

令和 6（2024）年度マアジ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（井元順一・安田十也・渡井幹雄・
日野晴彦・木下順二・木皿祐雅・河野悌昌・高橋正知）

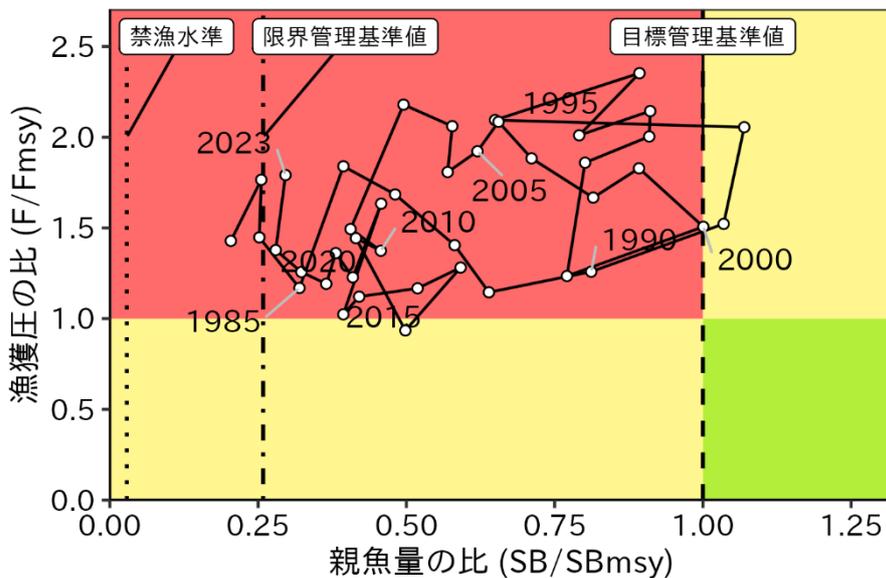
参画機関：地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産海洋研究センター、茨城県水産試験場、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター、静岡県水産・海洋技術研究所、愛知県水産試験場、三重県水産研究所、和歌山県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課、高知県水産試験場、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、宮崎県水産試験場

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推定した。資源量は、1980年代から増加傾向となり、1990年代半ばには14万～16万トンで推移した。1997年以降は減少傾向に転じ、2015年には4.4万トンまで減少した。その後は横ばい傾向を示しており、2023年の資源量は4.6万トンであった。親魚量は近年は減少傾向を示しており、2023年の親魚量は1.8万トンであった。

令和2年7、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。本系群の再生産関係には自己相関を考慮したリッカー型とベバートン・ホルト型の重み付き平均モデルが適用されており、目標管理基準値はこれに基づき推定された最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量（SB_{msy}、6.0万トン）である。2023年の親魚量はSB_{msy}を下回る。2023年の漁獲圧はSB_{msy}を維持する漁獲圧（F_{msy}）を上回る。親魚量の動向は直近5年間（2019～2023年）の推移から減少傾向と判断される。2025年の親魚量および資源量の予測値から漁獲シナリオに基づき算出された2025年のABCは1.5万トンである。

要 約 図 表



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)	60 千トン
2023 年の親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る
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	減少
MSY	38 千トン
2025 年の ABC	15 千トン
コメント: ・ ABC の算定には、令和 2 年 7、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、0.8 が用いられる。	

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 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F/Fmsy	漁獲割合 (%)
2019	39	23	16	1.36	41
2020	40	22	16	1.19	39
2021	36	19	15	1.26	41
2022	37	17	15	1.38	40
2023	46	18	22	1.79	47
2024	49	20	21	1.54	43
2025	56	21	15	0.80	27

・ 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(青森～宮崎(17)府県) 生物情報収集調査(水産機構、青森～宮崎(17)県、JAFIC)
資源量指数 ・加入量指標値	宮崎県南部定置網0歳魚 CPUE(宮崎県)* 宇和島港まき網0歳魚 CPUE(愛媛県)* 宿毛湾中型まき網0歳魚 CPUE(高知県)* 串本棒受網0歳魚漁獲量(和歌山県)* 伊勢湾まめ板網0歳魚 CPUE(愛知県)* 千葉県定置網0歳魚 CPUE(千葉県)*
・親魚量指標値	卵稚仔調査(周年、水産機構、青森～宮崎(17)府県)*
自然死亡係数(M)	年当たりM=0.5を仮定(田中 1960)
漁獲努力量	漁業・養殖業生産統計年報(農林水産省) 北部太平洋まき網漁獲努力量(JAFIC)

*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

マアジ太平洋系群の分布域を図 2-1 に、主な漁場を図 2-2 に示した。日本近海のうち太平洋および隣接海域に分布するマアジには、東シナ海を主産卵場とする群と本州中部以南の地先で産卵する群がいると考えられている。その結果、太平洋沿岸の海域では加入時期の異なる群が混在し、それらは2～4月に東シナ海で生まれたものと5月以降に本州中部以南の地先で生まれたものから構成されると考えられている(木幡 1972)。また、東シナ海からの加入群(横田・三田 1958)の多寡が資源水準を左右するとも考えられている(古藤 1990)。

(2) 年齢・成長

1年で尾叉長18cm、2年で24cm程度に成長する(図 2-3)。成長は分布海域によって異なると考えられており(多賀・山下 2018、渡邊ほか 2022)、本系群の成長過程に対する広域的な調査が望まれる。本系群では4歳魚以上の漁獲は非常に少ないが、そのような漁獲物には耳石に刻まれた輪紋数が10を越える個体が含まれるとの報告がある(多賀・山下 2018、Katayama et al. 2019、高村ほか 2020)。

(3) 成熟・産卵

産卵期は南部ほど早く、豊後水道、紀伊水道外域などでは冬から初夏であり(阪本ほか

1986、薬師寺 2001、阪地 2001)、相模湾では春から初夏(木幡 1972、澤田 1974)である。1歳で50%、2歳以上で100%が成熟すると考えられている(図2-4)。

(4) 被捕食関係

仔稚魚は成長するにつれて大型の動物プランクトンを摂餌し、幼魚以降では魚食性が強くなる(三谷ほか 2001)。本種は大型の魚類などにより捕食される。

(5) 特記事項

先に述べたように、太平洋沿岸域には、主に本州中部以南の地先で発生した集団と東シナ海で発生した集団とが混在すると考えられている。現在、各分布海域において、漁期、成長履歴、遺伝形質などの特徴から、群れを構成する個体の発生源を判別するための科学的調査が行われている(例えば、Ishikawa et al. 2021)。これらの調査により、太平洋系群に対する東シナ海起源の個体の寄与の程度、およびその年変動について解明されることが望まれる。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

まき網漁業による漁獲が全体の約6割を占め、次いで定置網による漁獲が約3割を占める。相模湾では春が漁期の主体になることが多いのに対して、日向灘、豊後水道、紀伊水道から熊野灘では春から秋にかけて漁獲される。これらの海域では春から0歳魚が、年初から1歳魚が漁獲され始める。千葉県以北の海域では1歳魚や2歳魚の漁獲が多い。

(2) 漁獲量の推移

太平洋北～太平洋南区(北海道太平洋北部～宮崎県)における漁獲量の推移を図3-1と表3-1に示した。1982年以降では、1982～1985年には2万トン以下であったが、1986年に急増して3.7万トンとなり、1993～1997年には7万～8万トンと高い水準で推移した。1997年以降は減少傾向に転じたが、2023年の漁獲量は2.2万トンとなった。近年の漁獲量に占める各海域の割合は、太平洋南区(和歌山県～宮崎県)が6割、太平洋中区(千葉県～三重県)が3割、太平洋北区(青森県～茨城県)が1割程度であるが、2023年の割合については、太平洋南区が4割、太平洋中区が5割、太平洋北区が1割程度であった。本系群の外国漁船による漁獲はない。なお、図3-1および表3-1に示した漁獲量は、漁業・養殖業生産統計年報に記載された数値に基づき、太平洋各県に計上されている漁獲量から、大中型まき網漁業漁獲成績報告書により東シナ海で漁獲されたと判定された分(水産庁提供)を差し引いた値を用いた。2014～2023年の太平洋側都府県所属船による日本海での漁獲量が太平洋側の漁獲量として計上されていた分についても修正している。また、1989～2001年にかけての混獲魚(主にサバ類)の漁獲量が漁業・養殖業生産統計年報のマアジの漁獲量に計上されている分も差し引いている。

年齢別漁獲尾数の推移を図3-2に示した。漁獲の主体は0歳魚と1歳魚である。2015年の0歳魚の漁獲尾数は1982年以降で最低の6,600万尾であり、その後は横ばい傾向となっていたが、2023年の0歳魚漁獲尾数は2億9,000万尾であり2009年以降では最も多くな

った。ただし、0歳魚漁獲尾数が多かった1990～2008年（2億1,800万～8億6,700万尾）と比較すると低い水準にある（図3-2、補足表2-1）。全年を通して0歳魚漁獲尾数は宮崎県～高知県で多かった。

(3) 漁獲努力量

主要な漁業はまき網と定置網である。図3-3に漁業・養殖業生産統計年報による2000～2018年の大型定置網の漁労体数と漁業情報サービスセンター（JAFIC）が集計した2000～2023年の北部太平洋まき網の有効努力量の推移を示した。太平洋北区で操業する北部太平洋まき網の年間有効努力量は2000～2005年に急減し、その後は緩やかな減少傾向にあったが、2018年以降は非常に低い水準で推移している。2023年の努力量は2018年以降では最も多かった。大型定置網の漁労体数は2000年以降太平洋南区では横ばい、太平洋中区では緩やかな減少傾向となっている。一方、太平洋北区では2007～2016年の統計値が非公表であるため推移は不明である。なお、大型定置網の漁労体数調査は2019年より廃止となった。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

1982年以降の年齢別漁獲尾数（図3-2、補足表2-1）に基づいて、コホート解析により年齢別資源尾数、資源量、漁獲係数 F などを推定した（補足資料1、2）。年齢と尾叉長の関係を補足表2-2に示す。解析手法としては、直近年の F に顕著な過大推定の傾向があるため、 F の大きさに応じてペナルティを課す推定方法（リッジVPA; Okamura et al. 2017）を本年度資源評価より採用した（補足資料2）。資源量指標値としては、以下の「(2) 資源量指標値の推移」に示す指標値を用いた。本年度資源評価では2005～2023年の加入量指標値に加えて、2013～2023年の親魚量指標値をVPAのチューニングに用いた（補足資料2、補足表2-3）。自然死亡係数 M は、4歳以上の漁獲が非常に少ないことから寿命を便宜的に5歳と仮定し、田中（1960）に基づき0.5とした。

(2) 資源量指標値の推移

加入量の指標値には、以下に示す0歳魚を漁獲対象とする各県各漁法の6種類のデータを用いた（図4-1、補足資料2、補足表2-3）。

- ① 宮崎県南部定置網 CPUE：4～6月に宮崎県南郷漁協の定置網に入網するアジ仔銘柄（0歳魚）の標準化 CPUE（月別漁獲量/水揚日数）
- ② 宇和島港まき網 CPUE：4月～翌年3月に愛媛県宇和島港に水揚げされる中型まき網によるゼンゴ銘柄（0歳魚）の Directed CPUE（日別漁獲量/水揚日数）
- ③ 宿毛湾中型まき網 CPUE：4月～翌年3月の高知県宿毛湾において中型まき網により漁獲されるゼンゴ銘柄（0歳魚）の標準化 CPUE（日別漁獲量/出漁隻数）
- ④ 串本棒受網漁獲量：5～6月の和歌山県串本においてマアジ0歳魚を対象とする棒受網の漁獲量
- ⑤ 伊勢湾まめ板網 CPUE：4月～翌年3月の伊勢湾における愛知県小型底びき網（まめ板網）による0歳魚の標準化 CPUE（月別漁獲量/出漁隻数）

⑥ 千葉県定置網 CPUE：10月～翌年3月の千葉県鴨川沖定置と灘定置におけるジンダ銘柄（0歳魚）の標準化 CPUE（月別漁獲量/水揚日数）

2021年度評価から②宇和島港まき網についてゼンゴの狙い操業を考慮した Directed CPUE（添付資料 FRA-SA2024-SC09-206）を加入量指標値として用いている。2023年度評価から①宮崎県南部定置網、③宿毛湾中型まき網、⑤伊勢湾まめ板網、および⑥千葉県定置網について一般化線形モデルによる標準化 CPUE（添付資料 FRA-SA2024-SC09-202、FRA-SA2024-SC09-203、FRA-SA2024-SC09-204、FRA-SA2024-SC09-205）を加入量指標値として用いている。これら6種類の加入量指標値については、2005年以降、全体的に減少傾向を示すものが多い。2021年には①を除き増加した。2022年には②と⑤以外は減少し、2023年には③と⑥以外は減少した（図4-1、補足表2-3）。

親魚量の指標値には、標準化した平均卵密度のデータを用いた（図4-1、補足表2-3、添付資料 FRA-SA2024-SC09-207）。平均卵密度は全体的に緩やかな減少傾向を示している。

(3) 資源量と漁獲圧の推移

資源量は、1982年から1990年代始めにかけて増加したが、1996年の16.2万トンを経点として減少に転じた（図4-2、4-3、表3-1）。2015年以降は横ばい傾向にあったが、2023年の資源量は2022年よりも0.9万トン増加し、4.6万トンと推定された。親魚量も、1982年以降増加し、1992年に最高値の6.4万トンとなった。1993～2000年に5万トン前後で推移した後、2001年以降は減少傾向となった。近年も減少傾向で推移しており、2023年の親魚量は1.8万トンと推定された。加入量（0歳資源尾数）も、1993年に24億尾と最大になった後に減少傾向となったが、2022年以降は増加傾向で推移しており、2023年の加入量は2022年よりも1.4億尾増加し、5.7億尾と推定された（図4-4、表3-1）。自然死亡係数（M）の値を0.5に対して0.4および0.6とした場合の2023年の資源量および親魚量について図4-5に示した。Mの値が高いほどいずれの推定値も増加したが、トレンドは変わらなかった。再生産成功率は、1986年（47.0尾/kg）や1993年（61.3尾/kg）に高い値を示しつつ、1982～2011年には概ね20尾/kg以上で推移した（表3-1）。一方、2012年以降は2016年を除くと20尾/kgを下回る低い水準で推移していたが、2022年は26.0尾/kg、2023年は32.3尾/kgに増加した。

各年齢の漁獲係数（F）の推移を図4-6に示した。0歳に対するFは、総じて1歳以上より低く、1歳以上に対するFが下がる年にやや上昇する傾向を示していたが、2023年のFは、0歳では1.05、1歳では0.89、2歳と3歳以上では0.79と推定された（補足表2-1、3-3）。漁獲割合は33～53%の範囲で推移しており、2023年は47%と高い値であった（図4-7、表3-1）。

昨年度評価と比べると、2019年以前の推定値に大きな違いはないものの、2020～2022年の資源量、親魚量、加入尾数が下方修正された（補足図5-1、5-2、5-3、補足表5-1、5-2、5-3）。本年度から用いた平均卵密度による親魚量指標値の減少傾向によって、親魚量が下方修正になったと考えられる。2020年級群と2021年級群は2023年には3歳魚と2歳魚となるが、2023年の漁獲尾数は3歳以上が400万尾、2歳魚が1,100万尾と少なく、遡って2020年と2021年の加入尾数が下方修正されたと考えられる。2023年の加入量指標値の全体的な減少傾向も0歳魚だけでなく他の年齢のFを上方修正して、資源量、親魚量、加入

尾数の下方修正に影響を与えたと考えられる。

(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、漁獲が無かった場合との比較を行った。図 4-8 と表 3-1 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、1982 年以降 7.5~23.1% で推移していたが、2023 年には 8.4% と過去最小値に近い値となった。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 12.6% となった (補足表 3-3)。

最大持続生産量 MSY を実現する親魚量水準 (SBmsy) を維持する F (Fmsy) に対する YPR と %SPR の関係を図 4-9 に示す。ここでの F の選択率としては令和 2 年 3 月に公開された「管理基準値等に関する研究機関会議報告書」において Fmsy の推定に用いた値 (井須ほか 2020) を使用した (補足表 2-6)。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 21.6% に相当する (補足表 3-2)。現状の漁獲圧 (F2021-2023) は、Fmsy や F30%SPR を上回る (図 4-9)。また、YPR 管理の観点からも、F2021-2023 は F0.1 や Fmax を上回っている。

(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 4-10 に示す。上述の「管理基準値等に関する研究機関会議報告書」において、本系群の再生産関係式にはリックカー型とベバートン・ホルト型の重み付け平均モデルを用いることが提案されている (井須ほか 2020)。再生産関係式の各パラメータを補足表 3-1 に示す。再生産関係式のパラメータ推定に使用したデータは、令和元 (2019) 年度の資源評価 (中神ほか 2020) に基づく 1982~2017 年の親魚量・加入量であり、最適化方法には最小二乗法が用いられている。なお、上述した東シナ海で発生した集団の移入は、加入量の年変動の一部として取り扱われ、加入量の残差の自己相関を両モデルに組み込むことで考慮されている。

(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 月に公開された「管理基準値等に関する研究機関会議報告書」(井須ほか 2020) で推定された現在 (1982 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 を維持する漁獲圧 (Fmsy) を補足表 3-2 と図 4-11 に示す。令和 2 年 7、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、SBmsy (6.0 万トン) が資源管理基本方針の漁獲シナリオの目標管理基準値として定められた (<https://www.jfa.maff.go.jp/j/suisin/#link1>)。また、MSY の 60% の漁獲量が得られる親魚量 (1.5 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 (1,700 トン) が禁漁水準と定められた。

(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 4-12 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。本系群における親魚量は 1991～1992 年を除いて SBmsy を下回る値で推移しており、2023 年の親魚量も SBmsy の 0.30 倍である（補足表 3-3）。また、本系群の漁獲圧は 2012 年を除いて Fmsy を上回る値で推移しており、2023 年の漁獲圧は %SPR で比較すると Fmsy の 1.79 倍である（表 3-1）。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 Fmsy の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して求めた値と、各年の F 値との比である。親魚量の動向は、直近 5 年間（2019～2023 年）の推移から減少傾向と判断される（図 4-3）。

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 2024～2051 年の将来予測計算を行った（補足資料 2）。この将来予測では加入量の不確実性を考慮した。再生産関係式を用いて各年に予測される親魚量から加入量を予測し、その予測値に対数正規分布に従う誤差を与えることで加入量の不確実性を考慮した。対数正規分布から無作為抽出した誤差を予測値に与える計算を 10,000 回行い、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。

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対応した漁獲管理規則を図 5-1 に示す。この漁獲管理規則は、親魚量が限界管理基準値以上にある場合には Fmsy 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り、調整係数 β には 0.8 が用いられる。

(3) 2025 年の予測値と ABC の算定

漁獲シナリオに対応した漁獲管理規則から算定される 2025 年の平均予測漁獲量である 1.5 万トンを ABC として提示する（補足表 3-4）。2025 年に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも限界管理基準値を 99% の確率で上回り（表 4-1）、平均 2.1 万トンと見込まれた（表 4-2、補足表 3-4）。

(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 5-2 および表 4-1、4-2、4-3 に示す。漁獲シナリオに対応した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平均 7.0 万トン（90% 予測区間は 3.5 万～12.8 万トン）であり、予測値が目標管理基準値を上回る確率は 58%、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 ($F_{2021-2023}$) を継続

した場合の将来予測結果についても補足表 3-5 に示す。2031 年の親魚量の予測値は、 β を 0.9 とした場合は平均 6.3 万トン（90%予測区間は 3.0 万～11.3 万トン）であり、目標管理基準値を上回る確率は 49%、限界管理基準値を上回る確率は 100%以上である。 β を 1.0 とした場合は平均 5.7 万トン（90%予測区間は 2.6 万～10.2 万トン）であり、目標管理基準値を上回る確率は 37%、限界管理基準値を上回る確率は 100%以上である。一方、現状の漁獲圧を継続した場合の親魚量の予測値は 3.2 万トン（90%予測区間は 1.0 万～6.4 万トン）であり、目標管理基準値を上回る確率は 6%、限界管理基準値を上回る確率は 84%である。

6. 資源評価のまとめ

2023 年の資源量は 4.6 万トン、親魚量は 1.8 万トンで MSY を実現する水準（SBmsy）を下回っている。漁獲圧は SBmsy を維持する漁獲圧（Fmsy）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「減少」と判断される。2024 年の親魚量は限界管理基準値を上回り、2025 年の ABC は 1.5 万トンと算定された。

7. その他

現状の漁獲圧は最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量（SBmsy）を維持する漁獲圧（Fmsy）より高く、F0.1 や Fmax といった YPR 管理の観点からみた基準値に照らし合わせても過大と考えられる（図 4-9）。MSY を実現する水準以上まで親魚量を増加させるためには、現状以下の漁獲圧を継続する必要がある。

モデル診断の結果から、本評価における近年の資源尾数や漁獲圧の不確実性は高いと考えられる（添付資料 FRA-SA2024-SC09-208）。資源量指標値の検討に加え、海域別の生物特性や東シナ海発生群の移入様式についての科学的知見を集積するなど、精度向上に向けた作業を引き続き進める必要がある。

未成魚である 0 歳魚を保護することは資源の回復に有効と考えられるが、本資源は西日本を中心に幼魚期でも食用として利用されていることに加え、体サイズにより流通・消費形態も異なる。それぞれの需要を考慮した適切な漁獲量を検討することも重要と考えられる。

8. 引用文献

- Ishikawa, K., C. Watanabe, T. Kameda, T. Tokeshi et al. (2021) Spatiotemporal variability in the occurrence of juvenile Japanese jack mackerel *Trachurus japonicus* along coastal areas of the Kuroshio Current. *Fish. Oceanogr.* <https://doi.org/10.1111/fog.12538>
- 井須小羊子・由上龍嗣・中神正康・渡邊千夏子・高橋紀夫・上村泰洋・古市 生・渡部亮介 (2020) 令和 2 (2020) 年度マアジ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-BPR01-3. http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_maaji_p.pdf (last accessed 15 July 2020)
- Katayama, S., H. Yamada, K. Onodera and Y. Masuda (2019) Age and growth from Oita and Miyagi prefectures of Japanese jack mackerel *Trachurus japonicus*. *Fish. Sci.*, **85**, 475-481.
- 木幡 孜 (1972) 相模湾重要魚種の生態 II. マアジ *Trachurus japonicus* (Temminck et Schlegel) について. 神奈川県水産試験場相模湾支所報告昭和 46 年度事業報告, 55-72.

- 古藤 力 (1990) 太平洋岸におけるマアジ資源の動向について. 水産海洋研究会報, **54**, 47-49.
- 三谷卓美・上原伸二・石田 実・阪地英男 (2001) 平成 13 年マアジ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価 (魚種別系群別資源評価) 第一分冊, 水産庁増殖推進部・独立行政法人水産総合研究センター, 東京, 11-22.
- 中神正康・井須小羊子・渡邊千夏子・由上龍嗣・上村泰洋・古市 生・渡部亮介 (2020) 令和元 (2019) 年度マアジ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, 1-36.
- <http://abchan.fra.go.jp/digests2019/details/201903.pdf> (last accessed 15 July 2020)
- 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**, 2424-2436.
- 阪地英男 (2001) 高知県宿毛湾におけるマアジ (「きあじ」タイプ) の産卵期と成熟年齢. 黒潮の資源海洋研究, **2**, 39-44.
- 阪本俊雄・武田保幸・竹内淳一 (1986) 沿岸重要資源の管理に関する研究 (概報). 昭和 59 年度和歌山県水産試験場事業報告, 43-52.
- 澤田貴義 (1974) 伊豆近海におけるマアジの成長と成熟について. 静岡県水産試験場研究報告, **7**, 25-31.
- 多賀 真・山下 洋 (2018) 常磐南部～房総海域で漁獲されるマアジの年齢と成長, 成熟. 水産海洋研究, **82**, 167-175.
- 高村正造・鈴木勇己・荻原真我・古市 生・渡邊千夏子 (2020) 資源低水準期における相模湾および相模灘で漁獲されるマアジの成熟特性. 水産海洋研究, **84**, 79-88.
- 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.
- 渡邊千夏子・後藤直登・武田崇史・岡田 誠・長谷川淳 (2022) 太平洋沿岸域に分布するマアジの成長の海域差. 水産海洋研究, **86**, 123-131.
- 薬師寺房憲 (2001) 豊後水道におけるマアジ *Trachurus japonicus* (Temminck et Schlegel) の成熟と相対成長. 黒潮の資源海洋研究, **2**, 17-21.
- 横田滝雄・三田典子 (1958) 太平洋南区のアジ、サバ類の研究に関する諸説. 南海水研報, **9**, 1-59.

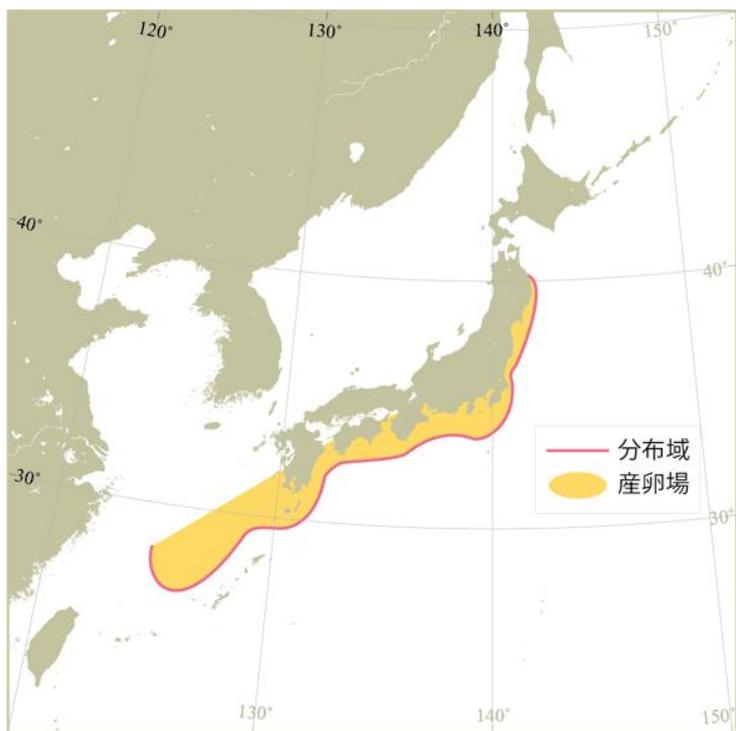


図 2-1. 分布域と産卵場

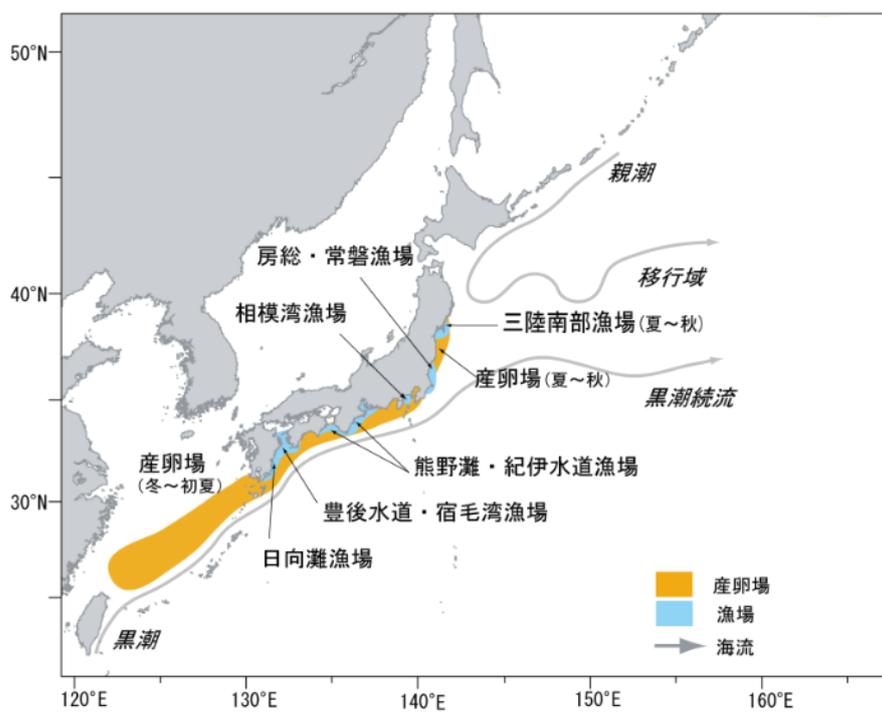


図 2-2. 漁場形成模式図

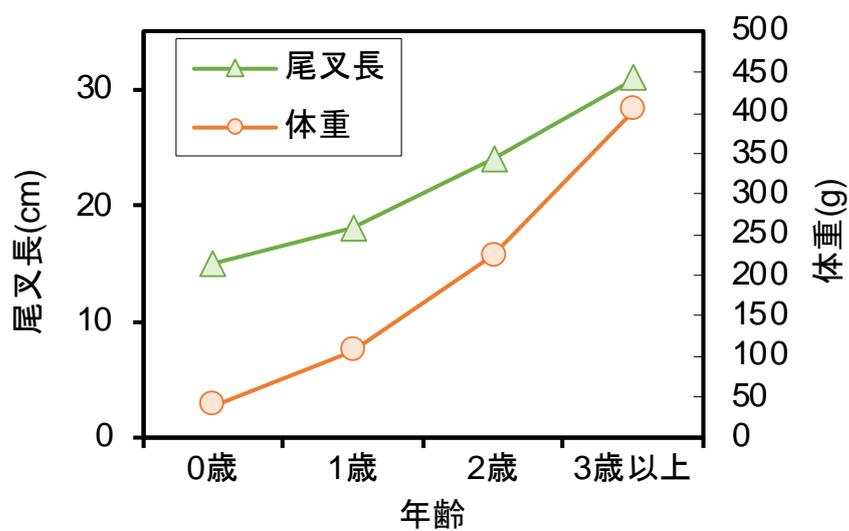


図 2-3. 年齢と成長の関係

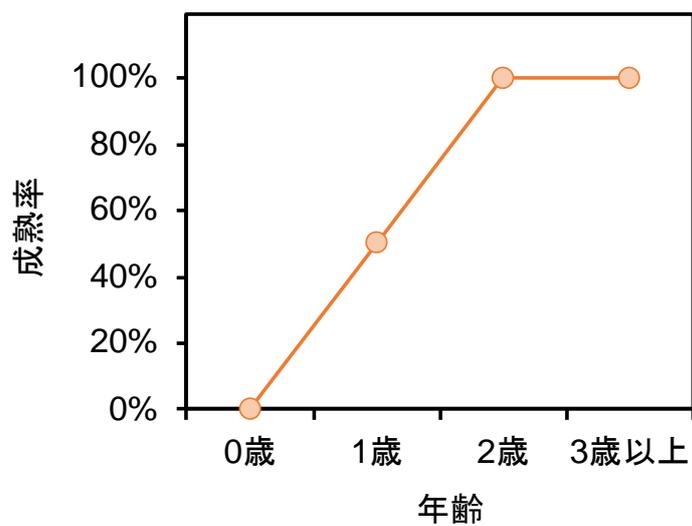


図 2-4. 年齢と成熟率の関係

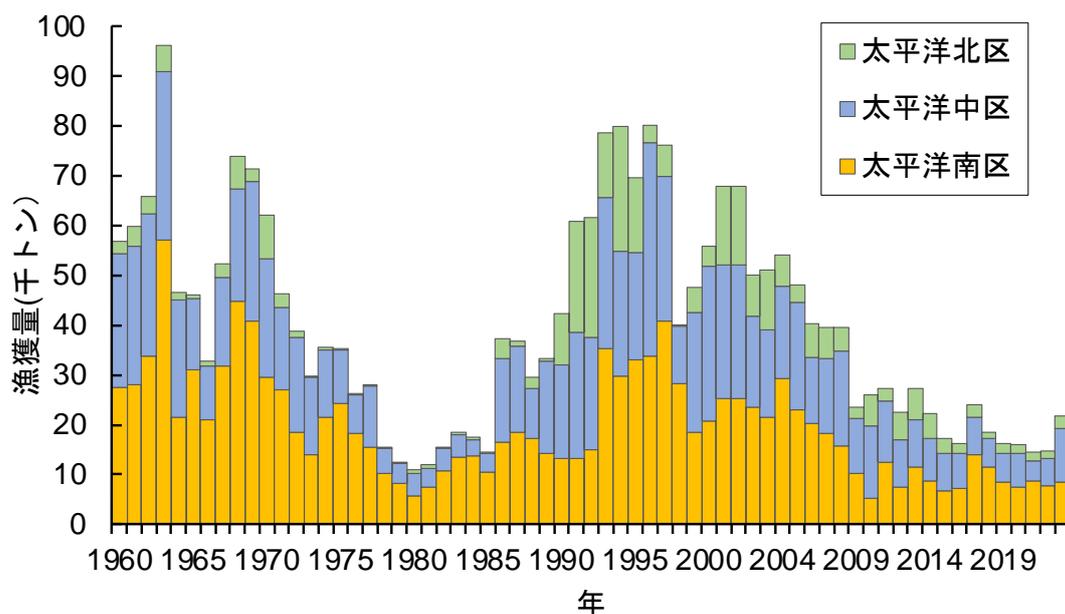


図 3-1. 漁獲量の経年変化

漁業・養殖業生産統計年報太平洋海區別漁獲量から、他海区操業漁獲量および混獲魚漁獲量がマアジとして計上された分を差し引いた。

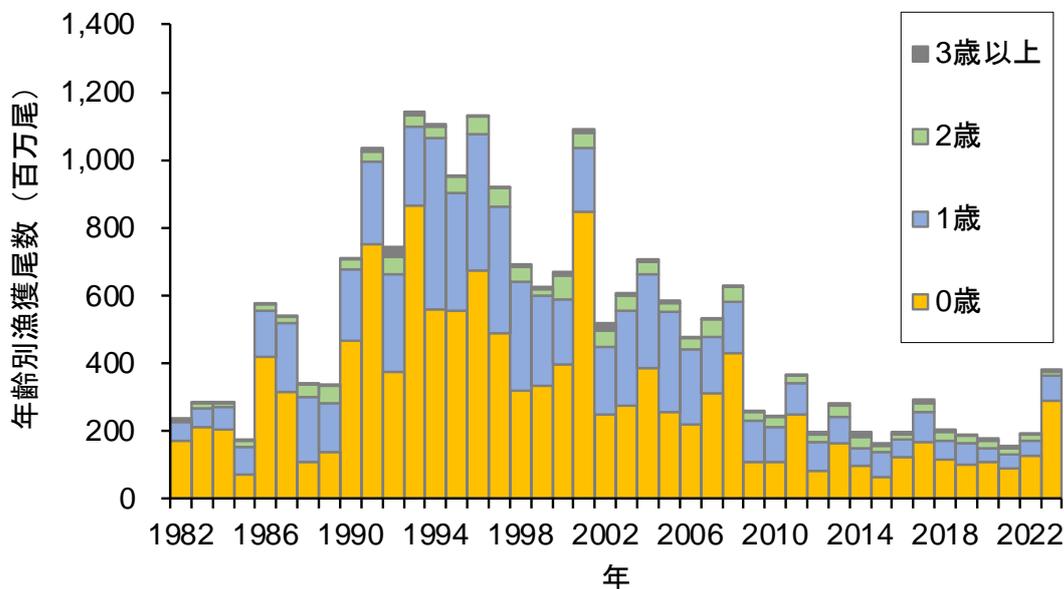


図 3-2. 年齢別漁獲尾数の経年変化

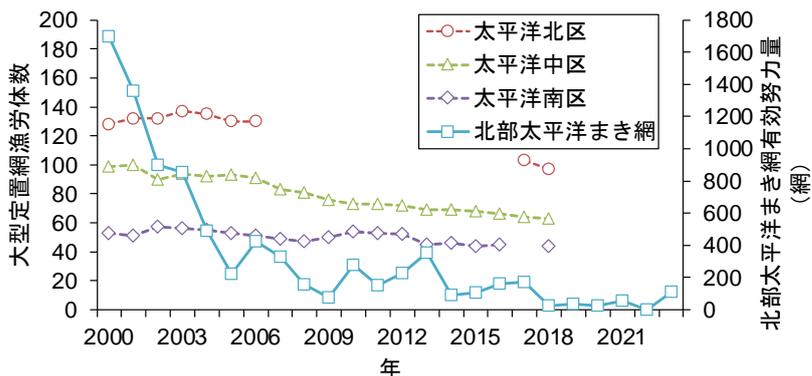
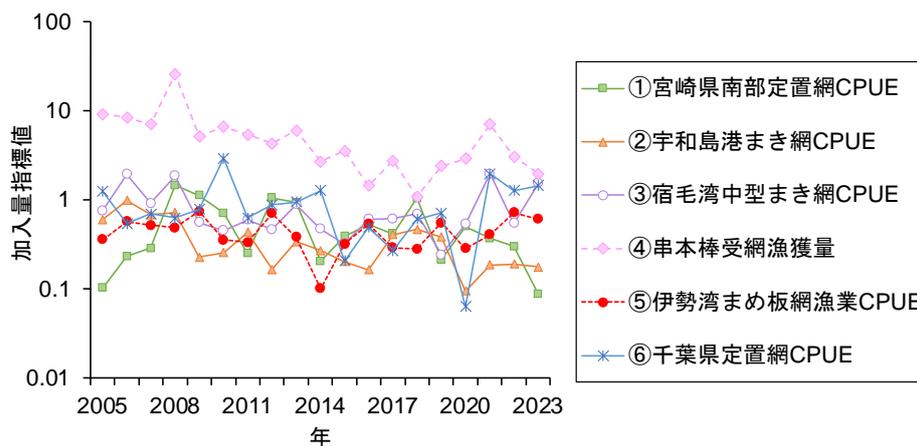


図 3-3. 2000～2018 年の大型定置網の漁労体数（点線）と 2000～2023 年の北部太平洋まき網の有効努力量（実線）の推移
 2007～2016 年の太平洋北区と 2017 年の太平洋南区の大型定置網漁労体数の値は非公表である。大型定置網の漁労体数調査は 2019 年より廃止となった。

a) 加入量指標値



b) 親魚量指標値

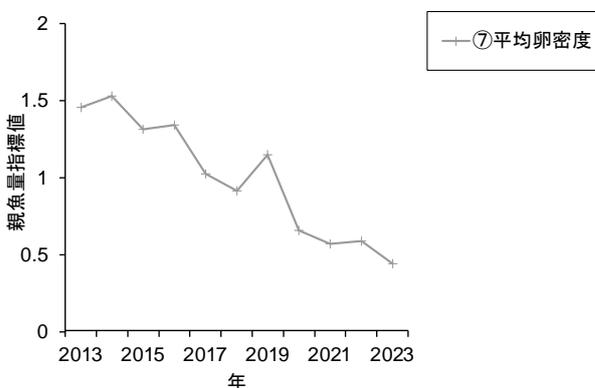


図 4-1. 加入量指標値と親魚量指標値の推移

a) 加入量指標値については、単位の異なる各指数の年変化を相対的に示すため縦軸は対数とした。

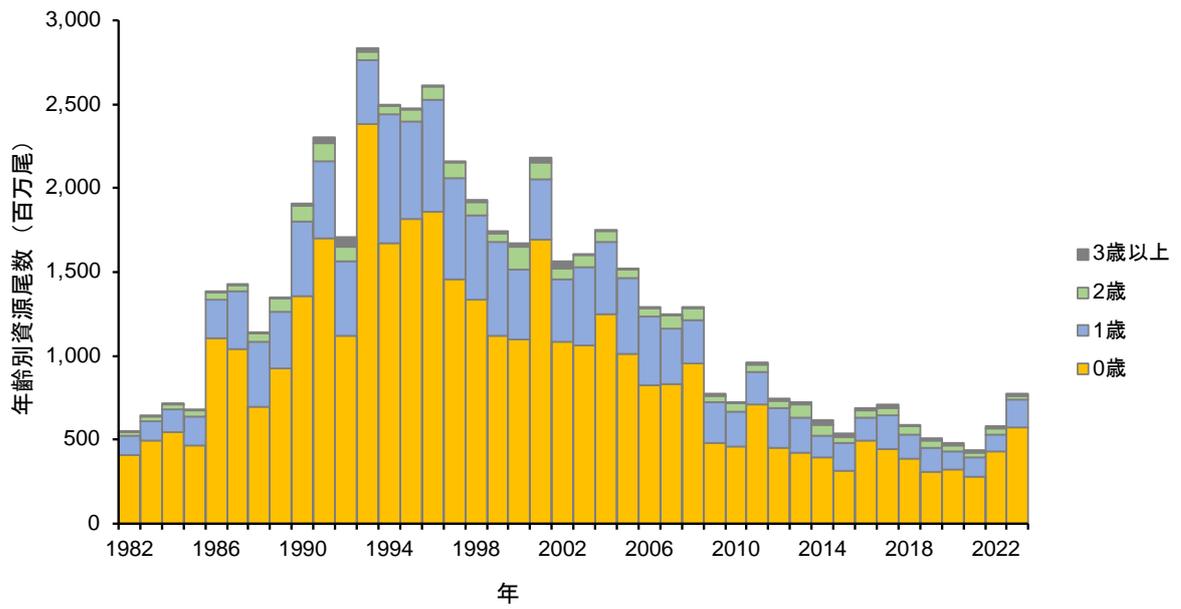


図 4-2. 年齢別資源尾数の経年変化

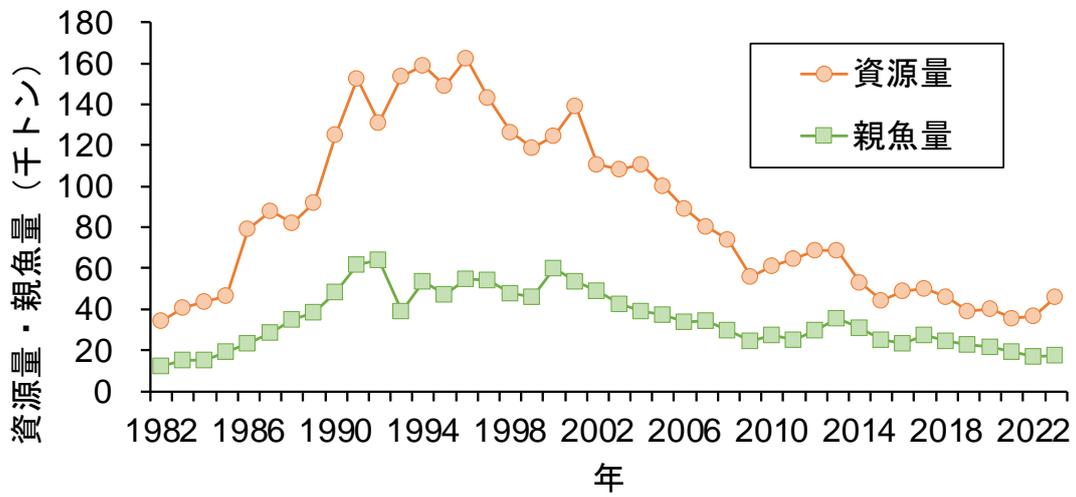


図 4-3. 資源量と親魚量の経年変化

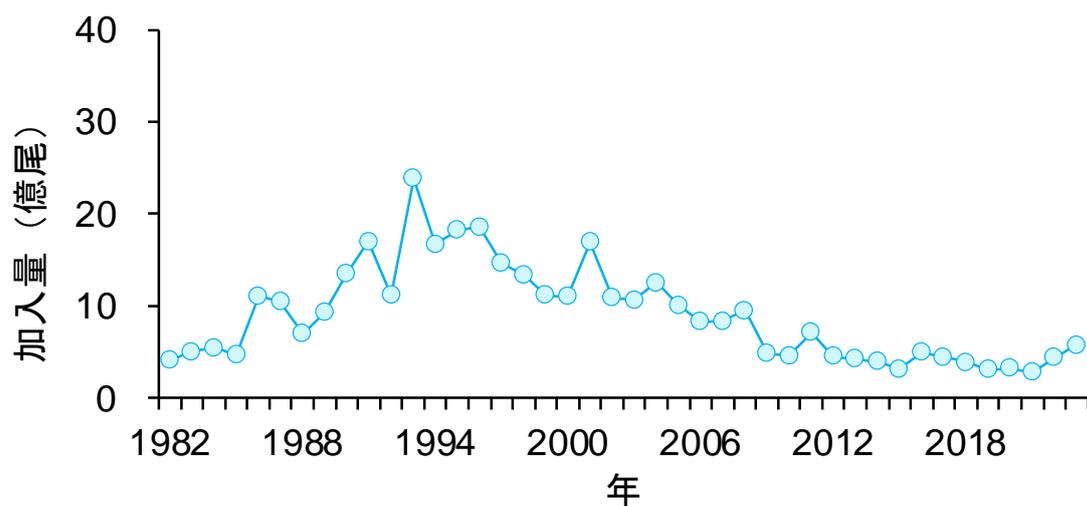


図 4-4. 加入量の経年変化

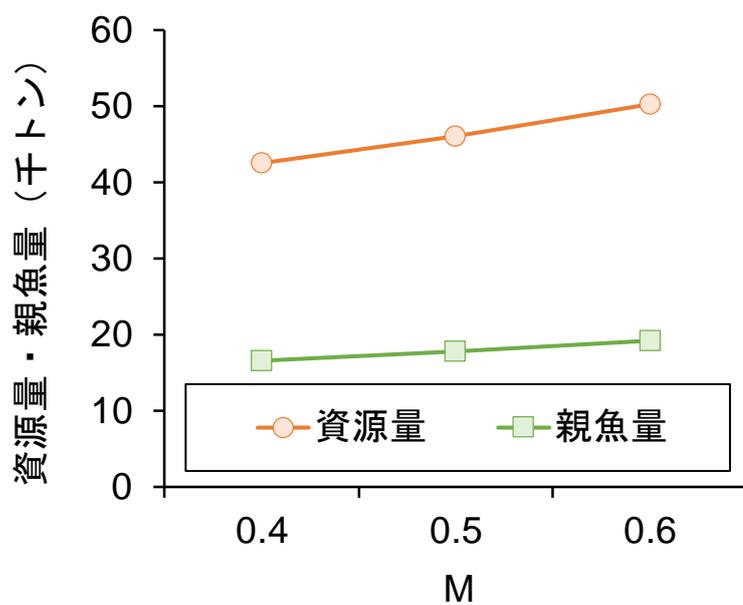


図 4-5. 自然死亡係数 M を変化した場合の 2023 年の資源量と親魚量

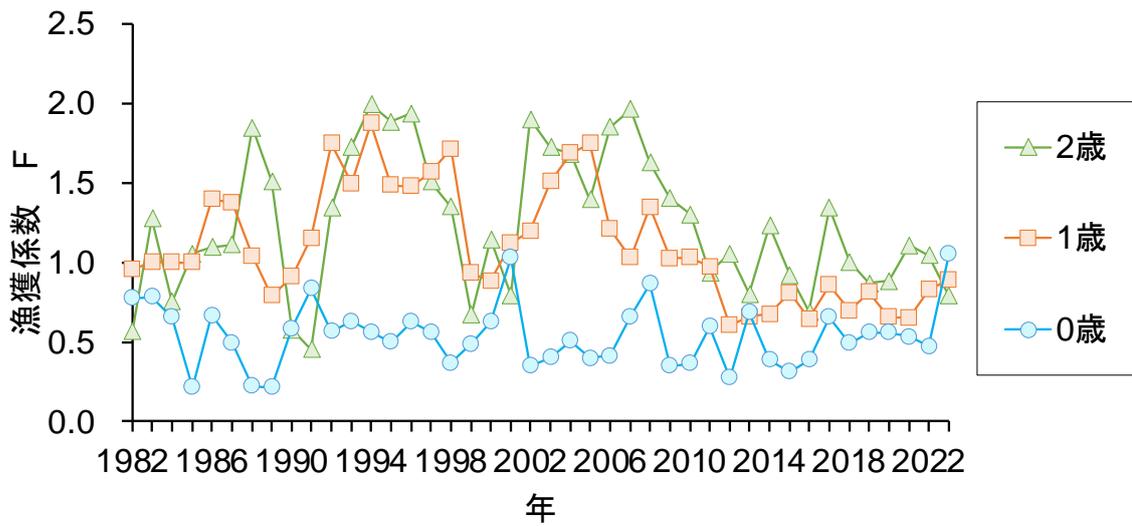


図 4-6. 年齢別漁獲係数 F の経年変化

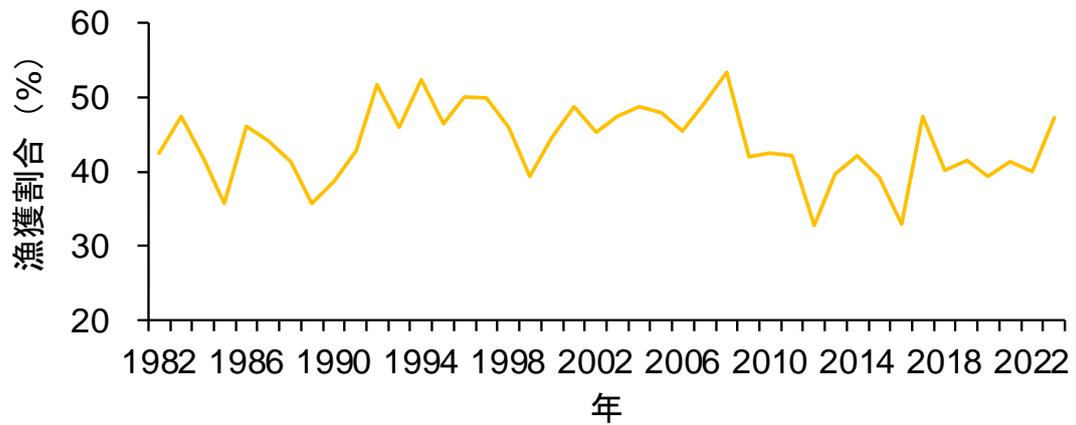


図 4-7. 漁獲割合の経年変化

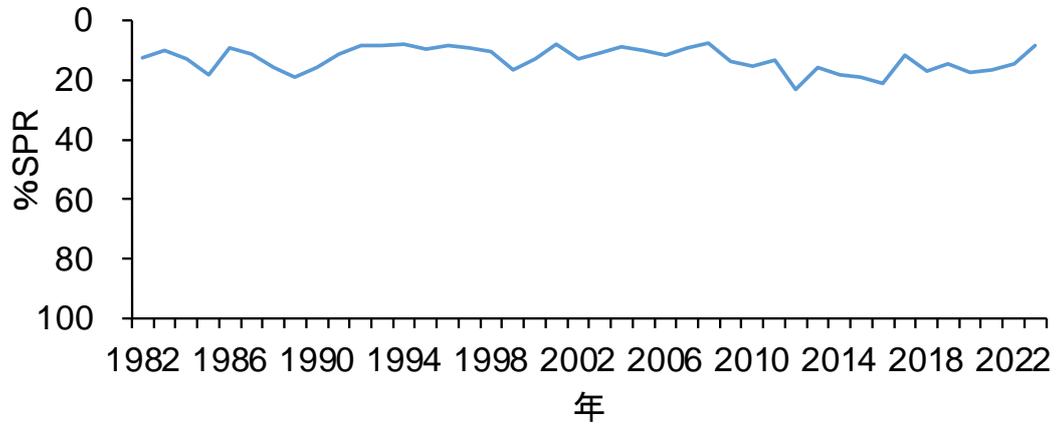


図 4-8. %SPR の経年変化

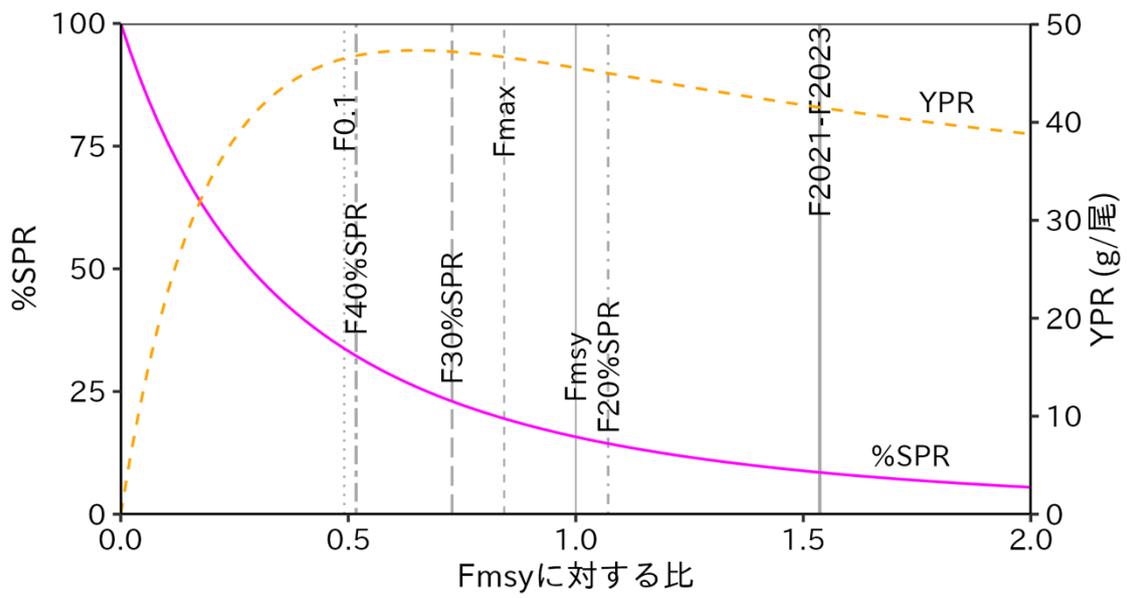
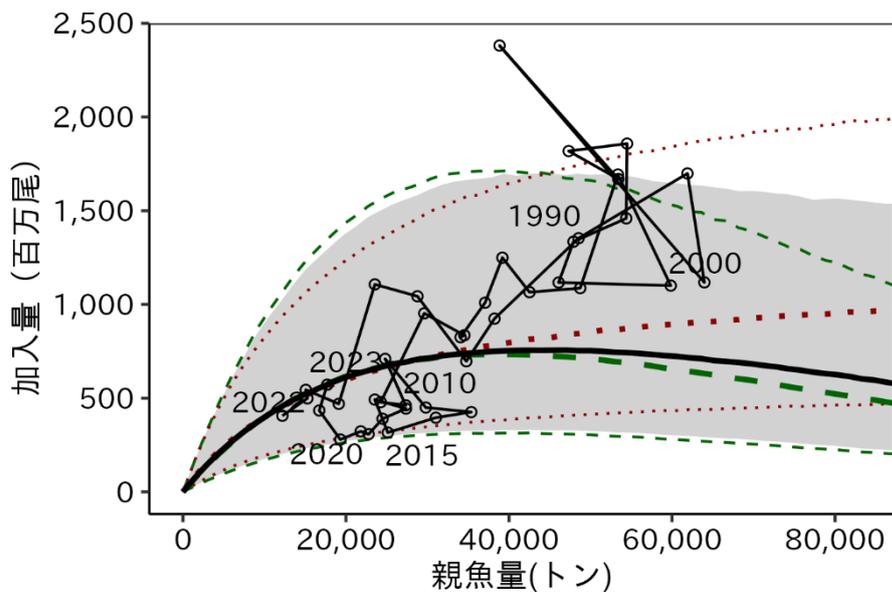


図 4-9. Fmsy に対する YPR と %SPR の関係



上図の拡大

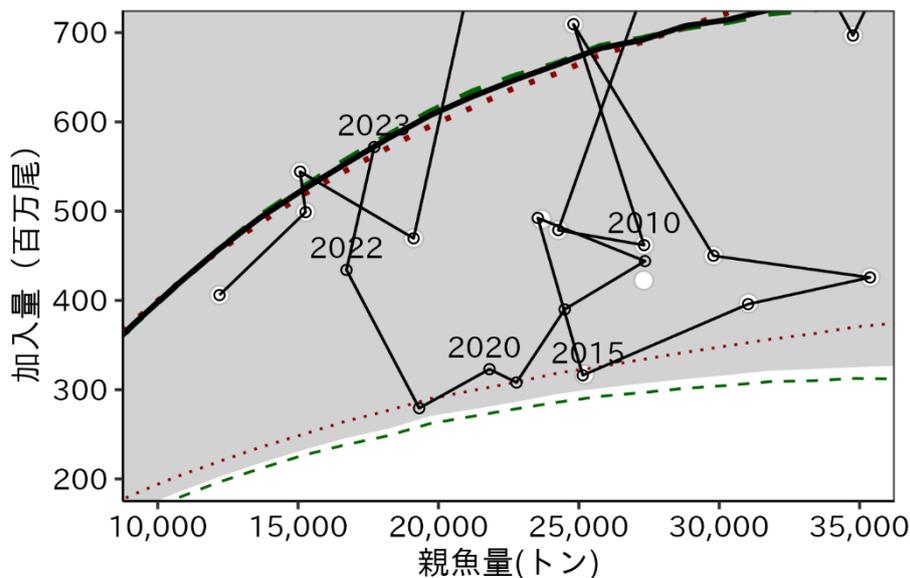


図 4-10. 親魚量と加入量の観測値（白抜丸印および実線：1982～2023 年）、および本系群で適用した再生産関係（黒曲線）と仮定した再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲（灰色領域）

リッカー型（緑）およびベバートン・ホルト型（赤）の予測値（太線）と観察データの 90%が含まれると推定される範囲（細線）も合わせて示した。各再生産関係式のパラメータは令和 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」（井須ほか 2020）に示された値に基づく。白丸印は再生産関係を求めるのに使用した令和元（2019）年度資源評価における親魚量と加入量の観測値（1982～2017 年）。

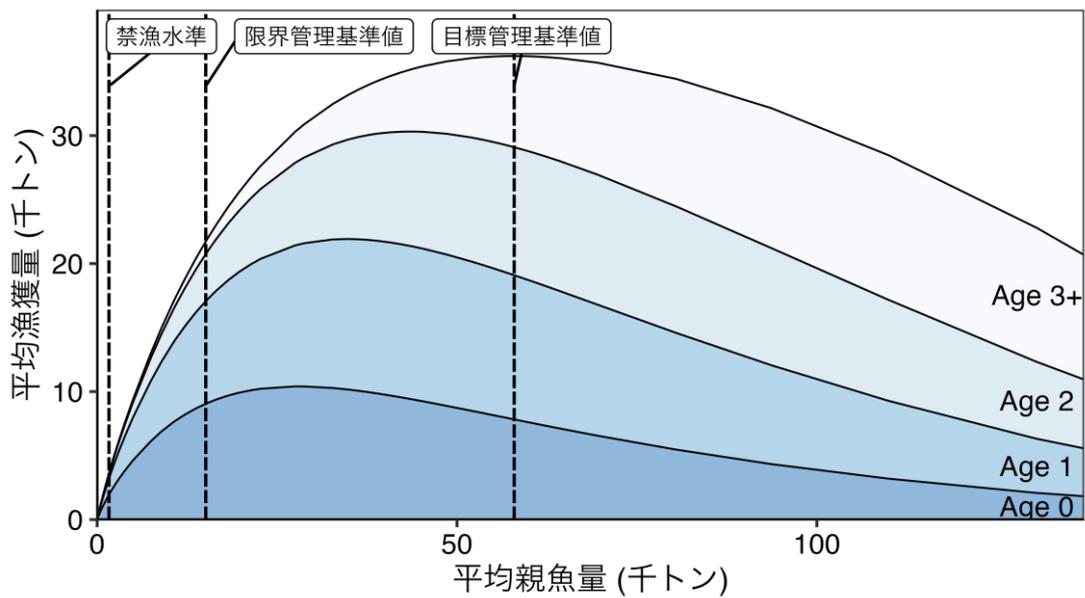


図 4-11. 目標管理基準値、限界管理基準値および禁漁水準と漁獲量曲線の関係

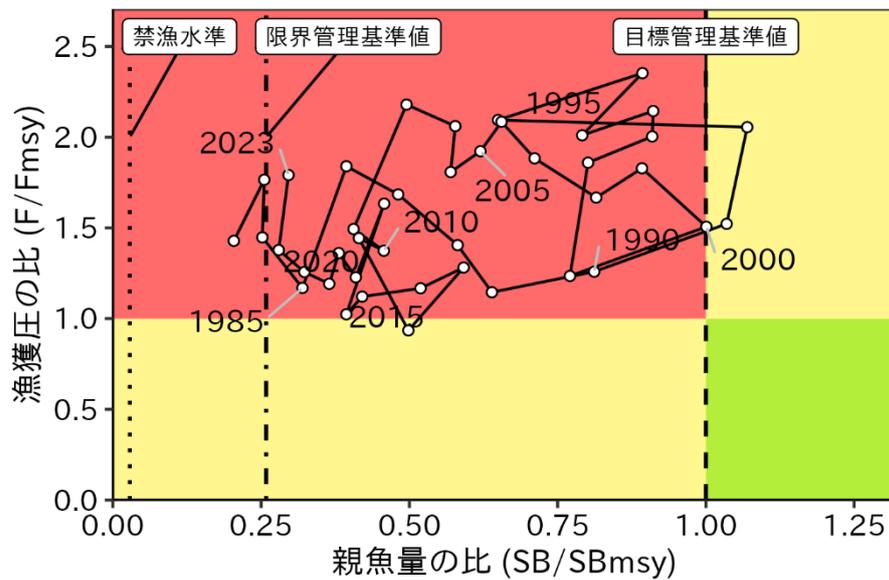
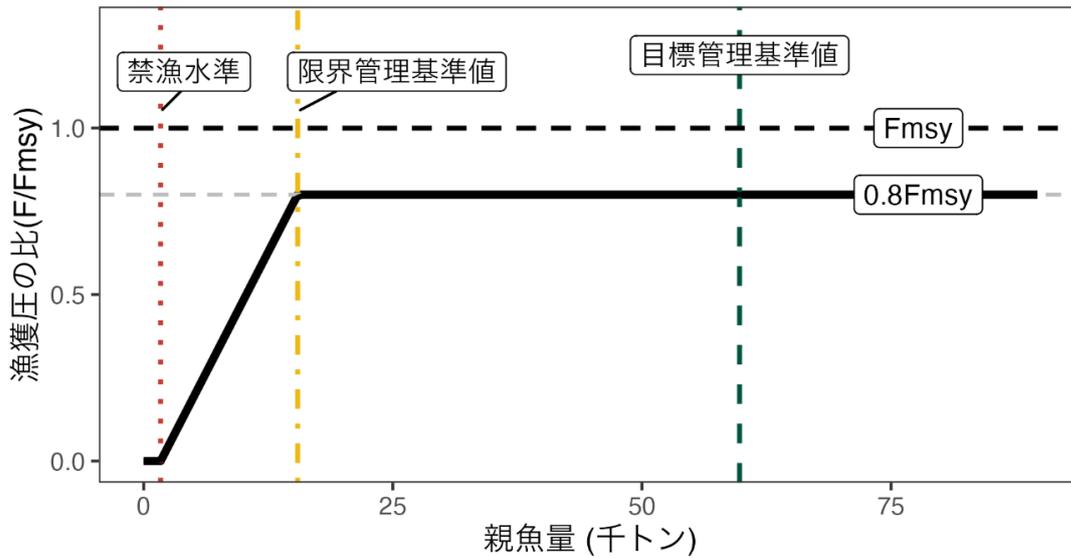


図 4-12. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy) と SBmsy を維持する漁獲圧 (Fmsy) に対する過去の親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

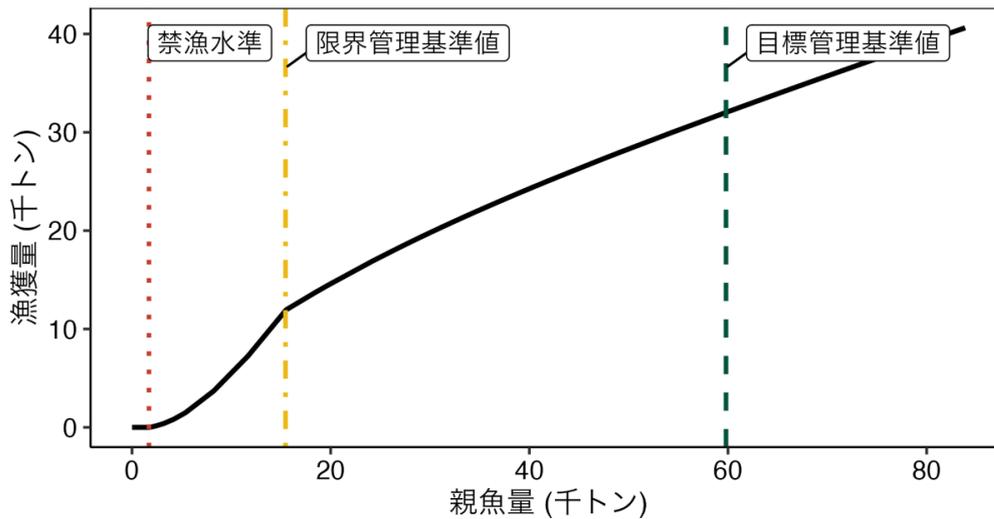


図 5-1. 漁獲シナリオに則した漁獲管理規則

目標管理基準値はリッカー型およびベバートン・ホルト型のモデル平均による再生産関係に基づき算出された最大持続生産量 MSY を実現する親魚量である。限界管理基準値および禁漁水準は、それぞれ MSY の 60%および 10%の漁獲量が得られる親魚量である。調整係数 β には 0.8 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 $0.8F_{msy}$ 、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。

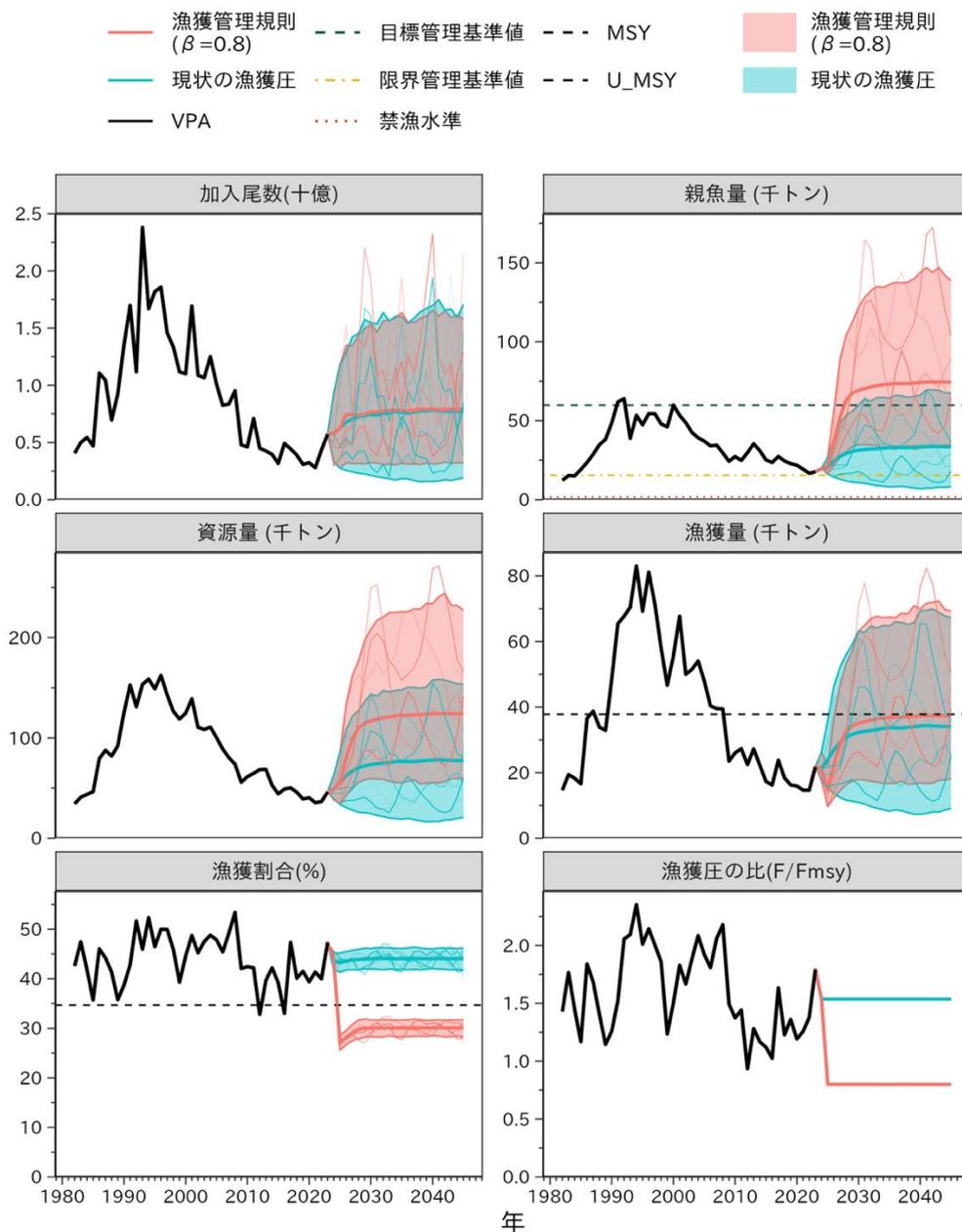


図 5-2. 漁獲シナリオに則した漁獲管理規則に従って漁獲を続けた場合（赤線）と現状の漁獲圧（F2021-2023）で漁獲を続けた場合の将来予測（青色）
 太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の90%が含まれる予測区間、細線は5通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値、黄一点鎖線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準を示す。漁獲量の図の黒破線は最大持続生産量MSYを、漁獲割合の図の黒破線は目標管理基準値の達成に向けた漁獲割合の水準(Umsy)を示す。本系群の漁獲シナリオでは調整係数 β に0.8が用いられる。2024年の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧（F2021-2023）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 (千トン)	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	加入量 (百万尾)	漁獲割合 (%)	再生産 成功率 (尾/kg)	%SPR	F/Fmsy
1982	13	34	12	406	43	33.3	12.7	1.43
1983	18	41	15	499	47	32.7	9.9	1.77
1984	17	44	15	544	42	36.1	12.9	1.45
1985	14	46	19	470	36	24.6	18.4	1.17
1986	37	79	24	1,107	46	47.0	9.3	1.84
1987	37	88	29	1,043	44	36.3	11.2	1.68
1988	30	82	35	697	41	20.0	15.9	1.40
1989	33	92	38	924	36	24.2	19.2	1.15
1990	42	125	49	1,353	39	27.9	15.8	1.26
1991	61	153	62	1,699	43	27.4	11.1	1.52
1992	62	131	64	1,118	52	17.5	8.6	2.06
1993	79	153	39	2,381	46	61.3	8.6	2.09
1994	80	159	53	1,669	52	31.3	7.8	2.35
1995	70	149	47	1,818	46	38.4	9.7	2.01
1996	80	162	54	1,858	50	34.1	8.5	2.14
1997	76	143	54	1,459	50	26.8	9.1	2.00
1998	40	127	48	1,335	46	27.9	10.5	1.86
1999	48	119	46	1,117	39	24.2	16.5	1.23
2000	56	125	60	1,100	45	18.4	12.8	1.51
2001	68	139	53	1,693	49	31.7	8.2	1.83
2002	50	111	49	1,087	45	22.3	12.9	1.67
2003	51	108	43	1,065	48	25.1	10.7	1.88
2004	54	111	39	1,249	49	31.9	9.0	2.08
2005	48	100	37	1,009	48	27.2	10.1	1.92
2006	40	89	34	825	45	24.2	11.5	1.81
2007	40	80	35	836	49	24.2	9.3	2.06
2008	39	74	30	953	53	32.2	7.5	2.18
2009	24	56	24	479	42	19.7	13.9	1.49
2010	26	61	27	462	42	16.9	15.5	1.37
2011	27	65	25	709	42	28.6	13.5	1.44
2012	22	68	30	450	33	15.1	23.1	0.93
2013	27	69	35	426	40	12.0	15.6	1.28
2014	22	53	31	396	42	12.8	18.4	1.17
2015	17	44	25	316	39	12.6	19.1	1.12
2016	16	49	24	492	33	20.9	21.1	1.02
2017	24	50	27	444	47	16.2	11.5	1.63
2018	18	46	24	390	40	15.9	17.0	1.23
2019	16	39	23	308	41	13.5	14.4	1.36
2020	16	40	22	323	39	14.8	17.4	1.19
2021	15	36	19	279	41	14.5	16.6	1.26
2022	15	37	17	434	40	26.0	14.7	1.38
2023	22	46	18	572	47	32.3	8.4	1.79

注 漁獲量は、漁業・養殖業生産統計年報太平洋海区漁獲量から、他海区操業漁獲量および混獲魚漁獲量がマアジとして計上された分を差し引いた値。漁獲割合は補足表 2-1 の漁獲割合を示した。

表 4-1. 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	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2041	2051		
0.0	0	0	2	14	27	35	37	37	39	40	42	44	43	43		
0.0			3	21	38	46	48	49	50	51	51	53	53	52		
0.0			3	28	50	58	58	58	59	59	60	60	63	63		
0.0			5	38	63	70	68	68	67	69	70	70	71	71		
0.0			6	50	74	80	78	76	77	78	78	78	78	80		
0.0			9	59	83	87	87	84	85	86	83	84	86	87		
0.0			11	70	90	94	93	90	90	91	91	90	90	92		
0.0			16	80	94	97	97	95	94	95	95	95	95	94	96	
0.0			20	88	97	99	100	98	97	97	98	98	98	99		
0.0			26	92	99	100	100	100	99	98	99	99	99	100		
0.0			33	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
現状の漁獲圧					0	2	3	3	5	6	7	7	8	8	9	9

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	2041	2051	
0.0	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	100	
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧					92	90	88	85	85	84	83	83	83	83	84

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 21.3 千トンとし、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、 $\beta = 1.69$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 4-2. 将来の平均親魚量 (千トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2041	2051		
1.0	20	21	33	44	51	55	56	57	58	58	59	59	60	60		
0.9			34	48	57	61	62	63	64	65	65	66	66	67	66	
0.8			36	52	63	68	69	70	71	72	73	73	74	74	74	
0.7			38	57	70	75	77	78	79	80	81	81	83	82	82	
0.6			40	63	78	84	85	86	88	90	90	91	92	92	92	
0.5			42	69	87	94	94	96	98	100	101	102	103	103	103	
0.4			45	75	97	105	105	106	110	113	114	114	116	116	116	
0.3			47	82	109	118	118	119	123	128	130	130	132	131	131	
0.2			50	90	122	134	133	133	139	145	149	149	151	150	150	
0.1			53	99	138	152	151	151	157	166	172	172	174	173	173	
0.0			56	109	155	174	174	173	179	191	200	203	205	204	204	
現状の漁獲圧			25	27	29	31	31	32	32	32	33	33	34	33	34	33

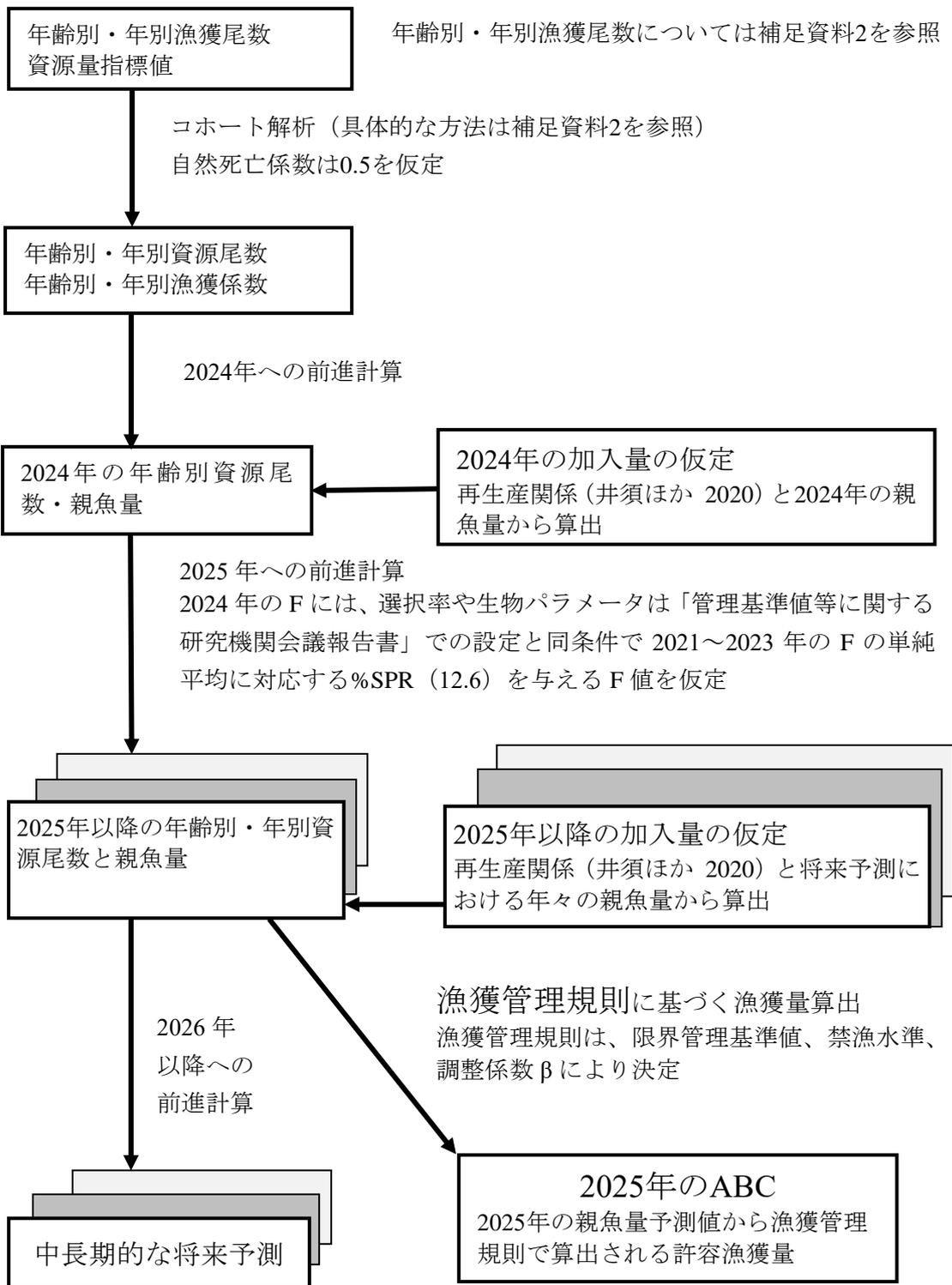
β を 0.0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2021-2023) から予測される 21.3 千トンとし、2025 年から漁獲シナリオによる漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2021-F2023、 $\beta = 1.69$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 4-3. 将来の平均漁獲量 (千トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2041	2051
1.0	21.3	17.7	24.6	30.2	33.5	35.1	35.9	36.4	36.8	37.1	37.4	37.6	38.2	38.0
0.9		16.4	23.7	29.7	33.2	34.9	35.7	36.2	36.6	36.9	37.2	37.4	38.0	37.8
0.8		14.9	22.4	28.8	32.6	34.3	35.1	35.6	36.0	36.4	36.7	36.8	37.4	37.2
0.7		13.4	21.0	27.6	31.6	33.3	34.0	34.5	35.0	35.4	35.7	35.8	36.3	36.2
0.6		11.8	19.2	26.0	30.1	31.8	32.3	32.9	33.5	33.9	34.1	34.3	34.8	34.6
0.5		10.1	17.1	23.8	28.0	29.6	30.0	30.5	31.2	31.7	32.0	32.1	32.6	32.4
0.4		8.3	14.7	21.0	25.1	26.6	26.9	27.4	28.1	28.7	29.0	29.0	29.5	29.4
0.3		6.4	11.8	17.4	21.2	22.6	22.8	23.1	23.9	24.6	24.8	24.8	25.2	25.1
0.2		4.4	8.4	12.8	16.0	17.2	17.3	17.5	18.2	18.8	19.1	19.1	19.4	19.4
0.1		2.3	4.5	7.1	9.1	9.9	9.9	10.0	10.4	10.9	11.2	11.2	11.4	11.3
0.0		0.0	0.0	0.0	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		23.9	27.0	29.2	30.8	31.7	32.3	32.6	32.9	33.2	33.5	33.7	34.4	34.0

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 21.3 千トンとし、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、 $\beta = 1.69$ 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) 資源計算方法

年別年齢別漁獲尾数は、太平洋岸の各都県試験研究機関が調査した各都県主要港の水揚量と体長組成を用い算出した。太平洋岸を高知県以西、徳島県・和歌山県、三重県・愛知県、静岡県～東京都、千葉県以北の5区に分割し、各区内の主要港の水揚量と体長組成から月毎に体長階級別漁獲尾数を求めた。2013年以降は千葉県以北での県による主要漁法の違いを考慮し、まき網主体の千葉～茨城県と、定置網や底びき網主体の福島県以北とにさらに分割した。体長階級別漁獲尾数は、補足表 2-2 に示す月別の年齢と尾叉長の関係を基本とし切断法により年齢別漁獲尾数に変換した。このように算出した主要港の年齢別漁獲尾数の比率を漁業・養殖業生産統計年報の太平洋南区、中区、北区の合計の漁獲量（属人統計）から東シナ海および日本海での漁獲量を差し引いた値に合うように引き延ばして系群全体の年齢別漁獲尾数を算出した。なお、切断法で年齢分解が困難な3歳以上はプラスグループとして一括して取り扱った。

コホート解析により年齢別資源尾数、資源量、漁獲係数等を推定した。マアジの生活史に基づき1月を起点とした。使用した生物学的パラメータは図 2-3、2-4 の通りである。解析結果は0～3+歳（3歳以上をまとめて3+（プラスグループ）と表記する）の年齢別に求めた（補足表 2-1）。年齢別資源尾数 N の計算には Pope (1972) 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 (1999) の方法を用いた。自然死亡係数 (M) は、田内・田中の式 (田中 1960) に従い $M=2.5 \div$ 寿命 (寿命 5 歳を仮定) より 0.5 とした。1982～2023 年までの 42 年間について、年別年齢別漁獲尾数 $C_{a,y}$ から、 a 歳、 y 年の資源尾数 $N_{a,y}$ 、漁獲係数 $F_{a,y}$ は、それぞれ以下の式で求めた。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \exp(M) + C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (a = 0, 1, y = 1982, \dots, Y - 1) \quad (1)$$

$$F_{a,y} = -\ln \left[1 - \frac{C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{N_{a,y}} \right] \quad (a = 0, 1, 2, y = 1982, \dots, Y - 1) \quad (2)$$

ここで、 Y は最近年の 2023 年を示す。3 歳以上はプラスグループとし、2 歳と 3+歳の漁獲係数は等しいと仮定し、資源尾数は以下の式で求めた。

$$F_{3+,y} = F_{2,y} \quad (3)$$

$$N_{2,y} = \frac{C_{2,y}}{C_{2,y} + C_{3+,y}} N_{3+,y+1} \exp(M) + C_{2,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (y = 1982, \dots, Y - 1) \quad (4)$$

$$N_{3+,y} = \frac{C_{3+,y}}{C_{2,y} + C_{3+,y}} N_{3+,y+1} \exp(M) + C_{3+,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (y = 1982, \dots, Y - 1) \quad (5)$$

最近年 (Y) の資源尾数は、以下の式で求めた。

$$N_{a,Y} = \frac{C_{a,Y}}{1 - \exp(-F_{a,Y})} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (a = 0, \dots, 3+) \quad (6)$$

最近年 (Y) における 0、1、2 歳魚の F をリッジ VPA (Okamura et al. 2017) の手法に基づき推定した。リッジ VPA は F の大きさに対する罰則項を儲けることによって、F の推定に関する不安定性を軽減させる手法である。具体的には、資源量指標値への適合度を示した尤度 L (負の対数尤度 $-\ln L$ として定義) と F の罰則項をそれぞれ重み付けした目的関数 (式 7; $0 \leq \lambda \leq 1$) を定義し、これを最小化するように F を推定した。

$$\text{最小} \quad -(1 - \lambda) \ln L + \lambda \sum_{a=0}^2 F_{a,Y}^2 \quad (7)$$

罰則項の重み係数 λ は、漁獲係数 F のレトロスペクティブバイアス (式 8) が 0 になるような λ とした。

$$\rho = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P \frac{F'_{Y-i} R_i - F'_{Y-i}}{F'_{Y-i}} \quad (8)$$

$$F'_Y = \sum_{a=0}^{3+} F_{a,Y} \quad (9)$$

F のレトロスペクティブバイアスの指標である Mohn's ρ は、最新の資源評価の最新年 (Y) までのフルデータから推定される各年の F と、最新データを i 年分落とした場合の最終年 (Y - i 年) の F の推定値 F^R との相対値 (Mohn 1999) の平均値である。データを遡る年数 P は 5 とした。罰則項の重みの係数 λ を 0~0.99 の間において 0.01 刻みで変化させるとともに $\lambda=0.9999$ について解析し、資源尾数、資源量、親魚量、加入尾数、漁獲係数のレトロスペクティブバイアスおよびその絶対値の合計を計算した (補足表 2-5)。本年度本系群のデータセットでは資源量や親魚量については λ の値が小さいときにレトロスペクティブバイアスが小さくなったが、資源尾数や加入尾数については λ の値が大きいためにレトロスペクティブバイアスが小さくなった。漁獲係数は λ が 0.52 のときにレトロスペクティブバイアスが最小となった。またこのときに 5 つのレトロスペクティブバイアスの絶対値の合計も最小となったため、本年度資源評価では $\lambda=0.52$ を適用した。

尤度は (式 10) のように (1) 宮崎県定置網 CPUE と加入尾数 (2) 宇和島港まき網 CPUE と加入尾数 (3) 宿毛湾まき網 CPUE と加入尾数 (4) 串本棒受網漁獲量と加入尾数 (5) 伊勢湾まめ板網 CPUE と加入尾数 (6) 千葉県定置網 CPUE と加入尾数 (7) 平均卵密度と親魚量のフィットの度合いを評価した。対象期間は、加入量指標値は 2005~2023 年、親魚量指標値は 2013~2023 年とした (補足表 2-3)。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)。

$$-\ln L = \sum_k \sum_y \frac{[\ln I_{k,y} - (b_k \ln N_{a(k),y} + \ln q_k)]^2}{2\sigma_k^2} - \ln \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_k} \right) \quad (10)$$

ここで、 $I_{k,y}$ は y 年における指標 k の観測値、 N は 0 歳魚については資源尾数で、親魚量については資源量、 I は年齢別漁法・調査別指標値である。 q_k 、 σ_k は推定（ターミナル F と同時推定）すべきパラメータ（指標ごとに定義）である。年齢別・年別の資源量は、年齢別・年別の資源尾数に年齢別・年別の漁獲物平均体重 $w_{a,y}$ を掛け合わせて求めた。

また、 $I_{f,k}$ と $N_{a,y}$ 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。

$$I_{k,y} = q_k N_{a(k),y}^{b_k} \quad (11)$$

ただし、本資源評価では b_k は 1 に固定した。2023 年における年齢別の F は、それぞれ $F_{0,2023} = 1.05$ 、 $F_{1,2023} = 0.89$ 、 $F_{2,2023} = F_{3+,2023} = 0.79$ と推定された。その他のパラメータは $q_1=0.0008$ 、 $q_2=0.0006$ 、 $q_3=0.0014$ 、 $q_4=0.0086$ 、 $q_5=0.0008$ 、 $q_6=0.0014$ 、 $q_7=0.0392$ 、 $\sigma_1=0.9274$ 、 $\sigma_2=0.4344$ 、 $\sigma_3=0.5179$ 、 $\sigma_4=0.5907$ 、 $\sigma_5=0.5249$ 、 $\sigma_6=0.8573$ 、 $\sigma_7=0.2538$ であった。

「令和 6（2024）年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（FRA-SA2024-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。残差プロットでは、2023 年の宿毛湾まき網 CPUE で正の残差が大きかったが、宮崎県定置網 CPUE、宇和島港まき網 CPUE、串本棒受網漁獲量、標準化平均卵密度で負の残差が大きかった（補足図 2-1）。

本年度の VPA においては資源尾数、資源量、親魚量、加入尾数、漁獲係数のレトロスペクティブバイアスの絶対値の合計が最小となる λ を選択したが、資源量、資源尾数、加入尾数には大きなレトロスペクティブバイアスが残る結果となった。2023 年のデータの追加・更新が行われることにより、2021、2022 年の資源量、資源尾数、加入尾数が下方修正された（補足図 2-2）。その他のモデル診断結果は「令和 6（2024）年度マアジ太平洋系群資源評価のモデル診断結果（FRA-SA2024-SC09-208）」に示した。

(2) 将来予測方法

将来予測における各種設定には補足表 2-6 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 4.3.3）用計算パッケージ frasyr（version 2.4.0）を用いて実施した。将来予測における加入量は、令和 2 年 3 月に公開された「管理基準値等に関する研究機関会議報告書」において提案されたリッカー型再生産関係とベバートン・ホルト型再生産関係（ABCWG 2020）の重み付き平均モデル（井須ほか 2020、市野川ほか 2020）と年々推定される親魚量から求めた。

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。将来予測における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報告書」にて提案された各種管理基準値の推定に用いた値を引き続き用いた（井須ほか 2020）。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、漁獲物平均体重はこの計算結果における 2006～2018 年の平均値である。

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法（(12) - (14) 式）を用いた。

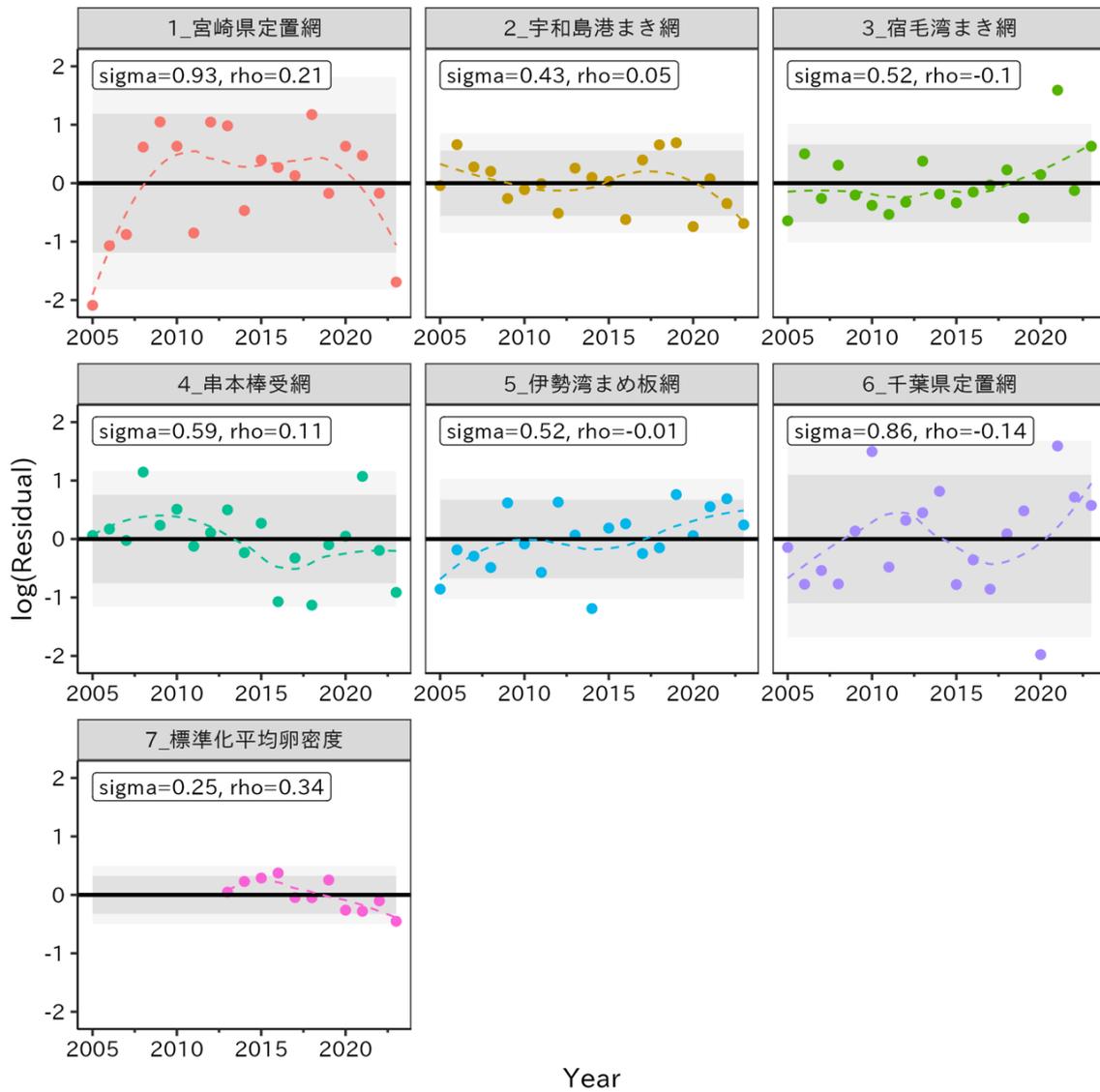
$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad (12)$$

$$N_{3+,y+1} = N_{3+,y} \exp(-F_{3+,y} - M) + N_{2,y} \exp(-F_{2,y} - M) \quad (13)$$

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

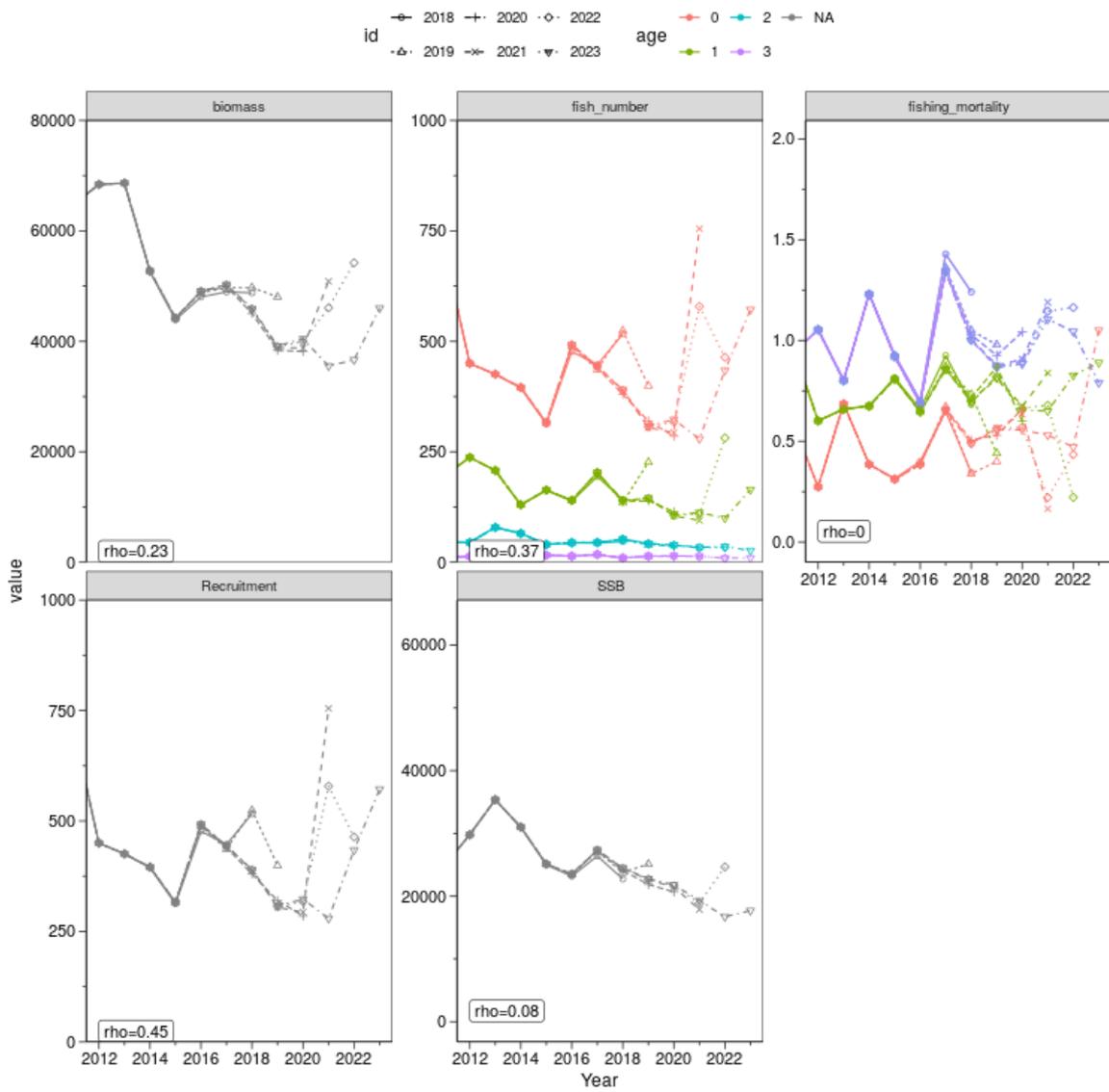
引用文献

- 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-2024-ABCWG02-04
- 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 (1999) VPA の入門と実際. 水産資源管理談話会報, **20**, 9-28.
- 市野川桃子・井須小羊子・岡村 寛・西嶋翔太 (2020) 複数の再生産関係のモデル平均を用いた管理基準値推定. FRA-SA2020-BRP01-08.
- 井須小羊子・由上龍嗣・中神正康・渡邊千夏子・高橋紀夫・上村泰洋・古市 生・渡部亮介 (2020) 令和 2 (2020) 年度マアジ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-BPR01-3. http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_maaji_p.pdf (last accessed 15 July 2020)
- 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**, 2424-2436.
- Pope, J.G. (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.



補足図 2-1. 各指標値の残差プロット

濃い灰色は 80%の信頼区間、薄い灰色は 95%の信頼区間を示す。



補足図 2-2. レトロスペクティブ解析の結果

補足表 2-1. 資源解析結果

年齢別漁獲尾数 (百万尾)												
年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	170	211	204	70	420	317	108	140	466	750	375	867
1歳	57	56	68	84	135	200	194	144	210	244	287	233
2歳	7	16	10	16	20	18	35	50	32	31	51	30
3歳以上	1	5	3	5	4	5	6	4	4	10	32	15
計	236	287	285	175	579	541	342	338	712	1,035	746	1,145

年齢別漁獲量 (千トン)												
年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	7	8	8	3	17	13	4	6	19	30	15	35
1歳	6	6	7	8	13	20	19	14	21	24	29	23
2歳	2	4	2	4	5	4	8	12	7	7	12	7
3歳以上	1	2	1	2	2	2	2	1	2	4	12	6
計	15	19	18	17	37	39	34	33	48	65	68	70

年齢別資源尾数 (百万尾)												
年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	406	499	544	470	1,107	1,043	697	924	1,353	1,699	1,118	2,381
1歳	120	114	139	172	230	344	386	339	452	458	447	385
2歳	20	28	25	31	38	35	53	83	93	110	88	47
3歳以上	4	8	6	9	8	9	9	6	12	36	56	23
計	550	649	714	681	1,384	1,432	1,144	1,351	1,910	2,303	1,708	2,837

年齢別漁獲係数、%SPR、漁獲割合												
年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	0.77	0.78	0.65	0.21	0.67	0.49	0.22	0.22	0.58	0.84	0.56	0.63
1歳	0.95	1.00	1.00	1.00	1.40	1.38	1.04	0.79	0.91	1.15	1.74	1.49
2歳	0.57	1.28	0.75	1.05	1.10	1.11	1.85	1.51	0.58	0.45	1.34	1.73
3歳以上	0.57	1.28	0.75	1.05	1.10	1.11	1.85	1.51	0.58	0.45	1.34	1.73
%SPR	12.71	9.95	12.92	18.42	9.32	11.16	15.89	19.15	15.80	11.13	8.55	8.56
漁獲割合	43%	47%	42%	36%	46%	44%	41%	36%	39%	43%	52%	46%

年齢別資源量と親魚量 (千トン) および再生産成功率RPS (0歳魚尾数/親魚量, 尾/kg)												
年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	16.2	20.0	21.8	18.8	44.3	41.7	27.9	37.0	54.1	68.0	44.7	95.2
1歳	12.0	11.4	13.9	17.2	23.0	34.4	38.6	33.9	45.2	45.8	44.7	38.5
2歳	4.5	6.4	5.8	7.1	8.8	7.9	12.1	19.0	21.4	25.4	20.2	10.9
3歳以上	1.7	3.1	2.3	3.4	3.2	3.6	3.3	2.2	4.5	13.6	21.4	8.7
資源量	34.4	40.9	43.8	46.5	79.3	87.7	81.9	92.1	125.2	152.7	131.0	153.4
親魚量	12.2	15.3	15.1	19.1	23.5	28.8	34.8	38.2	48.5	61.9	64.0	38.8
RPS	33.3	32.7	36.1	24.6	47.0	36.3	20.0	24.2	27.9	27.4	17.5	61.3

* 2005年以前の年齢別平均体重は各年とも0歳魚 40g、1歳魚 100g、2歳魚 230g、3歳魚以上 380gとして計算した。2006～2023年は漁獲物の年齢別平均体重を用いた（補足表2-4）。1982～2000年については実際の平均体重との差を補正せずに漁獲尾数を算定しているため、漁獲尾数と上述の平均体重を掛けて得られる漁獲量の合計は表3-1に示した漁獲量に一致しない。

補足表 2-1. (続き)

年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歳	558	556	672	489	320	335	398	847	249	274	387	257
1歳	507	348	403	372	322	264	190	187	200	282	274	293
2歳	35	47	53	56	44	21	71	45	47	43	40	29
3歳以上	5	3	5	5	8	5	11	13	25	6	5	5
計	1,105	955	1,132	921	694	625	671	1,091	520	606	706	584

年齢別漁獲量 (千トン)

年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歳	22	22	27	20	13	13	16	34	10	11	15	10
1歳	51	35	40	37	32	26	19	19	20	28	27	29
2歳	8	11	12	13	10	5	16	10	11	10	9	7
3歳以上	2	1	2	2	3	2	4	5	9	2	2	2
計	83	69	81	71	58	47	56	68	50	51	54	48

年齢別資源尾数 (百万尾)

年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歳	1,669	1,818	1,858	1,459	1,335	1,117	1,100	1,693	1,087	1,065	1,249	1,009
1歳	769	578	670	603	504	560	417	357	367	465	433	456
2歳	52	72	80	93	76	55	134	105	71	68	62	49
3歳以上	8	5	7	8	13	14	22	30	37	10	8	8
計	2,498	2,473	2,614	2,163	1,929	1,746	1,673	2,185	1,562	1,608	1,753	1,522

年齢別漁獲係数、%SPR、漁獲割合

年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歳	0.56	0.50	0.62	0.56	0.37	0.49	0.63	1.03	0.35	0.40	0.51	0.40
1歳	1.87	1.48	1.48	1.57	1.71	0.93	0.88	1.12	1.19	1.51	1.68	1.75
2歳	1.99	1.88	1.94	1.51	1.35	0.67	1.14	0.79	1.90	1.72	1.68	1.39
3歳以上	1.99	1.88	1.94	1.51	1.35	0.67	1.14	0.79	1.90	1.72	1.68	1.39
%SPR	7.83	9.70	8.54	9.06	10.54	16.48	12.83	8.16	12.86	10.70	8.99	10.06
漁獲割合	52%	46%	50%	50%	46%	39%	45%	49%	45%	48%	49%	48%

年齢別資源量と親魚量 (千トン) および再生産成功率RPS (0歳魚尾数/親魚量, 尾/kg)

年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歳	66.8	72.7	74.3	58.4	53.4	44.7	44.0	67.7	43.5	42.6	50.0	40.4
1歳	76.9	57.8	67.0	60.3	50.4	56.0	41.7	35.7	36.7	46.5	43.3	45.6
2歳	12.1	16.5	18.3	21.3	17.6	12.7	30.8	24.1	16.3	15.5	14.4	11.2
3歳以上	2.9	1.9	2.7	2.9	5.1	5.4	8.2	11.4	14.1	3.7	3.2	3.0
資源量	158.6	149.0	162.3	142.9	126.5	118.8	124.7	138.9	110.6	108.4	110.8	100.3
親魚量	53.4	47.3	54.5	54.4	47.9	46.1	59.8	53.4	48.7	42.5	39.2	37.1
RPS	31.3	38.4	34.1	26.8	27.9	24.2	18.4	31.7	22.3	25.1	31.9	27.2

* 2005年以前の年齢別平均体重は各年とも0歳魚40g、1歳魚100g、2歳魚230g、3歳魚以上380gとして計算した。2006～2023年は漁獲物の年齢別平均体重を用いた(補足表2-4)。1982～2000年については実際の平均体重との差を補正せずに漁獲尾数を算定しているため、漁獲尾数と上述の平均体重を掛けて得られる漁獲量の合計は表3-1に示した漁獲量に一致しない。

補足表 2-1. (続き)

年齢別漁獲尾数 (百万尾)

年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
0歳	218	313	429	110	109	248	84	164	98	66	122	166
1歳	225	166	151	122	102	95	83	78	50	71	52	91
2歳	32	50	45	24	30	21	23	34	36	19	17	26
3歳以上	6	4	4	5	4	5	7	5	14	7	5	10
計	480	533	629	262	246	368	197	282	198	163	197	293

年齢別漁獲量 (千トン)

年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
0歳	9	10	14	5	5	10	5	8	4	2	5	5
1歳	23	18	15	11	13	11	10	9	5	7	5	8
2歳	7	9	9	6	7	5	5	8	8	5	4	6
3歳以上	2	2	2	2	2	2	3	2	5	3	2	4
計	40	40	39	24	26	27	22	27	22	17	16	24

年齢別資源尾数 (百万尾)

年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
0歳	825	836	953	479	462	709	450	426	396	316	492	444
1歳	412	331	263	244	205	195	237	208	130	163	140	203
2歳	48	75	72	41	53	44	45	79	65	40	44	45
3歳以上	9	5	7	9	8	10	13	12	25	16	14	18
計	1,293	1,247	1,294	773	727	959	745	724	616	536	691	710

年齢別漁獲係数、%SPR、漁獲割合

年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
0歳	0.41	0.66	0.86	0.35	0.36	0.60	0.27	0.69	0.38	0.31	0.38	0.65
1歳	1.21	1.03	1.35	1.02	1.03	0.97	0.60	0.66	0.67	0.81	0.65	0.86
2歳	1.85	1.96	1.63	1.40	1.30	0.93	1.05	0.80	1.23	0.92	0.69	1.34
3歳以上	1.85	1.96	1.63	1.40	1.30	0.93	1.05	0.80	1.23	0.92	0.69	1.34
%SPR	11.52	9.27	7.47	13.88	15.52	13.49	23.07	15.64	18.40	19.07	21.06	11.54
漁獲割合	45%	49%	53%	42%	42%	42%	33%	40%	42%	39%	33%	47%

年齢別資源量と親魚量 (千トン) および再生産成功率RPS (0歳魚尾数/親魚量, 尾/kg)

年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
0歳	34.1	27.7	31.0	20.6	21.3	28.7	24.3	20.7	15.3	10.6	18.5	13.6
1歳	41.5	36.2	26.3	22.1	25.5	22.4	28.6	25.1	12.8	16.9	14.2	18.6
2歳	9.9	14.0	14.0	9.5	11.6	9.7	10.4	17.8	15.3	10.0	10.5	10.8
3歳以上	3.4	2.4	2.4	3.8	3.0	3.9	5.1	5.0	9.3	6.7	6.0	7.3
資源量	88.9	80.4	73.8	55.9	61.4	64.7	68.4	68.7	52.8	44.2	49.1	50.3
親魚量	34.1	34.5	29.6	24.3	27.3	24.8	29.8	35.4	31.0	25.1	23.5	27.4
RPS	24.2	24.2	32.2	19.7	16.9	28.6	15.1	12.0	12.8	12.6	20.9	16.2

* 2005年以前の年齢別平均体重は各年とも0歳魚40g、1歳魚100g、2歳魚230g、3歳魚以上380gとして計算した。2006～2023年は漁獲物の年齢別平均体重を用いた(補足表2-4)。1982～2000年については実際の平均体重との差を補正せずに漁獲尾数を算定しているため、漁獲尾数と上述の平均体重を掛けて得られる漁獲量の合計は表3-1に示した漁獲量に一致しない。

補足表 2-1. (続き)

年齢別漁獲尾数 (百万尾)						
年	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	117	102	107	90	127	290
1歳	55	63	40	42	44	75
2歳	26	19	18	18	18	11
3歳以上	5	6	7	7	5	4
計	203	191	172	156	194	380

年齢別漁獲量 (千トン)						
年	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	4	3	4	3	4	10
1歳	6	5	4	4	4	7
2歳	6	5	5	4	4	2
3歳以上	2	3	3	3	2	2
計	18	16	16	15	15	22

年齢別資源尾数 (百万尾)						
年	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	390	308	323	279	434	572
1歳	140	145	107	112	100	164
2歳	52	42	39	34	36	26
3歳以上	10	14	14	13	9	10
計	592	509	483	439	579	772

年齢別漁獲係数、%SPR、漁獲割合						
年	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	0.49	0.56	0.56	0.53	0.47	1.05
1歳	0.70	0.81	0.66	0.65	0.83	0.89
2歳	1.00	0.87	0.88	1.11	1.04	0.79
3歳以上	1.00	0.87	0.88	1.11	1.04	0.79
%SPR	17.00	14.41	17.45	16.56	14.65	8.36
漁獲割合	40%	41%	39%	41%	40%	47%

年齢別資源量と親魚量 (千トン) および再生産成功率RPS (0歳魚尾数/親魚量, 尾/kg)						
年	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	13.9	10.1	12.9	10.4	15.2	20.7
1歳	15.1	12.6	11.4	11.6	9.5	15.2
2歳	12.8	10.6	10.3	8.2	7.9	5.8
3歳以上	4.1	5.9	5.7	5.3	4.1	4.3
資源量	45.9	39.2	40.4	35.5	36.6	46.0
親魚量	24.5	22.8	21.8	19.3	16.7	17.7
RPS	15.9	13.5	14.8	14.5	26.0	32.3

* 2005年以前の年齢別平均体重は各年とも0歳魚 40g、1歳魚 100g、2歳魚 230g、3歳魚以上 380gとして計算した。2006～2023年は漁獲物の年齢別平均体重を用いた（補足表 2-4）。1982～2000年については実際の平均体重との差を補正せずに漁獲尾数を算定しているため、漁獲尾数と上述の平均体重を掛けて得られる漁獲量の合計は表 3-1 に示した漁獲量に一致しない。

補足表 2-2. 年齢と尾叉長（体長）の関係

体長階級 (cm)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
13以下	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
16	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
17	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
18	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
20	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
24	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
25	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
26	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
27	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
28	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
29	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
30	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
31以上	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

補足表 2-3. コホート解析に用いた各指標値

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
①宮崎県南部定置網CPUE	0.10	0.23	0.29	1.45	1.12	0.72	0.25	1.05	0.94	0.20
②宇和島港まき網CPUE	0.60	0.99	0.68	0.72	0.23	0.26	0.44	0.17	0.34	0.27
③宿毛湾中型まき網CPUE	0.76	1.95	0.92	1.85	0.56	0.45	0.59	0.46	0.89	0.47
④串本棒受網漁獲量	9.20	8.40	7.00	25.70	5.20	6.60	5.38	4.30	6.02	2.69
⑤伊勢湾まめ板網漁業CPUE	0.36	0.57	0.52	0.49	0.74	0.35	0.33	0.71	0.38	0.10
⑥千葉県定置網CPUE	1.25	0.54	0.69	0.63	0.78	2.94	0.63	0.88	0.95	1.28
⑦平均卵密度									1.46	1.53

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
①宮崎県南部定置網CPUE	0.39	0.53	0.42	1.04	0.21	0.50	0.37	0.30	0.09
②宇和島港まき網CPUE	0.20	0.16	0.41	0.47	0.38	0.10	0.19	0.19	0.18
③宿毛湾中型まき網CPUE	0.32	0.60	0.62	0.70	0.24	0.53	1.96	0.55	1.54
④串本棒受網漁獲量	3.55	1.45	2.75	1.08	2.40	2.91	7.00	3.07	1.97
⑤伊勢湾まめ板網漁業CPUE	0.32	0.53	0.29	0.28	0.55	0.29	0.40	0.72	0.61
⑥千葉県定置網CPUE	0.21	0.49	0.27	0.61	0.71	0.06	1.95	1.27	1.45
⑦平均卵密度	1.32	1.34	1.02	0.91	1.15	0.66	0.57	0.59	0.44

補足表 2-4. 漁獲物の年齢別平均体重 (g) と 2006～2023 年の平均値

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	41.4	33.2	32.6	43.0	46.2	40.5	54.1	48.7	38.7	33.6
1歳	100.8	109.4	100.3	90.5	124.4	114.7	120.5	121.1	98.4	103.6
2歳	205.2	187.5	195.5	228.3	217.6	219.0	232.6	226.4	235.0	247.6
3+歳	398.1	443.7	355.1	402.9	400.0	388.1	393.6	406.1	376.2	420.8

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	平均値
0歳	37.5	30.6	35.6	32.9	40.0	37.2	34.9	36.2	38.7
1歳	100.9	91.7	108.0	86.6	106.9	103.5	95.0	92.5	103.8
2歳	237.1	241.4	244.7	248.9	265.2	243.3	222.4	218.7	228.7
3+歳	439.7	411.4	416.8	429.2	400.7	395.8	431.1	450.1	408.8

補足表 2-5. λ と Mohn's ρ の一覧

λ	Mohn's ρ					
	資源尾数	資源量	親魚量	加入尾数	漁獲係数	絶対値の合計
0.00	0.4078	0.1782	-0.0750	0.5257	4.9480	6.1347
0.01	0.4017	0.1772	-0.0694	0.5192	0.9866	2.1540
0.02	0.3982	0.1771	-0.0650	0.5153	0.8156	1.9712
0.03	0.3956	0.1773	-0.0612	0.5122	0.7184	1.8646
0.04	0.3934	0.1776	-0.0577	0.5097	0.6505	1.7889
0.05	0.3916	0.1781	-0.0543	0.5074	0.5985	1.7300
0.06	0.3901	0.1786	-0.0512	0.5054	0.5562	1.6815
0.07	0.3887	0.1792	-0.0482	0.5036	0.5206	1.6403
0.08	0.3875	0.1799	-0.0453	0.5019	0.4898	1.6043
0.09	0.3864	0.1805	-0.0425	0.5004	0.4626	1.5723
0.10	0.3854	0.1812	-0.0397	0.4989	0.4383	1.5435
0.11	0.3845	0.1819	-0.0370	0.4975	0.4163	1.5171
0.12	0.3836	0.1827	-0.0344	0.4961	0.3961	1.4928
0.13	0.3828	0.1834	-0.0318	0.4948	0.3774	1.4703
0.14	0.3821	0.1842	-0.0292	0.4936	0.3601	1.4492
0.15	0.3814	0.1850	-0.0267	0.4924	0.3438	1.4293
0.16	0.3808	0.1858	-0.0241	0.4913	0.3286	1.4106
0.17	0.3802	0.1866	-0.0216	0.4901	0.3141	1.3927
0.18	0.3797	0.1875	-0.0191	0.4890	0.3004	1.3757
0.19	0.3791	0.1883	-0.0167	0.4880	0.2874	1.3595
0.20	0.3787	0.1892	-0.0142	0.4869	0.2749	1.3439
0.21	0.3782	0.1901	-0.0117	0.4859	0.2629	1.3288
0.22	0.3778	0.1910	-0.0092	0.4849	0.2514	1.3143
0.23	0.3774	0.1920	-0.0068	0.4839	0.2403	1.3003
0.24	0.3770	0.1929	-0.0043	0.4829	0.2296	1.2866
0.25	0.3766	0.1939	-0.0018	0.4819	0.2192	1.2734
0.26	0.3763	0.1949	0.0007	0.4809	0.2091	1.2619
0.27	0.3759	0.1959	0.0032	0.4800	0.1993	1.2543
0.28	0.3756	0.1969	0.0057	0.4790	0.1898	1.2471
0.29	0.3754	0.1980	0.0083	0.4781	0.1805	1.2401
0.30	0.3751	0.1990	0.0108	0.4771	0.1714	1.2334
0.31	0.3748	0.2001	0.0134	0.4762	0.1625	1.2270
0.32	0.3746	0.2012	0.0160	0.4752	0.1538	1.2208
0.33	0.3744	0.2023	0.0186	0.4743	0.1452	1.2148
0.34	0.3742	0.2035	0.0213	0.4733	0.1368	1.2091
0.35	0.3740	0.2047	0.0239	0.4724	0.1286	1.2035
0.36	0.3738	0.2058	0.0267	0.4715	0.1204	1.1982
0.37	0.3736	0.2071	0.0294	0.4705	0.1124	1.1930
0.38	0.3735	0.2083	0.0322	0.4695	0.1045	1.1880
0.39	0.3733	0.2096	0.0350	0.4686	0.0967	1.1832
0.40	0.3732	0.2109	0.0378	0.4676	0.0890	1.1785
0.41	0.3731	0.2122	0.0407	0.4666	0.0813	1.1739
0.42	0.3730	0.2136	0.0436	0.4656	0.0738	1.1696
0.43	0.3729	0.2149	0.0466	0.4646	0.0663	1.1653
0.44	0.3728	0.2163	0.0496	0.4636	0.0588	1.1612
0.45	0.3727	0.2178	0.0527	0.4626	0.0515	1.1572
0.46	0.3726	0.2193	0.0558	0.4615	0.0441	1.1534
0.47	0.3725	0.2208	0.0590	0.4605	0.0368	1.1496
0.48	0.3725	0.2223	0.0623	0.4594	0.0296	1.1460
0.49	0.3724	0.2239	0.0656	0.4583	0.0223	1.1425
0.50	0.3724	0.2255	0.0689	0.4572	0.0151	1.1391

水色で塗りつぶしたセルは各推定値における Mohn's ρ の最小値とそのときの λ を示す。

補足表 2-5. (続き)

λ	Mohn's ρ					
	資源尾数	資源量	親魚量	加入尾数	漁獲係数	絶対値の合計
0.51	0.3723	0.2272	0.0724	0.4560	0.0080	1.1358
0.52	0.3723	0.2289	0.0759	0.4548	0.0008	1.1327
0.53	0.3723	0.2306	0.0794	0.4536	-0.0063	1.1423
0.54	0.3723	0.2324	0.0831	0.4524	-0.0135	1.1536
0.55	0.3722	0.2342	0.0868	0.4511	-0.0206	1.1650
0.56	0.3722	0.2361	0.0907	0.4497	-0.0278	1.1765
0.57	0.3722	0.2380	0.0946	0.4484	-0.0349	1.1880
0.58	0.3722	0.2400	0.0986	0.4470	-0.0420	1.1997
0.59	0.3721	0.2420	0.1027	0.4455	-0.0492	1.2115
0.60	0.3721	0.2441	0.1070	0.4440	-0.0563	1.2234
0.61	0.3721	0.2462	0.1113	0.4424	-0.0635	1.2354
0.62	0.3720	0.2484	0.1157	0.4407	-0.0707	1.2476
0.63	0.3720	0.2506	0.1203	0.4390	-0.0779	1.2598
0.64	0.3719	0.2529	0.1250	0.4372	-0.0852	1.2721
0.65	0.3718	0.2553	0.1298	0.4353	-0.0924	1.2846
0.66	0.3717	0.2577	0.1348	0.4333	-0.0997	1.2972
0.67	0.3715	0.2602	0.1399	0.4312	-0.1070	1.3098
0.68	0.3713	0.2627	0.1452	0.4289	-0.1144	1.3226
0.69	0.3711	0.2654	0.1507	0.4266	-0.1217	1.3354
0.70	0.3708	0.2680	0.1563	0.4240	-0.1291	1.3483
0.71	0.3705	0.2708	0.1621	0.4214	-0.1366	1.3613
0.72	0.3701	0.2736	0.1681	0.4185	-0.1440	1.3743
0.73	0.3696	0.2765	0.1742	0.4154	-0.1514	1.3873
0.74	0.3691	0.2794	0.1806	0.4122	-0.1589	1.4002
0.75	0.3684	0.2825	0.1872	0.4086	-0.1664	1.4131
0.76	0.3676	0.2855	0.1941	0.4048	-0.1738	1.4259
0.77	0.3667	0.2887	0.2012	0.4007	-0.1813	1.4386
0.78	0.3656	0.2919	0.2086	0.3963	-0.1888	1.4512
0.79	0.3644	0.2952	0.2163	0.3915	-0.1962	1.4637
0.80	0.3631	0.2987	0.2244	0.3864	-0.2037	1.4762
0.81	0.3616	0.3023	0.2329	0.3809	-0.2111	1.4888
0.82	0.3600	0.3061	0.2420	0.3750	-0.2187	1.5017
0.83	0.3583	0.3102	0.2517	0.3689	-0.2263	1.5154
0.84	0.3568	0.3147	0.2623	0.3625	-0.2341	1.5304
0.85	0.3554	0.3199	0.2739	0.3561	-0.2423	1.5476
0.86	0.3544	0.3260	0.2871	0.3497	-0.2508	1.5680
0.87	0.3540	0.3332	0.3020	0.3435	-0.2601	1.5928
0.88	0.3545	0.3420	0.3192	0.3378	-0.2701	1.6236
0.89	0.3561	0.3528	0.3394	0.3327	-0.2812	1.6621
0.90	0.3593	0.3660	0.3631	0.3285	-0.2935	1.7105
0.91	0.3644	0.3825	0.3914	0.3256	-0.3074	1.7713
0.92	0.3722	0.4031	0.4256	0.3242	-0.3230	1.8480
0.93	0.3833	0.4290	0.4673	0.3250	-0.3408	1.9455
0.94	0.3992	0.4623	0.5193	0.3289	-0.3613	2.0709
0.95	0.4218	0.5060	0.5859	0.3372	-0.3850	2.2360
0.96	0.4551	0.5659	0.6748	0.3528	-0.4133	2.4619
0.97	0.5072	0.6533	0.8013	0.3816	-0.4482	2.7916
0.98	0.5992	0.7977	1.0043	0.4395	-0.4943	3.3349
0.99	0.8162	1.1132	1.4319	0.5933	-0.5655	4.5202
0.9999	6.9108	8.7951	11.0086	5.5804	-0.8263	33.1212

水色で塗りつぶしたセルは各推定値における Mohn's ρ の最小値とそのときの λ を示す。

補足表 2-6. 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
0 歳	0.52	0.40	0.62	40	0.5	0
1 歳	0.75	0.58	0.88	106	0.5	0.5
2 歳	1.00	0.77	1.18	224	0.5	1.0
3 歳以上	1.00	0.77	1.18	404	0.5	1.0

注 1：令和元年度の管理基準値等に関する研究機関会議報告書で MSY を実現する水準の推定の際に使用した選択率（すなわち、令和元年度資源評価での Fcurrent の選択率）。

注 2：令和元年度の管理基準値等に関する研究機関会議報告書で推定された Fmsy（すなわち、令和元年度資源評価での Fcurrent に Fmsy/Fcurrent を掛けたもの）。

注 3：上記の選択率の下で、今回の資源評価で推定された 2021～2023 年の年齢別の平均 F と同じ漁獲圧を与える F 値を %SPR 換算して算出した。この F 値は 2024 年の漁獲量の仮定に使用した。

補足資料 3 各種パラメータと評価結果の概要

補足表 3-1. 再生産関係式のパラメータ

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
リッカー型	最小二乗法	有	0.0588	2.58×10^{-5}	0.306	0.805
ベバートン・ホルト型	最小二乗法	有	0.0667	5.11×10^{-5}	0.315	0.698

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。

重み付け平均モデルの重みには Akaike weight の比率を用いており、この値はリッカー型が 0.71、ベバートン・ホルト型が 0.29 である。

補足表 3-2. 管理基準値と MSY

項目	値	説明
SBtarget	60 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	15 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	1.7 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	SBmsy を維持する漁獲圧 (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳以上) = (0.40, 0.58, 0.77, 0.77)	
%SPR (Fmsy)	22%	Fmsy に対応する %SPR
MSY	38 千トン	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	18 千トン	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 歳以上) =(1.05, 0.89, 0.79, 0.79)	
U2023	47%	2023 年の漁獲割合
%SPR (F2023)	8.4%	2023 年の%SPR
%SPR (F2021-2023)	12.6%	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/ SBmsy (SBtarget)	0.30	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 2023 年の親魚量の比
F2023/ Fmsy	1.79	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 を実現する水準を下回る	
漁獲圧の水準	SBmsy を維持する水準を上回る	
親魚量の動向	減少	

* 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 (千トン)	2025 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/F2021-2023)	2025 年の 漁獲割合 (%)
15	21	0.52	27
コメント: ・ABC の算定には、令和 2 年 7、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対応した漁獲管理規則を用いた。			

補足表 3-5. 異なる β を用いた将来予測結果

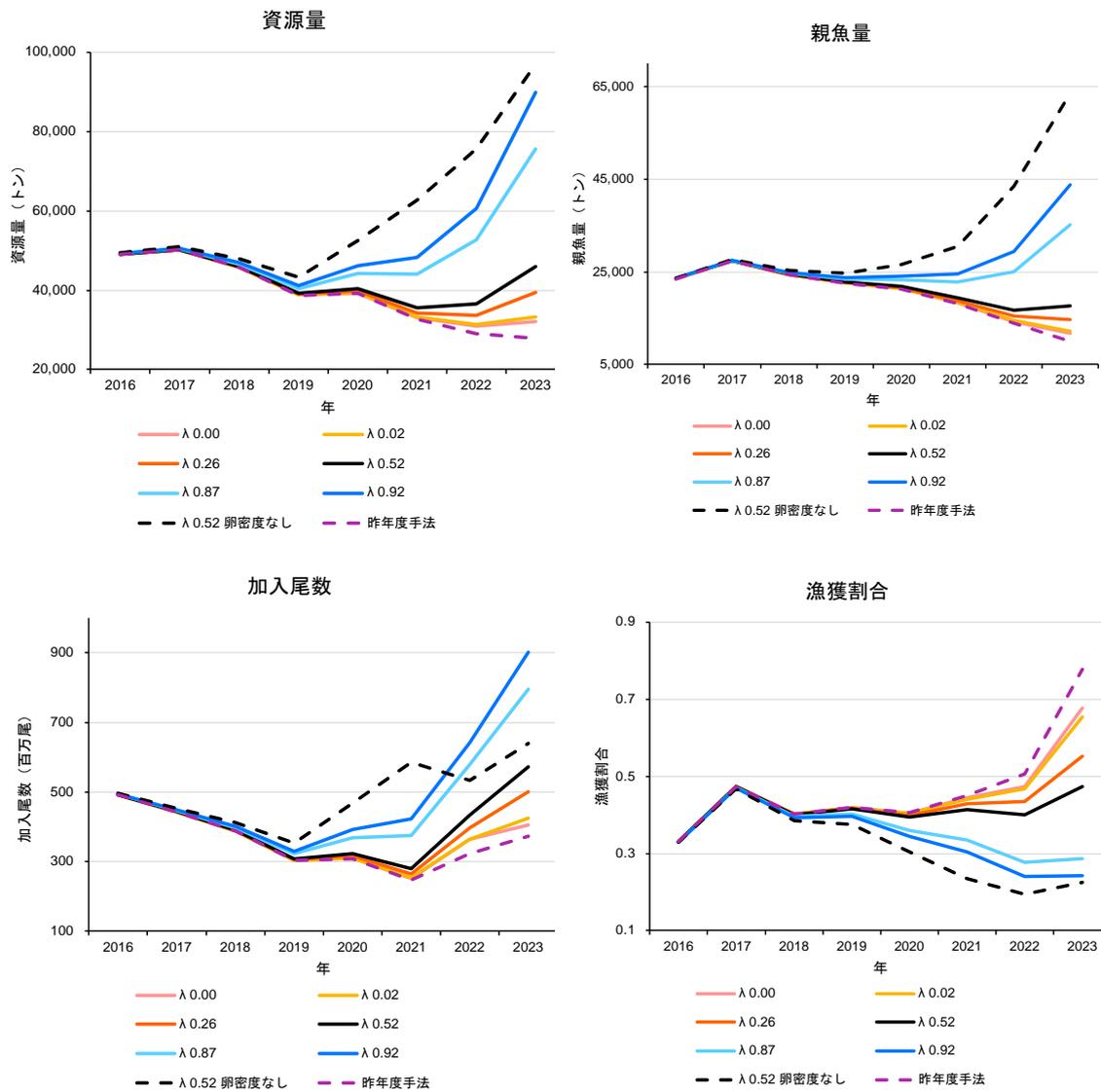
考慮している不確実性: 加入量					
項目	2031 年 の親魚量 (千トン)	90% 予測区間 (千トン)	2031 年に親魚量が以下の 管理基準値を上回る確率 (%)		
			SBtarget	SBlimit	SBban
漁獲シナリオで使用する β					
$\beta=0.8$	70	35 - 128	58	100	100
上記と異なる β を使用した場合					
$\beta=1.0$	57	26 - 102	37	100	100
$\beta=0.9$	63	30 - 112	49	100	100
$\beta=0.0$	173	80 - 464	100	100	100
F2021-2023	32	10 - 64	6	84	100

補足資料 4 様々なシナリオに基づく資源評価結果

本年度の資源評価の不確実性を評価する一つの方法として、リッジ VPA における罰則項の重み λ (補足資料 2 式 7) の値を変化させた解析、 $\lambda=0.52$ で VAST による標準化平均卵密度の親魚量指標値を除いた解析、昨年度評価と同じ手法による解析 (選択率更新法、平均卵密度なし) の結果を比較した。 $\lambda=0$ は罰則項の効果のない全 F 推定法のチューニング VPA と同じ解析である。 $\lambda=0.02$ は資源量のレトロスペクティブバイアス (Mohn's ρ) が最小の λ であり、 $\lambda=0.26$ は親魚量のレトロスペクティブバイアスが最小の λ である。 $\lambda=0.52$ は漁獲係数のレトロスペクティブバイアスが最小の λ であり、本年度評価で採用された λ である。 $\lambda=0.87$ は資源尾数のレトロスペクティブバイアスが最小の λ であり、 $\lambda=0.92$ は加入尾数のレトロスペクティブバイアスが最小の λ である。 λ の値により主に 2020 年以降の評価結果が異なり、 λ の値が小さいほど、推定される資源量、親魚量、加入尾数が少なく、漁獲割合は高くなった (補足図 4-1)。これは λ の値が小さいほど、F の大きさに応じた罰則項の効果が弱くなり、近年低調な加入量指標値と親魚量指標値がより強く反映されたためと考えられる。平均卵密度の親魚量指標値を除いた解析は、推定される資源量、親魚量、加入尾数が非常に多く、特に親魚量は過去最高に近い値となった。これは親魚量指標値が減少傾向を示していて、小さな σ の値によって大きく重み付けされていたからだと考えられる。また、昨年度評価と同じ手法による解析 (選択率更新法、平均卵密度なし) では、資源量、親魚量、加入尾数が最も少なく、漁獲割合は最も高くなった。これは漁獲圧が非常に高く推定され、それに伴って資源量、親魚量、加入尾数が少なく推定されたと考えられる。

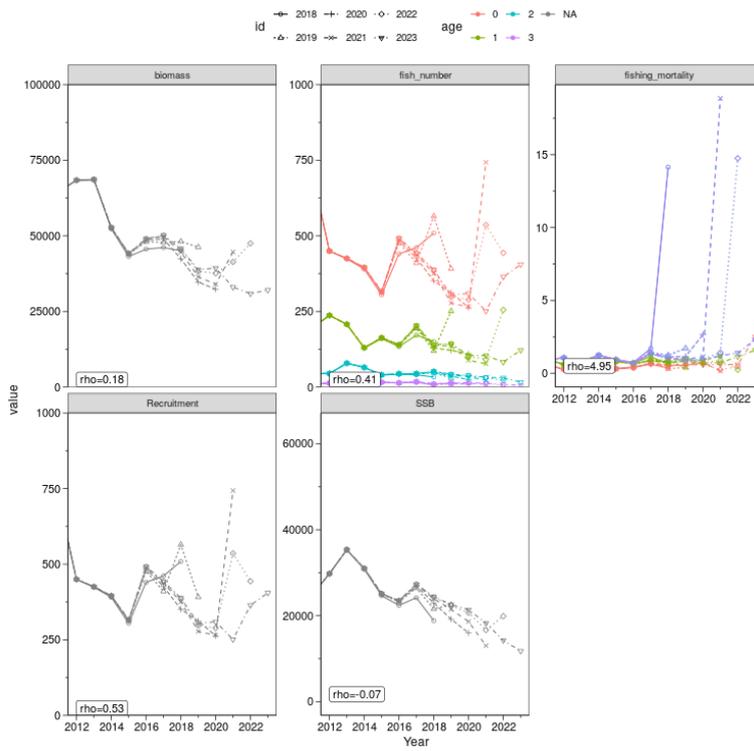
λ の値が小さいほど、加入尾数や漁獲係数のレトロスペクティブバイアスが大きく、 λ の値が大きいほど、資源量や親魚量のレトロスペクティブバイアスが大きくなった (補足図 4-2)。親魚量指標値を除いた解析はどのレトロスペクティブバイアスも比較的小さく、昨年度手法はどのレトロスペクティブバイアスも大きな値となった。

資源評価モデルが変わるとともに神戸プロットにおける近年の位置も大きく変化した (補足図 4-3)。 λ の値が小さいほど、親魚量は少なく漁獲圧は高く推定され、 λ の値が大きいほど、親魚量は多く漁獲圧は低く推定された。親魚量指標値を除いた解析では親魚量が非常に多く推定され、昨年度手法では親魚量は少なく漁獲圧は極端に高く推定された。

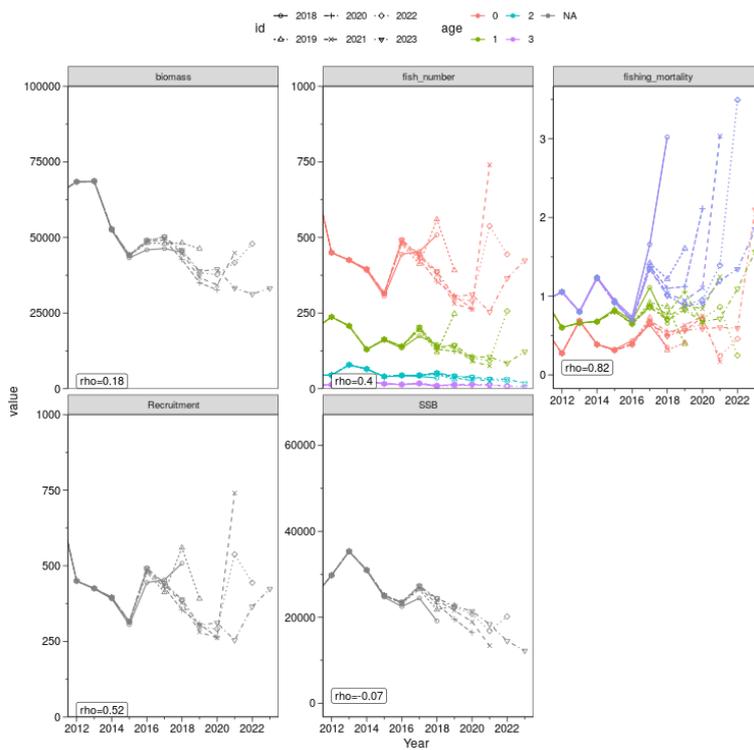


補足図 4-1. それぞれのモデルにおける資源評価結果

a) $\lambda=0.00$

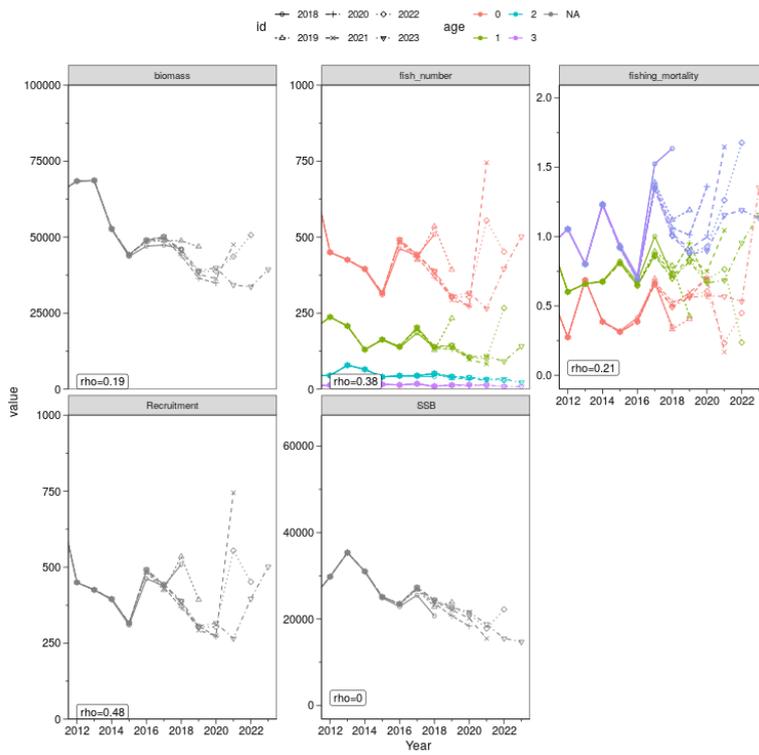


b) $\lambda=0.02$

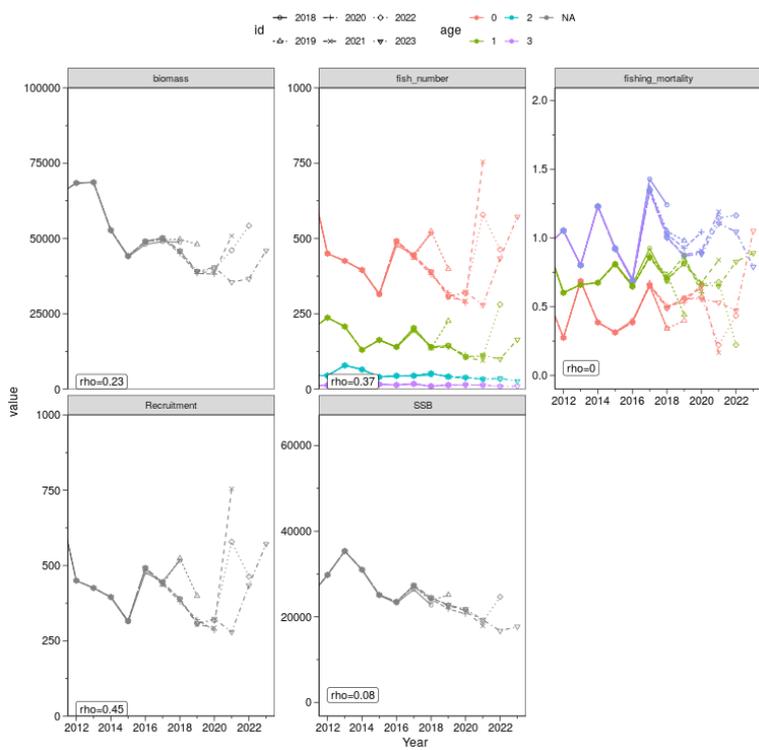


補足図 4-2. それぞれのモデルにおけるレトロスペクティブバイアス

c) $\lambda=0.26$

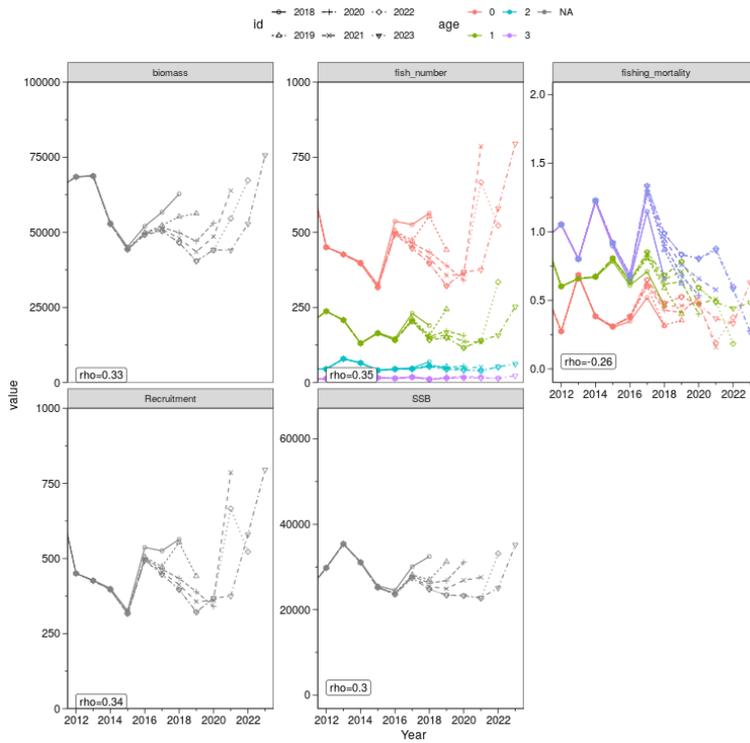


d) $\lambda=0.52$

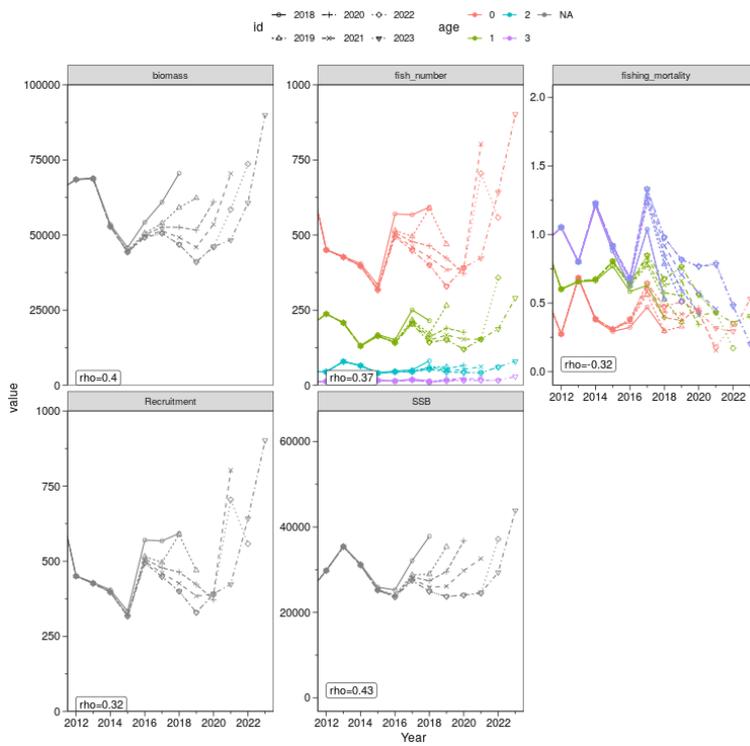


補足図 4-2. (続き)

e) $\lambda=0.87$

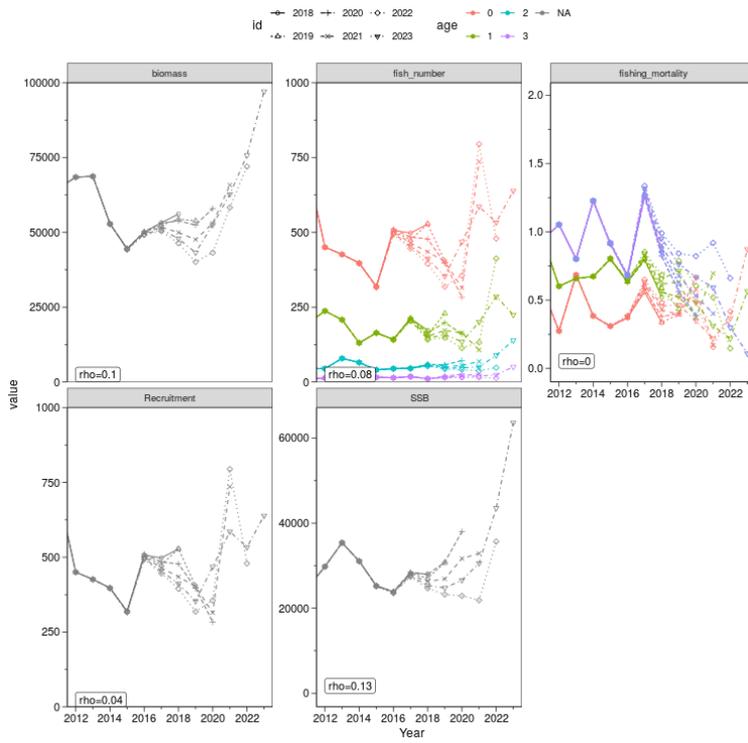


f) $\lambda=0.92$

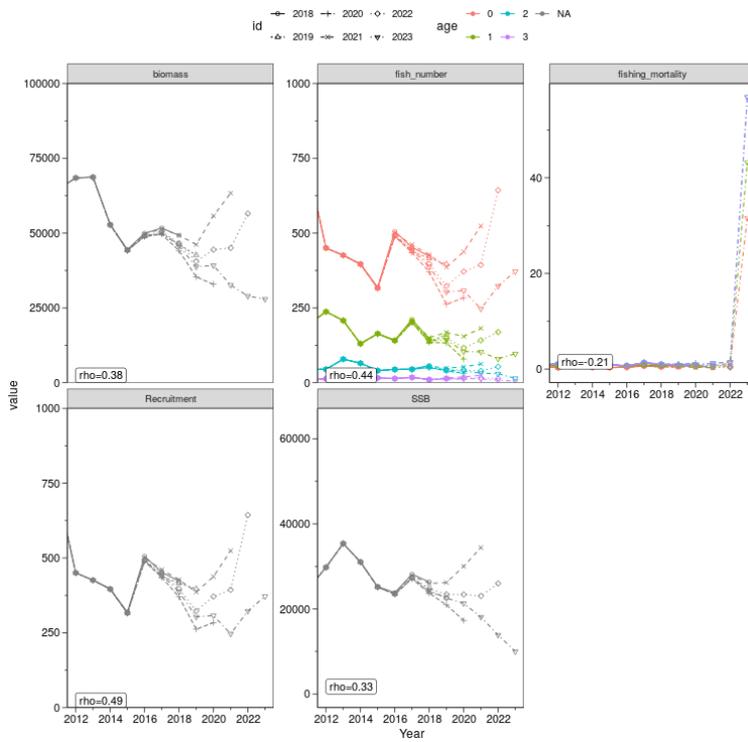


補足図 4-2. (続き)

g) $\lambda=0.52$ 平均卵密度なし

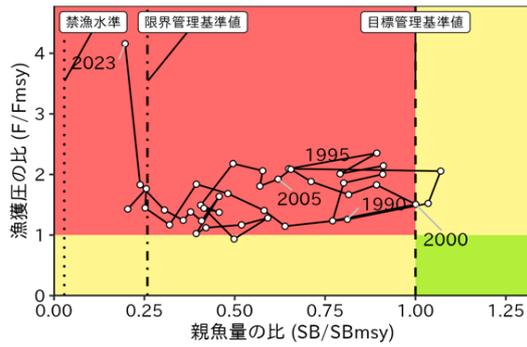


h) 昨年度手法

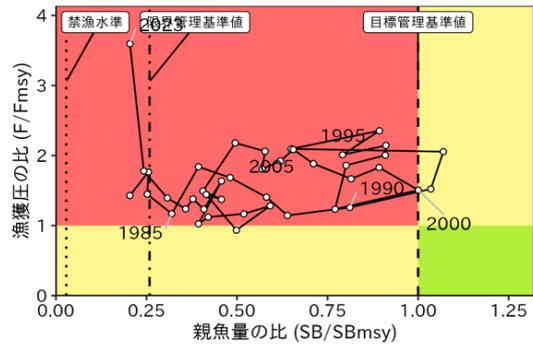


補足図 4-2. (続き)

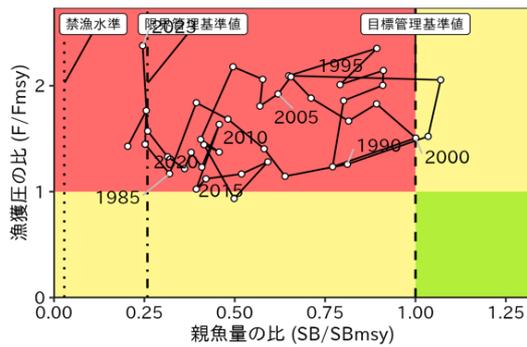
a) $\lambda=0.00$



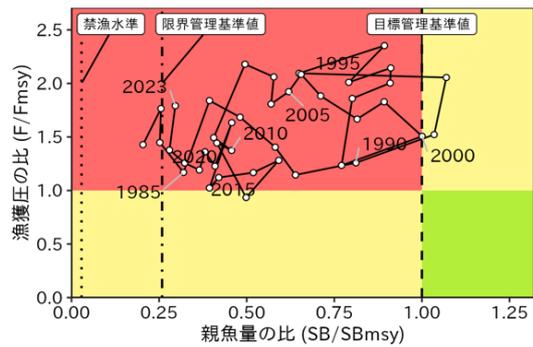
b) $\lambda=0.02$



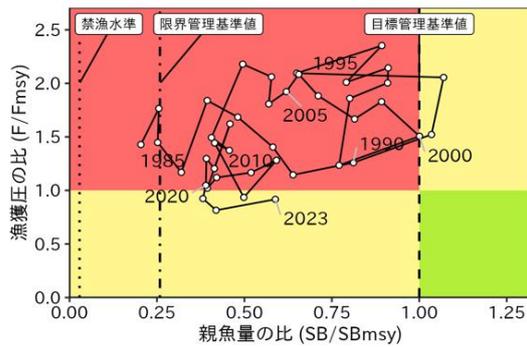
c) $\lambda=0.26$



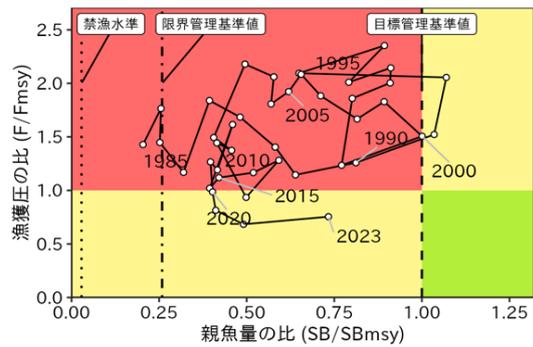
d) $\lambda=0.52$



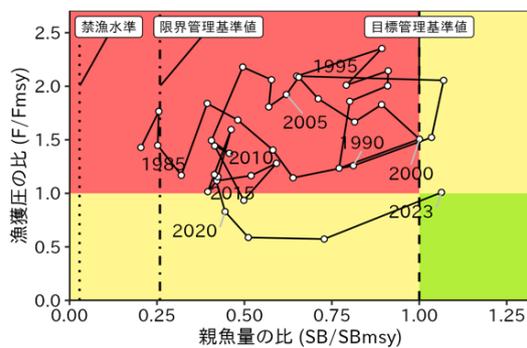
e) $\lambda=0.87$



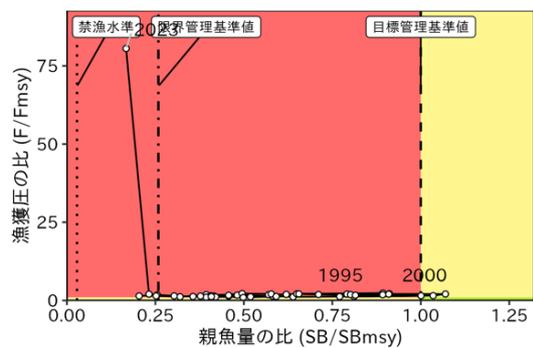
f) $\lambda=0.92$



g) $\lambda=0.52$ 平均卵密度なし



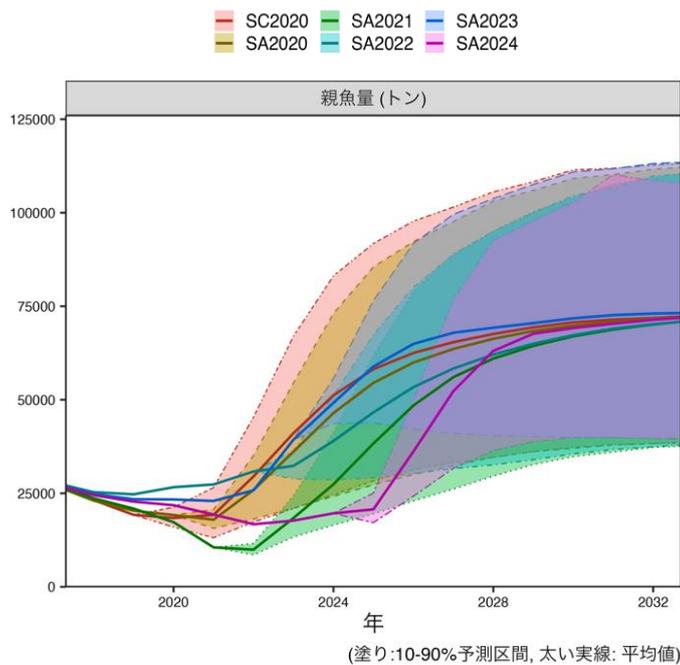
h) 昨年度手法



補足図 4-3. それぞれのモデルにおける神戸プロット

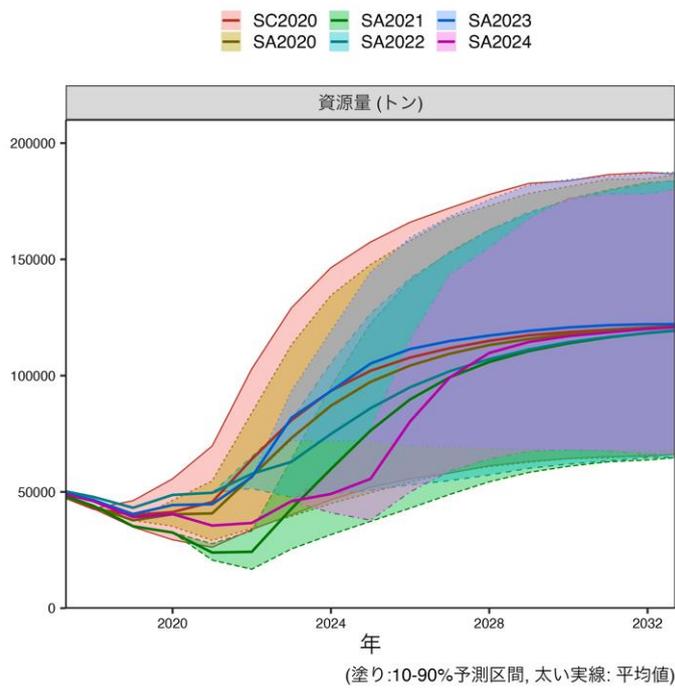
補足資料 5 過去の評価結果との比較

本年度の評価結果を過去の評価結果と比較した（補足図 5-1、5-2、5-3、補足表 5-1、5-2、5-3）。昨年（2023 年）度の評価結果と比べると、本年度評価で推定された 2020～2022 年の資源量、親魚量、加入尾数は下方修正となった。本年度から用いた平均卵密度による親魚量指標値の減少傾向によって、親魚量が下方修正になったと考えられる。2020 年級群と 2021 年級群は 2023 年には 3 歳魚と 2 歳魚となるが、2023 年の漁獲尾数は 3 歳以上が 400 万尾、2 歳魚が 1100 万尾と少なく、遡って 2020 年と 2021 年の加入尾数が下方修正されたと考えられる。2023 年の加入量指標値の全体的な減少傾向も 0 歳魚だけでなく他の年齢の F を上方修正して、資源量、親魚量、加入尾数の下方修正に影響を与えたと考えられる。



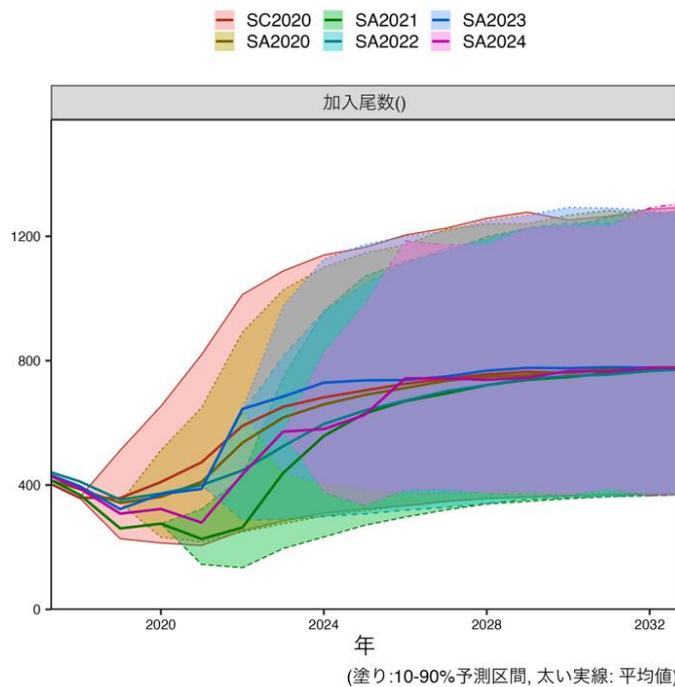
補足図 5-1. 評価年度別の親魚量の比較

親魚量推定結果および β を 0.8 とした場合の漁獲管理規則に基づく将来予測結果を示す。



補足図 5-2. 評価年度別の資源量の比較

資源量推定結果および β を 0.8 とした場合の漁獲管理規則に基づく将来予測結果を示す。



補足図 5-3. 評価年度別の加入尾数の比較

加入尾数推定結果および β を 0.8 とした場合の漁獲管理規則に基づく将来予測結果を示す。

補足表 5-1. 各年の評価年度別の親魚量（千トン）

評価年度 / 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
2021 年度	17			
2022 年度	27	27		
2023 年度	23	23	26	
2024 年度	22	19	17	18

補足表 5-2. 各年の評価年度別の資源量（千トン）

評価年度 / 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
2021 年度	33			
2022 年度	49	50		
2023 年度	44	45	56	
2024 年度	40	36	37	46

補足表 5-3. 各年の評価年度別の加入尾数（百万尾）

評価年度 / 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
2021 年度	276			
2022 年度	373	400		
2023 年度	371	388	645	
2024 年度	323	279	434	572