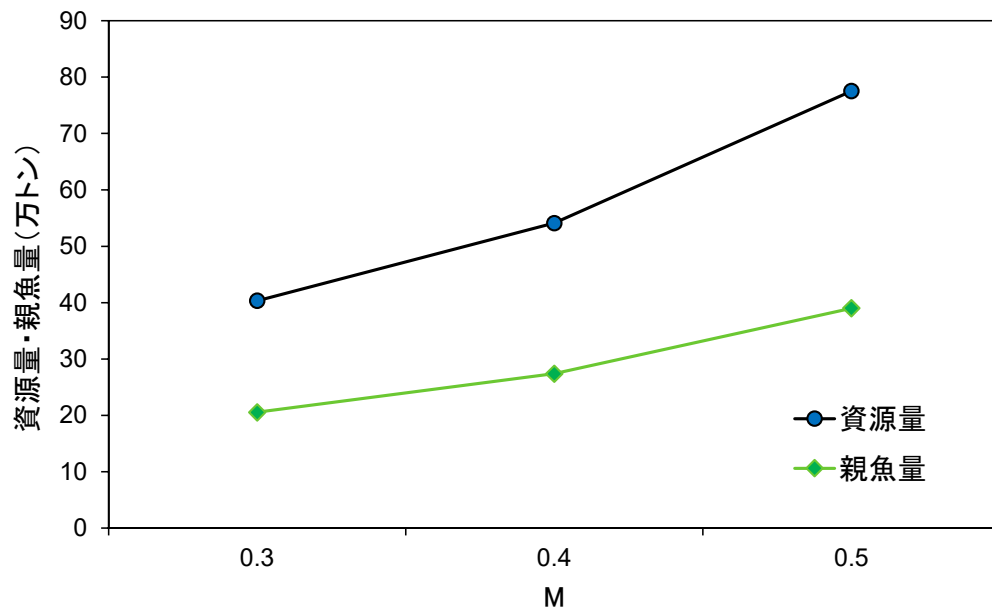


図 4-6. 資源量と親魚量の推定に対する自然死亡係数 M の影響

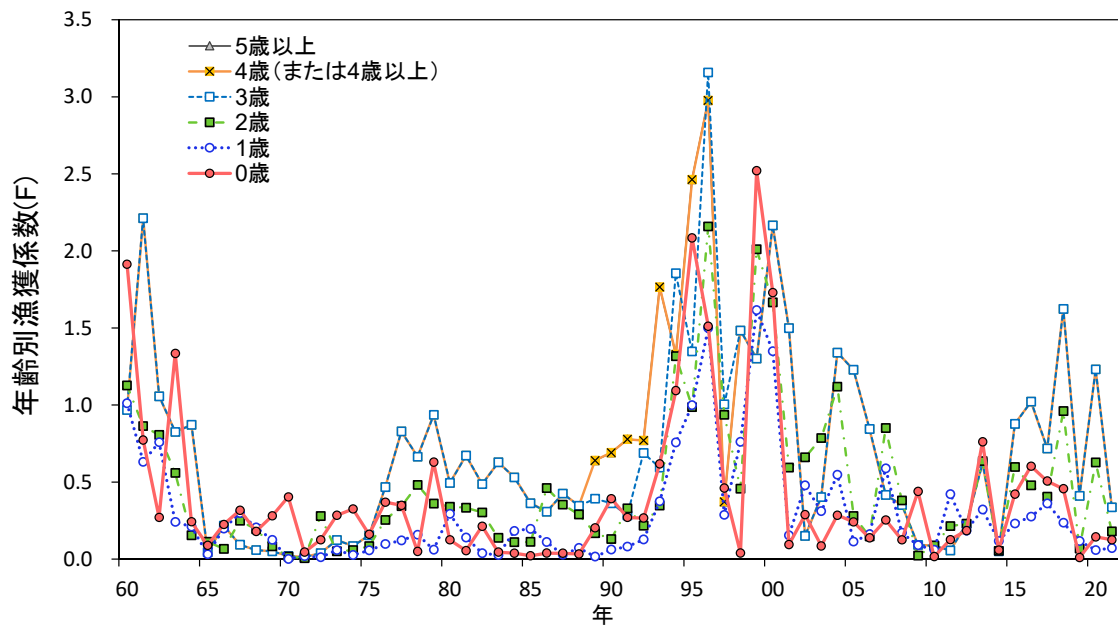


図 4-7. 年齢別漁獲係数 F の推移

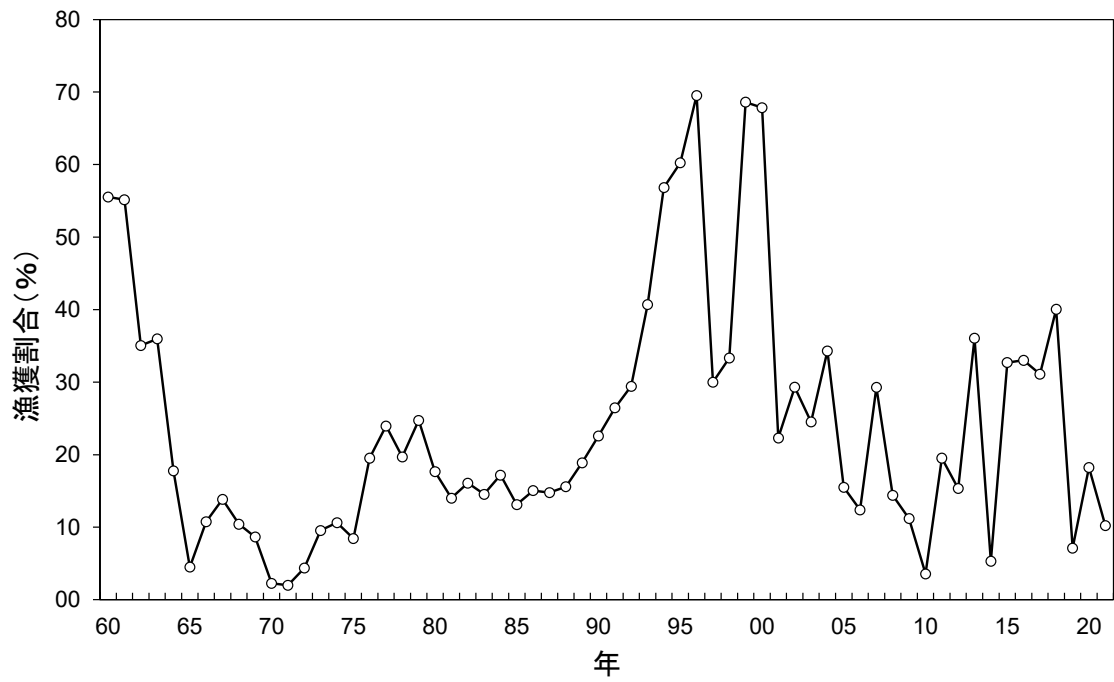


図 4-8. 漁獲割合の推移

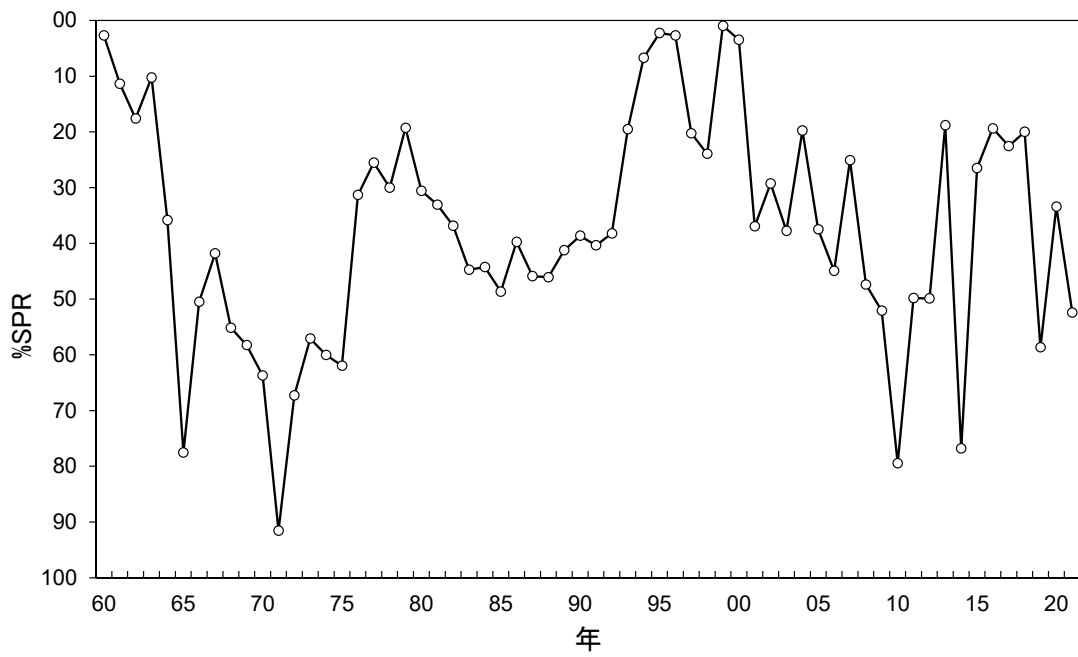


図 4-9. %SPR 値の推移

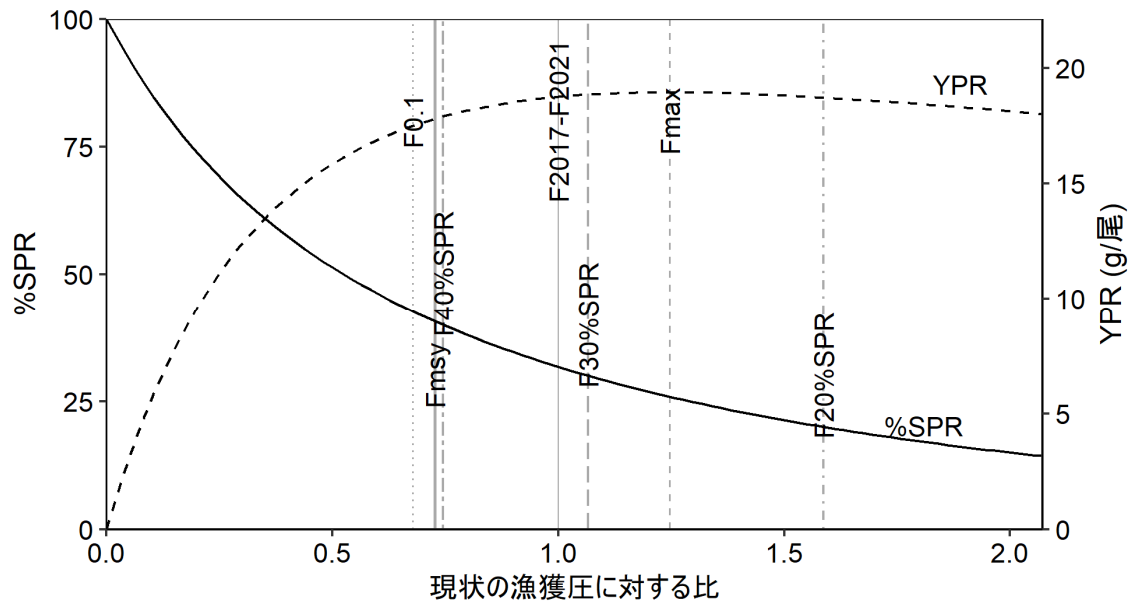


図 4-10. 現状の漁獲圧（F2017-2021）に対する YPR と%SPR の関係

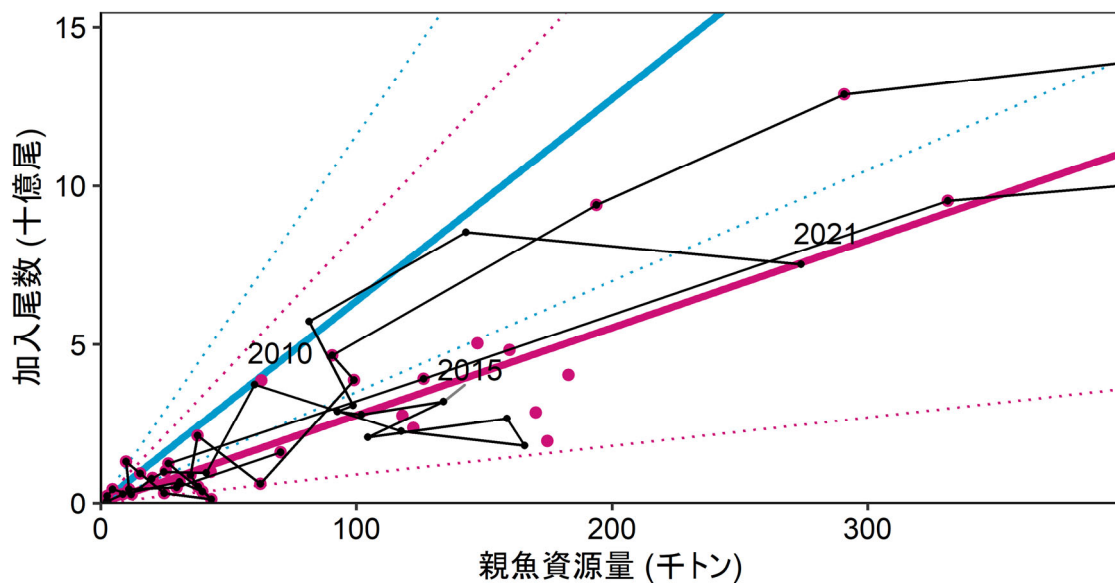
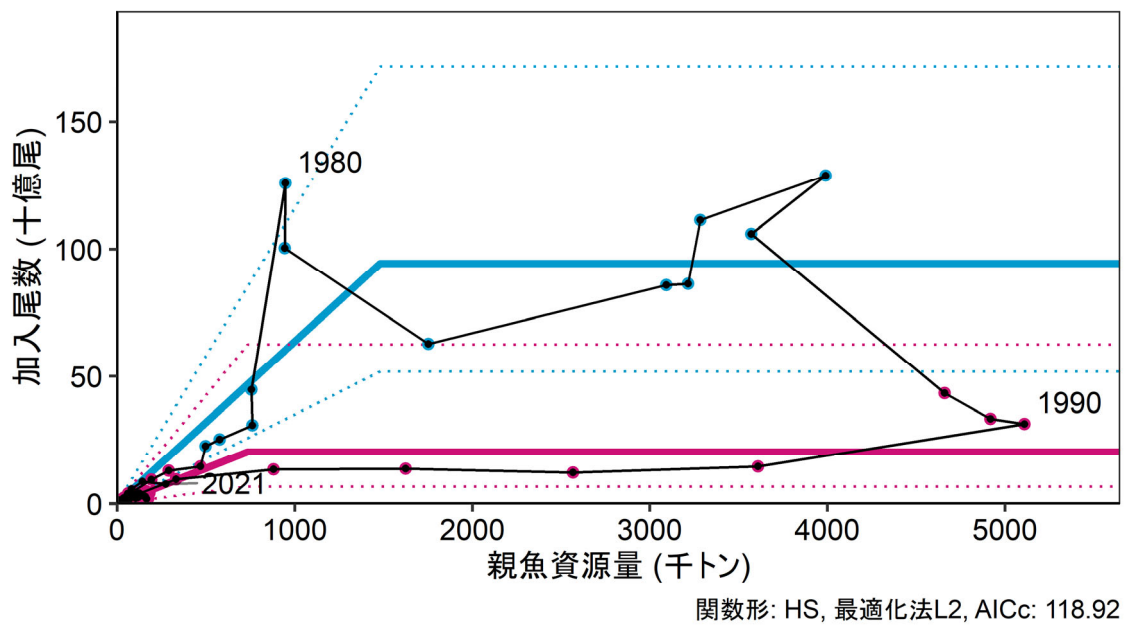


図 4-11. 親魚量と加入量の関係（再生産関係） 令和 2 年 3 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（高橋ほか 2020b）で提案された再生産関係式
赤線および赤丸は通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）の再生産関係とその推定に使用したデータ点、青線および青丸は高加入期（1976～1987 年）の再生産関係式とその推定に使用したデータ点である。再生産関係式の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。黒丸は今回の評価により更新された親魚量と加入量の値である。図中の数字は年級群を示す。

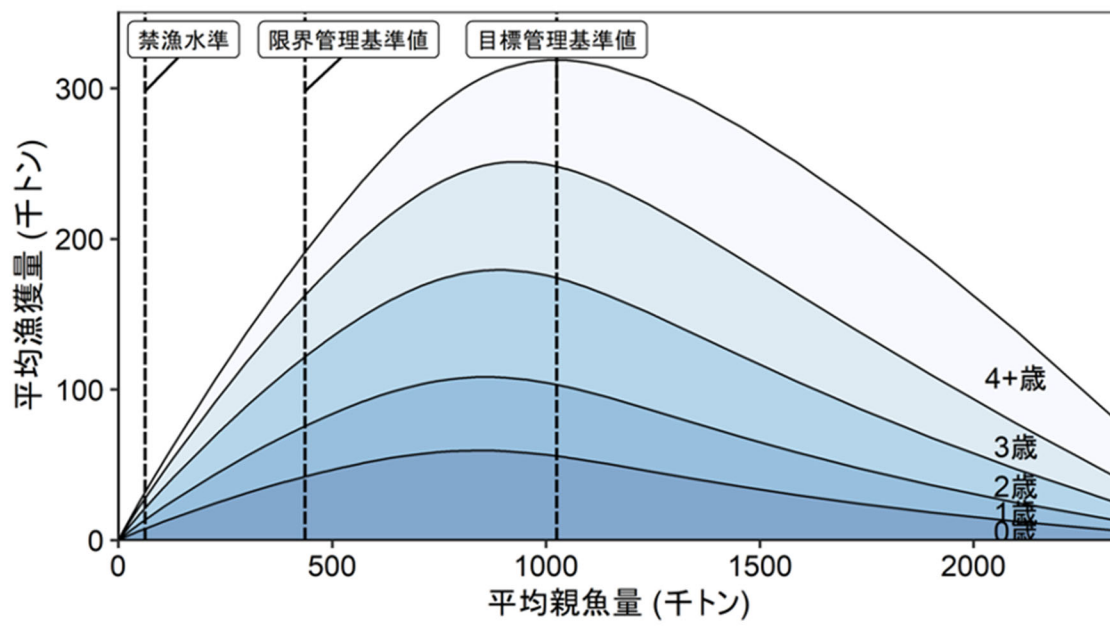


図 4-12. 管理基準値および禁漁水準と年齢別漁獲量曲線の関係

通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）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。

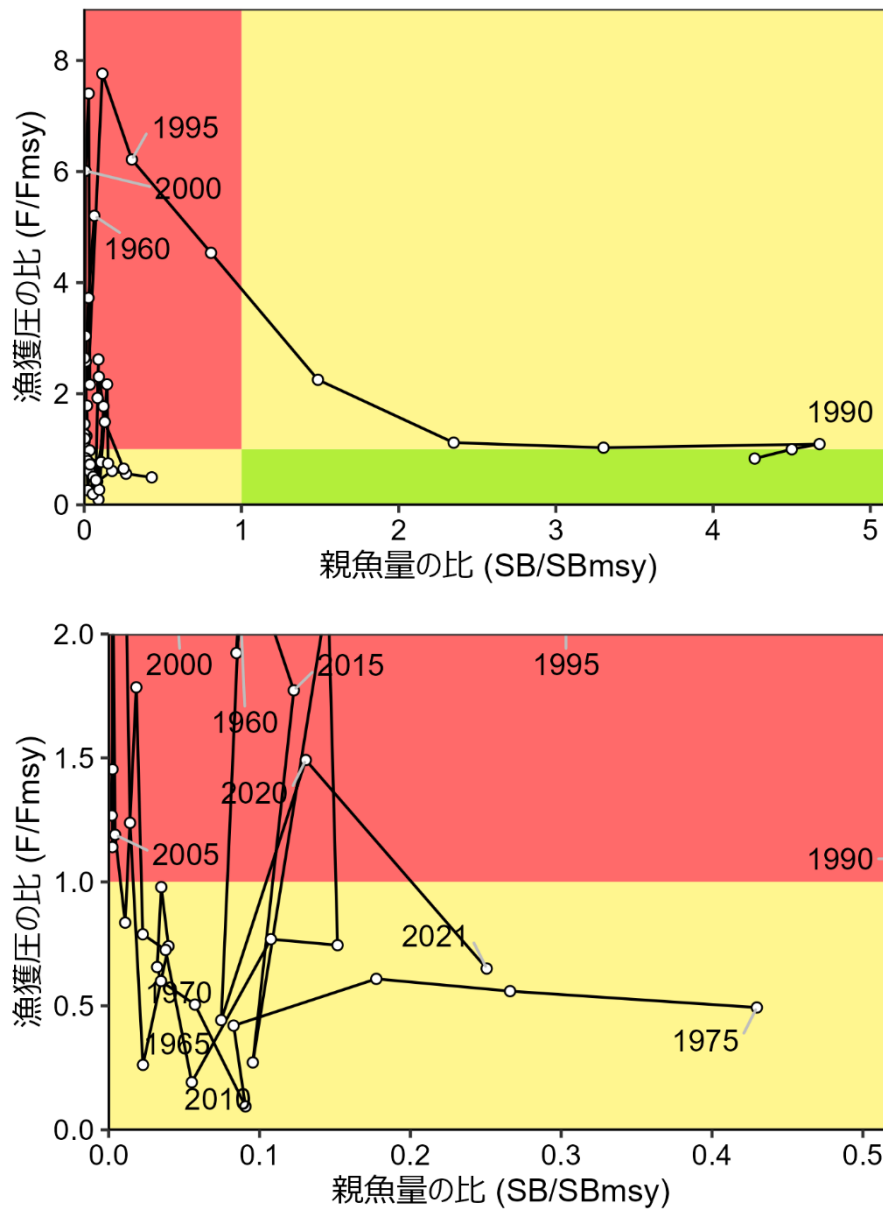
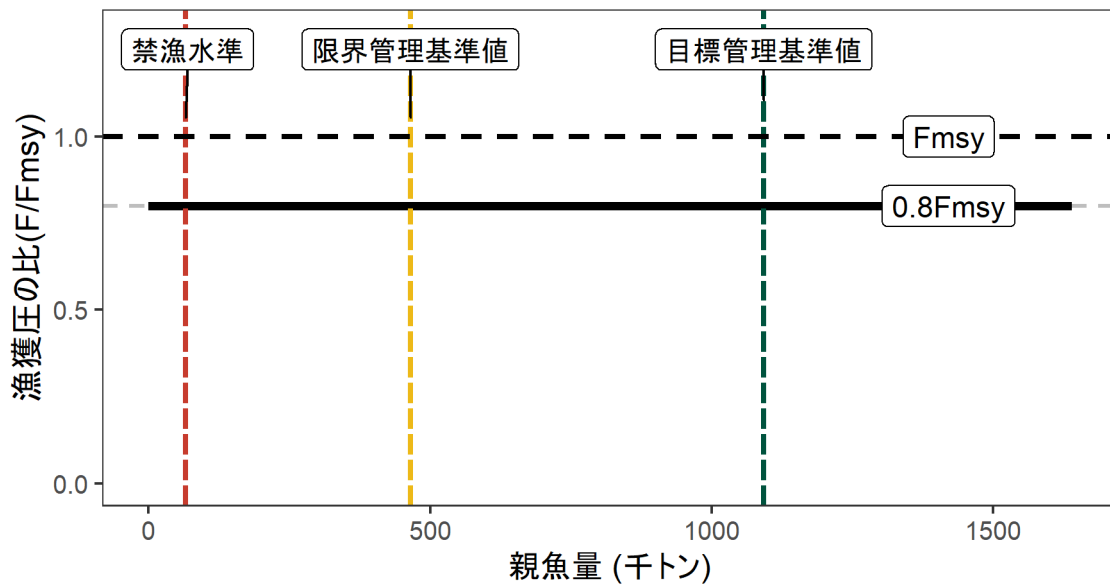


図 4-13. 最大持続生産量 MSY を実現する親魚量(SBmsy)と MSY を実現する漁獲圧(Fmsy) に対する、過去の親魚量および漁獲圧の関係(神戸プロット)とその拡大図
SBmsy および Fmsy は通常加入期(1960～1975 年および 1988～2017 年)を仮定した場合の値であり、親魚量と漁獲圧のプロットも上記の期間に限定している。

a)



b)

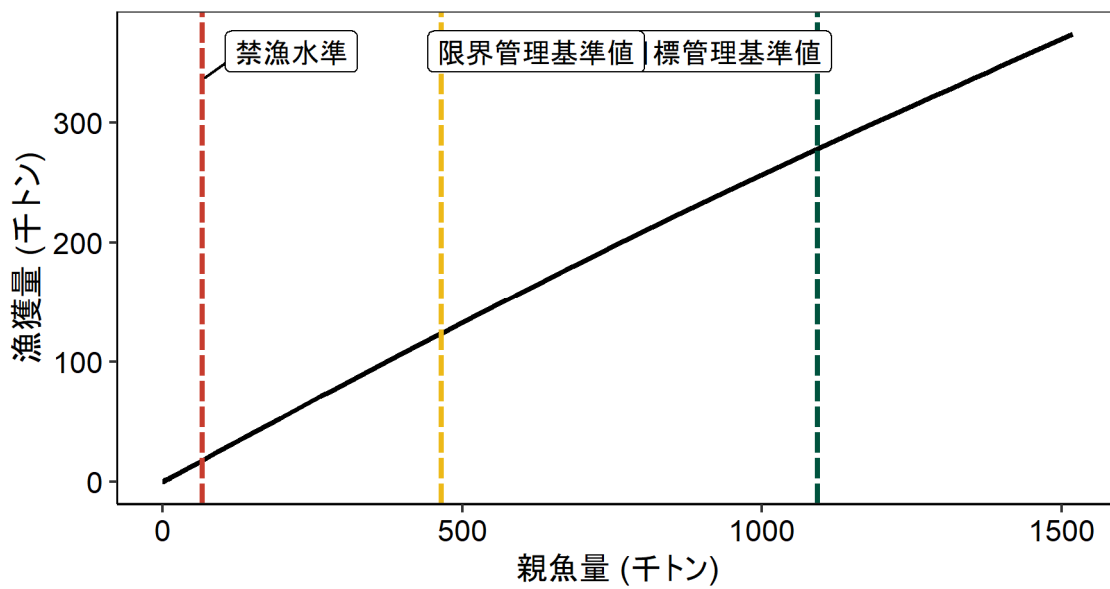
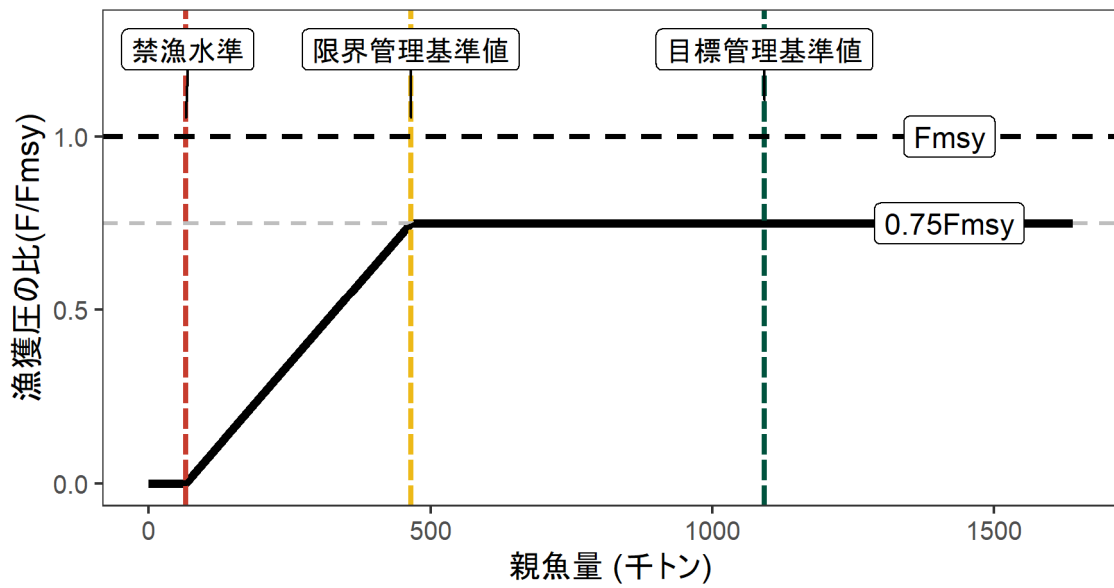


図 5-1. 2021～2023 年の漁獲管理規則 a) 縦軸を漁獲圧にした場合 b) 縦軸を漁獲量にした場合 親魚量によらず調整係数 $\beta=0.8$ とする一定の漁獲圧で漁獲する。

a)



b)

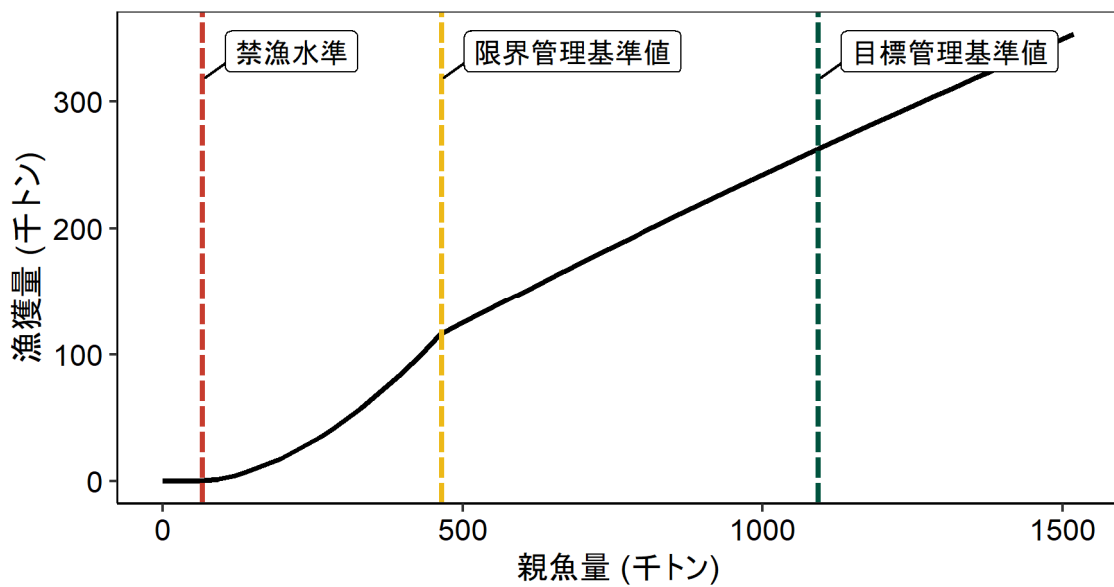


図 5-2. 2024 年以降の漁獲管理規則 a) 縦軸を漁獲圧にした場合 b) 縦軸を漁獲量にした場合

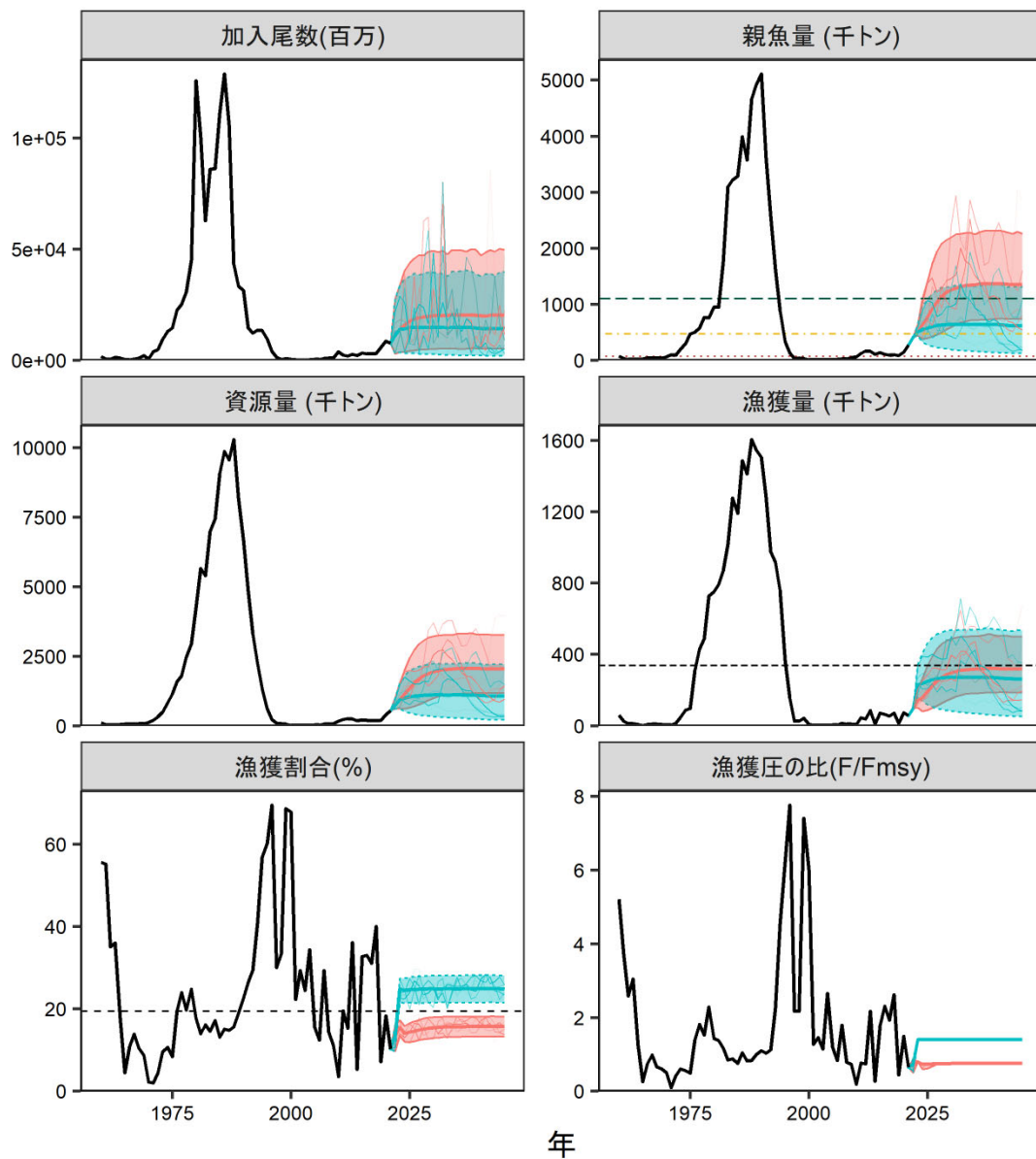


図 5-3. 漁獲管理規則を用いた将来予測(赤線)と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測(緑色)

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 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、黄点線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2023 年は親魚量によらず調整係数 $\beta=0.8$ とする一定の漁獲圧で漁獲し、2024 年以降は調整係数 $\beta=0.75$ を用いた。1e+05 は 10^5 を意味する。

表 3-1. 漁獲量と資源解析の結果 (1960～2004 年)

年	漁獲量 (千トン)	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	0歳加入 尾数 (百万尾)	再生産 成功率 (尾/Kg)	漁獲割合 (%)	%SPR	F/F _{msy}
1960	58	105	70	1,593	23	56	2.7	5.20
1961	26	47	30	493	17	55	11.3	3.73
1962	11	30	11	436	40	35	17.6	2.58
1963	10	28	10	1,306	132	36	10.2	3.04
1964	7	40	15	927	60	18	35.8	1.24
1965	3	56	25	310	12	5	77.5	0.26
1966	6	56	43	119	3	11	50.5	0.74
1967	8	56	38	513	13	14	41.8	0.98
1968	8	76	35	877	25	10	55.2	0.66
1969	6	65	38	2,123	56	9	58.3	0.60
1970	3	119	62	607	10	2	63.7	0.51
1971	4	187	99	3,874	39	2	91.6	0.09
1972	14	313	90	4,651	51	4	67.3	0.42
1973	47	490	194	9,395	48	10	57.1	0.61
1974	87	816	291	12,882	44	11	60.0	0.56
1975	96	1,140	470	14,529	31	8	61.9	0.49
1976	309	1,584	498	22,585	45	20	31.3	1.39
1977	429	1,789	577	25,230	44	24	25.5	1.81
1978	487	2,472	762	30,768	40	20	30.0	1.53
1979	727	2,938	756	44,753	59	25	19.3	2.28
1980	751	4,252	948	125,860	133	18	30.6	1.43
1981	791	5,651	944	100,414	106	14	33.1	1.37
1982	869	5,400	1,753	62,748	36	16	36.9	1.16
1983	1,017	6,984	3,093	85,872	28	15	44.7	0.84
1984	1,278	7,433	3,215	86,283	27	17	44.3	0.88
1985	1,191	9,077	3,284	111,353	34	13	48.7	0.76
1986	1,486	9,873	3,990	128,911	32	15	39.7	1.04
1987	1,412	9,558	3,571	105,948	30	15	45.9	0.83
1988	1,606	10,299	4,661	43,400	9	16	46.1	0.83
1989	1,546	8,191	4,919	33,287	7	19	41.2	1.00
1990	1,505	6,666	5,111	31,227	6	23	38.6	1.09
1991	1,281	4,840	3,610	14,473	4	26	40.3	1.03
1992	975	3,311	2,568	12,120	5	29	38.2	1.12
1993	917	2,252	1,625	13,571	8	41	19.5	2.25
1994	758	1,334	881	13,395	15	57	6.7	4.54
1995	366	607	331	9,524	29	60	2.3	6.22
1996	156	224	126	3,911	31	70	2.7	7.76
1997	26	88	27	1,239	47	30	20.3	2.17
1998	25	76	40	362	9	33	23.9	2.17
1999	41	60	31	666	22	69	1.0	7.41
2000	8	11	9	283	33	68	3.5	6.01
2001	1	5	2	55	25	22	37.0	1.27
2002	1	5	3	42	16	29	29.2	1.45
2003	1	4	3	54	21	25	37.8	1.14
2004	2	6	3	218	86	34	19.8	2.65

表 3-1. 漁獲量と資源解析の結果（2005～2021 年）（つづき）

年	漁獲量 (千トン)	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	0歳加入 尾数 (百万尾)	再生産 成功率 (尾/Kg)	漁獲割合 (%)	%SPR	F/F _{msy}
2005	3	18	5	430	94	16	37.5	1.19
2006	3	27	12	275	23	12	44.9	0.84
2007	14	48	20	763	38	29	25.1	1.78
2008	8	56	25	978	40	14	47.4	0.79
2009	8	73	41	951	23	11	52.1	0.73
2010	6	156	60	3,734	62	4	79.4	0.19
2011	44	223	117	2,256	19	20	49.8	0.77
2012	38	247	166	1,806	11	15	49.9	0.74
2013	85	237	159	2,662	17	36	18.8	2.17
2014	9	178	104	2,072	20	5	76.8	0.27
2015	70	213	134	3,194	24	33	26.5	1.77
2016	62	189	102	2,784	27	33	19.4	2.30
2017	54	174	93	2,879	31	31	22.5	1.92
2018	71	176	99	3,076	31	40	20.0	2.62
2019	14	198	82	5,730	70	7	58.7	0.44
2020	73	398	143	8,537	60	18	33.4	1.49
2021	55	541	274	7,516	27	10	52.4	0.65

表 3-2. 漁獲量努力量（島根県籍中型まき網船の延べ網数）

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
島根まき網	3,276	3,105	3,330	3,018	3,286	3,019	3,144	3,551	2,916	2,782

年	2017	2018	2019	2020	2021
島根まき網	2,535	2,427	2,362	2,323	2,269

表 5-1. 将来の親魚量が目標・限界管理基準値を上回る確率

a) 目標管理基準値を上回る確率 (%)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.00	0	0	5	11	18	25	30	33	35	37	42	43
0.90	0	0	5	12	21	29	35	40	43	46	52	52
0.80	0	0	5	13	24	34	42	48	53	55	62	61
0.75	0	0	5	14	26	37	46	52	57	60	67	66
0.70	0	0	5	15	28	40	50	57	61	65	72	71
0.60	0	0	5	16	31	45	57	66	71	74	80	80
0.50	0	0	5	17	35	51	65	74	79	82	88	88
0.40	0	0	5	19	39	58	72	81	86	89	94	94
0.30	0	0	5	20	43	64	78	87	92	94	97	97
0.20	0	0	5	21	47	70	83	91	95	97	99	99
0.10	0	0	5	23	51	75	88	95	98	99	100	100
0.00	0	0	5	25	56	80	92	97	99	100	100	100
F2017-2021	0	0	3	5	7	9	10	10	10	10	11	11

b) 限界管理基準値を上回る確率 (%)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.00	0	69	75	81	86	88	91	92	94	95	98	98
0.90	0	69	75	83	88	91	93	95	96	97	99	99
0.80	0	69	75	85	90	94	96	97	98	98	100	100
0.75	0	69	75	86	91	94	96	98	98	99	100	100
0.70	0	69	75	87	92	95	97	98	99	99	100	100
0.60	0	69	75	89	94	97	98	99	99	100	100	100
0.50	0	69	75	90	95	98	99	99	100	100	100	100
0.40	0	69	75	91	97	99	99	100	100	100	100	100
0.30	0	69	75	93	98	99	100	100	100	100	100	100
0.20	0	69	75	94	98	99	100	100	100	100	100	100
0.10	0	69	75	95	99	100	100	100	100	100	100	100
0.00	0	69	75	96	99	100	100	100	100	100	100	100
F2017-2021	0	69	56	60	60	61	62	62	62	63	62	58

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。

2023年は図5-1の管理規則に、2024年以降は図5-2の管理規則に従う。2024年以降の β を0～1.0で変更した場合、および現状の漁獲圧（F2017-2021）で漁獲した場合の将来予測の結果を示す。

表 5-2. 将来の親魚量および漁獲量の平均値の推移

a) 親魚量の平均値の推移（千トン）

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.00	410	503	626	725	815	891	947	988	1,015	1,038	1,099	1,096
0.90	410	503	626	742	852	947	1,018	1,070	1,105	1,133	1,199	1,195
0.80	410	503	626	759	891	1,007	1,095	1,160	1,202	1,235	1,304	1,299
0.75	410	503	626	768	911	1,039	1,136	1,207	1,254	1,289	1,359	1,353
0.70	410	503	626	777	932	1,071	1,179	1,257	1,308	1,345	1,416	1,409
0.60	410	503	626	795	975	1,140	1,269	1,362	1,423	1,466	1,539	1,531
0.50	410	503	626	814	1,021	1,214	1,367	1,477	1,548	1,597	1,676	1,667
0.40	410	503	626	833	1,069	1,293	1,472	1,602	1,686	1,743	1,832	1,822
0.30	410	503	626	853	1,119	1,377	1,586	1,739	1,839	1,905	2,012	2,002
0.20	410	503	626	873	1,172	1,467	1,710	1,890	2,008	2,088	2,224	2,212
0.10	410	503	626	894	1,228	1,564	1,845	2,055	2,198	2,295	2,475	2,463
0.00	410	503	626	916	1,287	1,667	1,992	2,239	2,411	2,531	2,778	2,766
F2017-2021	410	503	544	576	599	617	627	632	634	636	627	603

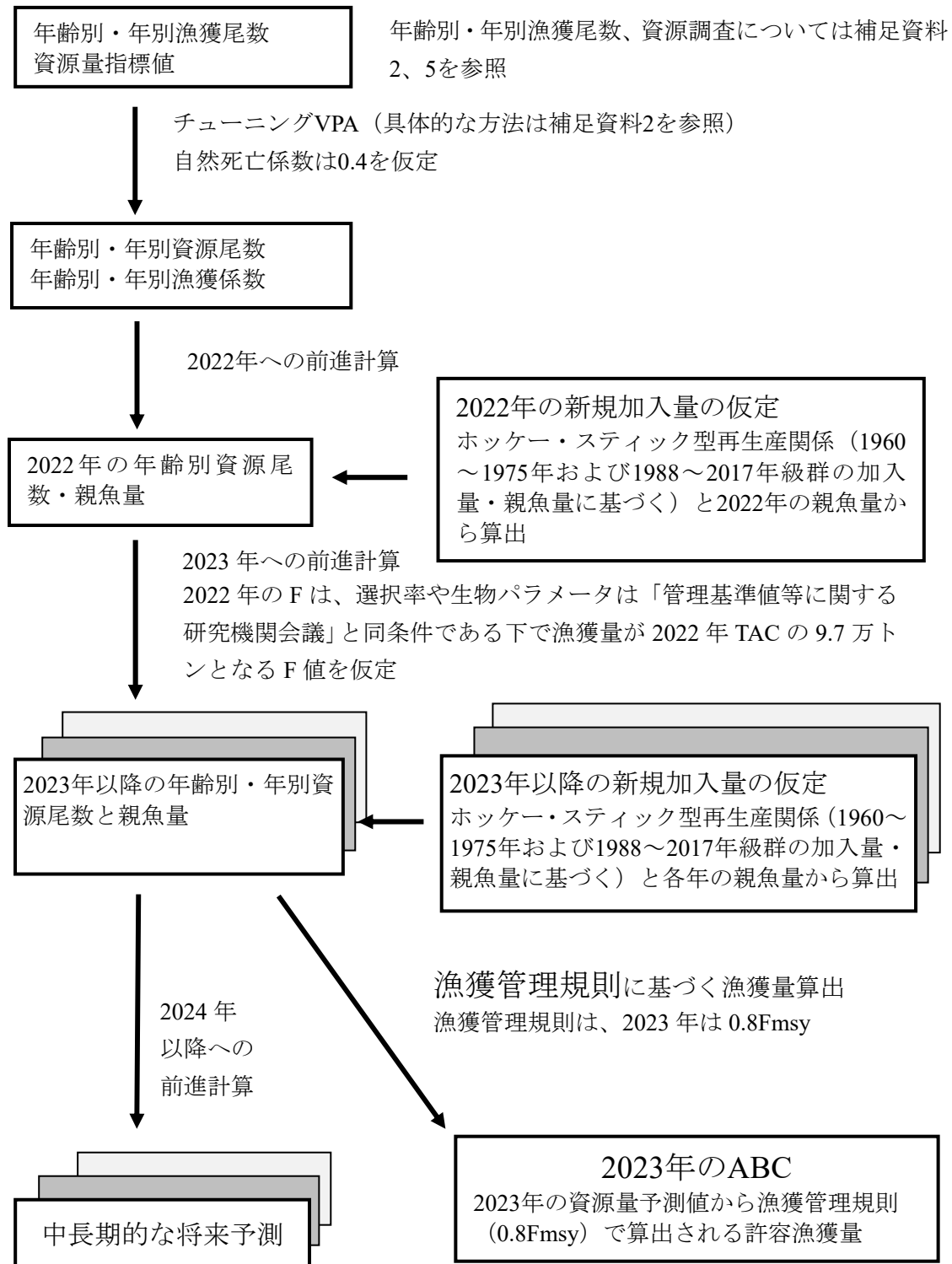
b) 漁獲量の平均値の推移（千トン）

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.00	97	143	203	231	257	279	295	307	315	322	338	339
0.90	97	143	185	216	245	269	288	301	311	318	334	334
0.80	97	143	167	200	231	257	277	292	303	310	325	325
0.75	97	143	157	191	222	249	271	286	297	304	319	318
0.70	97	143	148	182	213	241	263	279	290	298	311	311
0.60	97	143	129	162	193	222	245	261	273	280	292	292
0.50	97	143	109	140	171	199	221	238	249	256	268	267
0.40	97	143	88	116	144	171	192	208	219	226	237	236
0.30	97	143	67	91	115	138	157	171	181	187	197	197
0.20	97	143	45	63	81	99	114	125	133	139	147	147
0.10	97	143	23	33	43	53	62	69	74	77	83	83
0.00	97	143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2017-2021	97	229	237	250	259	264	268	270	271	271	265	256

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。

2023 年は図 5-1 の管理規則に、2024 年以降は図 5-2 の管理規則に従う。2024 年以降の β を 0～1.0 で変更した場合、および現状の漁獲圧（F2017-2021）で漁獲した場合の将来予測の結果を示す。

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

2021 年までの年齢別年別漁獲尾数と資源量指標値を用いて、チューニング VPA（コホート解析）により年齢別年別資源尾数を推定した。コホート解析に用いた年齢別年別漁獲尾数は、漁業・養殖業生産統計年報における日本海北区、日本海西区、東シナ海区の漁獲量、日本海～東シナ海側の各月の主要港の水揚げ量および体長組成データより算出した。漁獲量に関しては、大中型まき網漁業漁獲成績報告書から得られた太平洋側県籍船による東シナ海における漁獲量を加え、日本海～東シナ海側県籍船による太平洋での漁獲量を差し引いた。年齢一体長関係には鱗による年齢査定結果を用いた（補足資料 5）。2021 年の漁獲物の年齢別平均体重を補足表 2-1 に、資源計算に用いた自然死亡係数 M を補足表 2-2 に、成熟割合は補足表 2-3 に示す。計算には R パッケージ frasyr (ver2.2.2.0) を使用した。

VPA 起点月は 1 月とし、年齢別年別資源尾数の計算には Pope の近似式を用い、プラスグループの資源尾数については平松（2000；非定常な場合のプラスグループの計算、 $\alpha=1$ ）の方法に従った。なお、年齢については、1953～1988 年および 1999～2021 年は 0～4+歳、1989～1998 年は 0～5+歳別に求めた（4 歳以上、5 歳以上をまとめて 4+、5+（プラスグループ）と表記する）。

1. Pope の近似式を用いた資源尾数の計算（ステップ 1）

式（1）により年齢別年別資源尾数を計算した。

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

ここで、 $N_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は y 年 a 歳魚の漁獲尾数、 M は自然死亡係数（0.4）である。

ただし、最近年、最高齢-1 歳（添え字 $p-1$ ）、最高齢（プラスグループ、添え字 p ）、は（2）～（4）式により計算した。

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

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

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

なお、プラスグループの年齢が変化する年は、年齢に応じて次のように推定した。

1988 年の 3 歳魚と 4 歳魚の資源尾数 $N_{3,1988}$ および $N_{4,1988}$ は、これまでの資源計算法を見直し、次の式で推定した。なお、令和 2 年 3 月に開催された「管理基準値などに関する研究機関会議」では修正した次式で得られた結果を用いた（高橋ほか 2020b）。

$$N_{3,1988} = \frac{C_{3,1988} \times (N_{4,1989} + N_{5+,1989}) \times \exp(M)}{C_{3,1988} + C_{4+,1988}} + C_{3,1988} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (5)$$

$$N_{4+,1988} = N_{3,1988} \times \frac{C_{4+,1988}}{C_{3,1988}} \quad (6)$$

1998 年の 3 歳魚と 4 歳魚の資源尾数 $N_{3,1998}$ および $N_{4,1998}$ は次の式で推定した。
F は漁獲係数であり、最近年（ターミナル F）以外は（9）式で計算される。

$$N_{3,1998} = \frac{C_{3,1998} \times N_{4+,1999} \times \exp(M)}{C_{3,1998} + C_{4,1998} + C_{5+,1998}} + C_{3,1998} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (7)$$

$$N_{4,1998} = N_{3,1998} \times \frac{C_{4,1998}}{C_{3,1998}} \quad (8)$$

F は漁獲係数であり、最近年（ターミナル F）以外は（9）式で計算される。

$$F_{a,y} = -\ln \left[1 - \frac{C_{a,y} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{N_{a,y}} \right] \quad (9)$$

ただし、プラスグループの F は最高齢-1 歳の F と等しいとした。コホート解析における最近年である 2021 年の F（ターミナル F）は、まず 0～3 歳魚については過去 5 年間の各年齢の F の平均値とした。プラスグループ（4+）については、最高齢-1 歳（3 歳）の F と同じ値となるように求めた。その後ステップ 2 の方法によりさらに最近年の F を調整した。

2. 最近年の F の調整（ステップ 2）

資源量指標値によりターミナル F をチューニングによって探索的に求めた。ステップ 1 では、ターミナル F の各年齢の漁獲係数は過去 5 年間（2016～2020 年）の平均値とした。ステップ 2 では、ステップ 1 で得られた年齢別漁獲係数から計算される選択率を、ターミナル F の選択率と仮定し、選択率に乘じる F の大きさをチューニングにより推定した。

F のチューニングに用いた資源量指標値として、産卵量と、島根県籍中型まき網漁船で水揚げされるマイワシの 1 網当たりの漁獲量（以下、島根 CPUE）、および石川県中型まき網の 1 隻当たりの漁獲量（以下、石川 CPUE）を用いた（補足表 2-4）。産卵量は、鹿児島県から青森県までの九州西方から日本海沿岸で、1～6 月にノルパックネットにより採集されたマイワシの卵数から計算された。島根 CPUE は、二段階モデル（delta-lognormal GLM and GLMM）で月と船、水温の効果を削除した標準化 CPUE（補足資料 6）を用いた。石川 CPUE は、2007 年以降明確となったマイワシの狙い漁業を考慮するために、その年のマイワシ総漁獲量の 90%を占める操業を、1 操業当たりのマイワシ漁獲割合が高い操業から順に抽出

して算出した directed CPUE を用いた（補足資料 6）。

コホート解析より得られる親魚量が産卵量に、全年齢込みの資源量が島根 CPUE に、1 歳以上資源量が石川 CPUE に最もよく適合するようなターミナル F を最尤法により推定した。以上 3 種の資源量指標値について、最小化させる負の対数尤度を以下のように定義した（Hashimoto et al. 2018）。

$$-\ln L = \sum_f \sum_y \frac{[\ln I_{f,y} - (b_f \ln B_{f,y} + \ln q_f)]^2}{2\sigma_f^2} - \ln \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_f} \right) \quad (10)$$

ここで、 $I_{f,y}$ は y 年における指標値 f（1:産卵量、2:島根 CPUE、3:石川 CPUE）、 $B_{f,y}$ は y 年における指標値 f に適用する資源量（1:親魚量、2:資源量、3:1 歳以上資源量）、 q_f 、 b_f 、 σ_f は推定パラメータ（ターミナル F と同時推定）である。

また、 $I_{f,y}$ と $B_{f,y}$ には、以下のべき乗式で表される関係があることを仮定した。

$$I_{f,y} = q_f B_{f,y}^{b_f} \quad (11)$$

ただし、本資源評価では b_f はいずれの指標値に対しても 1 に固定した。これは、 b_f を推定した場合でも資源量の推定値は大きくは変わらなかったためである。

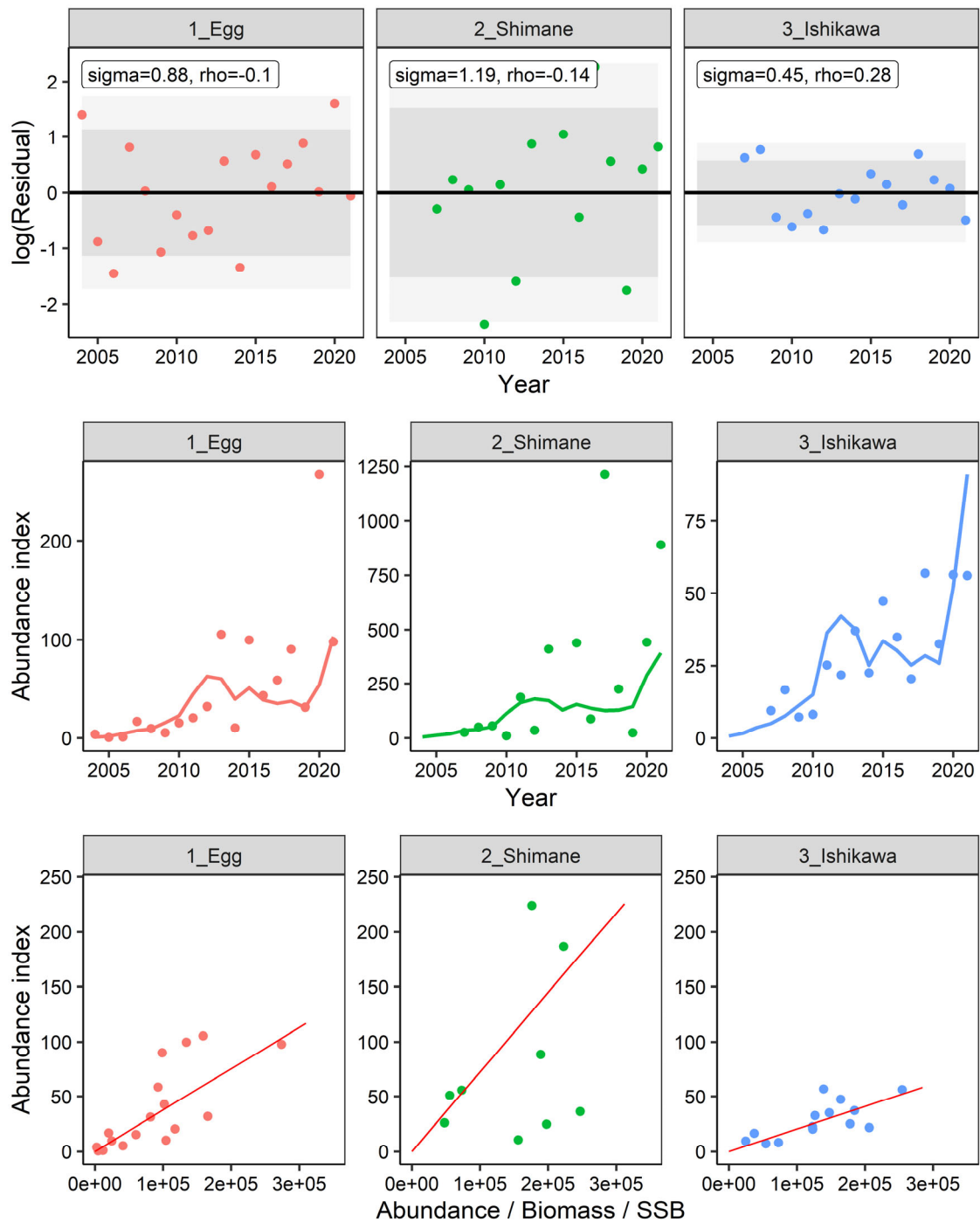
指標値と適合させる期間は、産卵量は資源量が 5 千トンを上回った 2004 年以降、島根 CPUE と石川 CPUE は 2007 年以降とした。2014 年のマイワシ対馬暖流系群の漁獲量は極めて少なかったが、2015 年の漁獲物には 2 歳以上の高齢魚が多く含まれていたことから、2014 年は漁場となる沿岸域への来遊が極めて少なかったと考えられた。とくに水揚げ量が少なかった日本海西区の漁獲情報に基づく島根 CPUE は、資源量を反映していない可能性があるため、チューニングから除いた。この条件で（式 10）を最小化するような F を探索的に求めた結果、 $F_{0,2021}=0.13$ 、 $F_{1,2021}=0.07$ 、 $F_{2,2021}=0.18$ 、 $F_{3,2021}=0.34$ 、 $F_{4+,2021}=0.34$ と推定された。またその他のパラメータは $q_1=3.77$ 、 $q_2=7.24$ 、 $q_3=2.05$ 、 $\sigma_1=0.88$ 、 $\sigma_2=1.19$ 、 $\sigma_3=0.45$ であった。

「資源評価におけるモデル診断の手順と診断結果の提供指針（令和 4 年度）FRA-SA2022-ABCWG02-03」に従って、本系群の評価に用いた VPA の統計学的妥当性や仮定に対する頑健性について診断した。指標値の観測値とモデルの予測値との残差を示す（補足図 2-1）。島根 CPUE は他の指標値に比べて年変動が大きく、VPA の結果と適合しない年が生じるため残差が大きかった。一方、石川 CPUE は残差が最も小さく、指標値の重みが大きかった。ジャックナイフ解析の結果から、石川 CPUE（index03）を外すと 2019 年以降の資源量と親魚量、加入量が多く推定されることが分かった（補足図 2-2）。

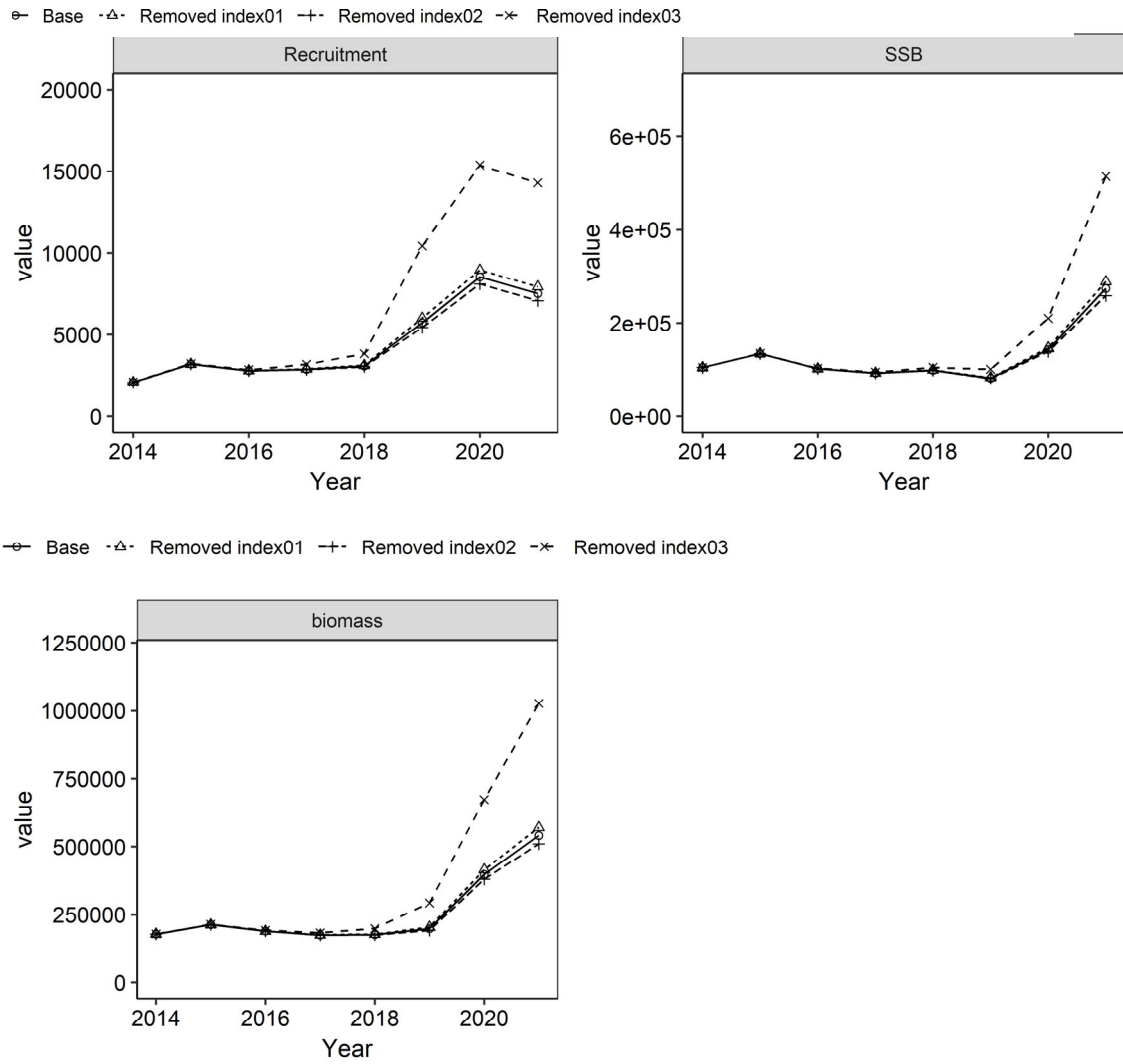
5 年間のレトロスペクティブ解析により、データの追加・更新が行われることで F の値や資源量推定値に生じる変化を確認した（補足資料 7、補足図 2-3）。資源量は 2016～2018 年まで、親魚量は 2016～2020 年まで下方修正が続いた。レトロスペクティブバイアス（Mohn's ρ 、Mohn 1999）は、資源量が 0.39、親魚量は 0.68、F は -0.52 であった。

VPA の推定値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。指標値の観測値とモデルの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、それを用いてチューニング VPA を計算する方法を 1,000 回繰り返し、信頼区間を求めた。2021 年の推定値の 95%信頼区間は資源量（万トン）[26.6, 103.2]、親魚量（万トン）[13.8, 51.7]、加入量（億尾）[36.8, 143.6]、 F_0 [0.06, 0.28]、 F_1 [0.04, 0.16]、 F_2 [0.09, 0.39]、 F_3

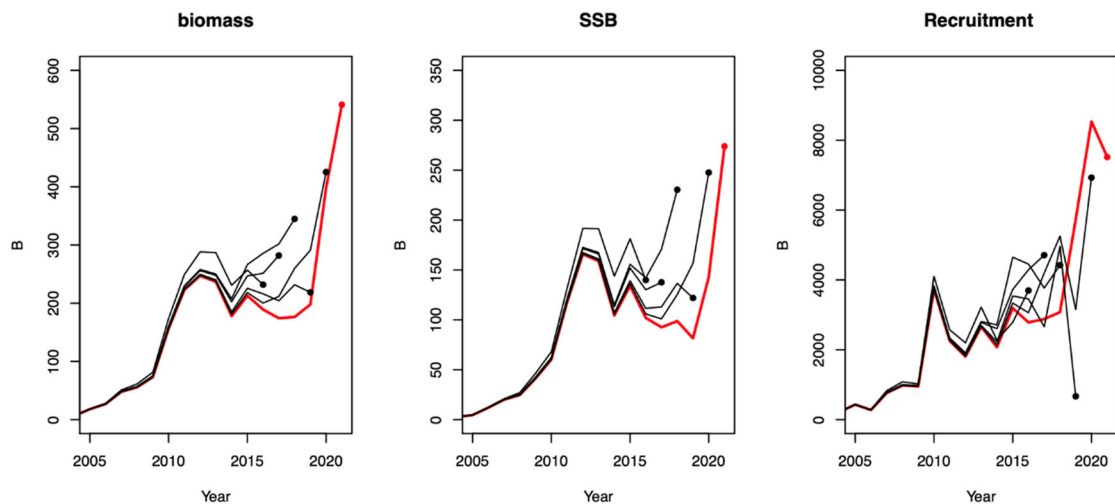
[0.17, 0.74]、 F_{4+} [0.17, 0.74]であった。



補足図 2-1. (上) 指標値の観測値とモデルの期待値の差を示す残差プロット (中下) 指標値の観測値 (丸印) とモデルの予測値 (実線)



補足図 2-2. チューニング VPA のモデル診断 加入量と親魚量、資源量のジャックナイフ解析 指標値 (index 01: 島根標準化 CPUE、02: 産卵量、03: 石川 CPUE)



補足図 2-3. 5 年間のレトロスペクティブ解析（左：資源量、中央：親魚量、右：加入尾数）

(2) 将来予測方法

得られた資源量をもとに漁獲管理規則に従う将来予測を行った。2022 年以降の加入量の予測には、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（1960～1975 年および 1988～2017 年）のホッケ－・スティック型関係式（ $a=0.0276$ 、 $b=7.36e+05$ 、 $SD=0.683$ ）から推定される値を用いた（高橋ほか 2020b）。なお、再生産関係のパラメータ推定に使用するデータは、令和元（2019）年度の資源評価（高橋ほか 2020a）においてプラスグループを修正した計算に基づく親魚量・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。

将来予測における漁獲係数 F は、「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」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 2-5 に示す。選択率や漁獲物平均体重等の値には、上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」において提案された各種管理基準値案の推定に用いた値を引き続き用いた。これらは再生産関係と同じく、令和元（2019）年度の資源評価に基づく値であり、選択率および漁獲物平均体重はこの計算結果における 2014～2018 年の平均値である。2022 年の漁獲圧（ F_{2022} ）は、2022 年の漁獲量が令和 4 年管理年度（令和 4 年 1～12 月）漁獲可能量（TAC）の 9.7 万トンになるように仮定した。

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法を用いた。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad (12)$$

$$N_{4+,y+1} = (N_{3,y} + N_{4+,y}) \times \exp(-F_{3,y} - M) \quad (13)$$

漁獲尾数は、上式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（14）式により求めた。

$$C_{a,y} = N_{a,y} \{1 - \exp(-F_{a,y})\} \exp\left(-\frac{M}{2}\right) \quad (14)$$

引用文献

- Clark C.W., A.T. Charles, J.R. Beddington, and M. Mangel (1985). Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Mar. Resour. Econ.*, **2**, 25-53.
- Hashimoto, M., H. Okamura, M. Ichinokawa, K. Hiramatsu and T. Yamakawa (2018) Impacts of the nonlinear relationship between abundance and its index in a tuned virtual population analysis. *Fish. Sci.* **84**, 335-347.
- 平松一彦 (2000) VPA. 平成 12 年度資源評価体制確立推進事業報告書－資源評価教科書－, 104-127.
- 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.

補足表 2-1. 年齢別平均体重

年齢	0	1	2	3	4+
体重(g)	12.8	46.1	73.3	102.0	134.1

補足表 2-2. 自然死亡係数 M

年齢	0	1	2	3	4+
死亡係数	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

補足表 2-3. 年齢別成熟割合

年齢	0	1	2	3	4+
成熟割合	0	0.25	1	1	1

補足表 2-4. チューニング指標値

年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
産卵量(兆個)	3.88	0.72	1.05	16.98	9.62	5.34	15.34	20.56	31.87
島根 CPUE				26.08	50.94	55.84	10.59	186.80	36.29
石川 CPUE				9.44	16.54	7.25	8.15	25.22	21.76

年	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
産卵量(兆個)	105.53	10.27	99.82	42.80	58.65	90.20	31.27	267.51	97.86
島根 CPUE	410.64	2.57*	439.42	88.66	1213.74	224.33	24.75	441.91	889.25
石川 CPUE	37.14	22.48	47.27	35.02	20.37	56.87	32.56	56.36	56.13

※2014 年の島根 CPUE はチューニングに含まれていない。

補足表 2-5. 将来予測計算に用いたパラメータ

	選択率 (注 1)	Fmsy (注 2)	F2022 (注 3)	平均体重 (g)	自然死亡 係数	成熟 割合
0 歳	0.59	0.25	0.18	16	0.40	0
1 歳	0.34	0.14	0.10	43	0.40	0.25
2 歳	0.58	0.24	0.18	71	0.40	1.00
3 歳	1.00	0.42	0.30	90	0.40	1.00
4 歳以上	1.00	0.42	0.30	114	0.40	1.00

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

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

注 3：上記の選択率の下で、今回の資源評価で推定された 2022 年資源量のもとで 2022 年の漁獲量が 9.7 万トンになるように仮定した平均 F 。

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－・スティック型	最小二乗法	無	0.0276	7.36e+05	0.683	-

a は折れ点までの再生産曲線の傾き (尾/kg)、b は折れ点となる親魚量 (トン)、S.D. は加入量の標準偏差、 ρ は自己相関係数である。

補足表 3-2. 管理基準値と MSY

項目	値	説明
SBtarget	1,093 千トン	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	465 千トン	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	66 千トン	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 歳以上) =(0.25, 0.14, 0.24, 0.42, 0.42)	
%SPR (Fmsy)	41.1%	Fmsy に対応する %SPR
MSY	338 千トン	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
SB2021	274	2021 年の親魚量
F2021	2021 年の漁獲圧(漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳以上) =(0.13, 0.07, 0.18, 0.34, 0.34)	
U2021	10%	2021 年の漁獲割合
%SPR (F2021)	52.4%	2021 年の%SPR
%SPR (F2017-2021)	31.7%	現状(2017～2021 年)の漁獲圧に対応する%SPR*
管理基準値との比較		
SB2021/ SBmsy (SBtarget)	0.25	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 2021 年の親魚量の比
F2021/ Fmsy	0.65	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2021 年の漁獲圧の比*
親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る	
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る	
親魚量の動向	増加	

* 2021 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

2023 年の ABC (千トン)	2023 年の親魚量 予測平均値 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2017-2021)	2023 年の 漁獲割合(%)
143	503	0.57	15
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 年までは親魚量によらず 0.8、2024 年以降は 0.75 が用いられる。			

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 (千トン)	90% 予測区間 (千トン)	2031 年に親魚量が以下の 管理基準値を上回る確率(%)		
			SBtarget	SBlimit	SBban
漁獲管理規則で使用する β					
$\beta=0.75$	1,289	633 – 2,247	60	99	100
上記と異なる β を使用した場合					
$\beta=1.0$	1,038	462 – 1,868	37	95	100
$\beta=0.8$	1,235	592 – 2,166	55	98	100
$\beta=0.7$	1,345	674 – 2,330	65	99	100
$\beta=0$	2,531	1,477 – 4,066	100	100	100
F2017-2021	636	181 – 1,335	10	63	100
原則の規則 ($\beta=0.75$)	1,292	638 – 2,247	60	99	100

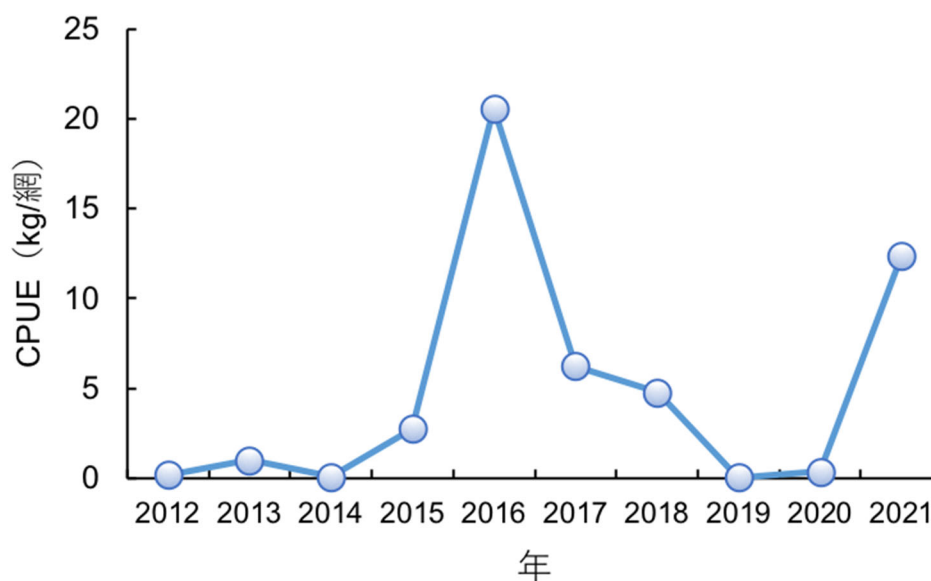
補足表 3-5. 異なる β を用いた将来予測結果（つづき）

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			
$\beta=0.75$	2029 年	2023 年	2022 年
上記と異なる β を使用した場合			
$\beta=1.0$	2051 年以降	2023 年	2022 年
$\beta=0.8$	2030 年	2023 年	2022 年
$\beta=0.7$	2028 年	2023 年	2022 年
$\beta=0$	2026 年	2023 年	2022 年
F2017-2021	2051 年以降	2023 年	2022 年
原則の規則 ($\beta=0.75$)	2029 年	2023 年	2022 年

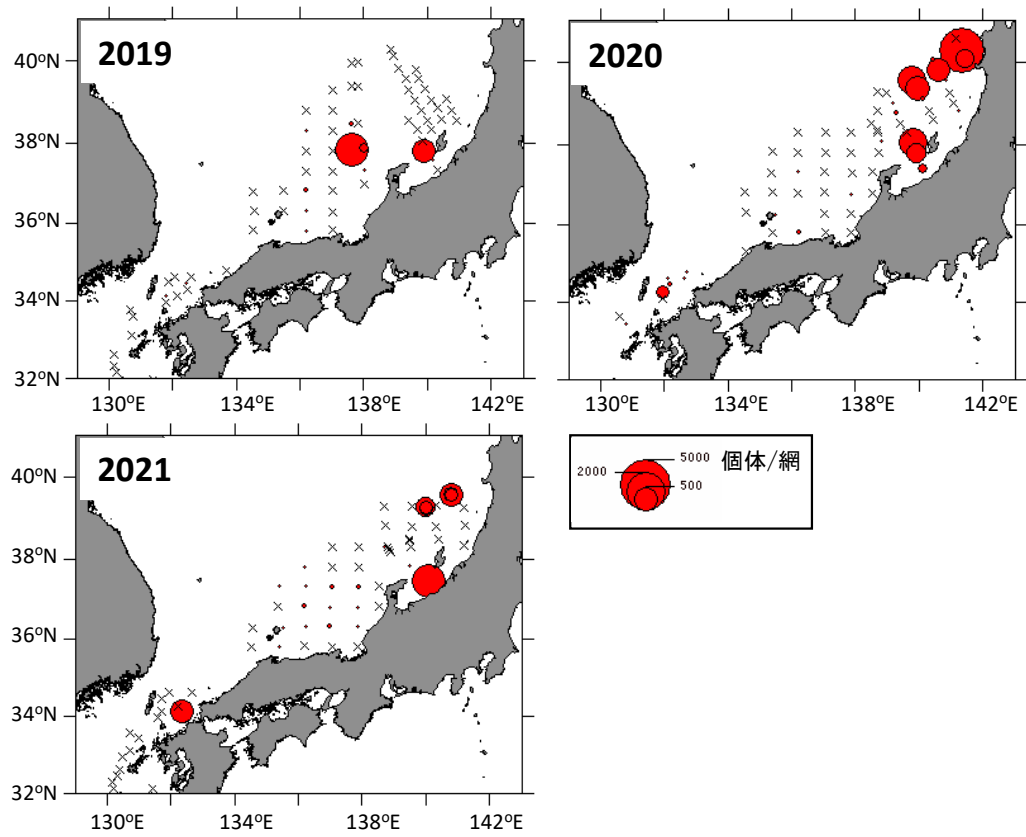
補足資料4 夏季における浮魚類魚群量調査結果の概要

夏季（8月中旬～9月中旬）の北九州北西沖合域における小型浮魚類の現存量を把握するため、1997年から漁業調査船陽光丸による中層トロールを用いた魚群量調査が実施されてきた。2014年からは能登半島北西沖合域が調査海域に追加された（令和2（2019）年度資源評価報告書補足資料5参照）。2019年以後、九州北西沖合域を陽光丸、日本海西部から北部までを第六開洋丸および富山県立山丸が担当し、日本海の広域魚群量調査を行っている。なお、2019～2020年は日本海北部で中層トロールを用いたクロマグロ稚魚分布調査を実施する北光丸の協力を得た。

継続して実施している九州北西沖合域におけるマイワシのCPUEを2012年以降について補足図4-1に示した。九州北西沖合域において採集されるマイワシは主に被鱗体長100～130mmの当歳魚で、そのCPUEは、2016年に大きく増加した後減少し、2021年のCPUEは12.4kg/網であった。広域魚群量調査において採集されたマイワシは、2019、2020、2021年共に体長100～150mmの当歳魚が主体であり、対馬周辺海域に加えて能登半島周辺および東北地方の日本海側海域にも分布することがわかった（補足図-4-2）。



補足図4-1. 九州北西沖合域におけるマイワシのCPUE

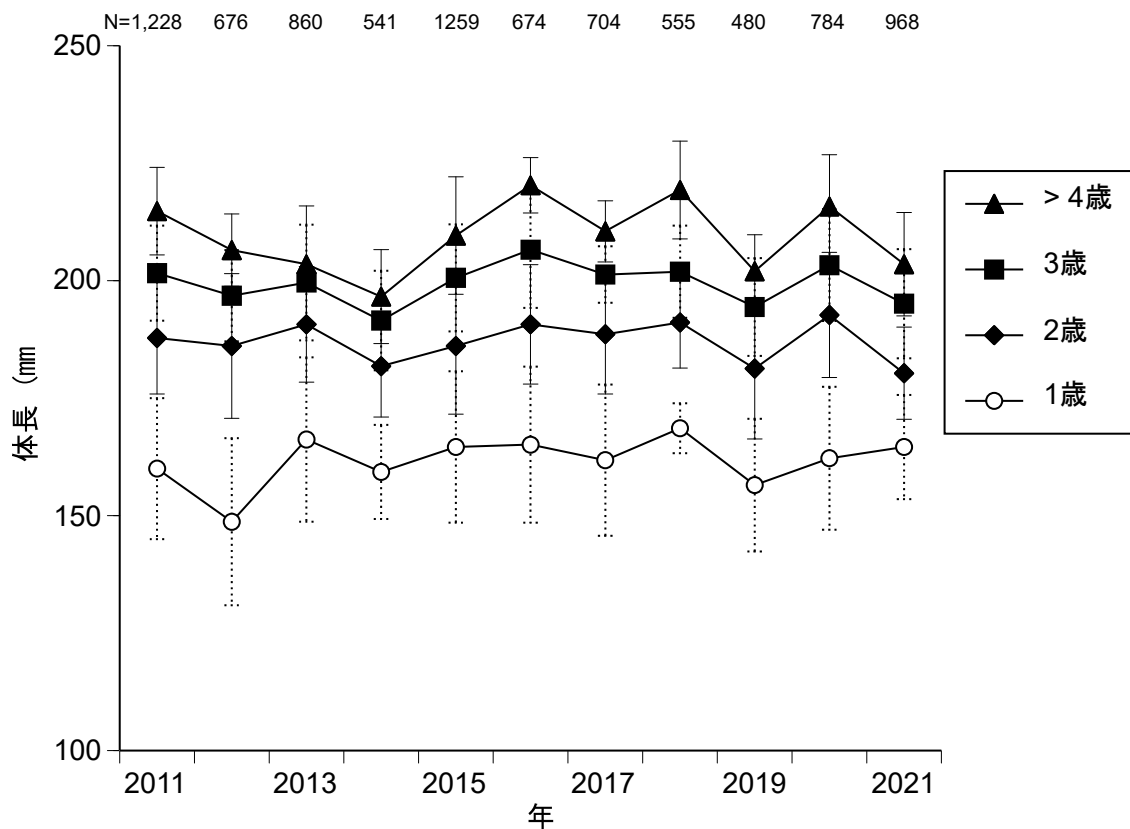


補足図 4-2. 広域魚群量調査におけるマイワシの CPUE

補足資料 5 漁獲物の年齢—体長関係の経年変化

鱗を用いた本系群の 2011～2022 年における年齢査定結果を集計した。12 年間に年齢査定を行ったマイワシは合計で 9175 個体、年毎には 443～1259 個体の範囲にあった。サンプルの水揚げ港は、青森県、石川県、富山県、京都府、鳥取県、島根県、山口県、福岡県、長崎県であった。

補足図 5-1 に 2011～2021 年における漁獲物の年齢別平均体長の経年変化を示す。2 歳以上の平均体長には近似した経年変化が見られ、各年齢時における平均体長は 2011 年から 2014 年にかけて徐々に減少したが、その後 2016 年まで増加した。2016～2018 年の間、横ばいに推移したが、2019 年の平均体長は 2018 年や 2020 年よりも小型であった。2021 年における 2 歳以上の平均体長は 2019 年の値と近似した。



補足図 5-1. 2011～2021 年における年齢—体長関係の経年変化（縦線は標準偏差）

補足資料 6 島根県および石川県の中型まき網の標準化 CPUE

(1) 島根県籍船の中型まき網 CPUE

島根県籍中型まき網船団の 1 網当たりのマイワシ漁獲量（操業別 CPUE）の標準化を行った。使用したデータは、2007 年以降、島根県に属する中型まき網船団が水揚げした 1 操業当たりの網数と操業漁区、マサバ、マアジ、マイワシなどの漁獲量から成る。CPUE は 1 網当たりのマイワシ漁獲量（kg/網）を用いた。環境要因として考慮した 50 m 深海水温データについては FRA-ROMSII の再解析値を用いた（2022/07/15 ダウンロード）。

CPUE の標準化には delta-lognormal 法を用いた。これは、有漁となる確率を予測するモデルと有漁となる場合の対数 CPUE（自然対数）を予測するモデルの二つを別々に解析する手法である。有漁確率の解析には誤差分布に二項分布を仮定した一般化線形モデル（GLM）を、有漁 CPUE の解析には誤差分布に正規分布を仮定した一般化線形混合モデル（GLMM）を用いた。

CPUE を予測する説明変数として、年（カテゴリカル変数）・月（カテゴリカル変数）・船（カテゴリカル変数）・操業漁区の 50 m 深海水温（1 度刻みに切り捨て、カテゴリカル変数）を用いた。年と月の交互作用は、有漁 CPUE の解析ではデータの無い組み合わせが存在するため変量効果として取り入れた。有漁確率の解析ではモデルが収束しなかったため、今回は年と月の交互作用は考慮しなかった。VIF を指標として多重共線性はないことを確認した。すべての変数の組み合わせを考慮し、赤池情報量基準（AIC）が最小となるモデルを選択したところ、それぞれ下式が選ばれた。

有漁確率：二項分布モデル

$$\text{Log} \left[\frac{p_{ijk}}{1-p_{ijk}} \right] = \alpha + \text{Year}_i + \text{Month}_j + \text{Ship}_k + \text{Temp50}_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

有漁 CPUE：対数正規分布モデル

$$\text{Log}[CPUE_{ijk}] = \gamma + \text{Year}_i + \text{Month}_j + \text{Ship}_k + \delta_{ij} + \theta_{ijk}$$

p_{ijk} は有漁確率、 $CPUE_{ijk}$ は操業別 CPUE、 α および γ は定数、 Year_i は i 年、 Month_j は j 月、 Ship_k は k 船、 Temp50_{ijk} は 50 m 深海水温、 δ_{ij} は年と月の交互作用、 ε_{ijk} および θ_{ijk} は k 船の i 年、 j 月での残差を表す。有漁 CPUE モデルでは、50 m 深海水温の効果は説明変数から除外された。

選択されたモデルの妥当性を確認するため、残差の分布を定性的に確認した。二項分布モデル、対数正規分布モデルともに、残差の頻度分布は正規分布から大きくは逸脱していなかった。残差の分散は、対数正規分布モデルでは応答変数に対して偏った傾向は見られなかったが、二項分布モデルでは年と月に対して偏りがみられた。これは、春のマイワシの来遊時期の変動が大きいと考えられ、今後の検討課題である。

上記モデルから年効果の最小二乗平均（LSmean）を計算し、二項分布モデルの年効果と対数正規分布の年効果を乗じることで、標準化 CPUE の年トレンドを算出した。また、重複を許したブートストラップ法（試行回数 300 回）により、95%信頼区間を求めた。解析の詳細はドキュメント（FRA-SA2022-SC03-11）を参照されたい。

標準化 CPUE とノミナル CPUE（操業別 CPUE の年平均値）を比較すると、増減する年

トレンドの傾向は変わらなかったが、2021 年と 2017 年の標準化 CPUE が大きい値となった（補足図 6-1）。両年は年間を通じて一定の漁獲量があり、通常はマイワシがほとんど獲れない月でも漁獲されたため、標準化によって月の効果を除去した結果、CPUE が高くなったと考えられる。一方、2011 年と 2012 年、2016 年の標準化 CPUE は、ノミナル CPUE よりも低くなった（補足図 6-1）。これらの年は盛漁月の 3~5 月にのみまとまった漁獲があったため、月の効果を除去した標準化により CPUE が低くなったと考えられる。

(2) 石川県中型まき網 CPUE

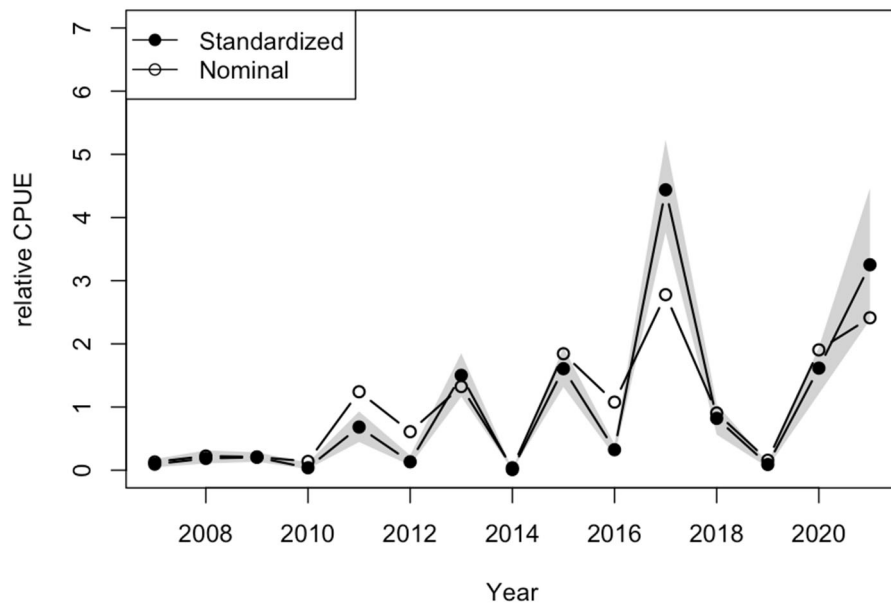
石川県の中型まき網による 1 歳以上の資源量指標の算出を行った。使用したデータは、2007 年以降、石川県の主要港に水揚げされる 1 日当たり 1 隻当たりのマイワシ、マアジ、マサバ、ウルメイワシ漁獲量から成る。CPUE は、1 日当たり 1 隻当たりのマイワシ漁獲量（トン/隻）を用いた。

マイワシを狙う操業を抽出したデータセットから CPUE を算出する directed CPUE 法を用いた（Biseau 1998）。この方法は、1 日当たり 1 隻当たりのマイワシ漁獲率（マイワシ漁獲量/総漁獲量）が高い操業から順に、各年の累積マイワシ漁獲量とその年のマイワシ総漁獲量の 90%に達するまで、データを抽出する方法である。抽出されたデータセットにおける CPUE の年平均値は directed CPUE と呼ばれ、狙い操業を考慮した CPUE と考えられている（Biseau 1998）。方法の詳細はドキュメント（FRA-SA2022-SC03-10）を参照されたい。

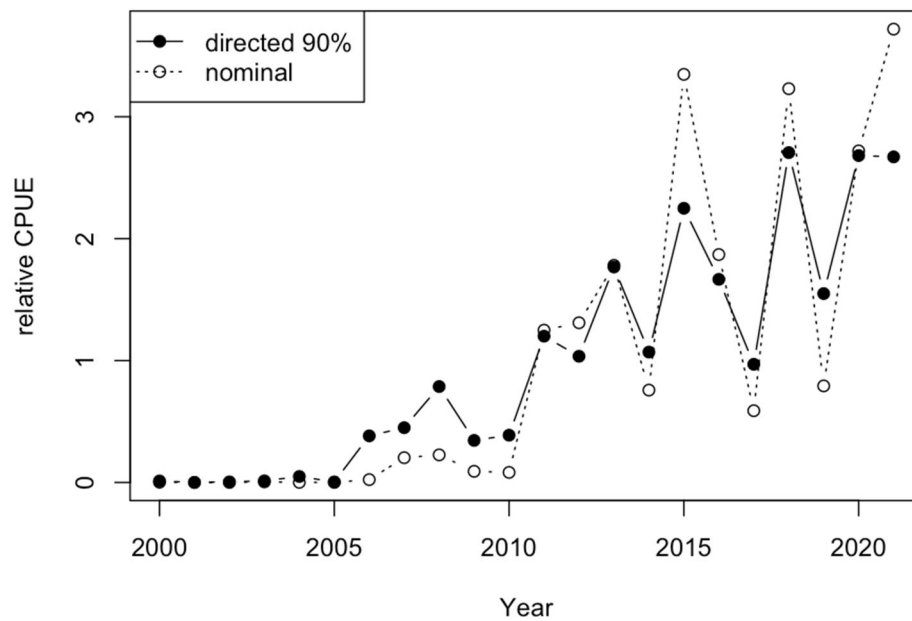
directed CPUE とノミナル CPUE（マイワシ漁獲なしデータを含む 1 隻当たりのマイワシ漁獲量の年平均値）は、いずれも 2010 年以降に増加傾向が見られた（補足図 6-2）。年トレンドの増減は概ね一致していたが、directed CPUE の方が変動幅は小さかった。2021 年の directed CPUE は、2018 年と 2020 年同様に高い値であった。

引用文献

Biseau, A. (1998) Definition of a directed fishing effort in a mixed-species trawl fishery, and its impact on stock assessments. *Aquat. Living. Resour.*, **11**, 119-136.



補足図 6-1. 島根県中型まき網漁業のノミナル CPUE と標準化 CPUE および 95%信頼区間の推移 それぞれの平均値で割り、規格化した。



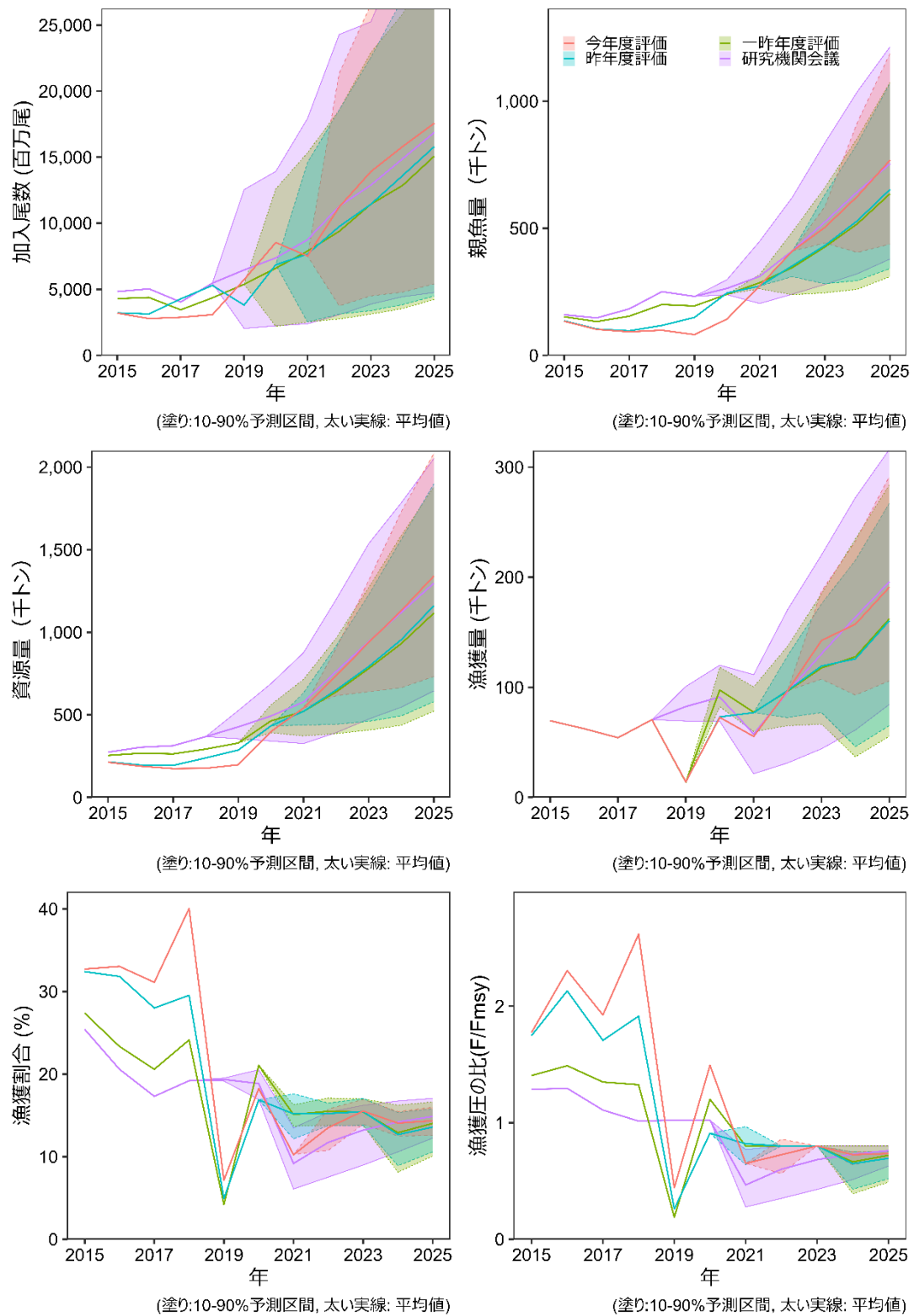
補足図 6-2. 石川県中型まき網漁業のノミナル CPUE と directed CPUE (90%) の推移 それぞれの平均値で割り、規格化した。

補足資料 7 昨年度評価結果との比較

昨年度と今年度の資源評価結果を比べると、2017～2020 年の資源量および 2018～2020 年の親魚量が下方修正された（補足図 7-1）。これは、2021 年に 3 歳魚以上の漁獲が振るわなかったため、2020 年の 2 歳以上の資源量が下方修正されたことにより、2017～2018 年級群の加入量が遡って下方修正されたためである。一方、2021 年に 1～2 歳魚の漁獲が良好だったため、2019～2020 年級群の加入量が上方修正された。これに伴い、2020 年の資源量の下方修正の程度は軽微であった。

今年度の資源評価にもとづく 2021 年の加入量は再生産関係式にもとづく昨年度の予測値と同程度であり、2021 年の資源量と親魚量は昨年度の予測値と同程度になった（補足図 7-1）。しかし、2021 年の 1～2 歳の資源量が予測値よりも多いため、2022 年の資源量と親魚量は予測値よりも多く推定された。その結果、再生産関係式にもとづく 2022 年の加入量は予測値よりも多くなり、2023 年の資源量と親魚量が増加することにより、2023 年の漁獲量（ABC）が上方修正された。

このように 2020 年までの資源量および親魚量は昨年度の予測より下方修正されたが、2019～2020 年の良好な加入によって 2021 年以降の資源量および親魚量の推移は上方修正となった。合意された漁獲管理規則のもとでは 2031 年に目標管理基準値を超える確率は 50%を超えると予測された。また、2022 年の漁獲動向は 2～3 歳魚が好漁であり、今年度の資源評価の結果をサポートしている。しかし、直近年の加入量の不確実性が大きいいため、今後も資源の動向に注意しながら、管理を慎重に行う必要がある。



補足図 7-1. 加入尾数、親魚量、資源量、漁獲量、漁獲割合、漁獲圧の比の将来予測結果 (紫：2019 年度資源評価に基づく研究機関会議予測、緑：2020 年度資源評価、青：2021 年度資源評価、赤：今年度資源評価)

年齡別漁獲尾数 (百万尾)										
年	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
0歳	1,112	217	85	788	163	22	20	114	118	426
1歳	208	60	66	39	36	12	28	14	38	47
2歳	243	46	25	17	14	11	17	19	5	9
3歳	85	70	15	8	9	2	12	14	3	1
4歳(4歳以上)	54	51	6	4	4	0	8	5	8	6
5歳以上										
計	1,703	444	198	856	225	48	84	166	172	488

年齡別漁獲係數										
年	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
0歲	1.91	0.77	0.27	1.33	0.24	0.09	0.23	0.32	0.18	0.28
1歲	1.01	0.63	0.76	0.24	0.21	0.03	0.20	0.30	0.21	0.12
2歲	1.13	0.86	0.81	0.56	0.15	0.11	0.07	0.25	0.19	0.08
3歲	0.97	2.21	1.06	0.83	0.87	0.04	0.22	0.09	0.06	0.05
4歲(4歲以上)	0.97	2.21	1.06	0.83	0.87	0.04	0.22	0.09	0.06	0.05
5歲以上										
%SPR	2.7	11.3	17.6	10.2	35.8	77.5	50.5	41.8	55.2	58.3
F/Fmsy	5.19	3.72	2.57	3.03	1.23	0.26	0.74	0.98	0.66	0.60

年齢別資源量（万トン）										
年	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
0歳	1.7	1.0	1.3	0.9	1.5	0.9	0.4	1.5	3.1	0.9
1歳	2.4	0.9	0.9	1.3	1.2	2.9	1.1	0.3	1.3	2.4
2歳	3.4	0.8	0.4	0.4	1.0	1.0	2.6	0.9	0.2	0.9
3歳	1.7	1.1	0.3	0.2	0.2	0.7	0.8	2.0	0.7	0.2
4歳(4歳以上)	1.4	0.9	0.2	0.1	0.1	0.1	0.6	0.9	2.3	2.1
5歳以上										
計	10.5	4.7	3.0	2.8	4.0	5.6	5.6	5.6	7.6	6.5

[illegible]

年齡別漁獲尾数 (百万尾)										
年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
0歳	165	141	448	1,906	2,928	1,762	5,711	6,083	1,223	17,118
1歳	1	4	24	128	102	284	635	976	1,433	955
2歳	4	4	36	67	80	204	727	1,199	1,943	1,691
3歳	1	2	15	9	70	129	582	947	953	1,282
4歳(4歳以上)	2	1	6	42	21	98	340	585	386	579
5歳以上										
計	173	153	529	2,151	3,201	2,476	7,995	9,790	5,939	21,624

年齡別漁獲係數										
年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
0歲	0.40	0.05	0.13	0.28	0.33	0.16	0.37	0.35	0.05	0.63
1歲	0.00	0.02	0.01	0.06	0.03	0.06	0.10	0.12	0.16	0.06
2歲	0.02	0.01	0.28	0.05	0.06	0.08	0.25	0.34	0.48	0.36
3歲	0.02	0.01	0.04	0.12	0.08	0.15	0.47	0.83	0.66	0.94
4歲(4歲以上)	0.02	0.01	0.04	0.12	0.08	0.15	0.47	0.83	0.66	0.94
5歲以上										
%SPR	63.7	91.6	67.3	57.1	60.0	61.9	31.3	25.5	30.0	19.3
F/Fmsy	0.50	0.09	0.42	0.61	0.56	0.49	1.38	1.81	1.52	2.28

年齢別資源量（万トン）										
年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
0歳	0.7	7.6	7.3	13.6	28.7	31.0	43.3	44.4	60.9	77.6
1歳	6.6	1.6	15.0	16.0	23.8	36.0	49.1	56.0	84.3	111.7
2歳	2.3	5.9	1.4	12.2	14.6	24.7	32.4	41.4	51.6	57.8
3歳	0.8	2.0	4.9	0.9	10.6	11.2	19.3	21.1	33.5	30.2
4歳(4歳以上)	1.5	1.6	2.7	6.3	3.9	11.1	14.3	15.9	16.8	16.5
5歳以上										
計	11.9	18.7	31.3	49.0	81.6	114.0	158.4	178.9	247.2	293.8

[illegible]

年齡別漁獲尾數 (百万尾)										
年	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
0歳	12,077	4,390	9,885	3,135	2,669	2,001	4,082	3,249	1,162	5,004
1歳	3,326	8,019	1,960	721	7,537	8,141	6,258	1,961	3,911	371
2歳	2,921	1,855	9,286	4,332	1,890	2,667	9,265	10,699	11,124	5,423
3歳	1,018	2,364	1,212	8,197	8,088	3,321	3,987	3,673	4,943	7,213
4歳 (4歳以上)	313	684	822	1,013	2,906	3,209	2,647	4,276	2,946	4,460
5歳以上										1,573
計	19,656	17,312	23,165	17,399	23,091	19,339	26,239	23,859	24,087	24,044

年齡別漁獲係數										
年	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
0歲	0.12	0.05	0.21	0.05	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03	0.20
1歲	0.29	0.14	0.04	0.03	0.18	0.20	0.11	0.03	0.07	0.02
2歲	0.34	0.33	0.30	0.14	0.11	0.11	0.46	0.35	0.29	0.17
3歲	0.49	0.67	0.49	0.63	0.53	0.36	0.31	0.43	0.35	0.39
4歲(4歲以上)	0.49	0.67	0.49	0.63	0.53	0.36	0.31	0.43	0.35	0.64
5歲以上										0.64
%SPR	30.6	33.1	36.9	44.7	44.3	48.7	39.7	45.9	46.1	41.2
F/F _{msy}	1.43	1.37	1.16	0.84	0.88	0.76	1.04	0.82	0.83	0.99

年齢別資源量（万トン）										
年	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
0歳	190.0	129.7	81.7	127.1	144.4	197.8	236.9	155.2	90.8	37.9
1歳	92.7	316.8	161.4	123.4	201.4	281.7	270.3	307.0	304.4	147.9
2歳	95.3	48.4	243.2	277.3	152.0	199.7	162.1	273.0	337.2	282.8
3歳	34.7	49.7	29.2	142.5	170.2	107.5	177.5	91.6	160.0	203.0
4歳（4歳以上）	12.5	20.5	24.5	28.1	75.4	121.0	140.5	129.0	137.5	104.1
5歳以上										43.3
計	425.2	565.1	540.0	698.4	743.3	907.7	987.3	955.8	1,029.9	819.1

[illegible]

補足資料 8 (つづき) 資源解析結果の詳細 (1990~1999 年)

年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	8,300	2,810	2,325	5,126	7,293	6,828	2,496	375	11	501
1歳	899	905	725	1,593	2,131	1,556	505	118	228	153
2歳	1,853	2,635	1,399	1,050	1,717	791	538	59	87	116
3歳	6,009	2,210	2,255	1,726	1,428	312	302	30	20	74
4歳(4歳以上)	5,020	4,980	2,423	1,265	1,049	162	70	3	9	5
5歳以上	2,251	2,644	2,333	2,280	361	312	28	1	4	
計	24,333	16,184	11,460	13,040	13,980	9,960	3,938	586	360	849

年齢別漁獲量 (千トン)

年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	114.4	67.9	46.4	75.1	117.8	95.3	38.6	10.8	0.4	14.5
1歳	55.5	56.3	49.1	109.6	136.9	98.6	31.3	7.0	13.3	8.9
2歳	139.9	220.5	132.6	110.5	153.3	71.2	43.9	5.0	7.9	10.0
3歳	500.6	199.2	231.9	199.0	163.1	33.5	29.5	3.0	2.1	7.4
4歳(4歳以上)	453.8	462.3	247.8	141.3	133.3	20.2	8.3	0.4	1.1	0.6
5歳以上	240.8	274.4	267.0	281.2	53.7	47.1	3.9	0.2	0.6	
計	1,505	1,281	975	917	758	366	155.6	26.4	25.3	41.4

年齢別漁獲係数

年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	0.39	0.27	0.27	0.62	1.09	2.08	1.51	0.46	0.04	2.52
1歳	0.06	0.08	0.13	0.38	0.76	1.00	1.50	0.29	0.76	1.62
2歳	0.13	0.33	0.22	0.35	1.32	0.99	2.16	0.94	0.46	2.01
3歳	0.36	0.28	0.69	0.59	1.86	1.35	3.16	1.00	1.48	1.30
4歳(4歳以上)	0.69	0.78	0.77	1.77	1.33	2.46	2.98	0.37	1.48	1.30
5歳以上	0.69	0.78	0.77	1.77	1.33	2.46	2.98	0.37	1.48	
%SPR	38.6	40.3	38.2	19.5	6.7	2.3	2.7	20.3	23.9	1.0
F/Fmsy	1.09	1.03	1.12	2.25	4.53	6.20	7.75	2.17	2.16	7.39

年齢別資源尾数 (百万尾)

年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	31,227	14,473	12,120	13,571	13,395	9,524	3,911	1,239	362	666
1歳	18,216	14,136	7,401	6,221	4,900	3,008	794	578	523	233
2歳	18,559	11,474	8,735	4,368	2,865	1,540	743	119	291	164
3歳	24,129	10,923	5,534	4,710	2,068	515	385	57	31	123
4歳(4歳以上)	12,288	11,255	5,513	1,864	1,743	217	90	11	14	8
5歳以上	5,510	5,977	5,309	3,359	599	416	36	4	7	
計	109,929	68,239	44,612	34,093	25,571	15,220	5,959	2,009	1,228	1,194

年齢別資源量 (万トン)

年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	43.0	35.0	24.2	19.9	21.6	13.3	6.1	3.6	1.3	1.9
1歳	112.4	88.0	50.1	42.8	31.5	19.1	4.9	3.4	3.0	1.4
2歳	140.1	96.0	82.8	46.0	25.6	13.9	6.1	1.0	2.6	1.4
3歳	201.0	98.4	56.9	54.3	23.6	5.5	3.8	0.6	0.3	1.2
4歳(4歳以上)	111.1	104.5	56.4	20.8	22.1	2.7	1.1	0.1	0.2	0.1
5歳以上	58.9	62.0	60.7	41.4	8.9	6.3	0.5	0.1	0.1	
計	666.6	484.0	331.1	225.2	133.4	60.7	22.4	8.8	7.6	6.0

年齢別親魚量 (万トン)

年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1歳	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9	4.8	1.2	0.9	0.8	0.3
2歳	140.1	96.0	82.8	46.0	25.6	13.9	6.1	1.0	2.6	1.4
3歳	201.0	98.4	56.9	54.3	23.6	5.5	3.8	0.6	0.3	1.2
4歳(4歳以上)	111.1	104.5	56.4	20.8	22.1	2.7	1.1	0.1	0.2	0.1
5歳以上	58.9	62.0	60.7	41.4	8.9	6.3	0.5	0.1	0.1	
計	511.1	361.0	256.8	162.5	88.1	33.1	12.6	2.7	4.0	3.1

年齢別平均体重 (g)

年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
0歳	14	24	20	15	16	14	15	29	37	29
1歳	62	62	68	69	64	63	62	59	58	58
2歳	75	84	95	105	89	90	82	85	90	86
3歳	83	90	103	115	114	107	98	101	104	101
4歳(4歳以上)	90	93	102	112	127	124	119	128	120	120
5歳以上	107	104	114	123	149	151	140	148	132	

年齢別漁獲尾数（百万尾）

年齢別漁獲量（千トン）

年齢別漁獲係数

年齡別資源尾数 (百万尾)

年齢別資源量（万トン）

年齢別親魚量（万トン）

年齢別平均体重 (g)

[illegible]

年 齡 別 漁 獲 尾 数 (百万尾)										
年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	49	220	250	1,162	96	900	1,032	937	924	48
1歳	20	694	185	227	76	221	277	254	200	119
2歳	25	41	182	286	21	183	217	195	241	33
3歳	10	10	23	219	11	149	96	121	210	34
4歳(4歳以上)	2	5	35	70	11	164	95	37	81	16
5歳以上										
計	105	970	675	1,964	214	1,616	1,718	1,544	1,656	250

年齡別漁獲係數										
年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歲	0.02	0.13	0.19	0.76	0.06	0.42	0.60	0.51	0.46	0.01
1歲	0.06	0.42	0.19	0.32	0.12	0.23	0.28	0.36	0.24	0.12
2歲	0.09	0.21	0.23	0.64	0.05	0.60	0.48	0.40	0.96	0.07
3歲	0.09	0.06	0.23	0.62	0.05	0.88	1.02	0.72	1.62	0.41
4歲(4歲以上)	0.09	0.06	0.23	0.62	0.05	0.88	1.02	0.72	1.62	0.41
5歲以上										
%SPR	79.4	49.8	49.9	18.8	76.8	26.5	19.4	22.5	20.0	58.7
F/Fmsy	0.19	0.77	0.74	2.16	0.27	1.77	2.30	1.92	2.61	0.44

年齢別資源量（万トン）										
年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	8.3	4.5	4.1	5.2	5.5	4.9	4.2	5.1	3.7	7.1
1歳	2.5	12.1	8.0	5.1	3.7	6.0	6.1	4.1	5.4	6.0
2歳	2.9	2.1	8.4	5.7	3.3	3.6	4.9	4.8	3.8	4.6
3歳	1.4	2.1	1.5	5.5	2.3	2.8	1.6	2.5	3.2	1.3
4歳(4歳以上)	0.4	1.5	2.7	2.1	3.0	4.0	2.2	0.9	1.5	0.7
5歳以上										
計	15.6	22.3	24.7	23.7	17.8	21.3	18.9	17.4	17.6	19.8

[illegible]

補足資料 8 (つづき) 資源解析結果の詳細 (2020~2021 年)

年齢別漁獲尾数 (百万尾)		
年	2020	2021
0歳	941	725
1歳	177	280
2歳	297	323
3歳	223	65
4歳 (4歳以上)	47	21
5歳以上		
計	1,685	1,415

年齢別漁獲量 (千トン)		
年	2020	2021
0歳	15.9	9.3
1歳	6.9	12.9
2歳	21.7	23.7
3歳	22.1	6.6
4歳 (4歳以上)	6.0	2.9
5歳以上		
計	72.7	55.4

年齢別漁獲係数		
年	2020	2021
0歳	0.14	0.13
1歳	0.06	0.07
2歳	0.63	0.18
3歳	1.23	0.34
4歳 (4歳以上)	1.23	0.34
5歳以上		
%SPR	33.4	52.4
F/F _{msy}	1.49	0.65

年齢別資源尾数 (百万尾)		
年	2020	2021
0歳	8,537	7,516
1歳	3,802	4,952
2歳	778	2,404
3歳	385	278
4歳 (4歳以上)	80	91
5歳以上		
計	13,582	15,242

年齢別資源量 (万トン)		
年	2020	2021
0歳	14.4	9.6
1歳	14.9	22.8
2歳	5.7	17.6
3歳	3.8	2.8
4歳 (4歳以上)	1.0	1.2
5歳以上		
計	39.8	54.1

年齢別親魚量 (万トン)		
年	2020	2021
0歳	0.0	0.0
1歳	3.7	5.7
2歳	5.7	17.6
3歳	3.8	2.8
4歳 (4歳以上)	1.0	1.2
5歳以上		
計	14.3	27.4

年齢別平均体重 (g)		
年	2020	2021
0歳	17	13
1歳	39	46
2歳	73	73
3歳	99	102
4歳 (4歳以上)	130	134
5歳以上		