

令和 5（2023）年度カタクチイワシ太平洋系群の資源評価

水産研究・教育機構

水産資源研究所 水産資源研究センター（木下順二、安田十也、渡井幹雄、井元順一、日野晴彦、上村泰洋、西嶋翔太、河野悌昌、高橋正知）

参画機関：北海道立総合研究機構釧路水産試験場・函館水産試験場、地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産海洋研究センター、茨城県水産試験場、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター、静岡県水産・海洋技術研究所、愛知県水産試験場漁業生産研究所、三重県水産研究所、和歌山県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課、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

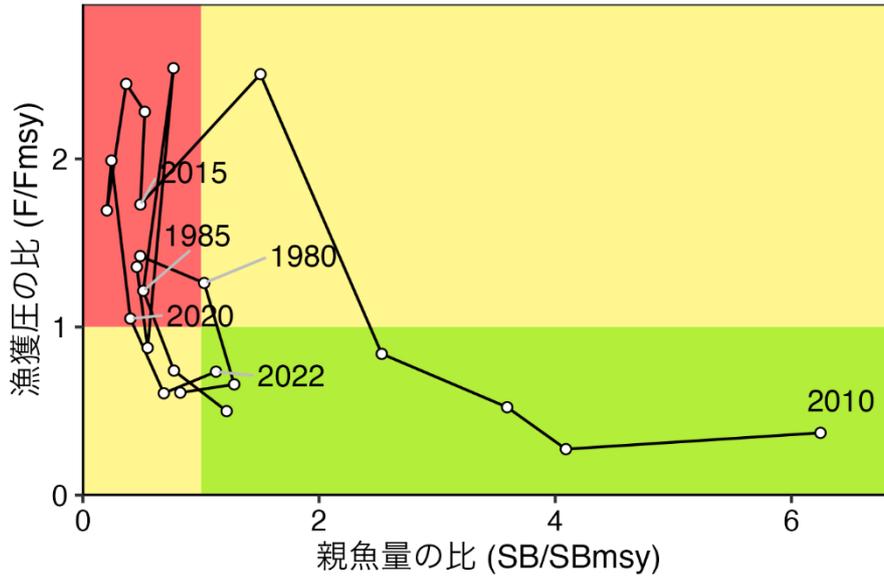
要 約

本系群の資源量について、2010年以降の産卵量と北上期調査0歳魚CPUE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1978～1988年は50万トン未満であったが、1989年に急増して100万トンを上回り、1998年には200万トンを上回った。その後、2002年には291万トンの最大値を示したが、2003年以降は減少傾向となり、2018年には9.4万トンの最小値となった。2019年以降は増加傾向を示しており、2022年の資源量は24.7万トンであった。親魚量についても2019年以降、増加傾向を示しており、2022年は12.7万トンであった。

令和3年9月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において、本系群の再生産関係には通常加入期のベバートン・ホルト型が適用されており、これに基づき推定された最大持続生産量(MSY)を実現できる水準の親魚量(SBmsy)は11.2万トンである。この基準に従うと、本系群の2022年の親魚量は、MSYを実現する水準を上回る。また、本系群に対する2022年の漁獲圧はMSYを実現する水準の漁獲圧(Fmsy)を下回る。親魚量の動向は直近5年間(2018～2022年)の推移から「増加」と判断される。

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

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	112 千トン
2022 年の親魚量の水準	MSY を実現する水準を上回る
2022 年の漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る
2022 年の親魚量の動向	増加
最大持続生産量 (MSY)	81 千トン
2024 年の ABC	-
コメント: ・ ABC は、本系群の漁獲管理規則が「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」を経て定められた後に算定される。	

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 (%)
2018	94	23	29	1.69	31
2019	114	27	44	1.99	39
2020	236	45	57	1.05	24
2021	260	77	42	0.61	16
2022	247	127	40	0.73	16
2023	306	123	43	0.42	14
2024	344	151	-	-	-

・2023、2024年の値は将来予測に基づく平均値である。
・2023年の漁獲量として、直近5年間(2018～2022年)の平均漁獲量43千トンを用いた。

1. データセット

本年度資源評価に使用したデータセットは以下のとおり。

データセット	基礎情報、関係調査等
年齢別・年別漁獲尾数	漁業・養殖業生産統計年報(農林水産省) 主要港水揚量(北海道～鹿児島(18 道県)、関係県) 体長組成調査、精密測定調査(水産機構、北海道～鹿児島(18 道県)等) 大中型まき網漁獲成績報告書
資源量指数 ・産卵量* ・北上期トロール調査 CPUE* ・秋季トロール調査 CPUE ・冬春季の常磐・房総海域漁獲量 ・北部太平洋大中型まき網の漁獲努力量 ・北部太平洋まき網の 3～6 月の資源量指数 ・大中型・中型 2 そうまき網船 3 隻の 2～6 月の平均 CPUE	卵・稚仔、プランクトン調査(毎月、水産機構、青森～鹿児島(18 都県)):ノルパックネット、CTD 等 北西太平洋北上期浮魚類資源調査(5～7 月、水産機構) 北西太平洋秋季浮魚類資源調査(9～10 月、水産機構) 主要港水揚量(千葉県、茨城県、福島県)、体長組成調査 漁場別漁獲状況調査(JAFIC) 漁場別漁獲状況調査(JAFIC) 房総沿岸 2 そうまき網漁況(千葉水総研)
自然死亡係数(M)	0～1 歳魚は 1.0、2 歳魚は 1.6、3 歳魚は 1.9
漁獲努力量	-

*はコホート解析におけるチューニング指数である。

チューニングを行う上で、産卵量は親魚量(重量)の指標値として用い、北上期トロール調査(以下、「北上期調査」とする)の0歳魚CPUE(尾/網・時)は加入量(尾数)の指標値として用いた。北上期調査の0歳魚CPUEについては、調査によって採集された個体の年齢データが現時点では利用できないため、被鱗体長10cm未満の個体を0歳魚とみなして算出した。なお、本年度の資源評価では、どちらのチューニング指数も標準化を実施した(補足資料8)。

2. 生態

(1) 分布・回遊

分布域は、九州から北海道に至る太平洋の沿岸域から、沖合の黒潮域、黒潮続流域、黒潮親潮移行域、および親潮域に及び、東経170度付近まで分布が認められる(図2-1)。

(2) 年齢・成長

寿命はこれまでの鱗の読輪結果から4年としているが、本系群は資源水準が低くなると

寿命が1~2年短くなるとの指摘がある(靄田 2001)。太平洋北区における過去の報告ならびに近年の解析に基づく、満1歳で被鱗体長10~12 cm程度、2歳で13 cm程度に成長するが、成長の早い個体は満1歳で13 cmに達することも報告されている(Hayashi and Kondo 1957、三谷 2001、八角ほか 2007、Yukami et al. 2008)(図 2-2)。体長-体重関係は以下の回帰式で示される(1998~2007年のパラメータの平均)。

$$BW = 0.010 \times L^{3.00} \quad (1)$$

ここで、 BW は体重(g)、 L は被鱗体長(cm)を表す。

(3) 成熟・産卵

産卵はほぼ周年行われる。太平洋海域における本種の成熟体長は、相模湾で約6 cmと報告されているが(船本 2001)、成熟個体に占めるこのような小型成熟個体の割合は低く、ごく沿岸や内湾および内海に出現するのみと考えられている(船越 1990)。産卵主群の体長は、房総半島沖~遠州灘では春季に9 cm以上、晩春~秋季に7~12 cm(船越 1990)、道東海域~千島列島沖では6~8月に12 cm以上(三原 2000、須原ほか 2013)、黒潮親潮移行域では5~6月に11 cm以上(靄田・高橋 1997)であることから、0歳では成熟せず、1歳で成熟すると仮定した(図 2-3)。資源の低水準期(通常加入期に相当)には、分布が内湾から沿岸に限られ、産卵の中心も夏季となるが、高水準期には分布が沖合にまで広がり、産卵盛期も早春から秋までと長くなる(銭谷・木村 1997、銭谷 2001)。太平洋海域にあたる大海区I~IVの月別産卵量の推移から判断すると、近年の産卵盛期は4~8月である(補足図 7-1)。

(4) 被捕食関係

動物プランクトンなどを摂餌する。一方、中大型の浮魚類や鯨類に捕食される(Konishi et al. 2017)。

(5) 特記事項

カタクチイワシ太平洋系群は、数十年スケールの地球規模の大気~海洋生態系の構造の転換(レジームシフト)と同期して、マイワシ太平洋系群と逆位相の変化を示しながら、大きく資源変動することが知られている(Kawasaki 1992、Klyashtorin 1998、Chavez et al. 2003)。例えば、太平洋十年規模変動指数(PDO index)が正偏差の時代はマイワシ、負偏差の時代はカタクチイワシが高水準となる魚種交替が知られている(Takasuka et al. 2008)。海洋環境などの変化は、マイワシにおいて環境収容力や加入成功などに影響することが知られており(Tanaka 2003、Yatsu et al. 2005)、カタクチイワシでも再生産関係に変化が生じる可能性があることから、本系群の再生産関係は通常加入期と高加入期で分割した(木下ほか 2021b、FRA-SA2021-BRP03-1)。近年は加入量が低く推移していることから、通常加入期の再生産関係をMSYや漁獲管理規則案に基づく将来予測の計算などに用いた。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

本系群の仔魚は、宮城県から鹿児島県の沿岸において、シラス船びき網などにより春から秋にかけてシラスとして漁獲される。未成魚と成魚は、各地の定置網ならびにまき網でも漁獲される。常磐・房総（千葉県、茨城県、福島県）の大中型まき網の漁期は12月～翌年6月である。資源量が多い年には9～11月に道東から三陸で漁獲されるとともに、1～5月には熊野灘や日向灘でも多獲される。黒潮・親潮移行域など、沖合域に分布する魚群はほとんど漁獲対象となっていない。1999～2004年には未成魚と成魚の漁獲の30～35%が常磐・房総の大中型まき網によるものであったが、その後この割合は減少し、2012年以降は10%未満となっている。

1990～2000年代には、マイワシ太平洋系群の資源水準の低下と同期して本系群の資源水準が上昇し、まき網により多獲されたが、2010年代以降は、資源の減少に伴い、漁場が沿岸域に形成されるとともに、0歳魚が漁獲の主体となっている（図3-2、補足表2-2）。

(2) 漁獲量の推移

本系群の漁獲量は、1989年まで4.3万～9.0万トンで推移していたが、1990年に太平洋北区（青森県～茨城県）で急増し20万トンを超えた（図3-1、表3-1）。その後は、年変動が激しいものの概ね増加傾向を示し、2003年には過去最高の40.8万トンとなった。2004年以降は減少傾向にあり、2011～2014年は14.4万～16.0万トン、2015～2021年は2.9万～7.8万トンとなり、2022年の漁獲量は4.0万トンであった。海区別では、太平洋北区と太平洋中区（千葉県～三重県）の漁獲量が多く、太平洋南区（和歌山県～宮崎県）と北海道区太平洋側の漁獲量は少ない。太平洋北区では2000年代後半以降、漁獲量が大きく減少している。太平洋中区では、2010年代前半までは千葉県が占める割合が高く、千葉県を除く東海海域（三重県～神奈川県）の漁獲量については、全年代を通して比較的安定して推移している。なお、本年度の漁業・養殖業生産統計年報の修正に合わせて、本系群の2016～2021年の漁獲量統計も修正した。また、本系群のシラス漁獲量についても、1980年代後半以降、全海区において比較的安定して推移している（補足図13-1、補足表13-1）。

(3) 漁獲努力量

本系群への漁獲努力量を正確に把握することは難しいが、資源量が多かった年には北部太平洋大中型まき網の網数が一つの指標になると考えられる。当該網数は、2002～2004年は2,000網を超える高い水準にあったが、2005年以降減少傾向を示し、2012年以降については50網未満の非常に低い水準で推移している（補足図11-1、補足表11-1）。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

本系群は、令和3年度評価までは年齢別漁獲尾数に基づくコホート解析により資源量を推定したが、TAC管理の候補種となったこともあり、漁獲数量の制限が実施された場合に向けてのチューニングの導入の必要性や、マサバなどによる捕食の影響が本系群の自然死亡係数（M）に適切に反映されていない可能性などに基づく不確実性を軽減するための取

り組みの必要性が唱えられた（木下ほか 2021b、2022）。それを踏まえて、昨年度（令和4年度）評価では、卵稚仔データベースに基づく産卵量とノミナルな北上期調査0歳魚CPUEの2つの資源量指標値をチューニング指数として使用したコホート解析（以下、「チューニングVPA」という）により資源量を推定した。さらに、本年度（令和5年度）評価においても、これら2つのチューニング指数については標準化を行うとともに（補足資料8）、昨年度評価と同様に、サバ類の捕食圧を考慮したコホート解析による試算結果を、参考情報として補足資料12に示した。なお、本系群の資源評価では、シラスを含めない形で資源量推定を行っている。

（2）資源量指標値の推移

ターミナルFの調整に使用したチューニング指数である産卵量と北上期調査0歳魚CPUEを図4-1と補足表2-1に示す。これら2つの資源量指標値は、近年ともに低い水準で推移しているが、産卵量については、2020年から2022年にかけて比較的高い値となっている。また、北上期調査0歳魚CPUEについても、2021年に比較的高い値を示した。なお、チューニング指数に係る調査船調査の概要については補足資料7に、チューニング指数の標準化手法については補足資料8に示す。また、チューニングVPAに使用しなかった資源量指標値の概要については補足資料11に示す。

（3）資源量と漁獲圧の推移

チューニングVPAにより推定した資源量は1978～1988年は50万トン未満であったが、1989年に急増して100万トンを上回り、1998年には200万トンを上回った（図4-2、表4-1）。その後、2002年には291万トンの最大値を示したが、2003年以降は減少傾向となり、2018年には9.4万トンの最小値となった。2019年以降は増加傾向を示しており、2022年の資源量は24.7万トンであった。

親魚量も1980年代後半以降増加傾向となり、1990、1991年の80万トン台を経て、2003年には143.1万トンの最大値となった（図4-2、表4-1）。2004年以降は減少傾向となり、2018年には2.3万トンの最低値を示したが、その後は増加傾向を示しており、2022年の親魚量は12.7万トンであった。

参考として、産卵量に基づき、卵数法（渡部1983）により推定した親魚量（I～IV区）は、1980年代後半以降増加傾向となり、2003年には256万トンの最大値となった（補足図7-2、補足表7-1）。2004年以降は減少傾向となり、2018年には7.1万トンの最低値となったが、2019年以降は増加傾向を示しており、2022年は16.3万トンであった。なお、1998年以前は、コホート解析と卵数法による親魚量の推定値は同程度にあるか、もしくはコホート解析の推定値の方が高めであったが、1999年以降はコホート解析の推定値の方が低めで推移している年が多く、かつ、その変動幅も狭くなっている。

年齢別資源尾数は0歳魚が58～90%を占め、0～1歳魚では90.5～99.8%と資源の大半を占める（図4-3、補足表9-1）。2022年の資源尾数は0歳魚（加入量）が2021年よりも半減したが、1～3歳魚では増加しており、全年齢合計では365億尾となった。

年齢別資源重量は0歳魚が37～81%を占め、0～1歳魚では79.6～99.2%と資源の大半を占める（図4-4、補足表9-1）。2022年の資源重量は0歳魚が2021年よりも6万トン程度減

少したが、1～3歳魚は合計すると2021年よりも5万トン程度増加した。

加入量（0歳魚資源尾数）は1987年まで153億～462億尾で推移していたが、1988年以降急増し、2001年には2,010億尾の最大値となった（図4-5、表4-1）。2002年以降は減少傾向となり、2018年には168億尾と過去2番目に低い値となったが、2019年以降は増加傾向を示しており、2022年の加入量は215億尾であった。

再生産成功率は、おおよそ資源水準の低い年に高く、逆に資源水準の高い年に低い傾向にある（図4-5、表4-1）。2022年の再生産成功率は2021年よりも急減し169尾/kgとなった。

自然死亡係数（M）を0.5倍と1.5倍に変化させた場合の感度解析の結果を図4-6に示す。最新年（2022年）の推定値に注目すると、Mを0.5倍した場合の基準値（評価結果）に対する比率は、資源量で65%、親魚量で78%、加入量で51%であった。一方、Mを1.5倍した場合の基準値に対する比率は、資源量で164%、親魚量で170%、加入量で158%であった。

年齢別漁獲係数（F）の経年変化を図4-7および補足表9-1に示す。すべての年齢のFについて、再生産成功率と同様に、おおよそ資源水準の低い年に高く、逆に資源水準の高い年に低い傾向が認められる。2022年のFは、0歳魚（0.45）と1歳魚（0.29）については2021年と同程度であったが、2～3歳魚については0.03と過去最低値となった。

漁獲割合については、過去45年間（1978～2022年）の平均が21%であるが、2014～2019年には30%以上の高い値で推移した（図4-8、表4-1）。その後減少傾向を示しており、2022年の漁獲割合は16.2%であった。

昨年度以前の資源評価結果との比較については補足資料10に示す。

（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と表4-1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）の推移を示した。%SPRは漁獲圧が低いほど大きな値となるが、Fとは反対に、おおよそ資源水準の低い年に低く、逆に資源水準の高い年に高い傾向が認められる。2022年の%SPRは2021年と同程度の55%であった。また、現状の漁獲圧として、直近3年間（2020～2022年）の平均F値から%SPRを算出すると50%となった（補足表6-3）。

現状の漁獲圧（F2020-2022）に対するYPRと%SPRの関係を図4-10に示した。このときのFの選択率としては令和3年9月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において最大持続生産量（MSY）を実現するF（F_{msy}）の推定に用いた値（木下ほか2021b）を使用した（補足表5-1）。また、年齢別平均体重および成熟割合についてもF_{msy}推定時の値を使用した。F_{msy}は%SPRに換算すると45%に相当する（補足表6-2）。F2020-2022はF40%SPR、F0.1、およびF_{msy}を下回っている（図4-10）。

（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に示した。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としては、通常加入期の

ベバートン・ホルト型再生産関係式が適用されている（木下ほか 2021b）。また、再生産関係式のパラメータ推定に使用するデータは、令和 2（2020）年度の資源評価（木下ほか 2021a）における親魚量・加入量（2019 年のデータを除く）であり、最適化方法には最小二乗法を用いたが、加入量の残差の 1 次の自己相関については考慮しなかった。再生産関係式の各パラメータについては補足表 6-1 に示す。

(6) 現在の環境下において MSY を実現する水準

現在を含む通常加入期（1978～1987 年および 2010 年以降）の環境下における最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量（SBmsy）および MSY を実現する漁獲圧（Fmsy）として、上記の「管理基準値等に関する研究機関会議」で推定された値（木下ほか 2021b）を補足表 6-2 に示した。本系群の SBmsy については 11.2 万トンと推定されている。なお、再生産関係の加入期の区切り年については、既往文献（Kurota et al. 2020）で示された年およびその前後数年間で区切った場合の再生産関係モデルを検討し、そのうち加入量の予測力が最も高かったモデルの区切り年を採用した（木下ほか 2021b）。

(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、2022 年の親魚量と漁獲圧の概要を補足表 6-3 に示した。本系群の 2022 年の親魚量は SBmsy の 1.13 倍、2022 年の漁獲圧は Fmsy の 0.73 倍であった。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（2018～2022 年）の推移から増加傾向と判断される（図 4-2）。

5. 資源評価のまとめ

昨年度評価に引き続き、本年度評価でもチューニング VPA により資源量を推定した。資源量は 1989 年に急増して 100 万トンを上回り、2002 年には 291 万トンの最大値となったが、2003 年以降は減少傾向となり、2018 年には 9.4 万トンの最小値となった。その後は増加傾向を示しており、2022 年の資源量は 24.7 万トンであった。親魚量についても 2019 年以降増加傾向を示しており、2022 年の親魚量は 12.7 万トンであった。2022 年の親魚量は SBmsy を上回るとともに、2022 年の漁獲圧は Fmsy を下回っている。

6. その他

昨年度評価では、資源量推定方法を、チューニングなしの VPA からチューニング VPA（リッジ VPA）へ変更したが、本年度評価においては、チューニング指数である産卵量と北上期調査 0 歳魚 CPUE の標準化を行った。ただし、北上期調査 0 歳魚 CPUE は沖合域の調査船調査による指標値であるため、現在のように分布がほぼ沿岸域に限られる状況では、資源状況を十分には説明できない可能性があることなどから、本系群のチューニング VPA については、引き続きチューニング手法の検討に加え、資源量指標値の探索が必要である。なお、参考のため、チューニングをしない場合の VPA の結果を補足資料 14 に示した。

また、昨年度評価に引き続き、サバ類捕食 VPA による試算結果も参考情報として補足資料 12 に示した。

2022 年の加入量は 2021 年の半分程度となったが（図 4-5、表 4-1）、2022 年のカタクチイワシシラスの漁獲量も 2021 年から 40%減であったため（補足図 13-1、補足表 13-1）、2022 年級群はシラスの段階ですでに豊度が低かった可能性が示唆される。

本系群については、資源の高水準期（高加入期に相当）には漁獲量が大きく増加する太平洋北区および千葉県や、全年代を通して漁獲量が比較的安定している東海海域などが存在するため、資源管理を行う上では、このような各海域の特性を考慮することが、資源を最大限に活用する上で有効となる可能性が考えられる。

7. 引用文献

- Chavez, F.P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota, C.M. Niquen (2003) From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, **299**, 217-221.
- 船越茂雄 (1990) 遠州灘, 伊勢・三河湾およびその周辺海域におけるカタクチイワシの再生産機構に関する研究. 愛知水試研究業績 B 集, **10**, 1-208.
- 船本鉄一郎 (2001) カタクチイワシの成熟・産卵. 日水誌, **67**, 1129-1130.
- Hayashi, S. and K. Kondo (1957) Growth of the Japanese Anchovy-IV. Age determination with the use of scales. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, **17**, 31-64, pls.1-4.
- Kawasaki, T. (1992) Climate-dependent fluctuations in far eastern sardine population and their impacts on fisheries and society. In: *Climate variability, climate change and fisheries*, ed. Glantz, M.H., Cambridge University press, Cambridge, pp. 325-354.
- 木下順二・上村泰洋・安田十也 (2021a) 令和 2 (2020) 年度カタクチイワシ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2020-SC02-1
- 木下順二・安田十也・渡邊千夏子・上村泰洋 (2021b) 令和 3 (2021) 年度カタクチイワシ太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. FRA-SA2021-BRP03-1
- 木下順二・安田十也・渡邊千夏子・上村泰洋 (2022) 令和 3 (2021) 年度カタクチイワシ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2021-SC02-1
- Klyashtorin, L. B. (1998) Long-term climate change and main commercial fish production in the Atlantic and Pacific. *Fish. Res.*, **37**, 115-125.
- Konishi, K., T. Isoda and T. Tamura (2017) Overview of stomach content analyses for sei, Bryde's and common minke whales under the offshore component of JARPNII, and temporal changes in feeding habits. *TEPER-ICR*, **1**, 44-57.
- Kurota, H., C.S. Szuwalski and M. Ichinokawa (2020) Drivers of recruitment dynamics in Japanese major fisheries resources: Effects of environmental conditions and spawner abundance. *Fish. Res.*, **221**, 105353.
- 三原行雄 (2000) 道東太平洋およびその周辺におけるカタクチイワシの成熟. 水産海洋研究, **64**, 10-17.
- 三谷 勇 (2001) カタクチイワシの成長履歴. 日水誌, **67**, 1131-1132.
- 須原三加・森 泰雄・三原行雄・山本昌幸・川端 淳・高橋素光・勝川木綿・片山知史・山下 洋・川村知彦・渡邊良朗 (2013) カタクチイワシの繁殖特性の海域間比較. 日水

- 誌, **79**, 813-822.
- Takasuka, A., Y. Oozeki and H. Kubota (2008) Multi-species regime shifts reflected in spawning temperature optima of small pelagic fish in the western North Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **360**, 211-217.
- Tanaka, E. (2003) A method for estimating dynamics of carrying capacity using time series of stock and recruitment. *Fish. Sci.*, **69**, 677-686.
- 靄田義成・高橋章策 (1997) 黒潮続流域および混合水域におけるカタクチイワシ *Engraulis japonicus* の産卵生態. 北水研報, **61**, 9-15.
- 靄田義成 (2001) カタクチイワシの生活史戦略. 日水誌, **67**, 1133-1134.
- 渡部泰輔 (1983) 卵数法. 「水産資源の解析と評価 その手法と適用例」石井丈夫編, 恒星社厚生閣, 東京, 9-29.
- 八角直道・平野和夫・森 泰雄・永島 宏 (2007) カタクチイワシの成長および寿命の再検討. 黒潮の資源海洋研究, **8**, 67-78.
- Yatsu, A., T. Watanabe, M. Ishida, H. Sugisaki, L.D. Jacobsen (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.
- Yukami R., I. Aoki and I. Mitani (2008) Daily age of adult Japanese anchovy *Engraulis japonicus* off eastern Honshu, Japan by otolith daily increment. *Fish. Sci.*, **74**, 1348-1350.
- 銭谷 弘・木村 量 (1997) 太平洋岸域のカタクチイワシの資源回復に伴う2~3月産卵量の増加. 日水誌, **63**, 665-671.
- 銭谷 弘 (2001) カタクチイワシの資源増加の経過と特徴. 日水誌, **67**, 1125-1126.

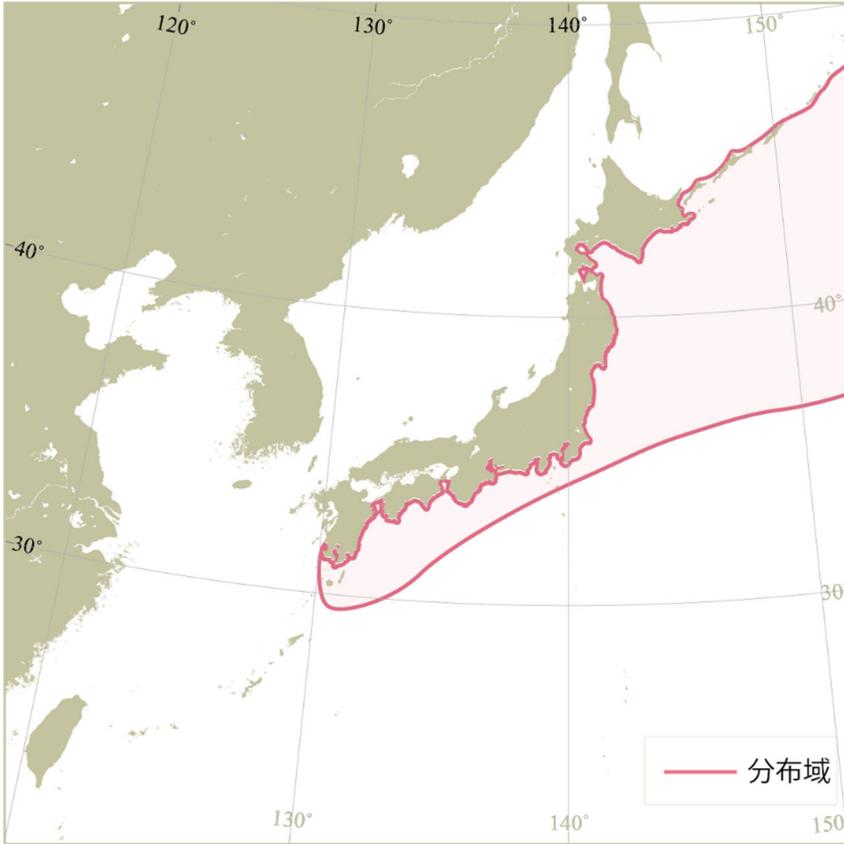


図 2-1. カタクチイワシ太平洋系群の分布図

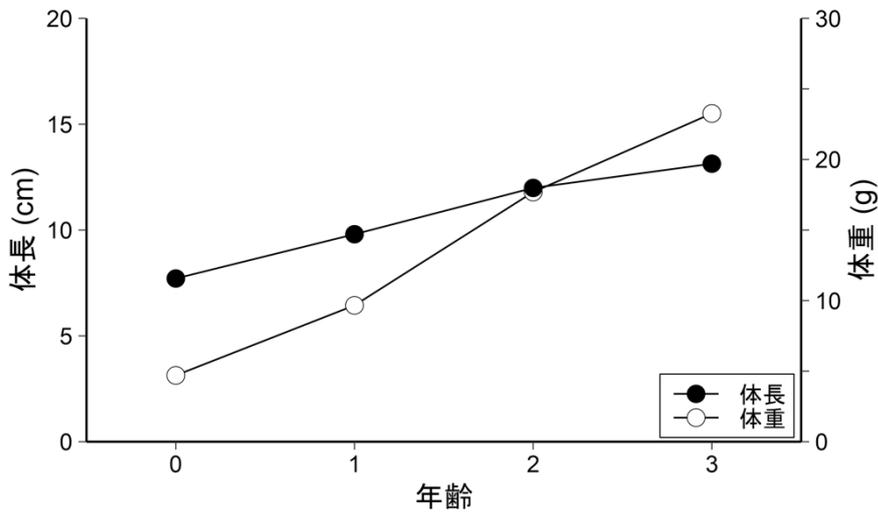


図 2-2. 年齢と成長

体重は、年齢別平均体重の 1978～1987 年および 2010～2022 年（通常加入期）の平均。
被鱗体長は、その体重から式 (1) を使用して換算。

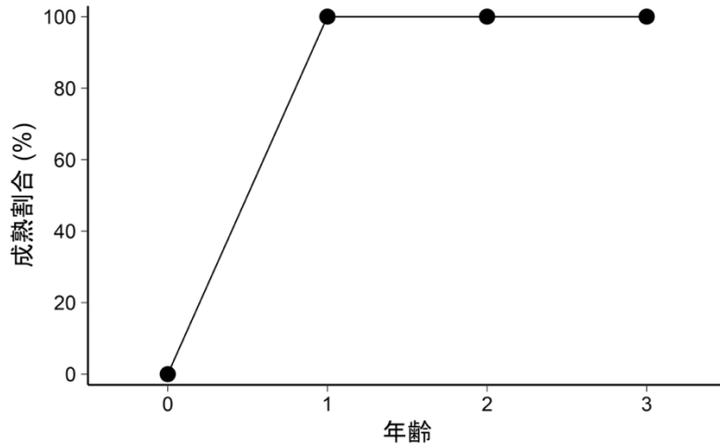


図 2-3. 年齢別成熟割合

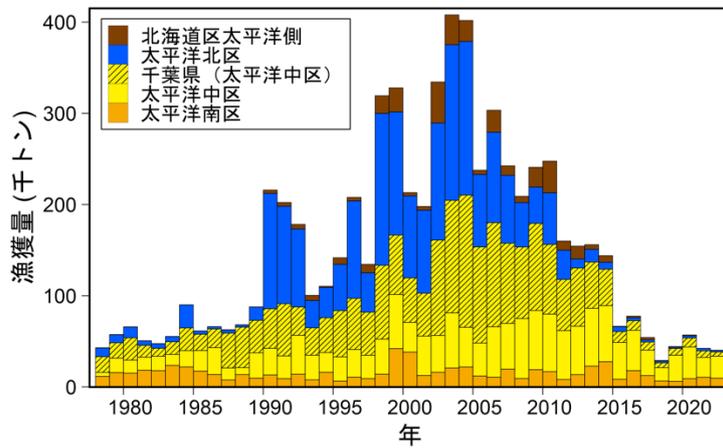


図 3-1. 漁獲量の推移

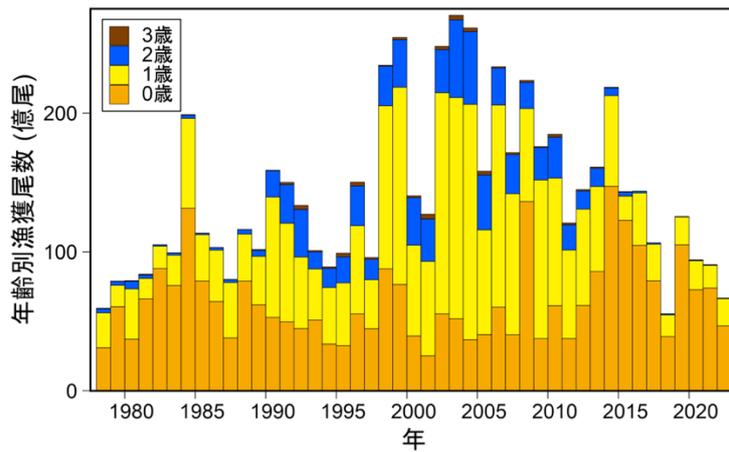


図 3-2. 年齢別漁獲尾数の推移

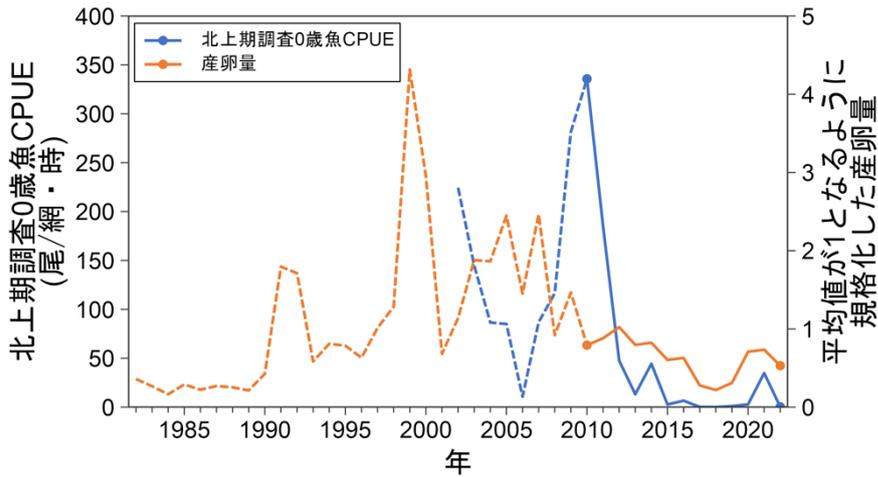


図 4-1. 資源量指標値（チューニング指数）の推移
 実線部分（2010～2022年）はチューニングに用いた年を表す。

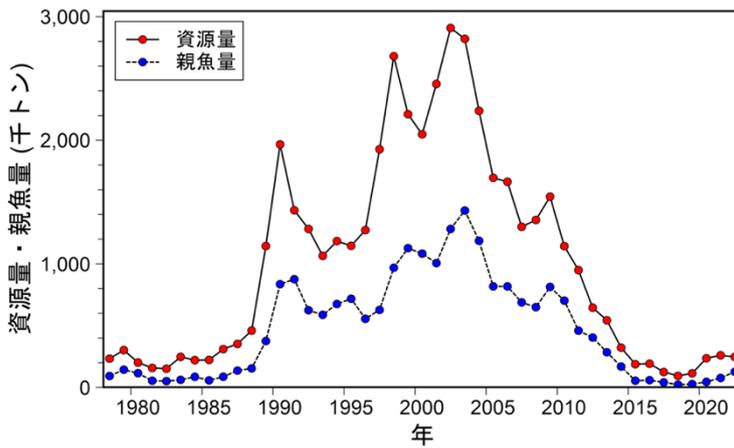


図 4-2. 資源量と親魚量の推移

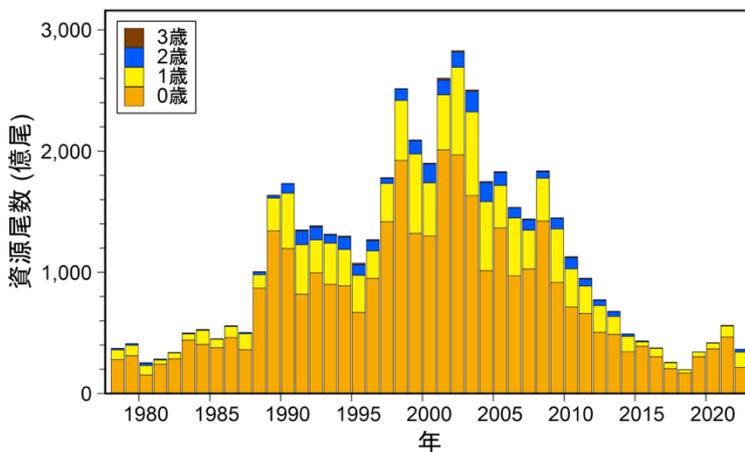


図 4-3. 年齢別資源尾数の推移

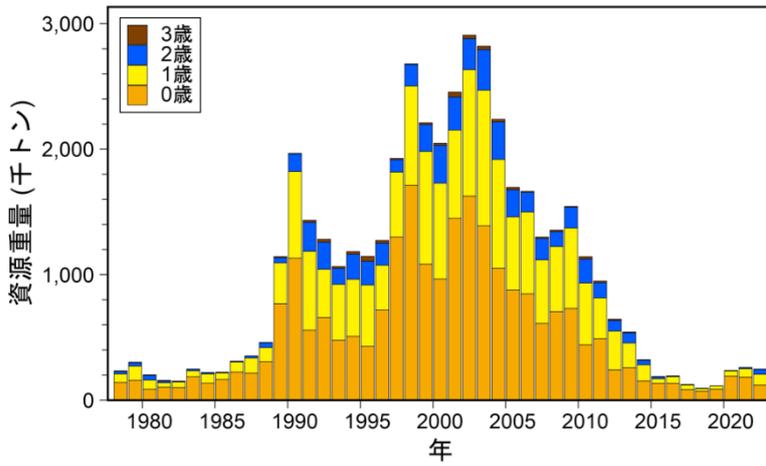


図 4-4. 年齢別資源重量の推移

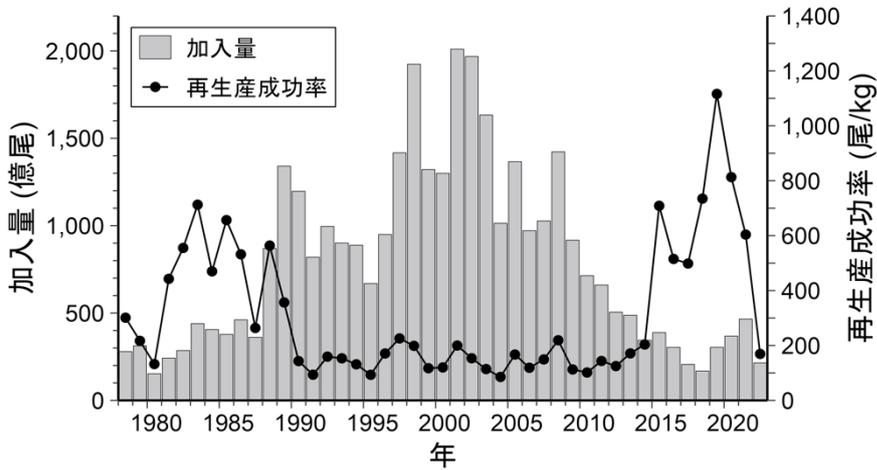


図 4-5. 加入量と再生産成功率の推移

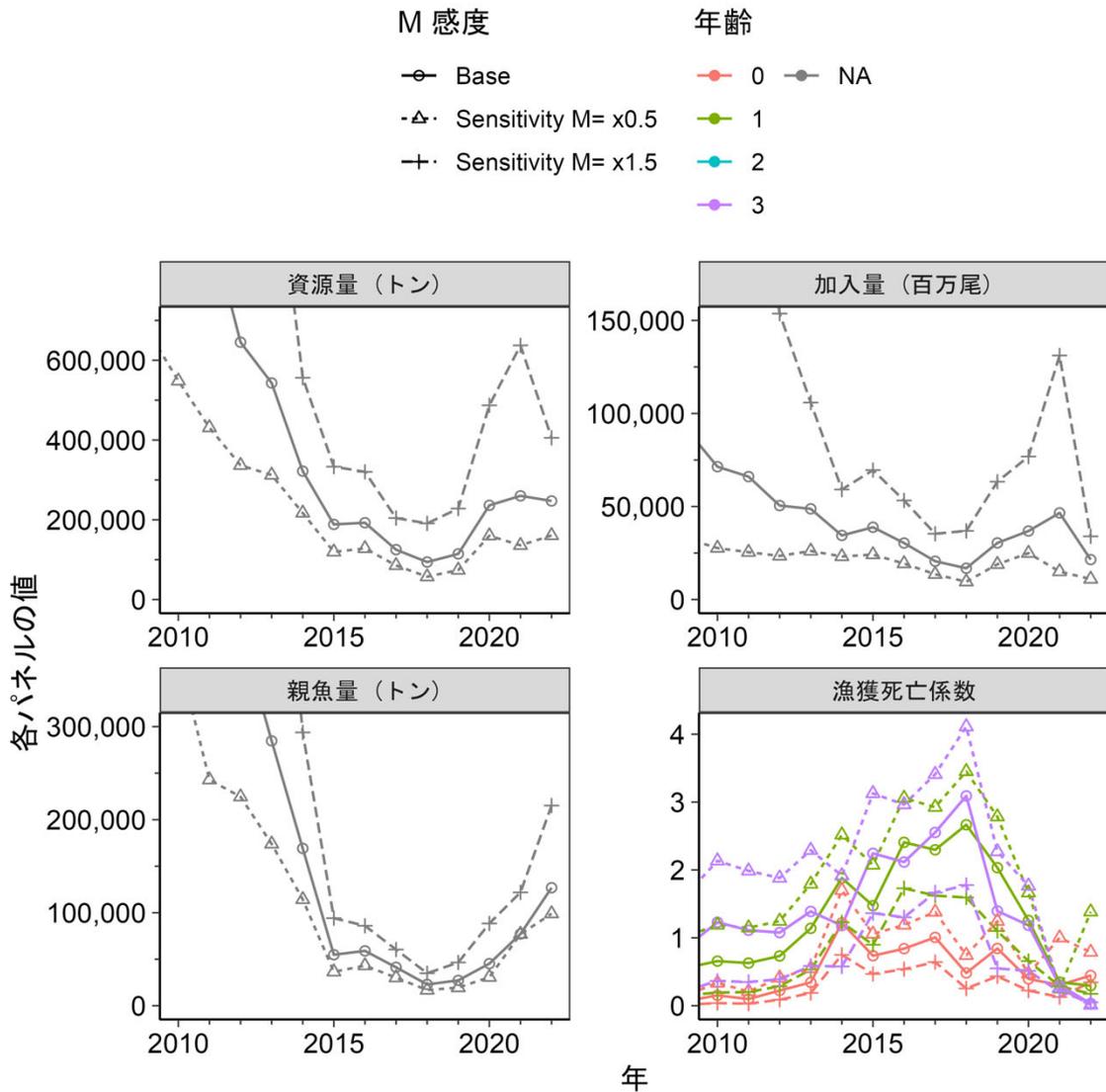


図 4-6. 資源量、親魚量、加入量、および漁獲係数の推定値に対する自然死亡係数 M の影響

Base は評価結果を表す。

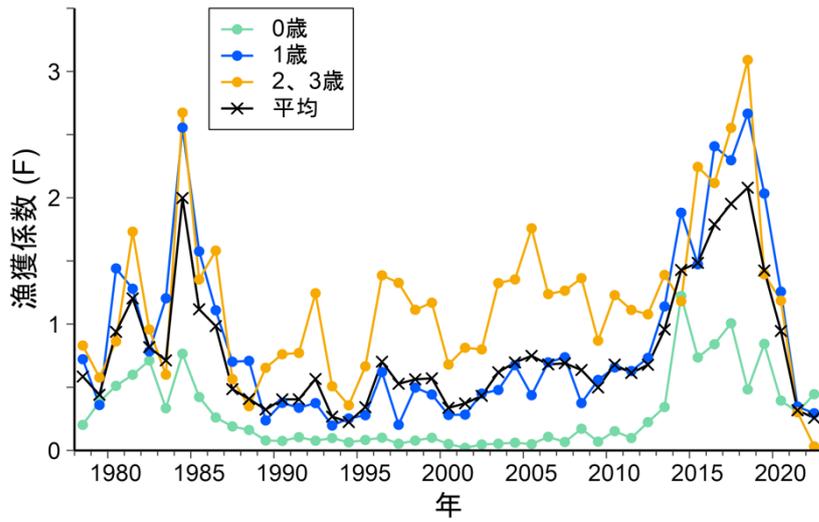


図 4-7. 年齢別漁獲係数 F の推移

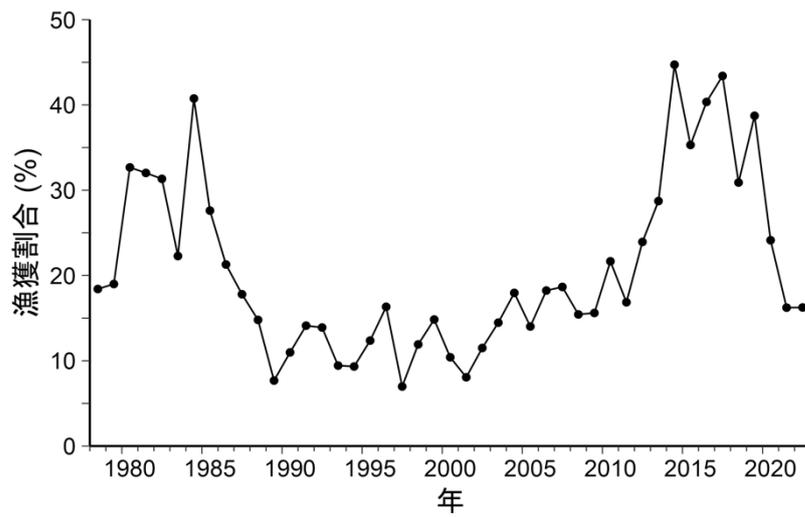


図 4-8. 漁獲割合の推移

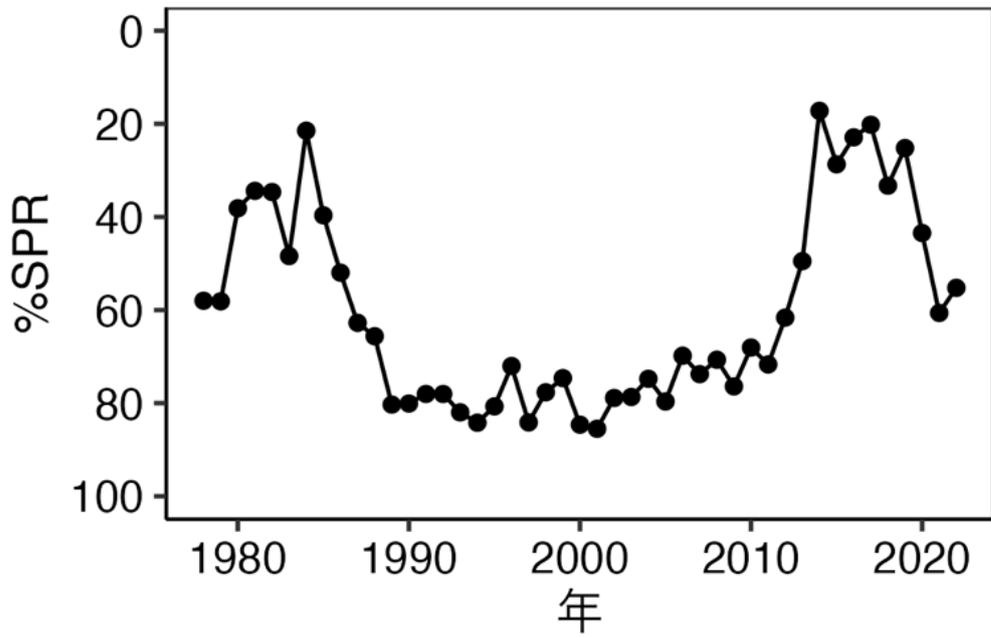


図 4-9. %SPR の推移

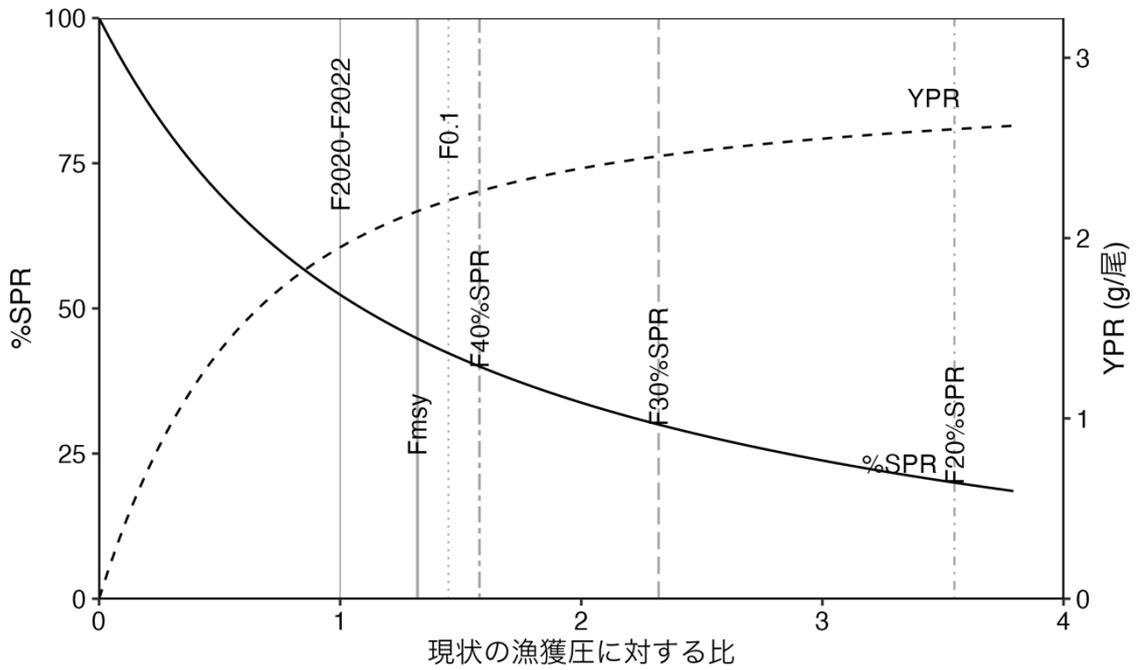


図 4-10. 現状の漁獲圧 (F2020-2022) に対する YPR と%SPR の関係

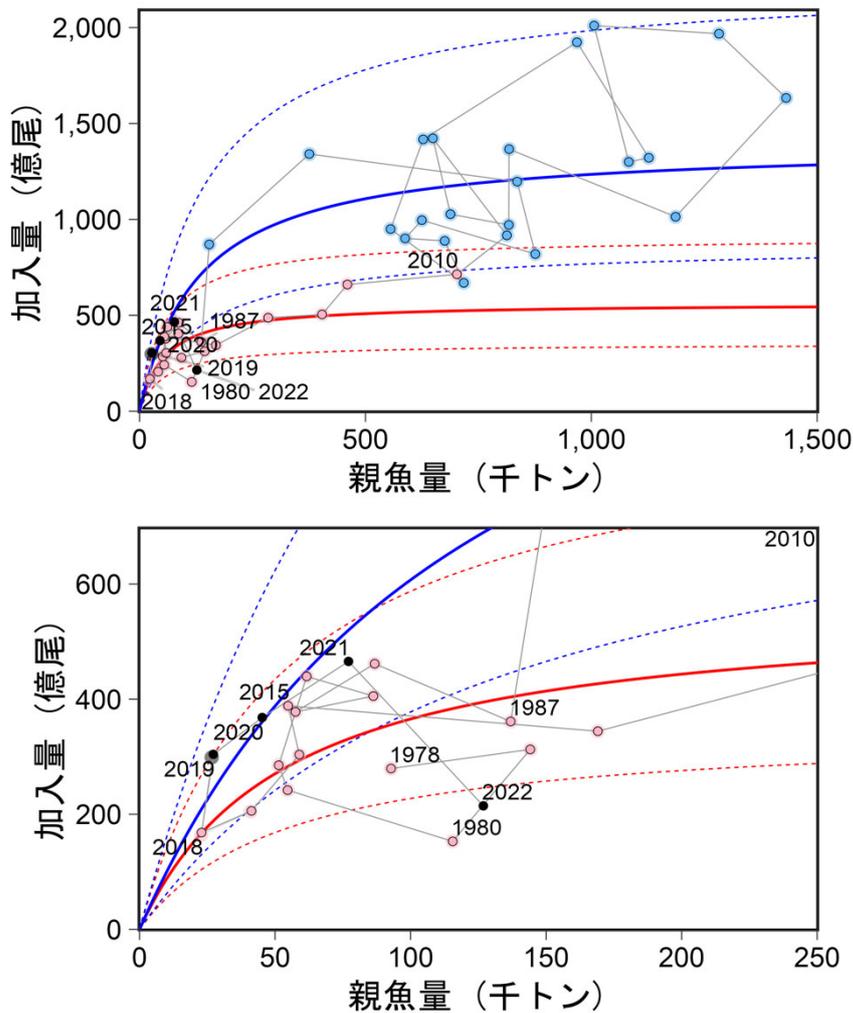


図 4-11. 親魚量と加入量の関係（再生産関係）

令和 3 年 9 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（木下ほか 2021b）で提案された通常加入期（赤実線）と高加入期（青実線）の再生産関係式。下図は上図の一部を拡大したものである。再生産関係には自己相関を考慮しないベarton・ホルト（BH）型再生産関係式を用い、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。薄い青色（1988～2009 年（高加入期））と赤色（1978～1987 年および 2010～2018 年（通常加入期））の丸印はそれぞれの再生産関係を求めるのに使用した、灰色（2019 年）の丸印は再生産関係を求めるのに使用しなかった令和 2 年度評価における親魚量と加入量を示す。図中の再生産関係式の上下の点線（赤：通常加入期、青：高加入期）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。枠線のみ丸と黒丸は本評価で推定された親魚量と加入量（1978～2022 年）を示す。図中の数字は加入群の年級（生まれ年）を示す。

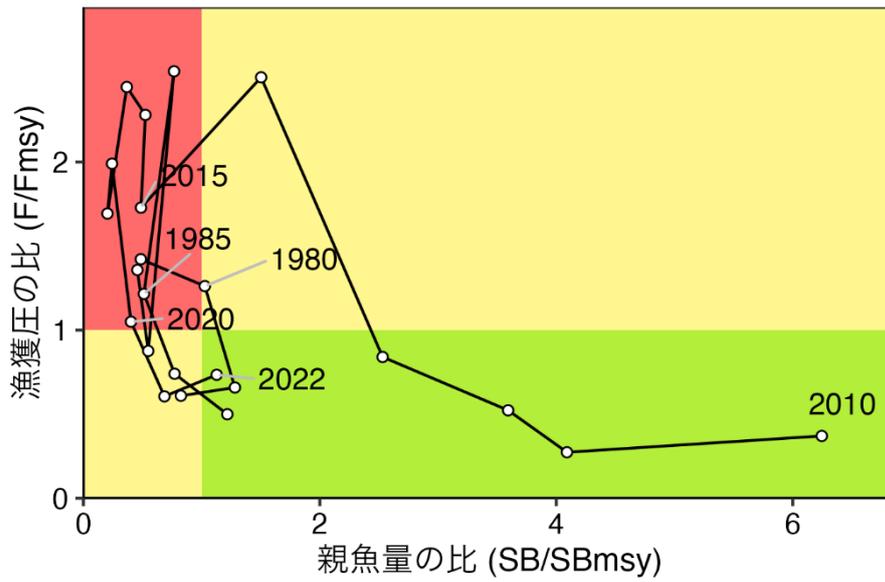


図 4-12. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy) と MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) に対する過去の親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)
 本図は通常加入期とした年 (1978~1987 年および 2010~2022 年) の結果である。

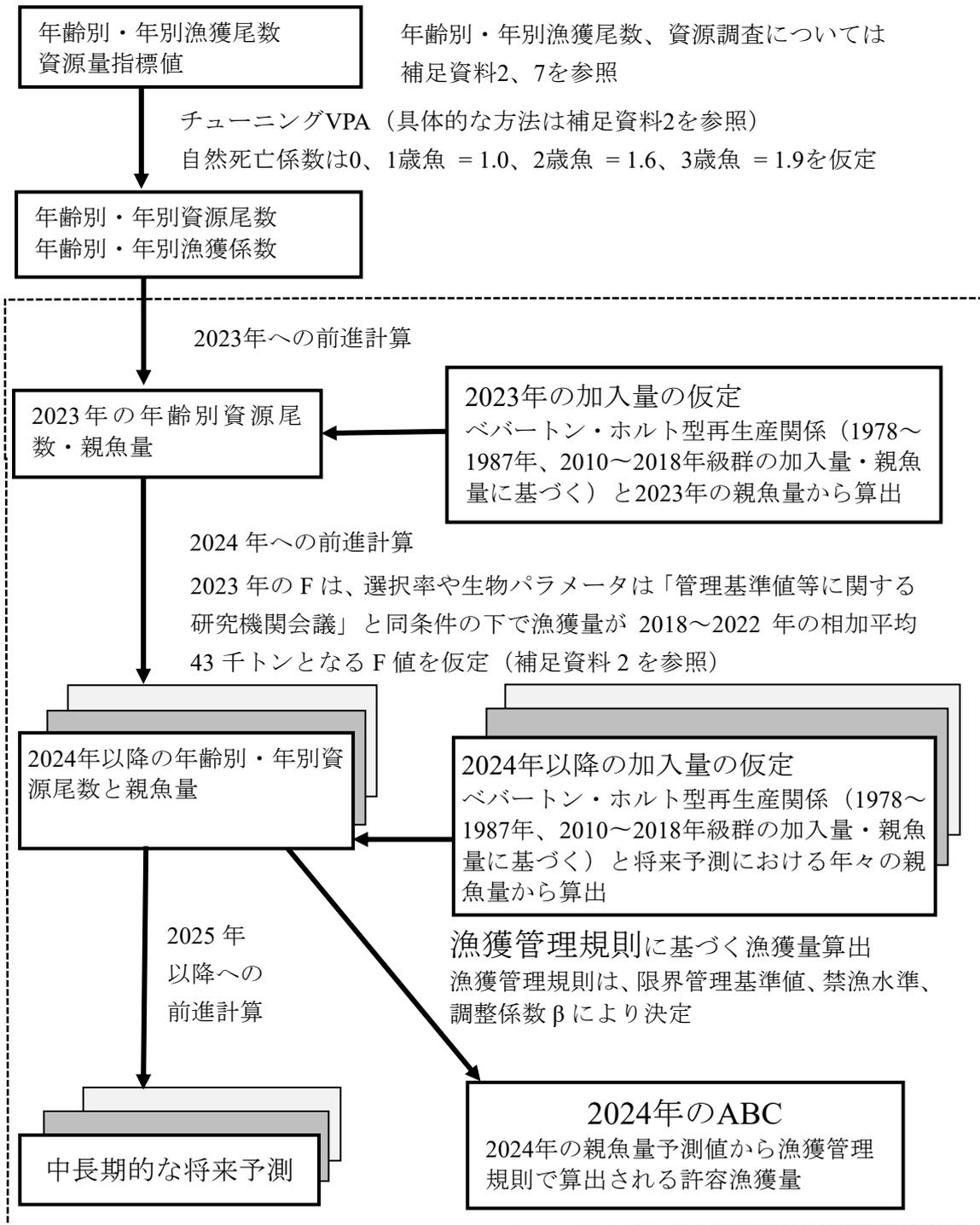
表 3-1. 漁獲量

年	漁獲量(トン)						主要港 漁獲量
	太平洋 南区	太平洋 中区	太平洋中区 のうち千葉県	太平洋 北区	北海道区 太平洋側	太平洋 合計	
1978	11,557	21,626	(17,255)	9,512	303	42,998	
1979	15,725	32,644	(16,815)	8,856	201	57,426	
1980	15,095	38,782	(24,450)	11,814	268	65,959	
1981	18,354	27,218	(12,995)	4,988	47	50,607	
1982	17,804	24,572	(8,801)	5,085	81	47,542	
1983	23,585	25,957	(13,925)	5,640	46	55,228	
1984	21,947	42,780	(24,833)	25,226	54	90,007	
1985	17,311	40,506	(17,868)	3,601	17	61,435	
1986	13,575	49,941	(20,430)	2,448	98	66,062	
1987	7,618	51,406	(38,211)	3,450	259	62,733	
1988	13,461	52,080	(44,370)	2,496	51	68,088	
1989	9,581	63,455	(35,626)	14,723	45	87,804	
1990	13,082	72,619	(43,397)	126,560	3,680	215,941	
1991	9,069	82,142	(57,298)	106,812	4,296	202,319	
1992	13,875	73,791	(31,114)	85,489	5,121	178,276	
1993	7,712	57,101	(30,149)	29,931	5,743	100,487	
1994	16,002	59,842	(38,089)	33,209	1,375	110,428	73,573
1995	6,314	77,267	(50,665)	50,943	7,192	141,716	85,814
1996	10,741	86,365	(56,059)	106,913	3,871	207,890	151,860
1997	9,105	72,876	(47,349)	43,125	9,358	134,464	104,132
1998	13,938	119,330	(80,964)	166,652	19,451	319,371	240,982
1999	41,964	124,592	(65,195)	135,000	26,441	327,997	277,756
2000	38,181	81,333	(48,732)	89,937	3,665	213,116	192,638
2001	12,538	90,150	(46,931)	91,145	4,095	197,928	185,604
2002	15,998	144,967	(104,515)	128,358	45,076	334,399	304,895
2003	20,741	183,802	(123,342)	170,717	32,749	408,009	393,874
2004	21,816	188,584	(145,007)	168,461	23,004	401,865	407,431
2005	11,954	141,565	(105,360)	79,545	4,627	237,691	211,760
2006	10,722	169,385	(114,182)	99,111	24,210	303,428	270,406
2007	19,513	138,030	(87,840)	74,488	10,437	242,468	221,308
2008	9,301	144,075	(78,424)	48,815	6,891	209,082	180,061
2009	18,933	160,340	(95,449)	39,854	21,765	240,892	222,692
2010	16,882	139,307	(76,417)	56,581	34,859	247,629	234,049
2011	8,240	109,571	(55,999)	32,119	10,050	159,980	139,566
2012	13,439	116,920	(63,794)	9,975	14,125	154,459	141,674
2013	22,744	114,105	(50,655)	14,030	5,151	156,030	135,100
2014	27,585	101,488	(39,955)	7,688	7,223	143,984	120,144
2015	8,372	52,293	(11,810)	5,323	521	66,509	52,962
2016	17,853	54,794	(10,579)	3,140	1,908	77,695	65,153
2017	12,380	36,866	(8,933)	2,344	2,691	54,281	43,731
2018	6,488	19,877	(5,340)	2,018	673	29,056	22,947
2019	6,035	36,098	(7,358)	1,407	797	44,337	37,731
2020	9,059	44,581	(9,956)	2,264	1,102	57,006	50,065
2021	10,548	29,013	(7,148)	2,610	32	42,203	35,731
2022	9,549	28,755	(4,595)	1,709	155	40,168	34,084

表 4-1. 資源解析結果 (チューニング VPA の結果)

年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	加入量 (億尾)	再生産成功 率 (尾/kg)	漁獲割合 (%)	%SPR	F/Fmsy
1978	233.5	92.8	279.4	301.2	18.4	58.0	0.61
1979	302.2	144.1	312.6	216.9	19.0	58.1	0.66
1980	201.9	115.5	152.9	132.3	32.7	38.1	1.26
1981	158.0	54.6	241.9	442.7	32.0	34.4	1.42
1982	151.7	51.4	285.1	555.3	31.3	34.7	1.36
1983	247.9	61.7	439.5	712.7	22.3	48.4	0.88
1984	220.9	86.3	405.3	469.9	40.8	21.5	2.54
1985	222.6	57.5	377.8	656.6	27.6	39.7	1.22
1986	310.3	86.7	461.5	532.0	21.3	52.0	0.74
1987	352.5	136.9	361.2	263.8	17.8	62.7	0.50
1988	460.4	154.2	869.7	563.9	14.8	65.6	0.44
1989	1,144.1	375.8	1,340.9	356.8	7.7	80.3	0.20
1990	1,966.8	835.8	1,197.0	143.2	11.0	80.1	0.18
1991	1,433.5	876.0	819.5	93.6	14.1	78.0	0.23
1992	1,282.7	625.0	995.9	159.4	13.9	78.0	0.20
1993	1,065.2	587.9	900.9	153.2	9.4	82.0	0.20
1994	1,184.3	675.5	888.1	131.5	9.3	84.2	0.15
1995	1,146.1	717.8	669.1	93.2	12.4	80.7	0.19
1996	1,273.3	555.7	949.7	170.9	16.3	72.0	0.27
1997	1,927.0	627.8	1,417.1	225.7	7.0	84.1	0.13
1998	2,680.2	968.4	1,923.6	198.6	11.9	77.7	0.19
1999	2,210.9	1,127.2	1,321.2	117.2	14.8	74.6	0.26
2000	2,048.0	1,082.9	1,299.6	120.0	10.4	84.6	0.14
2001	2,455.3	1,006.3	2,010.1	199.8	8.1	85.5	0.14
2002	2,908.8	1,282.7	1,967.9	153.4	11.5	78.9	0.15
2003	2,820.6	1,431.3	1,633.2	114.1	14.5	78.7	0.14
2004	2,238.1	1,186.6	1,013.7	85.4	18.0	74.8	0.17
2005	1,696.0	818.0	1,366.3	167.0	14.0	79.6	0.14
2006	1,664.2	817.3	971.2	118.8	18.2	69.8	0.30
2007	1,299.8	688.3	1,027.2	149.2	18.7	73.8	0.18
2008	1,354.9	649.4	1,422.6	219.1	15.4	70.7	0.36
2009	1,543.8	813.2	916.9	112.8	15.6	76.4	0.19
2010	1,143.2	702.6	713.9	101.6	21.7	68.1	0.37
2011	949.1	460.1	660.5	143.6	16.9	71.7	0.27
2012	645.4	404.1	504.9	124.9	23.9	61.6	0.52
2013	543.2	284.7	487.3	171.2	28.7	49.5	0.84
2014	322.0	169.1	344.3	203.6	44.7	17.2	2.50
2015	188.4	54.8	388.4	708.7	35.3	28.7	1.73
2016	192.6	58.9	303.6	515.1	40.3	22.9	2.28
2017	125.1	41.3	205.8	498.4	43.4	20.2	2.45
2018	94.0	22.9	168.2	734.9	30.9	33.3	1.69
2019	114.5	27.2	304.1	1,116.2	38.7	25.2	1.99
2020	236.2	45.3	368.0	813.1	24.1	43.5	1.05
2021	260.1	77.1	465.5	603.8	16.2	60.6	0.61
2022	247.2	126.8	214.6	169.2	16.2	55.2	0.73

補足資料 1 資源評価の流れ



※ 点線枠内は資源管理方針に関する検討会における管理基準値や漁獲管理規則等の議論をふまえて作成される。

(http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/index.html)

補足資料 2 計算方法

(1) データ収集

太平洋側各道県試験研究機関により主要港の水揚量と体長組成ならびに精密測定結果などの生物情報が調査され、得られた結果がフレスコシステムに入力されている。体長－体重関係や成熟度指数などの情報は、フレスコシステムに入力されたこれらの情報を基に計算した。

卵・稚仔、プランクトン調査と北上期調査の調査結果の概要については、補足資料 7 に示している。

(2) チューニング VPA による資源量計算方法

太平洋側各道県主要港の水揚量と体長組成ならびに精密測定結果から求めた体長－体重関係から月毎に体長階級別漁獲尾数を求め、月別の年齢－体長関係に基づいて主要港における年齢別漁獲尾数を計算した。寿命は 4 年（3 歳の最後で死亡）と仮定し、年齢別の尾数比を漁業・養殖業生産統計年報の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求めた（補足表 2-2）。

0 歳、1 歳、2 歳、および 3 歳の年齢構成とした年齢別・年別漁獲尾数に基づき、Pope の近似式（Pope 1972）を用いて後退法により年齢別・年別資源尾数を推定した。最新年の前年（2021 年）までは下記の式 (2) (3) により計算した。

$$N_{a,t} = N_{a+1,t+1}e^{M_a} + C_{a,t}e^{\frac{M_a}{2}} \quad (a = 0, 1, 2) \quad (2)$$

$$N_{3,t} = N_{2,t} \frac{C_{3,t}}{C_{2,t}} e^{\frac{(M_3 - M_2)}{2}} \quad (3)$$

ここで、 $N_{a,t}$ は a 歳魚の t 年の資源尾数、 $C_{a,t}$ は a 歳魚の t 年の漁獲尾数、 M_a は a 歳魚の M である。

最新年の前年までの a 歳魚の t 年の漁獲係数 $F_{a,t}$ は以下の式により推定した。

$$F_{a,t} = -\ln \left\{ 1 - \frac{C_{a,t}e^{\frac{M_a}{2}}}{N_{a,t}} \right\} \quad (a = 0, 1, 2) \quad (4)$$

最高齢の漁獲係数 $F_{3,t}$ は、全ての年で 2 歳の F に等しいとした。

$$F_{3,t} = F_{2,t} \quad (5)$$

最新年 T 年（2022 年）の a 歳魚の資源尾数 $N_{a,T}$ については以下の式により計算した。

$$N_{a,T} = C_{a,T} e^{\frac{M_a}{2}} \frac{1}{1 - e^{-F_{a,T}}} \quad (a = 0, 1, 2, 3) \quad (6)$$

ここで、 $C_{a,T}$ は a 歳魚の最新年の漁獲尾数である。 $F_{a,T}$ は a 歳魚の最新年の漁獲係数（ターミナルF）であり、この $F_{a,T}$ をチューニングにより探索的に推定するとともに、式 (2)～(5) を用いることによって、過去に遡って年齢別・年別資源尾数を計算できる。

資源計算に用いた年齢別（0歳、1歳、2歳、3歳）の成熟割合とMについては、それぞれ（0、1、1、1）および（1、1、1.6、1.9）とした。年齢別・年別体重は主要港における年齢別・年別漁獲量を年齢別・年別漁獲尾数で除して求めた。

(3) ターミナルFの推定

チューニング VPA により $F_{a,T}$ を推定した。チューニング指数として、VAST (Vector-Autoregressive Spatio-Temporal) モデルにより標準化した産卵量を親魚量（重量）の指標値として用いるとともに、VAST で標準化した北上期調査 0 歳魚 CPUE を加入量（尾数）の指標値として用いた（補足資料 8）。北上期調査 0 歳魚 CPUE については、調査で採集された個体の年齢データが現時点では利用できないため、被鱗体長 10 cm 未満の個体を 0 歳魚とみなして CPUE を算出した。

ターミナルFの推定値を安定化させるために、リッジ VPA (Okamura et al. 2017) を適用した。これは、残差平方和にペナルティ項を加えた関数を最小化することでターミナルFを求める手法であり、ペナルティの大きさはレトロスペクティブバイアス (Mohn's ρ , Mohn 1999) を最小にするよう決められる。リッジ VPA のペナルティ項は、式 (7) に示すように、最新年の年齢別Fと直近3年（2019～2021年）平均の年齢別Fとの差の二乗和として、ターミナルFは全F推定法により推定した。

$$(1 - \lambda) \sum_{k=1}^p \sum_t \left[\frac{\{\ln(I_{k,t}) - \ln(q_k X_{k,t}^{b_k})\}^2}{2\sigma_k^2} - \ln\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_k}\right) \right] + \lambda \sum_{a=0}^2 \left(F_{a,2022} - \frac{1}{3} \sum_{t=2019}^{2021} \hat{F}_{a,t} \right)^2 \quad (7)$$

λ はリッジ回帰におけるペナルティの大きさを表し、0 以上 1 未満の値をとるようにした。本検討では、 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、 $\lambda = 0.9999$ について計算した。 $I_{k,t}$ は k 番目の資源量指標値（以降、指標値 k ）の t 年の値をそれぞれ表す。 q_k は指標値 k の比例定数、 $X_{k,t}$ はコホート解析から計算される t 年における指標値 k の対象（親魚量もしくは加入量）の値、 b_k は指標値 k と VPA の推定値の関係における非線形性を表す係数、 σ_k^2 は $\ln(I_{k,t})$ と $\ln(q_k X_{k,t}^{b_k})$ の差の分散である (Hashimoto et al. 2018)。 p は当てはめた指標値の数を表し、産卵量および北上期調査 0 歳魚 CPUE を用いたため $p = 2$ である。なお、ターミナルFについては、まずは初期値を 1（0～2 歳魚の全てで 1）として計算を行った上で、モデルが収束していない、またはヘッセ行列の対角成分が正でないモデルについては 0.25、0.5、0.75 のいずれかの初期値（0～2 歳魚の全てで同じ値）を当てはめて再び計算を実施し、モデルが収束するとともにヘッセ行列の対角成分が正となるようにした（ここまですてップ 1 とする）。続いて、各年齢のターミナルFの初期値を 0.01～2 の間の 10

個 (0.01、0.02、0.03、0.06、0.11、0.19、0.34、0.62、1.11、2.00) から無作為に 3 個を選ぶジッター分析 (反復数 10 回) を行うことにより、ステップ 1 のモデルが最尤推定値かどうかを診断した。最尤推定値かどうかを診断する上では、まず、モデルが収束するとともにヘッセ行列の対角成分が正であり、かつターミナル F が極端な値 (0~2 歳魚のターミナル F のいずれかが 1,000,000 を超える場合または 100 万分の 1 未満の微小値になる場合) ではないジッター分析のモデルを選抜し、対数尤度、初期値セット、およびターミナル F 推定値を抽出した。そして、これらのジッター分析モデルの対数尤度とステップ 1 のモデルの対数尤度を比較して、ジッター分析モデルの対数尤度の方が大きい場合にはステップ 1 のモデルは最尤推定値が得られていないと判断した。最尤推定値が得られていないと判断されたステップ 1 のモデルについては、選抜されたジッター分析モデルの中で最大の対数尤度を持つモデルのターミナル F 推定値を初期値として用い、チューニング VPA の再計算を行った (これをステップ 2 のモデルとする)。その後、ステップ 2 のモデルについて、後述するレトロスペクティブ解析を行ない、レトロスペクティブバイアスの比較を行った (補足表 2-3)。

q_k および b_k は、それぞれ以下の式 (8) および式 (9) で推定した。

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

$$b_k = \frac{\text{Cov}[\ln(I_k), \ln(X_k)]}{V[\ln(X_k)]} \quad (9)$$

ここで、 n_k はチューニングに使用した指標値 k の年数であり、 V と Cov はそれぞれ分散と共分散を表す。 n_k については、利用可能な全期間のデータを用いて標準化を実施した後 (補足資料 8)、2010 年以降のデータを用いたが (すなわち、 $n_k = 13$)、これは「令和 3 (2021) 年度カタクチイワシ太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料」(木下ほか 2021) において、本系群の再生産関係の通常加入期とされているのが 1987 年以前および 2010 年以降のためである。また、北上期調査 0 歳魚 CPUE ($k = 1$) と産卵量 ($k = 2$) の b_k についてはともに非線形性を仮定した (すなわち、 $b_k \neq 1$)。

Mohn's ρ は、最新年 T 年 (2022 年) までのフルデータを用いた場合の推定値と、最新年から i 年分のデータを落とした場合の最終年 ($T - i$ 年) の推定値との相対値の平均値である。レトロスペクティブ解析でデータを遡る年数は、本系群の寿命は 4 年であることから、世代が一新される 5 年 ($i = 1, 2, \dots, 5$) とした。資源量、資源尾数、加入量、親魚量、および漁獲係数の全 5 項目について、レトロスペクティブバイアスが $\pm 20\%$ (Mohn's $\rho = \pm 0.2$) の範囲内にあるモデルを選抜した (補足表 2-3)。その結果、Mohn's ρ の絶対値の合計は、 $\lambda = 0.99$ と 0.9999 のモデルにおいて、チューニングなしの VPA のそれを下回る非常に低い値となった。また、これらに続いて $\lambda = 0.95 \sim 0.98$ についても Mohn's ρ の絶対値の合計が低くなったが、以上の λ のモデルではターミナル F の推定値はチューニングなしの VPA とほとんど同じであった (補足表 2-4)。これは、本評価で使用しているデータ (年齢別漁獲尾数、2010 年以降のチューニング指数) およびターミナル F の推定方法 (全 F 推定法) の

下では、 λ がある閾値（本年度評価の場合 $\lambda=0.84$ ）よりも大きくなるとチューニングの効果が得られなくなるためであることから、チューニングの効果が得られたモデル（ $\lambda=0.83$ 以下）のうち Mohn's ρ の絶対値の合計が最小の $\lambda=0.68$ のモデルを本資源のチューニング VPA として適用した（補足表 2-3、2-4）。なお、チューニングなしの VPA のレトロスペクティブバイアスが小さい理由としては、本系群は 0～3 歳魚の 4 年齢群で構成されているが、近年のように資源が低い水準にある年は漁獲物の大部分が 0 歳魚で構成され、1 歳魚以上の漁獲尾数が非常に少ないことから、1 歳魚以上の情報が追加されても、推定結果にほぼ影響しないことによるものと考えられる。また、レトロスペクティブ解析の遡及年数が 5 年であり、本資源の資源量や漁獲努力量の急減期にあたる 2014 年以前まで遡らないことも関係していると考えられる。

「資源評価のモデル診断手順と情報提供指針（令和 3 年度）FRA-SA2021-ABCWG02-03」に従って、本系群の評価に用いたチューニング 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。5 年遡及のレトロスペクティブ解析の結果、資源量、加入量、および親魚量などの推定値に特徴的なレトロスペクティブパターンは認められなかった（補足図 2-1）。

残差プロットの結果では、産卵量（ $\sigma = 0.29$ ）は北上期調査 0 歳魚 CPUE（ $\sigma = 0.88$ ）に比べて σ が小さく、指標値の重みが相対的に大きかった（補足図 2-2）。また、推定された非線形係数 b は産卵量で 0.333（昨年度評価は 0.624）であり、昨年度評価と同様に hyper stability の傾向が認められた。北上期調査 0 歳魚 CPUE についても b は 5.490（昨年度評価は 6.689）と推定され、昨年度評価と同様に hyper depletion の傾向が認められた。

ジャックナイフ解析の結果では、北上期調査 0 歳魚 CPUE の指標値を除いた場合に 1 歳魚のターミナル F が大きくなり、直近 3 年の親魚量が 2 倍以上増加する（補足図 2-3）。このことから、北上期調査 0 歳魚 CPUE は、直近 3 年において比較的高い値となっている産卵量のチューニング効果を抑える形になっていると考えられる。

パラメトリックブストラップ法により推定した資源量、親魚量、および加入量の 95% 信頼区間を補足図 2-4 に示した。最終年の 95% 信頼区間は、資源量で 18.2 万～34.7 万トン、親魚量で 8.2 万～20.4 万トン、加入量で 143 億～312 億尾であった。

(4) 自然死亡係数 M

M については平成 17 年度評価より算出方法を改め、von Bertalanffy の成長式に基づく極限体長 L_{∞} と成長係数 K および水温から平均の M を求める経験則（Pauly 1980）を採用し、実際にはこの式を改訂した下記の推定式（Quinn and Deriso 1999）から算出している。

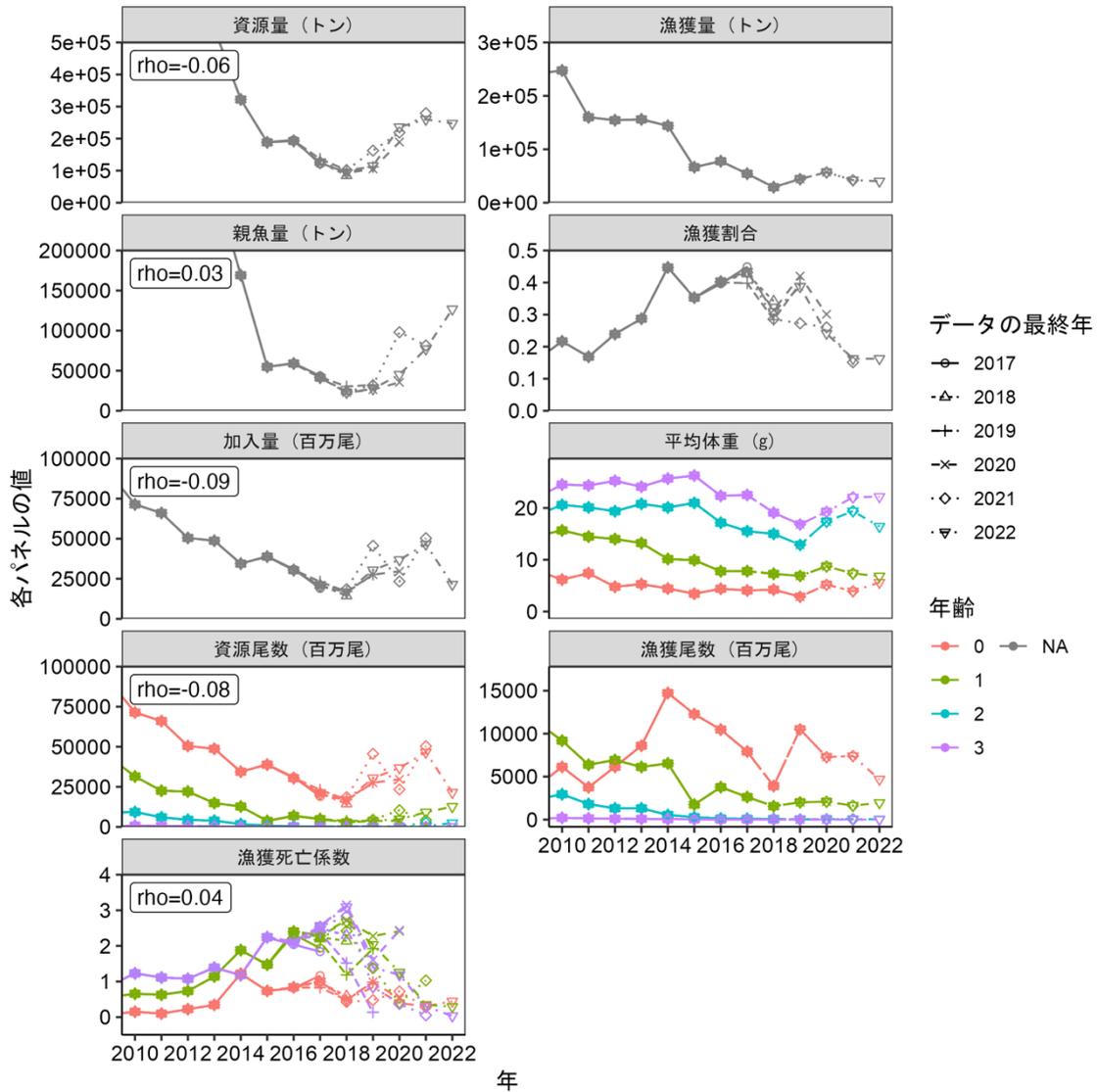
$$\ln(M) = -0.0152 - 0.279 \times \ln(L_{\infty}) + 0.6543 \times \ln(K) + 0.4634 \times \ln(T) \quad (10)$$

ここで、年齢-体長関係の仮定から L_{∞} は 17.0 cm、 K は 0.67 とするとともに、平均水温 T は、1950～2000 年の黒潮域（11 月～翌年 5 月）および黒潮親潮移行域（6～10 月）の平均水温である 21.1°C とした。カタクチイワシのような小型浮魚類については、高齢になってもカツオなどの大型魚類や鯨類などの海産哺乳類による強い捕食圧にさらされる上に、再生産活動による消耗と老衰も相まって高齢魚の M は急速に高まるため、成長に伴う M の

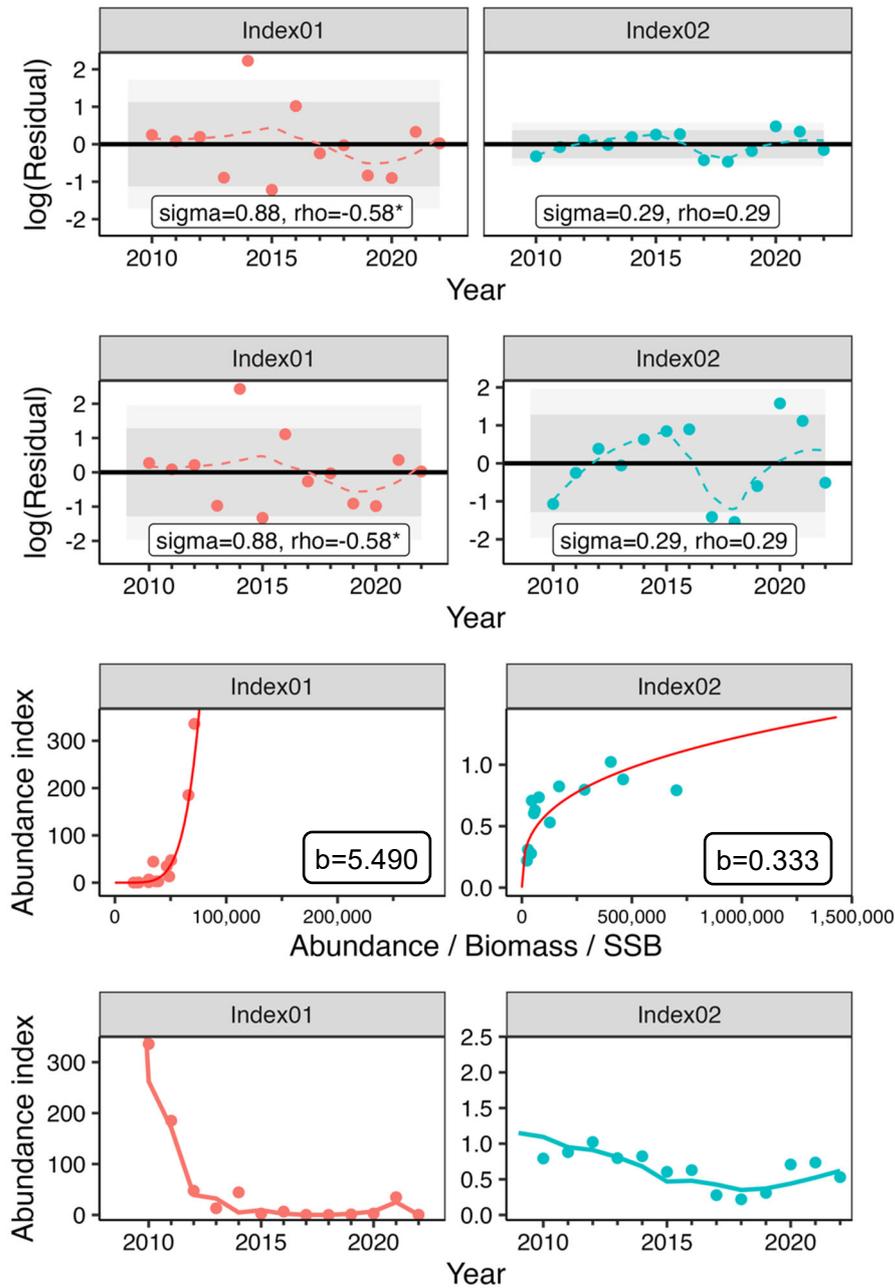
変化傾向は典型的な Bath tub 曲線を描くと考えられる。そこで Chen and Watanabe (1989) を参考に、経験則から求められた平均の M を各年齢に分配した。その際、0~1 歳の M については、北米産カタクチイワシの M を発育段階ごとに調べた Butler et al. (1993) に示されている、Early adult~Late adult の推定値である 1.0 を採用した。なお、Bath tub 曲線に基づくと、0 歳魚の M は 1 歳魚の M よりも高くなるが、本評価ではシラス期を評価対象に含めていないこともあり、0 歳魚の M は 1 歳魚の M と同値と仮定している。

引用文献

- Butler, J.L., P.E. Smith and N.C.H. Lo (1993) The effect of natural variability of life-history parameters on anchovy and sardine population growth. *CalCOFI Rep.*, **34**, 104-111.
- Chen, S. and S. Watanabe (1989) Age dependence of natural mortality coefficient in Fish population dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55**, 205-208.
- 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.
- 木下順二・安田十也・渡邊千夏子・上村泰洋 (2021) 令和 3 (2021) 年度カタクチイワシ太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. FRA-SA2021-BRP03-1
- Mohn, R. (1999) The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data. *ICES J. Mar. Sci.*, **56**, 473-488.
- Okamura, H., Y. Yamashita and M. Ichinokawa (2017) Ridge virtual population analysis to reduce the instability of fishing mortalities in the terminal year. *ICES J. Mar. Sci.*, **74**, 2427-2436.
- Pauly, D. (1980) On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **39**, 175-192.
- Pope, J.G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Inst. Comm. Northwest Atlant. Fish. Res. Bull.*, **9**, 65-74.
- Quinn, T.J.II and R.B. Deriso (1999) *Quantitative Fish Dynamics*. Oxford University Press, New York., 542 pp.



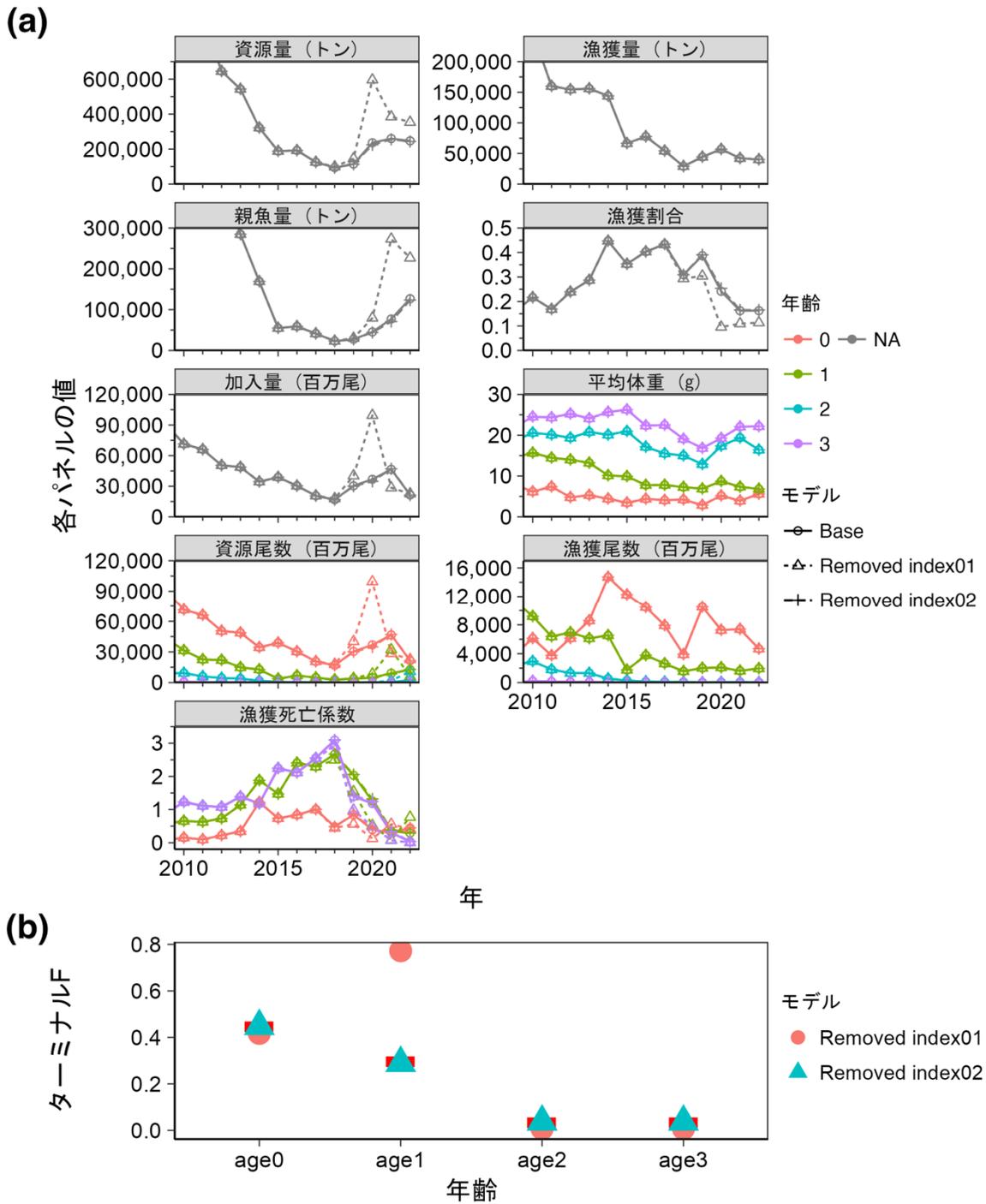
補足図 2-1. チューニング VPA ($\lambda=0.68$ 、全 F 推定法) のレトロスペクティブ解析結果



補足図 2-2. チューニング VPA ($\lambda=0.68$ 、全 F 推定法) の残差プロット

- 1 段目：チューニング指数と予測値の対数残差の時系列プロット
- 2 段目：チューニング指数と予測値の標準化対数残差の時系列プロット
- 3 段目：チューニング指数と予測値の回帰関係
- 4 段目：チューニング指数の観測値（点）と予測値（線）の時系列プロット

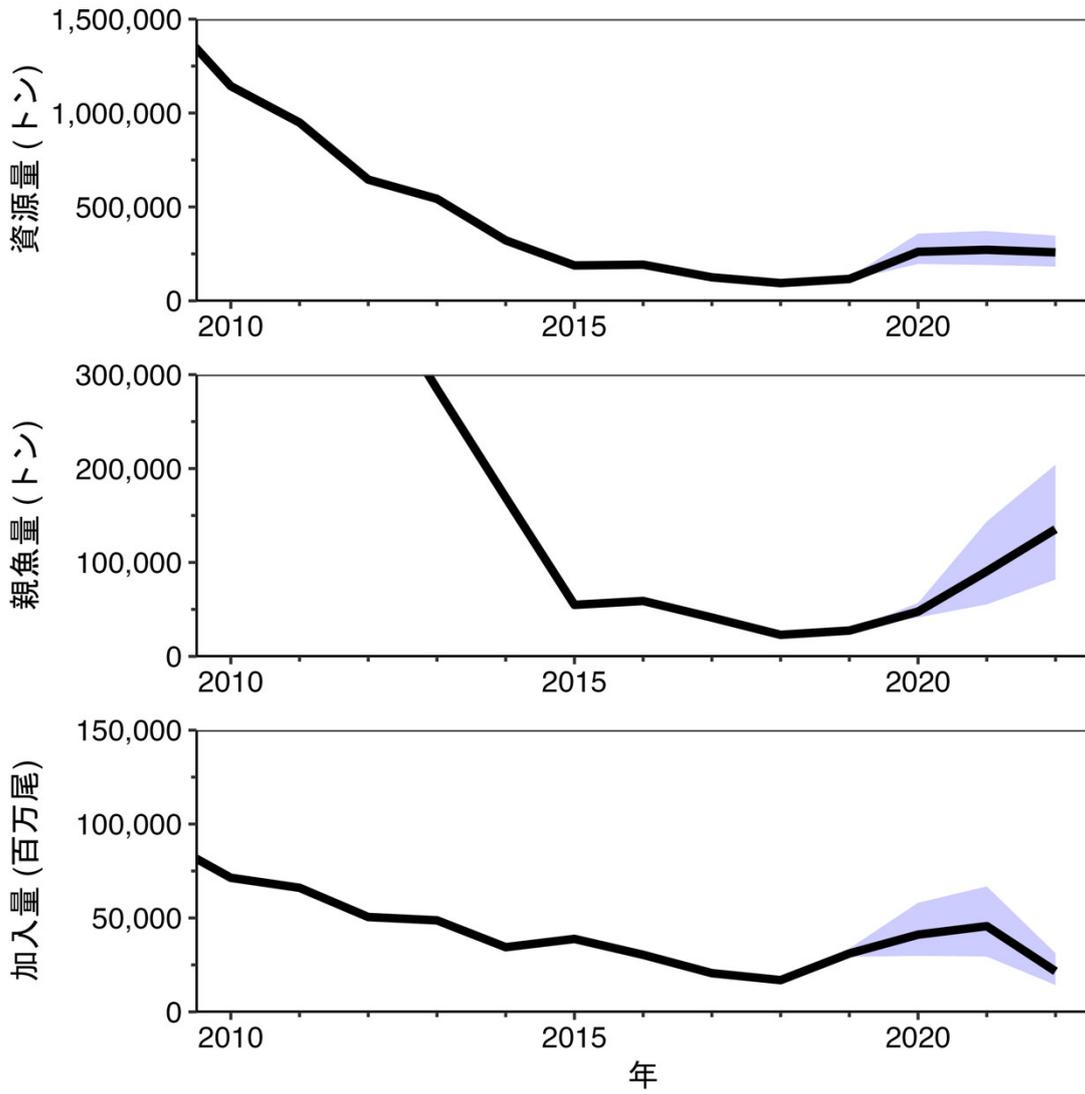
チューニング指数 (index01: 北上期調査 0 歳魚 CPUE、index02: 規格化した産卵量)。
 上 2 段の σ は観測誤差、 ρ は残差の 1 次の自己相関 (危険率 5% で有意の場合は右肩に*が付き)、濃い灰色の範囲は観測値の 80% 区間 (1.28σ)、薄い灰色の範囲は 95% 区間 (1.96σ) を表す。



補足図 2-3. 資源量、親魚量、加入量、資源尾数、漁獲係数のジャックナイフ解析 (a) 各種資源量推定値の推移、(b) ターミナルFの推定値

(b) の赤横棒は両チューニング指数を含めた場合、すなわち (a) の Base モデルの推定値を表す。

チューニング指数 (index01 : 北上期調査 0 歳魚 CPUE、index02 : 規格化した産卵量)。



補足図 2-4. ブートストラップ法による資源量、親魚量、および加入量の信頼区間
 リサンプリング回数は 1,000 回とし、紫色の範囲は 95%信頼区間を表す。

補足表 2-1. チューニング指数

年	規格化した 産卵量	北上期調査 0歳魚CPUE (尾/網・時)
1978		
1979		
1980		
1981		
1982	0.36	
1983	0.27	
1984	0.16	
1985	0.29	
1986	0.22	
1987	0.27	
1988	0.25	
1989	0.21	
1990	0.43	
1991	1.80	
1992	1.71	
1993	0.58	
1994	0.81	
1995	0.79	
1996	0.63	
1997	1.01	
1998	1.28	
1999	4.32	
2000	2.95	
2001	0.68	
2002	1.14	224.4
2003	1.88	144.8
2004	1.86	86.5
2005	2.45	85.1
2006	1.45	10.7
2007	2.46	86.9
2008	0.92	116.5
2009	1.47	281.4
2010	0.79	335.7
2011	0.88	185.1
2012	1.02	47.6
2013	0.80	13.2
2014	0.82	44.4
2015	0.60	2.8
2016	0.63	6.6
2017	0.28	0.2
2018	0.22	0.1
2019	0.31	1.1
2020	0.71	2.8
2021	0.73	34.9
2022	0.53	0.4

チューニング VPA に使用した年の資源量指標値は太字で示した。

補足表 2-2. コホート解析に用いた入力値の詳細

年	年齢別漁獲尾数 (百万尾)					年齢別平均体重 (g)			
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	合計	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚
1978	3,105.2	2,512.6	288.3	34.2	5,940.3	5.0	8.4	18.2	25.5
1979	6,060.4	1,538.7	283.7	17.0	7,899.8	5.1	13.5	19.8	23.9
1980	3,713.1	3,622.8	560.0	36.5	7,932.5	5.6	9.5	17.4	22.6
1981	6,613.8	1,476.4	252.0	58.4	8,400.7	4.3	10.4	21.2	27.6
1982	8,807.7	1,610.6	95.5	5.8	10,519.6	3.5	9.1	18.4	24.9
1983	7,577.0	2,185.6	166.4	4.7	9,933.7	4.2	9.3	16.0	21.0
1984	13,149.4	6,474.5	237.6	32.8	19,894.3	3.3	6.4	18.0	25.9
1985	7,905.9	3,336.6	110.2	2.3	11,355.0	4.4	7.5	15.3	17.8
1986	6,433.4	3,701.7	188.3	5.3	10,328.7	4.8	8.7	12.5	27.8
1987	3,799.8	4,000.7	214.1	3.7	8,018.2	6.0	9.2	14.3	23.5
1988	7,903.6	3,384.0	316.9	14.5	11,619.0	3.5	10.3	16.1	21.8
1989	6,191.5	3,493.4	428.7	62.9	10,176.5	5.7	12.0	20.3	28.1
1990	5,282.6	8,673.2	1,889.1	43.0	15,887.9	9.4	15.2	17.7	22.5
1991	4,969.5	7,101.2	2,779.9	154.7	15,005.3	6.8	15.4	20.0	23.0
1992	4,488.2	5,146.4	3,426.6	295.6	13,356.8	6.6	14.2	20.1	22.5
1993	5,091.7	3,683.9	1,227.8	96.0	10,099.3	5.3	13.1	18.7	22.6
1994	3,360.9	4,080.9	1,383.7	96.9	8,922.4	5.7	15.1	19.6	24.9
1995	3,246.4	4,521.9	1,874.7	272.0	9,915.0	6.4	16.0	22.0	27.2
1996	5,542.8	6,348.1	2,873.0	258.2	15,022.0	7.6	15.8	20.7	24.8
1997	4,476.7	3,520.1	1,478.9	122.3	9,598.0	9.2	16.4	22.0	25.4
1998	8,787.4	11,740.1	2,860.6	62.3	23,450.5	8.9	16.0	18.1	21.5
1999	7,652.1	14,207.3	3,425.6	167.6	25,452.6	8.2	13.7	19.3	23.8
2000	3,950.7	6,535.6	3,425.8	132.3	14,044.4	7.4	17.4	19.6	24.2
2001	2,519.2	6,804.1	3,052.6	340.2	12,716.2	7.2	15.5	21.6	25.3
2002	5,546.0	15,920.1	3,112.1	232.8	24,811.1	8.3	13.9	19.6	25.7
2003	5,186.8	15,932.9	5,603.3	324.1	27,047.1	8.5	15.6	19.1	23.9
2004	3,674.2	16,955.5	5,243.0	261.5	26,134.2	10.4	15.2	19.0	22.6
2005	4,050.8	7,534.5	3,965.4	262.6	15,813.4	6.4	16.6	20.2	23.7
2006	6,026.8	14,556.2	2,657.1	101.8	23,341.9	8.7	13.6	18.7	23.4
2007	4,040.2	10,151.2	2,823.8	135.3	17,150.6	6.0	15.8	19.5	22.8
2008	13,629.0	6,703.6	1,886.8	143.7	22,363.1	5.0	14.7	21.0	24.0
2009	3,754.0	11,432.9	2,330.4	65.4	17,582.8	8.0	14.5	18.6	21.9
2010	6,130.7	9,186.7	2,948.9	207.0	18,473.2	6.2	15.7	20.6	24.5
2011	3,756.5	6,382.0	1,809.3	142.3	12,090.1	7.4	14.5	20.1	24.3
2012	6,143.4	6,937.0	1,310.6	101.6	14,492.5	4.8	14.0	19.4	25.2
2013	8,591.2	6,125.1	1,313.4	88.2	16,117.9	5.3	13.2	20.8	24.1
2014	14,727.6	6,537.3	544.1	52.5	21,861.6	4.4	10.1	20.1	25.7
2015	12,275.3	1,745.2	286.2	37.4	14,344.2	3.4	9.9	21.0	26.3
2016	10,471.6	3,777.3	124.4	5.2	14,378.4	4.4	7.8	17.1	22.3
2017	7,921.9	2,628.9	93.9	2.7	10,647.5	4.1	7.8	15.5	22.5
2018	3,903.8	1,561.4	76.5	1.3	5,542.9	4.2	7.3	15.0	19.1
2019	10,510.7	2,013.0	23.9	0.5	12,548.1	2.9	6.9	12.9	16.8
2020	7,278.2	2,087.9	57.3	1.0	9,424.4	5.2	8.7	17.4	19.3
2021	7,402.2	1,623.9	59.0	1.1	9,086.2	3.9	7.4	19.4	22.1
2022	4,677.4	1,955.3	34.3	0.9	6,667.9	5.6	6.8	16.4	22.2

補足表 2-3. モデル別の最尤推定となった初期値と Mohn's ρ の一覧

シナリオ名	初期値 (3個の場合は0、1、2歳魚)	Mohn's ρ					Mohn's ρ 絶対値の合計
		資源量	資源尾数	加入量	親魚量	漁獲係数	
1 Plain (チューニングなしVPA)	1	0.000	-0.002	-0.007	0.019	-0.011	0.039
2 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0	0.4504, 0.2773, 0.0452	-0.112	-0.119	-0.129	-0.074	66.660	67.093
3 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.01	0.75	-0.102	-0.109	-0.120	-0.061	0.408	0.800
4 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.02	0.75	-0.098	-0.106	-0.117	-0.057	0.337	0.714
5 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.03	0.75	-0.095	-0.103	-0.114	-0.054	0.301	0.669
6 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.04	0.75	-0.094	-0.102	-0.112	-0.052	0.279	0.639
7 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.05	0.75	-0.092	-0.100	-0.111	-0.051	0.262	0.616
8 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.06	0.75	-0.090	-0.099	-0.109	-0.050	0.249	0.598
9 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.07	0.75	-0.095	-0.100	-0.109	-0.069	0.703	1.075
10 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.08	0.75	-0.094	-0.099	-0.108	-0.068	0.701	1.071
11 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.09	0.75	-0.093	-0.098	-0.107	-0.068	0.700	1.067
12 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.1	0.75	-0.093	-0.097	-0.106	-0.068	0.699	1.063
13 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.11	0.75	-0.092	-0.097	-0.105	-0.068	0.698	1.060
14 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.12	0.75	-0.091	-0.096	-0.105	-0.067	0.698	1.057
15 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.13	0.75	-0.091	-0.095	-0.104	-0.067	0.697	1.054
16 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.14	0.75	-0.090	-0.095	-0.103	-0.067	0.697	1.052
17 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.15	0.75	-0.090	-0.094	-0.103	-0.067	0.697	1.051
18 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.16	0.75	-0.089	-0.094	-0.102	-0.067	0.697	1.049
19 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.17	0.75	-0.089	-0.093	-0.102	-0.067	0.697	1.048
20 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.18	0.75	-0.089	-0.093	-0.101	-0.067	0.697	1.047
21 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.19	0.75	-0.088	-0.093	-0.101	-0.067	0.698	1.046
22 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.2	0.5	-0.077	-0.088	-0.098	-0.031	0.169	0.463
23 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.21	0.5	-0.077	-0.087	-0.097	-0.030	0.166	0.457
24 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.22	0.5	-0.076	-0.087	-0.097	-0.029	0.163	0.452
25 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.23	0.5	-0.076	-0.086	-0.096	-0.028	0.161	0.447
26 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.24	0.5	-0.075	-0.086	-0.096	-0.027	0.159	0.442
27 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.25	0.2	1.24E+13	1.48E+13	1.84E+13	-0.028	0.120	4.56E+13
28 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.26	0.2	2.52E+12	3.02E+12	3.76E+12	-0.027	0.118	9.30E+12
29 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.27	0.2	-0.065	-0.073	-0.076	-0.037	0.219	0.470
30 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.28	0.2	9.25E+11	1.11E+12	1.38E+12	-0.025	0.116	3.41E+12
31 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.29	0.2	2.55E+14	3.06E+14	3.81E+14	-0.024	0.114	9.43E+14
32 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.3	0.2	1.20E+13	1.43E+13	1.79E+13	-0.023	0.113	4.42E+13
33 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.31	0.2	2.67E+11	3.20E+11	3.98E+11	-0.022	0.112	9.85E+11
34 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.32	0.2	Inf	Inf	Inf	-0.033	0.112	Inf
35 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.33	0.2	-0.065	-0.074	-0.077	-0.032	0.214	0.462
36 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.34	0.2	7.44E+12	8.91E+12	1.11E+13	-0.020	0.110	2.75E+13
37 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.35	0.2	6.28E+12	7.53E+12	9.37E+12	-0.019	0.109	2.32E+13
38 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.36	0.2	5.61E+10	6.73E+10	8.38E+10	-0.018	0.109	2.07E+11
39 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.37	0.2	6.50E+10	7.79E+10	9.70E+10	-0.018	0.108	2.40E+11
40 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.38	0.2	-0.065	-0.075	-0.078	-0.029	0.212	0.459
41 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.39	0.2	1.13E+11	1.35E+11	1.69E+11	-0.016	0.107	4.17E+11
42 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.4	0.2	2.80E+11	3.36E+11	4.19E+11	-0.015	0.107	1.03E+12
43 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.41	0.2	5.87E+11	7.03E+11	8.76E+11	-0.015	0.107	2.17E+12
44 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.42	0.2	Inf	Inf	Inf	-0.026	0.107	Inf
45 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.43	0.2	1.09E+11	1.31E+11	1.63E+11	-0.013	0.107	4.02E+11
46 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.44	0.2	-0.065	-0.077	-0.080	-0.025	0.213	0.460
47 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.45	0.2	-0.066	-0.077	-0.080	-0.024	0.214	0.461
48 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.46	0.2	2.64E+13	3.17E+13	3.94E+13	-0.011	0.108	9.75E+13
49 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.47	0.2	1.91E+14	2.30E+14	2.86E+14	-0.011	0.108	7.07E+14
50 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.48	0.2	-0.066	-0.078	-0.081	-0.023	0.216	0.465
51 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.49	0.2	Inf	Inf	Inf	1.77E+04	-0.203	Inf
52 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.5	0.4472, 0.2847, 0.0381	-0.066	-0.081	-0.090	-0.008	0.141	0.386

緑色で塗りつぶしたセルは Mohn's ρ が±0.20 の範囲内であることを、橙色で塗りつぶしたセルは±0.30 の範囲内であることを示す。モデル名が緑文字で示されているものは、レトロバイアスを勘案した 5 項目全てで Mohn's ρ が±0.20 の範囲内であったモデルである。

補足表 2-3. モデル別の最尤推定となった初期値と Mohn's ρ の一覧 (続き)

シナリオ名	初期値 (3個の場合は0、1、2歳魚)	Mohn's ρ					Mohn's ρ 絶対値の合計
		資源量	資源尾数	加入量	親魚量	漁獲係数	
1 Plain (チューニングなしVPA)	1						0.039
53 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.51	0.4471, 0.2850, 0.0379	0.000	-0.002	-0.007	0.019	-0.011	0.386
54 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.52	0.4470, 0.2854, 0.0377	-0.066	-0.081	-0.089	-0.008	0.142	0.386
55 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.53	0.4469, 0.2857, 0.0374	-0.066	-0.081	-0.089	-0.007	0.143	0.387
56 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.54	0.4468, 0.2861, 0.0372	-0.065	-0.081	-0.089	-0.007	0.145	0.387
57 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.55	0.4467, 0.2865, 0.0369	-0.065	-0.082	-0.089	-0.006	0.146	0.389
58 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.56	0.4466, 0.2869, 0.0367	-0.065	-0.082	-0.089	-0.006	0.147	0.390
59 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.57	0.4465, 0.2873, 0.0364	-0.065	-0.082	-0.089	-0.006	0.149	0.392
60 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.58	0.4464, 0.2878, 0.0361	-0.065	-0.083	-0.089	-0.006	0.151	0.395
61 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.59	0.4462, 0.2883, 0.0358	-0.066	-0.083	-0.090	-0.006	0.154	0.398
62 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.6	0.4461, 0.2888, 0.0355	-0.066	-0.083	-0.090	-0.006	0.157	0.402
63 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.61	0.4460, 0.2893, 0.0352	-0.066	-0.084	-0.090	-0.007	0.161	0.407
64 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.62	0.4459, 0.2899, 0.0349	-0.066	-0.085	-0.090	-0.008	0.166	0.414
65 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.63	0.4458, 0.2906, 0.0345	-0.067	-0.086	-0.090	-0.009	0.173	0.425
66 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.64	0.4457, 0.2912, 0.0342	-0.069	-0.087	-0.090	-0.014	0.186	0.446
67 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.65	0.4456, 0.2920, 0.0338	-0.071	-0.090	-0.091	-0.022	0.212	0.485
68 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.66	0.4455, 0.2928, 0.0335	-0.072	-0.091	-0.091	-0.024	0.228	0.506
69 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.67	0.4454, 0.2936, 0.0331	-0.073	-0.092	-0.091	-0.023	0.238	0.517
70 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.68	0.4453, 0.2946, 0.0327	-0.056	-0.083	-0.085	0.027	0.044	0.295
71 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.69	0.4452, 0.2956, 0.0322	-0.053	-0.082	-0.085	0.036	0.048	0.304
72 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.7	0.4451, 0.2967, 0.0318	-0.051	-0.082	-0.084	0.044	0.052	0.313
73 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.71	0.4450, 0.2979, 0.0313	-0.049	-0.081	-0.084	0.052	0.056	0.322
74 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.72	0.4450, 0.2993, 0.0309	-0.047	-0.081	-0.084	0.060	0.059	0.331
75 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.73	0.4449, 0.3008, 0.0303	-0.044	-0.080	-0.083	0.069	0.063	0.340
76 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.74	0.4449, 0.3026, 0.0298	-0.042	-0.080	-0.083	0.078	0.067	0.350
77 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.75	0.4449, 0.3045, 0.0292	-0.039	-0.079	-0.083	0.088	0.071	0.361
78 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.76	0.4449, 0.3068, 0.0286	-0.036	-0.079	-0.083	0.098	0.076	0.372
79 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.77	0.4450, 0.3094, 0.0280	-0.033	-0.078	-0.082	0.109	0.081	0.383
80 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.78	0.4451, 0.3126, 0.0273	-0.010	-0.065	-0.073	0.187	-0.198	0.533
81 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.79	0.4454, 0.3164, 0.0265	0.060	-0.023	-0.042	0.383	-0.309	0.818
82 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.8	0.4457, 0.3210, 0.0257	0.073	-0.018	-0.039	0.426	-0.312	0.869
83 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.81	0.4463, 0.3271, 0.0248	0.086	-0.013	-0.036	0.468	-0.315	0.917
84 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.82	0.4473, 0.3351, 0.0238	0.099	-0.008	-0.033	0.512	-0.316	0.968
85 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.83	0.4488, 0.3469, 0.0227	0.113	-0.003	-0.029	0.558	-0.317	1.020
86 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.84	1	0.193	0.214	0.242	0.018	-0.024	0.691
87 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.85	1	0.189	0.210	0.238	0.018	-0.024	0.679
88 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.86	1	0.185	0.205	0.233	0.019	-0.024	0.666
89 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.87	1	0.181	0.200	0.227	0.019	-0.024	0.650
90 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.88	1	0.175	0.194	0.219	0.019	-0.024	0.631
91 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.89	1	0.169	0.187	0.211	0.019	-0.024	0.609
92 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.9	1	0.161	0.178	0.201	0.019	-0.024	0.582
93 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.91	1	0.151	0.167	0.189	0.019	-0.023	0.549
94 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.92	1	0.139	0.154	0.173	0.019	-0.023	0.507
95 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.93	1	0.122	0.135	0.151	0.019	-0.022	0.449
96 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.94	1	0.098	0.107	0.120	0.019	-0.021	0.364
97 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.95	1	0.063	0.069	0.075	0.019	-0.018	0.245
98 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.96	1	0.037	0.039	0.041	0.019	-0.016	0.152
99 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.97	1	0.021	0.022	0.021	0.019	-0.014	0.096
100 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.98	1	0.011	0.010	0.007	0.019	-0.012	0.059
101 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.99	1	0.004	0.003	-0.001	0.019	-0.011	0.038
102 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.9999	1	0.000	-0.002	-0.007	0.019	-0.011	0.039

緑色で塗りつぶしたセルは Mohn's ρ が±0.20 の範囲内であることを、オレンジ色で塗りつぶしたセルは±0.30 の範囲内であることを示す。モデル名が緑文字で示されているものは、レトロバイアスを勘案した 5 項目全てで Mohn's ρ が±0.20 の範囲内であったモデルである。黒の太枠で囲ったのが本年度評価で採用したモデルである。

補足表 2-4. モデル別の対数尤度とターミナル F の一覧

シナリオ名	正の対数尤度	ターミナルF 0、1、2歳魚
1 Plain (チューニングなしVPA)	NA	0.9053、2.3436、2.0418
2 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0	-18.7373	0.4504、0.2773、0.0452
3 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.01	-18.5713	0.4504、0.2774、0.0451
4 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.02	-18.4052	0.4503、0.2775、0.0450
5 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.03	-18.2391	0.4503、0.2776、0.0449
6 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.04	-18.0729	0.4503、0.2776、0.0448
7 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.05	-17.9067	0.4502、0.2777、0.0447
8 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.06	-17.7405	0.4502、0.2778、0.0446
9 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.07	-17.5743	0.4501、0.2779、0.0445
10 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.08	-17.4080	0.4501、0.2780、0.0444
11 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.09	-17.2417	0.4500、0.2780、0.0443
12 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.1	-17.0754	0.4500、0.2781、0.0442
13 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.11	-16.9090	0.4499、0.2782、0.0441
14 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.12	-16.7426	0.4499、0.2783、0.0440
15 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.13	-16.5762	0.4498、0.2784、0.0439
16 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.14	-16.4097	0.4498、0.2785、0.0438
17 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.15	-16.2432	0.4497、0.2786、0.0437
18 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.16	-16.0766	0.4496、0.2787、0.0436
19 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.17	-15.9100	0.4496、0.2788、0.0435
20 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.18	-15.7434	0.4495、0.2789、0.0434
21 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.19	-15.5767	0.4495、0.2790、0.0432
22 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.2	-15.4100	0.4494、0.2791、0.0431
23 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.21	-15.2432	0.4494、0.2792、0.0430
24 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.22	-15.0764	0.4493、0.2793、0.0429
25 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.23	-14.9095	0.4492、0.2795、0.0427
26 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.24	-14.7425	0.4492、0.2796、0.0426
27 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.25	-14.5756	0.4491、0.2797、0.0425
28 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.26	-14.4085	0.4490、0.2798、0.0423
29 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.27	-14.2414	0.4490、0.2800、0.0422
30 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.28	-14.0743	0.4489、0.2801、0.0421
31 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.29	-13.9071	0.4488、0.2803、0.0419
32 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.3	-13.7398	0.4488、0.2804、0.0418
33 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.31	-13.5724	0.4487、0.2806、0.0416
34 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.32	-13.4050	0.4486、0.2807、0.0415
35 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.33	-13.2375	0.4486、0.2809、0.0413
36 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.34	-13.0700	0.4485、0.2810、0.0412
37 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.35	-12.9023	0.4484、0.2812、0.0410
38 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.36	-12.7346	0.4483、0.2814、0.0408
39 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.37	-12.5668	0.4483、0.2816、0.0407
40 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.38	-12.3990	0.4482、0.2818、0.0405
41 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.39	-12.2310	0.4481、0.2820、0.0403
42 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.4	-12.0629	0.4480、0.2822、0.0402
43 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.41	-11.8948	0.4480、0.2824、0.0400
44 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.42	-11.7265	0.4479、0.2826、0.0398
45 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.43	-11.5581	0.4478、0.2828、0.0396
46 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.44	-11.3896	0.4477、0.2831、0.0394
47 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.45	-11.2210	0.4476、0.2833、0.0392
48 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.46	-11.0523	0.4475、0.2836、0.0390
49 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.47	-10.8835	0.4474、0.2838、0.0388
50 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.48	-10.7145	0.4473、0.2841、0.0386
51 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.49	-10.5454	0.4473、0.2844、0.0384
52 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.5	-10.3761	0.4472、0.2847、0.0381

モデル名が緑文字で示されているものは、レトロバイアスを勘案した 5 項目全てで Mohn's ρ が±0.20 の範囲内であったモデルである。

補足表 2-4. モデル別の対数尤度とターミナル F の一覧 (続き)

シナリオ名	正の対数尤度	ターミナル F 0、1、2歳魚
1 Plain (チューニングなしVPA)	NA	0.9053、2.3436、2.0418
53 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.51	-10.2067	0.4471、0.2850、0.0379
54 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.52	-10.0371	0.4470、0.2854、0.0377
55 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.53	-9.8673	0.4469、0.2857、0.0374
56 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.54	-9.6974	0.4468、0.2861、0.0372
57 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.55	-9.5272	0.4467、0.2865、0.0369
58 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.56	-9.3569	0.4466、0.2869、0.0367
59 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.57	-9.1863	0.4465、0.2873、0.0364
60 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.58	-9.0155	0.4464、0.2878、0.0361
61 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.59	-8.8445	0.4462、0.2883、0.0358
62 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.6	-8.6732	0.4461、0.2888、0.0355
63 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.61	-8.5016	0.4460、0.2893、0.0352
64 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.62	-8.3297	0.4459、0.2899、0.0349
65 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.63	-8.1576	0.4458、0.2906、0.0345
66 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.64	-7.9850	0.4457、0.2912、0.0342
67 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.65	-7.8121	0.4456、0.2920、0.0338
68 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.66	-7.6388	0.4455、0.2928、0.0335
69 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.67	-7.4651	0.4454、0.2936、0.0331
70 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.68	-7.2909	0.4453、0.2946、0.0327
71 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.69	-7.1162	0.4452、0.2956、0.0322
72 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.7	-6.9410	0.4451、0.2967、0.0318
73 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.71	-6.7651	0.4450、0.2979、0.0313
74 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.72	-6.5886	0.4450、0.2993、0.0309
75 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.73	-6.4113	0.4449、0.3008、0.0303
76 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.74	-6.2332	0.4449、0.3026、0.0298
77 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.75	-6.0543	0.4449、0.3045、0.0292
78 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.76	-5.8742	0.4449、0.3068、0.0286
79 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.77	-5.6931	0.4450、0.3094、0.0280
80 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.78	-5.5105	0.4451、0.3126、0.0273
81 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.79	-5.3265	0.4454、0.3164、0.0265
82 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.8	-5.1406	0.4457、0.3210、0.0257
83 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.81	-4.9526	0.4463、0.3271、0.0248
84 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.82	-4.7620	0.4473、0.3351、0.0238
85 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.83	-4.5681	0.4488、0.3469、0.0227
86 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.84	-4.3653	0.8273、2.3064、2.0364
87 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.85	-4.0929	0.8323、2.3093、2.0368
88 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.86	-3.8204	0.8374、2.3121、2.0372
89 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.87	-3.5479	0.8424、2.3149、2.0376
90 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.88	-3.2753	0.8474、2.3175、2.0380
91 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.89	-3.0027	0.8524、2.3200、2.0384
92 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.9	-2.7300	0.8574、2.3225、2.0387
93 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.91	-2.4572	0.8624、2.3249、2.0391
94 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.92	-2.1844	0.8673、2.3272、2.0394
95 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.93	-1.9115	0.8722、2.3295、2.0397
96 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.94	-1.6386	0.8771、2.3317、2.0401
97 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.95	-1.3656	0.8819、2.3338、2.0404
98 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.96	-1.0926	0.8867、2.3359、2.0407
99 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.97	-0.8195	0.8914、2.3379、2.0410
100 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.98	-0.5464	0.8961、2.3398、2.0413
101 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.99	-0.2732	0.9007、2.3417、2.0415
102 Egg_NSage0-2010-allF-Fcenter-λ0.9999	-0.002732	0.9052、2.3435、2.0418

モデル名が緑文字で示されているものは、レトロバイアスを勘案した 5 項目全てで Mohn's ρ が±0.20 の範囲内であったモデルである。黒の太枠で囲ったのが本年度評価で採用したモデルである。

補足資料 3 管理基準値案と禁漁水準案等

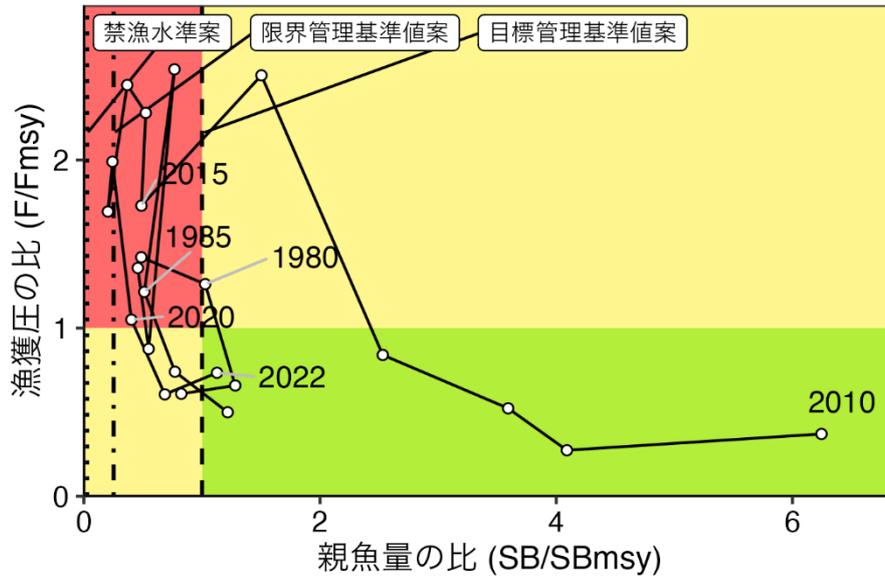
令和 3 年 9 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」により、目標管理基準値 (SBtarget) には MSY 水準における親魚量 (SBmsy : 112 千トン)、限界管理基準値 (SBlimit) には MSY の 60% が得られる親魚量 (SB0.6msy : 28 千トン)、禁漁水準 (SBban) には MSY の 10% が得られる親魚量 (SB0.1msy : 3 千トン) を用いることが提案されている (木下ほか 2021、補足表 6-2)。

目標管理基準値案と、MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) を基準にした神戸プロットを補足図 3-1 に示す。2022 年の親魚量 (SB2022 : 127 千トン) は目標管理基準値案を上回っている。

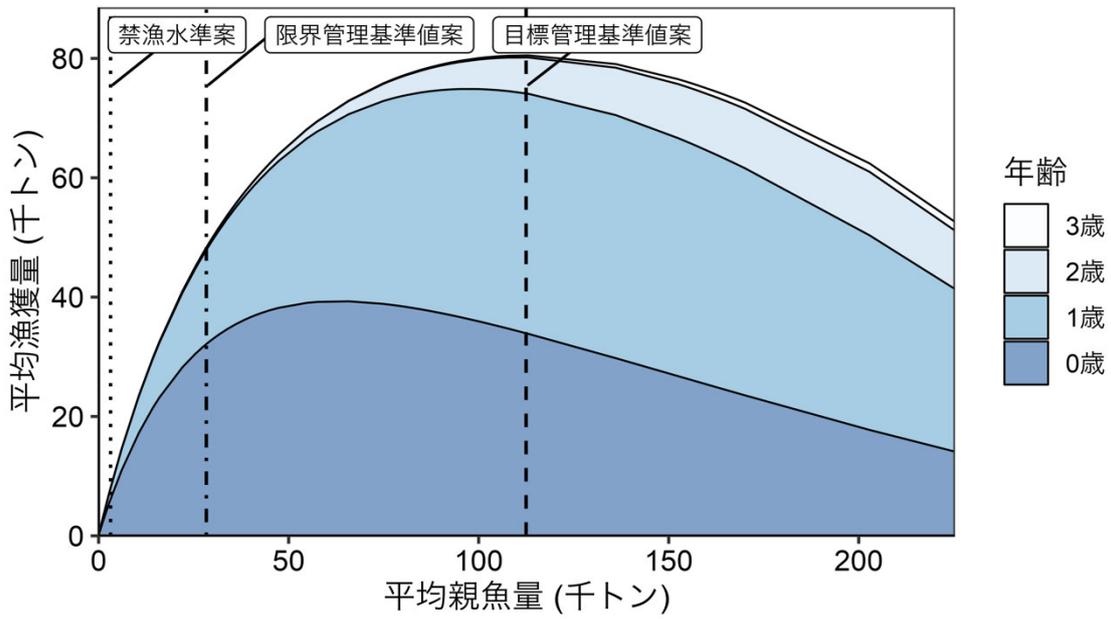
平衡状態における平均親魚量と年齢別平均漁獲量との関係を補足図 3-2 に示す。平均親魚量が限界管理基準値案以下では 0 歳および 1 歳魚が殆どを占めているが、親魚量が増加するにつれて高齢魚の比率が高くなる傾向がみられる。

引用文献

木下順二・安田十也・渡邊千夏子・上村泰洋 (2021) 令和 3 (2021) 年度カタクチイワシ太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. FRA-SA2021-BRP03-1



補足図 3-1. 管理基準値案と親魚量・漁獲圧との関係 (神戸プロット)



補足図 3-2. 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 (漁獲量曲線)

補足資料 4 漁獲管理規則案に対応した将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した 2022 年の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2023～2054 年の将来予測計算を行った。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に基づき予測される値を与えた。加入量の不確実性として、対数正規分布に従う誤差を仮定し、10,000 回の繰り返し計算を行った。2023 年の漁獲量は、近年および直近の漁況を踏まえて直近 5 年平均（2018～2022 年、43 千トン）と仮定した。現状の漁獲圧は、管理基準値案を算出した時と同じ選択率や生物パラメータ（平均体重等）の条件下で、本年度評価における 2020～2022 年の漁獲圧に対応する %SPR を与える F 値とした。2024 年以降の漁獲圧には、各年に予測される親魚量をもとに下記の漁獲管理規則案で定められる漁獲圧を用いた。なお、将来予測の計算方法については補足資料 5 に示した。

(2) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則案は、目標管理基準値案以上に親魚量を維持・回復することを目標に、親魚量に対応した漁獲圧 (F) を定めたものである。「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」では、親魚量が限界管理基準値案を下回った場合には禁漁水準案まで直線的に F を削減するとともに、親魚量が限界管理基準値案以上にある場合には F_{msy} に調整係数 β を乗じた値を F の上限とするものを提示している。補足図 4-1 に、本系群の「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漁獲管理規則を示す。ここでは例として調整係数 β を 0.8 とした場合の漁獲管理規則案を示した。

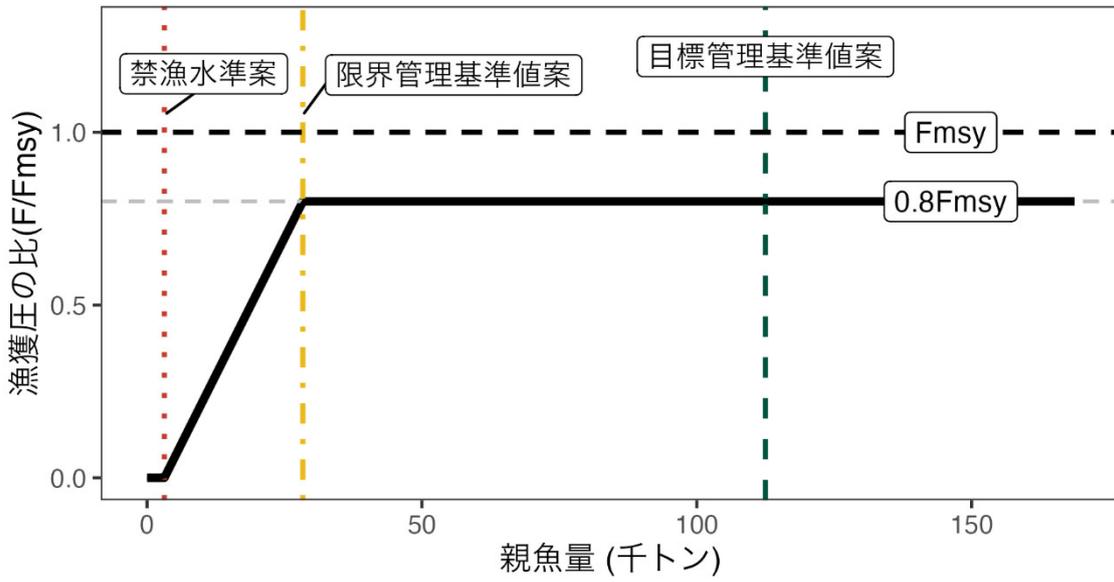
(3) 2024 年の予測値

漁獲管理規則案に基づき算出された 2024 年の平均漁獲量は、 β を 0.8 とした場合には 86 千トン、 β を 1.0 とした場合には 99 千トンであった（補足表 4-2b、補足表 6-4）。2024 年の親魚量は平均 151 千トンと予測され、 β が 1 以下であれば 100%の確率で限界管理基準値案を上回る（補足表 4-1、4-2）。

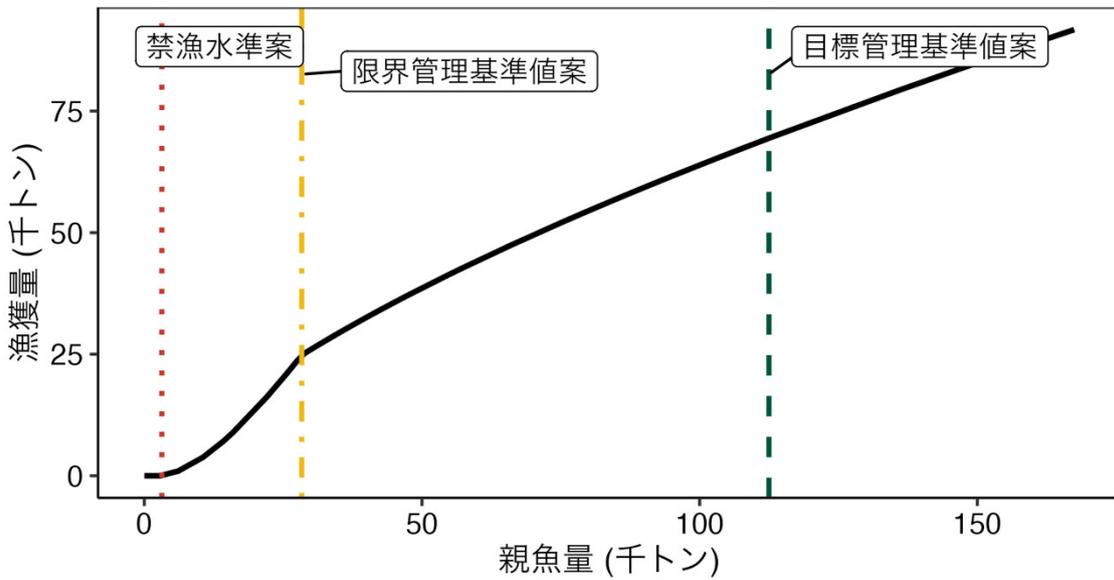
(4) 2025 年以降の予測

2025 年以降も含めた将来予測の結果を補足図 4-2 および補足表 4-1、4-2、6-5 に示す。漁獲管理規則案に基づく管理を 10 年間継続した場合、2034 年の平均親魚量の予測値は $\beta=0.8$ で 136 千トン（90%予測区間は 87 千～201 千トン）、 $\beta=1.0$ で 113 千トン（90%予測区間は 71 千～170 千トン）である（補足表 6-5）。親魚量の予測値が 2034 年に目標管理基準値案を上回る確率は、 β が 0.9 以下で 50%を上回る。同様に、限界管理基準値案を上回る確率は β が 1.0 以下で 50%を上回る。一方、現状の漁獲圧 (F₂₀₂₀₋₂₀₂₂) を継続した場合の 2034 年の平均親魚量の予測値は 142 千トン（90%予測区間は 91 千～209 千トン）であり、親魚量の予測値が 2034 年に目標管理基準値案を上回る確率は 78%、限界管理基準値案を上回る確率は 100%である。

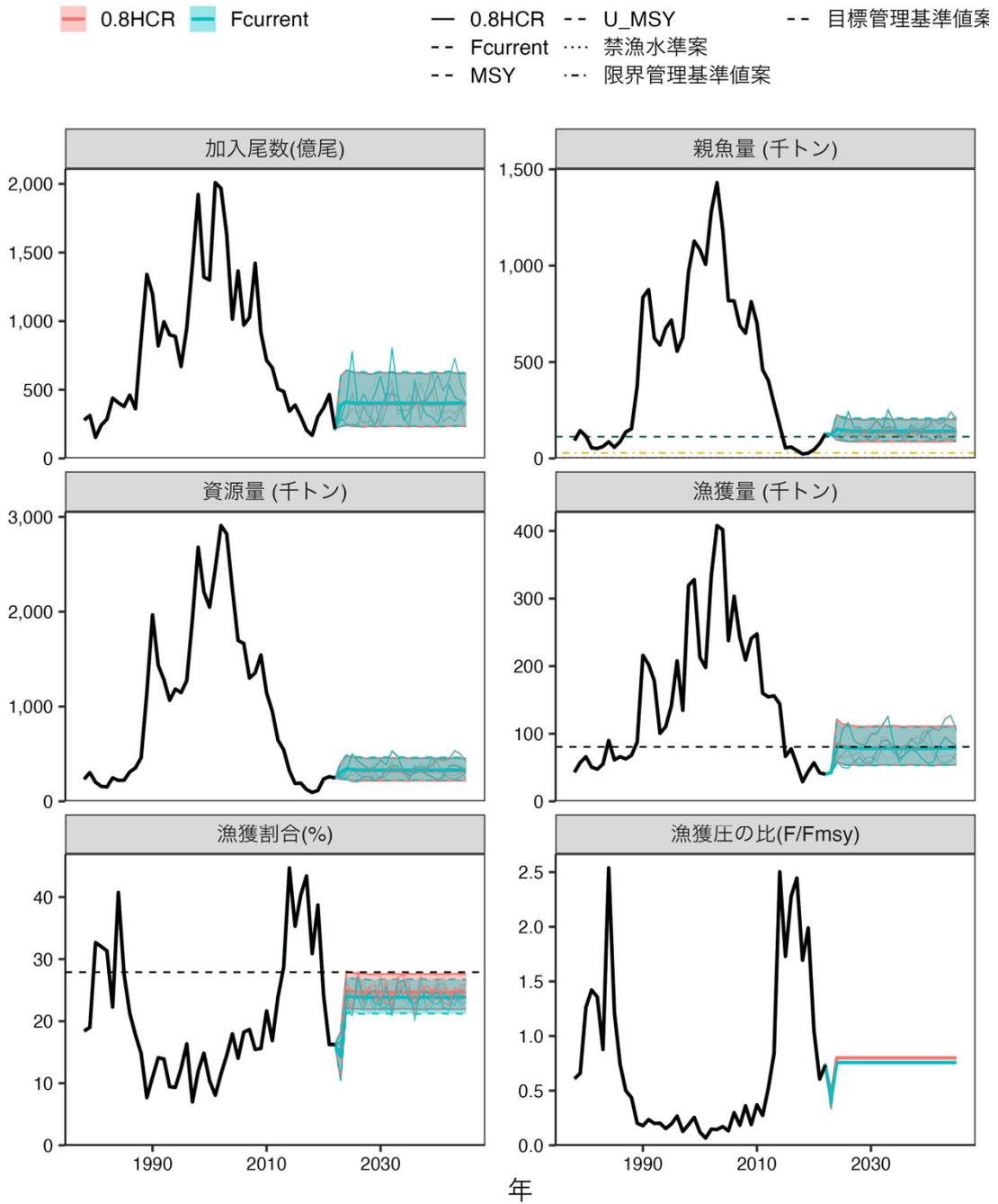
a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合



補足図 4-1. 漁獲管理規則案 ($\beta=0.8$ の場合) (a) 縦軸を漁獲圧にした場合 (b) 縦軸を漁獲量にした場合



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

補足図 4-2. 漁獲管理規則案を用いた場合 (赤線) と現状の漁獲圧での将来予測 (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案、黄一点鎖線は限界管理基準値案、赤点線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。漁獲管理規則での調整係数 β には 0.8 を用いた。2023 年の F は直近 5 年平均の漁獲量 (2018~2022 年、4.3 万トン) を与える F とした。

補足表 4-1. 将来の親魚量が目標・限界管理基準値案を上回る確率

a) 目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2044	2054
1.0	100	100	85	64	53	47	46	45	45	45	44	45	45	45	46
0.9	100	100	85	72	64	60	60	59	59	59	59	59	59	59	60
0.8	100	100	85	79	76	73	74	73	73	73	73	73	73	73	73
0.7	100	100	85	85	85	85	85	85	84	85	85	85	85	85	85
0.6	100	100	85	90	92	92	92	93	92	93	93	93	93	93	93
0.5	100	100	85	94	96	97	97	98	97	97	97	98	98	98	98
0.4	100	100	85	96	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100	100
0.3	100	100	85	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	85	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	100	100	85	82	80	79	79	78	78	78	78	78	78	79	79

b) 限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2044	2054
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2020-F2022、 $\beta = 0.76$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則案による管理開始から 10 年後を示す。

補足表 4-2. 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	2032	2033	2034	2044	2054
1.0	127	123	151	127	119	115	114	113	113	113	113	113	113	113	113
0.9	127	123	151	135	128	125	124	124	123	124	124	124	124	124	124
0.8	127	123	151	143	138	137	136	136	136	136	136	136	136	136	137
0.7	127	123	151	151	150	150	149	149	149	150	150	150	150	150	150
0.6	127	123	151	160	163	164	164	165	165	165	165	165	165	165	166
0.5	127	123	151	170	178	180	182	182	182	183	183	183	183	183	183
0.4	127	123	151	181	194	199	201	202	202	203	203	203	203	203	204
0.3	127	123	151	193	213	221	224	225	225	226	226	226	226	227	227
0.2	127	123	151	206	234	245	250	252	252	253	253	253	253	254	254
0.1	127	123	151	221	259	274	281	283	284	285	285	285	285	286	286
0.0	127	123	151	236	287	308	317	320	321	323	323	323	323	323	324
F2020-2022	127	123	151	146	143	142	142	141	141	142	142	142	142	142	142

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	2032	2033	2034	2044	2054
1.0	40	43	99	88	83	82	81	81	81	81	81	81	80	81	81
0.9	40	43	93	85	82	81	80	80	80	80	80	80	80	80	81
0.8	40	43	86	82	80	79	79	79	79	79	79	79	79	79	80
0.7	40	43	78	78	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	78
0.6	40	43	70	72	73	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
0.5	40	43	61	66	68	69	69	69	69	69	69	69	69	69	70
0.4	40	43	51	58	61	62	62	62	63	63	63	63	63	63	63
0.3	40	43	40	48	51	52	53	53	53	53	53	53	53	54	54
0.2	40	43	28	35	38	40	40	41	41	41	41	41	41	41	41
0.1	40	43	15	19	22	23	23	23	23	23	23	24	23	24	24
0.0	40	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2020-2022	40	43	82	80	79	79	78	78	78	78	78	78	78	79	79

βを0~1.0で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023年の漁獲量は直近5年平均(2018~2022年)の4.3万トンとし、2024年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧(F2020-F2022、β=0.76に相当)で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則案に基づく管理開始から10年後となる目標年の値を示す。

補足資料 5 将来予測の方法

得られた資源量をもとに漁獲管理規則案に従う将来予測を行った。2023年以降の加入量には、令和3年9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ベバートン・ホルト型再生産関係式 ($a=1.039$ 、 $b = 1.843 \times 10^{-5}$ 、 $SD = 0.288$) から予測される値を用いた(木下ほか 2021b)。なお、再生産関係式のパラメータ推定に使用するデータは、令和2(2020)年度の資源評価(木下ほか 2021a)に基づく通常加入期の親魚量・加入量とし、最適化方法には最小二乗法を用いたが、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5(2023)年度漁獲管理規則およびABC算定のための基本指針(FRA-SA2023-ABCWG02-01)」における1系資源の漁獲管理規則に基づき算出される値を用いた。選択率や漁獲物平均体重などの値には、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使用した(補足表5-1)。これらは令和2(2020)年度の資源評価に基づく値である。

2023年の漁獲圧(F_{2023})は、2023年の漁獲量が直近5年平均(2018~2022年)の漁獲量である43千トンになるように仮定した。これは、2023年の F に現状の漁獲圧($F_{2020-2022}$)を仮定した場合、2023年の漁獲量は67千トンとなるが、2018~2022年の漁獲量の範囲が29千~57千トンであることや、2023年上半期の漁模様が2022年上半期と同程度であることを考慮すると、この値は大きすぎると考えられたためである。なお、2024年以降の将来予測に用いる現状の漁獲圧は $F_{2020-2022}$ とした。

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法を用いた。

$$N_{a+1,t+1} = N_{a,t} \exp(-F_{a,t} - M_a) \quad (a = 0, 1, 2) \quad (11)$$

将来の漁獲尾数は、上式(11)で求めた資源尾数と各漁獲シナリオから仮定される F 値をもとに次式(12)により予測した。

$$C_{a,t} = N_{a,t} \{1 - \exp(-F_{a,t})\} \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) \quad (a = 0, 1, 2, 3) \quad (12)$$

引用文献

- 木下順二・上村泰洋・安田十也(2021a) 令和2年度(2020)年度カタクチイワシ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2020-RC02-1. 令和2年度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
- 木下順二・安田十也・渡邊千夏子・上村泰洋(2021b) 令和3(2021)年度カタクチイワシ太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. FRA-SA2021-BRP03-1

補足表 5-1. 将来予測計算に用いたパラメータ

	選択率 (注 1)	Fmsy (注 2)	F2023 (注 3)	F2020-2022 (注 4)	平均体重 (g)	自然死亡 係数	成熟 割合
0 歳	0.27	0.38	0.16	0.29	4.7	1.0	0.0
1 歳	0.89	1.23	0.52	0.94	10.0	1.0	1.0
2 歳	1.00	1.39	0.59	1.05	17.8	1.6	1.0
3 歳	1.00	1.39	0.59	1.05	23.6	1.9	1.0

注 1：令和 3 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 2 年度資源評価での $F_{current}$ の選択率）。

注 2：令和 3 年度研究機関会議で推定された Fmsy（すなわち、令和 2 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、2023 年の漁獲量が直近 5 年平均（2018～2022 年、43 千トン）になるように仮定した F。

注 4：上記の選択率の下で、今回の資源評価で推定された 2020～2022 年の年齢別の平均 F と同じ漁獲圧を与える F 値を %SPR 換算して算出した。この F 値は 2024 年以降の漁獲量の仮定に使用した。

補足資料 6 各種パラメータと評価結果の概要

補足表 6-1. 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
ベバートン・ホルト型	最小二乗法	無	1.039	1.843×10^{-5}	0.288	-

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。

補足表 6-2. 管理基準値案と MSY

項目	値	説明
SBtarget 案	112 千トン	目標管理基準値案。最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy)
SBlimit 案	28 千トン	限界管理基準値案。MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy)
SBban 案	3 千トン	禁漁水準案。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) =(0.38, 1.23, 1.39, 1.39)	
%SPR (Fmsy)	45%	Fmsy に対応する %SPR
MSY	81 千トン	最大持続生産量

補足表 6-3. 最新年の親魚量と漁獲圧

項目	値	説明
SB2022	127 千トン	2022 年の親魚量
F2022	2022 年の漁獲圧(漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳以上) =(0.45, 0.29, 0.03, 0.03)	
U2022	16%	2022 年の漁獲割合
%SPR (F2022)	55.2%	2022 年の%SPR
%SPR (F2020-2022)	50.4%	現状(2020~2022 年)の漁獲圧に対応する%SPR
管理基準値案との比較		
SB2022/ SBmsy (SBtarget)	1.13	最大持続生産量を実現する親魚量(目標管理基準値案)に対する 2022 年の親魚量の比
F2022/ Fmsy	0.73	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2022 年の漁獲圧の比*
親魚量の水準	MSY を実現する水準を上回る	
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る	
親魚量の動向	増加	

* 2022 年の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を%SPR 換算して算出し求めた比率。

補足表 6-4. 2024 年の予測漁獲量

2024 年の親魚量(予測平均値):151 千トン			
項目	2024 年の 漁獲量 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2020-2022)	2024 年の 漁獲割合(%)
$\beta=1.0$	99	1.32	29
$\beta=0.8$	86	1.06	25
$\beta=0.6$	70	0.79	20
$\beta=0.4$	51	0.53	15
$\beta=0.2$	28	0.26	8
$\beta=0$	0	0	0
F2020-2022	82	1.00	24

補足表 6-5. 2034 年の予測親魚量

考慮している不確実性:加入量					
β	2034 年 の親魚量 (千トン)	90% 予測区間 (千トン)	2034 年に親魚量が以下の 管理基準値案を上回る確率(%)		
			SBtarget 案	SBlimit 案	SBban 案
$\beta=1.0$	113	71 – 170	45	100	100
$\beta=0.8$	136	87 – 201	73	100	100
$\beta=0.6$	165	109 – 240	93	100	100
$\beta=0.4$	203	137 – 289	99	100	100
$\beta=0.2$	253	176 – 353	100	100	100
$\beta=0$	323	229 – 441	100	100	100
F2020-2022	142	91 – 209	78	100	100

補足資料 7 調査結果の概要

卵・稚仔、プランクトン調査と卵数法による親魚量

卵・稚仔、プランクトン調査として、沿岸では各都県試験研究機関が周年、沖合では水産研究・教育機構が2～3月（黒潮域）および5～6月（黒潮親潮移行域）を中心に、改良型ノルパックネット（口径45 cm、円筒円錐形、目合0.335 mm）の鉛直曳採集を実施し、得られたデータをプレスシステムに入力している。このデータを基に、卵の採集量と鋼索長、鋼索傾角、濾水計回転数および水温などにより採集点毎の卵分布密度を求め、産卵が認められた区画の海域面積で引き延ばして月毎の産卵量を計算した（森ほか 1988、菊地・小西 1990、石田・菊地 1992、銭谷ほか 1995、久保田ほか 1999）。

卵・稚仔、プランクトン調査により求めた産卵量に、水温ならびに生殖腺重量指数を考慮した卵数法を適用して親魚量を計算した。Takasuka et al. (2005) では沿岸産卵群と沖合産卵群の産卵生態を明確に区別できたことから、I 区を沖合産卵群、II～IV 区を沿岸産卵群と仮定して、海区別に親魚量を求め、合計親魚量が最多となる月の親魚量をその年の推定親魚量とした（補足表 7-1、7-2、補足図 7-2）。月別・海区別水温は卵・稚仔、プランクトン調査時の海洋観測結果から卵数加重水温を求めて使用した。生殖腺重量指数は月別・海区別の精密測定結果から、体長 8 cm 以上の個体について平均した値を用いた。

$$\begin{aligned} \text{月の親魚量} &= (\text{月の産卵量} / 1 \text{ g 当りバッチ産卵数}) \times \text{産卵間隔} / \text{月の日数} / \text{雌割合} \\ \text{性比} &= 1 : 1、\text{バッチ産卵数} = \text{雌} 1 \text{ 個体} 1 \text{ 回当たり産卵数} \end{aligned}$$

沖合域（I 区 水温範囲: 8.0～20.2 度）：

$$\begin{aligned} 1 \text{ g 当りバッチ産卵数} &= -30.4 + 11.7 \times \text{水温} + 23.5 \times \text{生殖腺重量指数} \\ \text{産卵間隔} &= 5.30 - 0.182 \times \text{水温} \end{aligned}$$

沿岸域（II～IV 区 水温範囲: 15.0～26.7 度）：

$$\begin{aligned} 1 \text{ g 当りバッチ産卵数} &= -338.7 + 27.4 \times \text{水温} + 87.3 \times \text{生殖腺重量指数} \\ \text{産卵間隔} &= 7.65 - 0.234 \times \text{水温} \end{aligned}$$

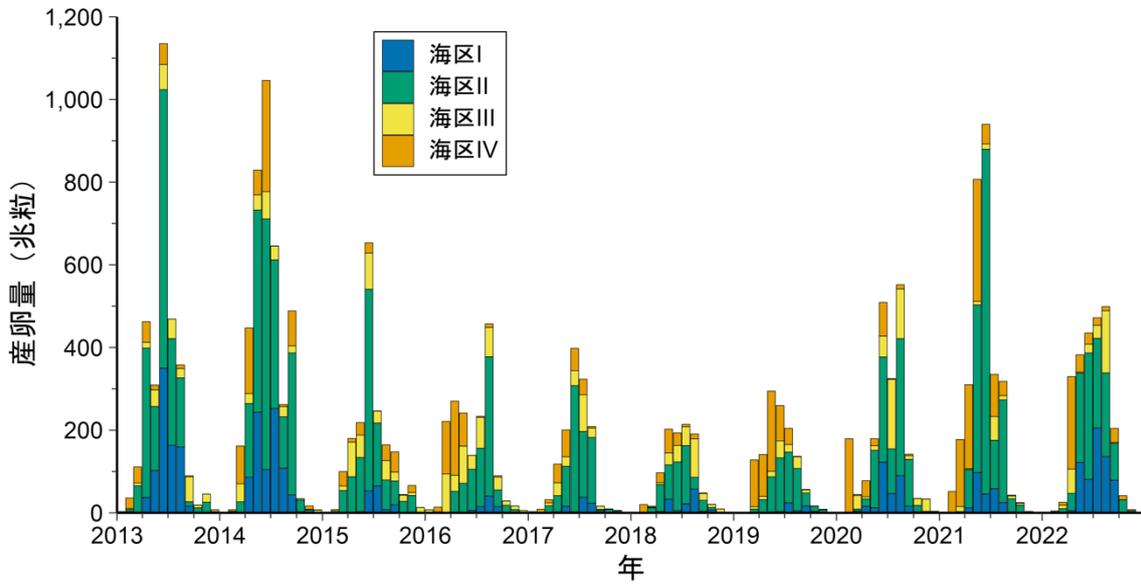
資源量調査

北上期調査（西部北太平洋サンマ資源調査と北西太平洋北上期浮魚類資源調査を併せたもの）として、水産研究・教育機構が2001年以降5～7月の移行域～親潮域において中層トロール（網口30 m、コッド目合17 mm）による漁獲調査を実施し、カタクチイワシの分布量を推定している。補足図 7-3 と補足表 7-1 にカタクチイワシの全測点の平均 CPUE を、補足図 7-4 に各年の調査におけるカタクチイワシの有漁点の割合を示す。

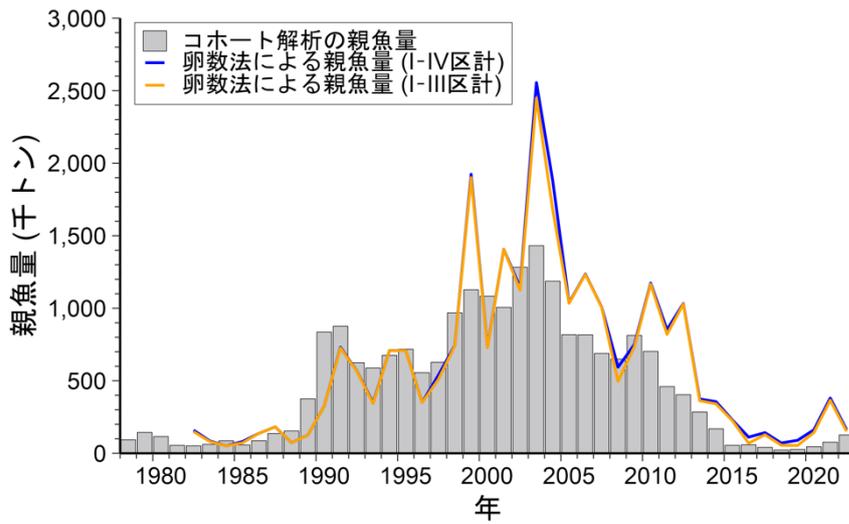
引用文献

- 石田 実・菊地 弘 (1992) 日本の太平洋岸（常磐～薩南海域）におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況:1989年1月～1990年12月. 南西海区水産研究所・中央水産研究所, 86 pp.
- 菊地 弘・小西芳信 (1990) 日本の太平洋岸（常磐～薩南海域）におけるマイワシ、カタク

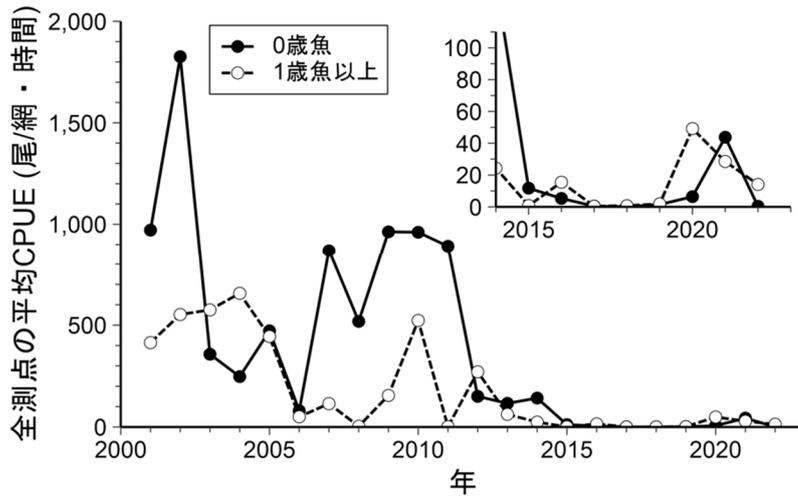
- チイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況:1987年1月～1988年12月. 中央水産研究所(旧東海区水産研究所)・南西海区水産研究所, 72 pp.
- 久保田洋・大関芳沖・石田 実・小西芳信・後藤常夫・銭谷 弘・木村 量編(1999) 日本周辺水域におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類、ウルメイワシ、およびマアジの卵仔魚とスルメイカ幼生の月別分布状況:1994年1月～1996年12月. 中央水産研究所, 352 pp.
- 森慶一郎・黒田一紀・小西芳信(1988) 日本の太平洋岸(常磐～薩南海域)におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況:1978年1月～1986年12月. 東海区水産研究所, 321 pp.
- Takasuka, A., Y. Oozeki, H. Kubota, Y. Tsuruta and T. Funamoto (2005) Temperature impacts on reproductive parameters for Japanese anchovy: Comparison between inshore and offshore waters. *Fish. Res.*, **76**, 475-482.
- 銭谷 弘・石田 実・小西芳信・後藤常夫・渡邊良朗・木村 量編(1995) 日本周辺水域におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類、ウルメイワシ、およびマアジの卵仔魚とスルメイカ幼生の月別分布状況:1991年1月～1993年12月. 中央水産研究所, 368 pp.



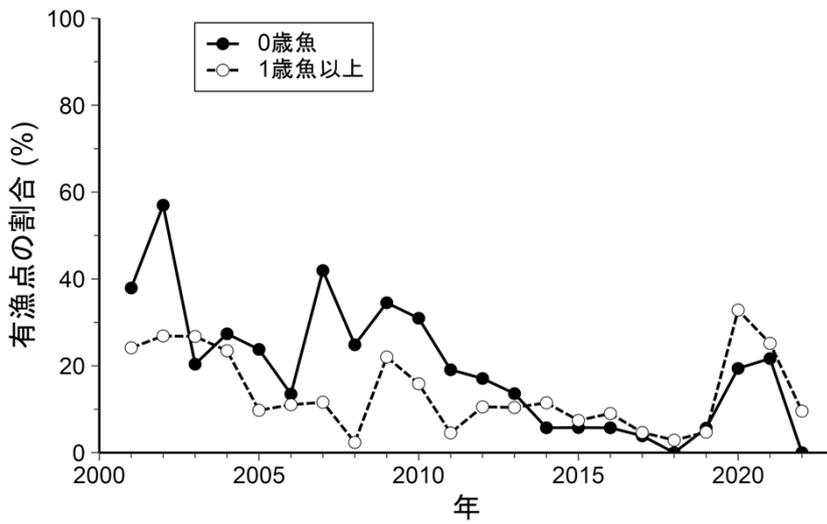
補足図 7-1. 2013 年以降のカタクチイワシの海別月別産卵量 (30 分升目)



補足図 7-2. 卵数法による親魚量とコホート解析による親魚量



補足図 7-3. 北上期調査における 0 歳魚と 1 歳魚以上の全測点平均 CPUE



補足図 7-4. 北上期調査における 0 歳魚と 1 歳魚以上の有漁点の割合

補足表 7-1. 卵・稚仔、プランクトン調査による産卵量および卵数法による推定親魚量、
ならびに北上期調査における CPUE の全測点平均値

年	産卵量および卵数法による推定親魚量			北西太平洋北上期浮魚類資源 調査におけるCPUEの全測点平均値	
	産卵量 (兆粒)	親魚量 (千トン)	親魚量 (千トン)	0歳魚 (尾/網・時)	1歳魚以上 (尾/網・時)
	I-IV区	I-IV区	I-III区		
1982	1,081.6	159.6	149.4		
1983	958.5	84.9	80.6		
1984	745.7	51.1	50.6		
1985	1,116.1	81.3	72.5		
1986	1,498.7	137.4	137.3		
1987	1,627.5	182.2	182.2		
1988	852.7	73.5	73.4		
1989	1,016.6	125.6	125.3		
1990	2,826.9	324.9	324.8		
1991	7,214.6	731.1	725.9		
1992	5,924.7	567.8	565.9		
1993	3,122.7	349.1	342.8		
1994	4,644.0	708.6	708.5		
1995	3,988.2	707.9	707.2		
1996	3,282.1	350.9	350.0		
1997	4,704.2	539.6	510.1		
1998	5,797.1	742.5	739.6		
1999	15,622.5	1,923.9	1,901.1		
2000	10,581.9	732.1	727.2		
2001	6,749.7	1,407.0	1,407.0	971.40	413.99
2002	10,642.6	1,142.7	1,124.0	1,826.03	552.08
2003	13,134.1	2,555.8	2,449.6	356.99	574.68
2004	14,313.2	1,878.4	1,678.1	247.45	655.99
2005	9,882.0	1,037.9	1,033.8	472.02	444.22
2006	9,579.4	1,235.9	1,232.9	79.77	50.33
2007	10,909.2	1,007.6	1,005.4	869.07	114.69
2008	4,427.1	594.0	495.8	518.32	3.62
2009	9,246.3	749.8	735.0	962.97	154.96
2010	8,296.7	1,173.5	1,166.3	960.82	522.74
2011	7,042.0	852.3	819.9	891.80	1.98
2012	9,518.2	1,033.0	1,030.1	150.38	270.81
2013	3,045.7	374.7	362.6	116.13	62.19
2014	3,948.6	356.2	340.5	142.02	24.34
2015	1,842.1	230.5	225.5	11.73	0.83
2016	1,725.0	111.4	70.1	5.32	15.48
2017	1,325.9	142.6	127.7	0.45	0.41
2018	1,014.1	71.1	55.7	0.06	0.74
2019	1,249.4	89.7	54.3	1.46	1.87
2020	2,081.9	162.4	143.2	6.41	49.21
2021	3,014.1	380.9	366.0	43.79	28.54
2022	2,272.1	162.9	151.5	0.39	14.09

補足表 7-2. 海区別の卵数法による親魚量推定値および推定に用いた生物パラメータの概要

年	産卵量 (兆粒)				卵数法による親魚量 (千トン)				GSIの年最高値			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1982	186.4	556.6	135.6	202.9	76.2	69.0	9.6	16.8	4.0	4.0	4.0	4.0
1983	5.6	650.4	175.9	126.6	2.6	69.1	15.8	23.5	4.0	4.0	4.0	4.0
1984	11.9	590.3	123.9	19.7	1.7	47.8	7.3	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1985	19.4	840.1	122.2	134.4	7.4	61.6	4.2	8.8	4.0	4.0	4.0	4.0
1986	3.3	1,295.5	151.6	48.2	1.9	125.6	12.7	5.2	4.0	4.0	4.0	4.0
1987	110.9	1,431.9	27.6	57.1	12.5	169.3	1.8	10.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1988	232.9	541.3	39.3	39.3	48.3	61.4	2.3	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0
1989	161.4	788.3	41.2	25.6	52.4	119.2	1.8	5.5	4.0	4.0	4.0	4.0
1990	525.9	2,148.6	143.5	8.9	125.2	190.5	11.6	1.1	4.0	4.0	4.0	4.0
1991	2,478.6	4,178.8	192.3	365.0	460.3	258.0	15.0	80.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1992	1,100.3	3,977.8	517.8	328.7	315.6	313.1	61.7	45.1	4.0	4.0	4.0	4.0
1993	275.7	2,198.0	476.4	172.7	95.0	315.3	52.3	51.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1994	595.2	3,711.7	123.9	213.2	162.2	567.1	9.4	56.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1995	858.1	2,885.8	235.2	9.2	314.2	386.0	22.1	1.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1996	106.6	2,354.9	431.7	388.9	28.6	315.4	67.6	96.2	4.0	4.0	4.0	4.0
1997	891.1	3,158.8	267.4	386.8	211.4	285.6	23.3	58.8	4.0	4.0	4.0	4.0
1998	1,232.2	4,185.0	288.8	91.1	241.7	483.0	28.3	16.4	4.3	4.7	4.7	4.7
1999	5,201.1	7,655.3	1,818.2	948.0	1,400.8	644.9	208.5	106.4	3.1	4.8	4.8	4.8
2000	2,825.3	6,029.8	1,382.6	344.2	525.2	448.0	100.6	29.6	5.5	5.9	5.9	5.9
2001	4,544.3	2,002.8	201.6	1.0	1,197.7	207.4	23.9	0.1	6.2	6.1	6.1	6.1
2002	3,074.0	6,423.7	458.9	685.9	787.3	423.6	43.0	61.3	6.9	4.5	4.5	4.5
2003	3,693.6	6,490.9	1,819.3	1,130.3	1,448.5	848.3	406.6	207.9	4.6	3.8	3.8	3.8
2004	2,459.1	7,757.0	2,665.9	1,431.1	816.3	746.7	578.0	200.3	4.8	4.5	4.5	4.5
2005	1,283.7	5,448.6	2,193.0	956.7	221.4	760.9	294.0	174.7	8.6	4.2	5.2	5.2
2006	4,151.4	4,936.3	283.9	207.8	699.9	520.2	43.5	32.6	6.0	5.0	5.0	5.0
2007	2,907.7	4,991.6	622.3	2,387.5	378.6	605.3	33.1	348.2	6.8	4.7	4.7	4.7
2008	1,149.6	2,159.6	272.4	845.5	199.5	279.0	31.6	98.2	7.3	5.2	5.2	5.2
2009	2,448.2	4,985.4	1,482.3	330.3	297.4	479.7	135.6	32.2	5.6	4.7	4.7	4.7
2010	3,014.0	4,262.6	891.1	128.9	469.2	650.4	69.3	11.3	5.6	5.0	5.0	5.0
2011	2,059.1	3,929.7	259.3	793.9	441.2	375.1	31.5	70.5	5.3	5.2	5.2	5.2
2012	3,076.6	5,827.8	521.3	92.4	455.2	774.1	26.8	44.3	4.7	4.3	4.3	4.3
2013	832.8	1,737.4	285.9	189.6	154.1	194.7	13.8	23.2	6.3	5.0	5.0	5.0
2014	841.8	2,162.9	262.5	681.4	136.7	198.5	21.3	73.8	5.2	4.9	4.9	4.9
2015	151.3	1,112.4	370.7	207.7	28.3	171.5	33.0	21.1	5.9	4.6	4.6	4.6
2016	79.4	768.0	465.3	412.3	10.6	52.3	48.5	62.0	6.0	4.9	4.9	4.9
2017	90.3	791.1	222.3	222.2	9.1	115.3	19.2	22.0	6.2	5.0	5.0	5.0
2018	133.2	482.3	245.5	153.2	17.2	41.3	10.9	19.5	4.9	5.4	5.4	5.4
2019	55.6	532.8	125.7	535.4	7.0	42.2	10.4	52.5	5.6	4.7	4.7	4.7
2020	312.8	986.5	448.8	333.8	49.2	81.2	37.0	68.0	5.4	4.3	4.3	4.3
2021	244.0	1,750.5	118.5	901.1	46.6	340.0	10.1	79.1	5.4	5.1	5.1	5.1
2022	630.4	1,120.5	279.8	374.3	72.2	99.7	29.1	85.2	5.1	4.2	4.2	4.2

本表は令和 3 (2021) 年度までの資源評価報告書に示している月別データの表を年間でまとめたものである。

補足表 7-2. 海区別の卵数法による親魚量推定値および推定に用いた生物パラメータの概要 (続き)

年	体重1g当たりバッチ産卵数 (粒) の年平均				産卵間隔 (日) の年平均				加重水温 (°C) の年平均				GSIの年平均			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1982	264.2	553.1	589.5	612.4	3.7	3.1	2.7	3.8	17.5	19.6	21.1	22.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1983	259.7	565.0	588.1	590.8	4.5	3.3	2.7	3.9	16.8	20.3	21.1	21.3	4.0	4.0	4.0	4.0
1984	289.8	563.3	589.8	621.3	3.7	3.4	2.7	4.2	21.0	19.9	21.3	22.3	4.0	4.0	4.0	4.0
1985	285.7	570.0	605.5	620.3	4.4	3.3	3.0	3.3	20.1	20.4	21.8	22.4	4.0	4.0	4.0	4.0
1986	272.5	565.0	589.1	609.0	4.8	3.3	2.7	4.7	17.9	20.3	21.2	22.1	4.0	4.0	4.0	4.0
1987	287.4	563.9	583.9	570.8	3.8	3.3	2.8	5.3	19.8	20.2	21.0	20.5	4.0	4.0	4.0	4.0
1988	283.3	564.3	591.3	589.8	3.2	2.9	2.7	3.5	20.0	20.2	21.3	21.2	4.0	4.0	4.0	4.0
1989	279.3	544.8	603.3	574.1	3.0	3.1	2.6	4.1	18.9	19.5	21.7	20.6	4.0	4.0	4.0	4.0
1990	273.0	573.4	586.5	619.4	3.6	2.8	3.1	4.6	19.1	20.6	21.1	22.4	4.0	4.0	4.0	4.0
1991	282.3	556.3	591.8	593.4	2.9	3.5	2.7	3.5	19.6	19.6	21.3	21.4	4.0	4.0	4.0	4.0
1992	267.1	560.7	608.6	601.6	3.2	3.0	2.5	3.0	17.5	20.1	21.9	21.6	4.0	4.0	4.0	4.0
1993	262.7	540.6	593.1	562.9	3.7	3.1	2.7	4.1	17.2	19.4	21.3	20.2	4.0	4.0	4.0	4.0
1994	273.0	569.9	629.3	531.0	3.3	2.9	3.2	5.8	19.1	20.5	22.9	19.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1995	277.1	549.4	616.3	590.1	3.0	3.1	2.9	3.9	19.1	19.6	22.1	21.2	4.0	4.0	4.0	4.0
1996	262.9	545.0	596.4	605.0	3.5	3.5	2.6	3.0	17.5	19.5	21.5	21.8	4.0	4.0	4.0	4.0
1997	266.6	564.2	612.5	586.8	3.1	3.3	2.9	3.6	18.2	20.2	22.2	21.1	4.0	4.0	4.0	4.0
1998	218.2	520.7	572.6	560.3	2.9	3.1	2.3	3.4	18.0	21.1	23.0	22.1	2.4	3.3	3.3	3.3
1999	231.9	482.9	506.8	510.8	2.4	2.7	2.5	2.4	19.2	21.3	22.3	22.3	1.8	2.7	2.7	2.7
2000	240.4	528.0	548.2	601.5	2.6	2.8	2.6	3.2	17.7	20.9	21.7	22.6	2.7	3.4	3.4	3.4
2001	257.3	442.8	548.8	491.3	2.8	2.9	3.7	6.1	18.2	20.2	22.8	20.8	2.7	2.6	2.6	2.6
2002	264.7	527.6	562.9	578.8	3.3	3.6	2.9	3.7	19.0	20.7	22.2	22.9	2.7	3.2	3.2	3.2
2003	243.7	492.3	545.2	544.8	2.9	2.9	2.4	2.4	17.9	20.2	22.4	22.4	2.4	3.2	3.2	3.2
2004	242.0	498.2	529.6	554.3	3.3	2.8	2.5	3.7	18.6	20.8	22.0	22.5	1.9	3.1	3.1	3.1
2005	259.5	458.0	510.3	524.3	3.1	3.3	2.6	3.3	18.3	20.3	21.8	22.2	2.8	2.8	2.9	2.9
2006	251.0	483.8	523.9	531.3	3.3	3.4	2.5	4.2	19.3	20.0	22.1	22.6	2.0	3.0	3.0	3.0
2007	247.3	482.7	521.5	540.9	2.5	3.2	2.4	3.2	18.8	20.6	22.4	22.9	2.6	2.9	2.9	2.9
2008	260.7	444.5	494.8	521.3	2.8	3.4	2.4	3.3	19.0	19.8	22.4	22.6	2.9	2.6	2.6	2.6
2009	258.3	475.0	519.7	521.8	3.3	2.9	2.5	2.9	18.8	20.3	22.1	22.3	2.3	3.0	3.0	3.0
2010	268.4	472.5	535.2	576.4	3.0	3.0	2.4	3.7	19.2	20.1	22.7	22.6	3.0	3.0	3.0	3.0
2011	266.8	470.6	498.7	521.9	3.0	3.3	2.5	2.9	18.8	20.1	21.8	22.3	2.9	2.8	2.8	2.8
2012	241.8	505.1	516.0	539.7	2.8	3.2	2.5	3.3	18.6	20.8	21.9	22.5	2.3	3.0	3.0	3.0
2013	251.0	467.8	479.3	505.6	2.9	3.2	2.6	3.7	17.8	20.7	21.6	22.6	3.0	2.6	2.6	2.6
2014	251.9	441.1	480.5	515.7	2.7	3.4	2.6	2.8	19.1	19.8	21.7	22.8	2.4	2.6	2.6	2.6
2015	251.0	438.8	459.5	483.6	3.3	3.3	2.6	2.8	18.9	20.5	21.8	22.4	2.1	2.3	2.3	2.3
2016	262.7	482.8	520.1	559.1	3.1	3.1	2.4	4.0	20.7	21.1	22.7	23.4	2.6	2.8	2.8	2.8
2017	245.3	440.6	477.1	502.4	2.3	3.3	2.5	3.3	17.9	20.2	22.0	22.2	2.9	2.5	2.5	2.5
2018	261.4	528.9	499.3	520.1	2.6	3.5	2.7	2.9	20.3	21.3	21.4	22.4	2.5	2.9	2.9	2.9
2019	261.7	519.3	529.8	575.9	3.2	3.1	2.4	3.7	20.4	21.1	22.3	22.6	2.4	3.1	3.1	3.1
2020	252.2	506.0	498.3	523.3	2.8	3.5	2.5	2.8	18.9	21.5	22.0	22.7	2.5	2.7	2.7	2.7
2021	260.9	458.1	493.1	511.0	2.9	2.8	2.5	2.3	19.8	20.9	22.2	23.0	2.4	2.6	2.6	2.6
2022	254.9	463.6	489.4	498.6	2.8	3.1	2.9	2.7	20.5	21.4	22.5	23.0	2.0	2.4	2.4	2.4

本表は令和 3 (2021) 年度までの資源評価報告書に示している月別データの表を年間でもとめたものである。

補足資料 8 チューニング指数の標準化の手法

本系群の昨年度評価においては、チューニング指数として、ノミナルな北上期調査 0 歳魚 CPUE (0 歳魚資源尾数の指標値) と産卵量 (親魚量である 1~3 歳魚の資源重量の指標値) を使用したが、本年度評価においては、これらのチューニング指数について標準化を行った。以下では (1) 北上期調査 0 歳魚 CPUE、(2) 産卵量の 2 項目に分けて、標準化の手法について説明する。

(1) 北上期調査 0 歳魚 CPUE

北西太平洋北上期浮魚類資源調査による中層トロールの 0 歳魚 CPUE (尾/網・時) である北上期調査 0 歳魚 CPUE の標準化を行った。当該調査は 2001 年から開始されているが、解析にはおおよその調査範囲が一致している 2002~2022 年の期間の全てのデータを使用した。また、標準化には空間解像度の高い解析を行える Vector-Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) モデル (Thorson and Barnett 2017) を使用した。シミュレーションにより、従来的一般化線形モデルや一般化加法モデルを含む CPUE 標準化手法を比較した研究では、VAST は総合的なパフォーマンスが最も高かったという報告が得られている (Grüss et al. 2019)。

パラメータの推定

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

$$p_1(i) = \beta_1(t_i) + \omega_1(s_i) + \varepsilon_1(s_i, t_i) + \sum_{k_1}^{n_{k_1}} \lambda_1(k_1) Q_i(i, k_1) \quad (13)$$

$$p_2(i) = \beta_2(t_i) + \omega_2(s_i) + \varepsilon_2(s_i, t_i) + \sum_{k_2}^{n_{k_2}} \lambda_2(k_2) Q_i(i, k_2) \quad (14)$$

右辺の第 1 項の $\beta(t_i)$ は調査年 t の効果を表す係数であり、第 2 項の $\omega(s_i)$ は調査年 t における空間のランダム効果、第 3 項の $\varepsilon(s_i, t_i)$ は調査年 t と場所 s における時空間のランダム効果を表している。第 4 項は漁具能率に影響する共変量 Q と係数 λ を表している。

VAST では初めに、空間情報からクラスタリングの一種である k -平均法により空間分布を近似するノットを決め、ノットにおける相対密度の時空間変化をモデル化する。先行研究ではノット数は 100 以上とすることが推奨されているので (Thorson 2019)、これに倣い、今回はノット数を 100 とした。空間効果の確率密度関数は多変量正規分布 (MVN) を使って、

$$\omega_1(\cdot, f) \sim MVN(0, \mathbf{R}_1), \quad \omega_2(\cdot, f) \sim MVN(0, \mathbf{R}_2) \quad (15)$$

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

$$\mathbf{R}_1(s_n, s_m) = \frac{1}{2^{\varphi-1}\Gamma(\varphi)} \times (\kappa_1 |\mathbf{d}(s_n, s_m)\mathbf{H}|)^\varphi \times K_\nu(\kappa_1 |\mathbf{d}(s_n, s_m)\mathbf{H}|) \quad (16)$$

$$\mathbf{R}_2(s_n, s_m) = \frac{1}{2^{\varphi-1}\Gamma(\varphi)} \times (\kappa_2 |\mathbf{d}(s_n, s_m)\mathbf{H}|)^\varphi \times K_\nu(\kappa_2 |\mathbf{d}(s_n, s_m)\mathbf{H}|) \quad (17)$$

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

$$\varepsilon_1(\cdot, f, t) \sim \begin{cases} MVN(0, \mathbf{R}_1) & \text{if } t = 1 \\ MVN(\rho_{\varepsilon_1} \varepsilon_1(\cdot, f, t-1), \mathbf{R}_1) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (18)$$

$$\varepsilon_2(\cdot, f, t) \sim \begin{cases} MVN(0, \mathbf{R}_2) & \text{if } t = 1 \\ MVN(\rho_{\varepsilon_2} \varepsilon_2(\cdot, f, t-1), \mathbf{R}_2) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (19)$$

で与えられる。北上期調査0歳魚CPUEでは、まずVASTの初期設定である、各年の効果(β)を固定効果で推定し、時空間効果は独立と仮定する($\rho_{\varepsilon_1} = \rho_{\varepsilon_2} = 0$)手法を使用した。しかし、遭遇時のCPUEを予測するモデルにおける空間効果(ω_2)はVASTのcheck_fit関数によりCPUEの変動を説明する要因として不要とみなされたため、推定する式から除いた(FieldConfig["omega2"] = 0)。

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

$$r_1(i) = \text{logit}^{-1} p_1(i) \quad (20)$$

$$r_2(i) = a_i \times \log^{-1} p_2(i) \quad (21)$$

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

$$\Pr(b_i = B) = \begin{cases} 1 - r_1(i) & \text{if } B = 0 \\ r_1(i) \times g\{B|r_2(i), \sigma_m^2(c)\} & \text{if } B > 0 \end{cases} \quad (22)$$

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

漁具能率に影響する共変量 Q として、北上期調査0歳魚CPUEでは海表面水温、海表面水温の2乗項(ドーム型の影響を想定したため)、水深50m水温、水深50m水温の2乗項、海表面水温と水深50m水温の交互作用を使用した。海表面水温や水深50m水温の変数は平均と標本標準偏差で規格化したものを使用した。VASTにおけるデルタ型モデル

の構造は二項分布の部分とガンマ分布の部分ではほぼ独立と考えられるため、それぞれの確率分布に対して、R パッケージの MuMIn (Barto'n 2023) を使用し、AIC 基準で総当たりのモデル選択を行った。この際、変数選択をしない確率分布のモデルの共変量は使用しなかった。各解析の上位モデルを補足表 8-1 に示す。各分布について AICc 最小の変数を選択したモデルを使用し、資源量指標値を算出した。本報告では、二項分布モデルでは SST と SST² が、ガンマ分布では SST が共変量として選択された。VAST の資源量指標値は、各年における各位置の相対密度を $d(x, c, t) = r_1^*(x, c, t) \times r_2^*(x, c, t)$ で計算し (r^* は式 (13) (14) から第 4 項を除いたものから式 (20) (21) を用いて得られる)、各ノットの面積と密度を掛け合わせた値の総和を存在量として求められるが、今回の解析では密度は CPUE (尾/網・時) であるため、総和を面積の合計値で割った値を標準化 CPUE として算出した。

$$I(t) = \frac{\sum_{s=1}^{n_s} (a(s) \times d(s, t))}{\sum_{x=1}^{n_s} a(s)} \quad (23)$$

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

VAST で推定された各年の局所密度分布を補足図 8-1 に示す。高水準期 (2000 年代～2010 年代初頭) は黒潮続流～黒潮親潮移行域～親潮域に広く高密度に分布しており、分布重心は年によって東西の変動が大きいものの、南北は北緯 40 度付近で安定していた。資源の水準が低下した 2010 年代中盤以降は、東経 170 度より東の海域の密度が急減し、分布重心が西偏した。補足図 8-2 に、標準化した北上期調査 0 歳魚 CPUE とノミナル CPUE を重ねて示す。標準化した北上期調査 0 歳魚 CPUE は、2016 年を除いて標準化 CPUE の方が値は低く、年々の変動幅が小さくなった。このことは、チューニング VPA の非線形係数 b の値が昨年度評価よりも低下したことに寄与したと考えられる。QQ プロットと予測値の残差の関係から、モデルの仮定が妥当であると考えられる (補足図 8-3)。

(2) 産卵量

我が国太平洋岸では 1978 年以降、水産庁委託事業における国立研究開発法人水産研究・教育機構 (旧水産庁水産研究所、旧独立行政法人水産総合研究センター) と各都県水産研究機関との共同によって、主に小型浮魚類の再生産状況を把握するために卵・稚仔、プランクトン調査が周年にわたって実施されてきた (Oozeki et al. 2007、大関ほか 2013)。毎月の調査によって、太平洋岸全体で毎年 3,000～4,000 件のプランクトンネット (近年は改良型ノルパックネット) の鉛直曳網データが蓄積されている (Takasuka et al. 2008)。

昨年度評価では、水産資源研究所が開発してきた卵稚仔データベースから取得可能な 30 分升目の年間産卵量 (補足図 8-4。大海区 I～IV の合計。南西諸島～本州東方沖に相当) をチューニング指数として用いた。しかし、卵稚仔調査の調査海域や調査点数は年・月で一定ではなく、主たる産卵場の位置も年や季節により変動 (偏り) が生じることから、本年度評価では、ウルメイワシ太平洋系群の令和 4 年度資源評価の手法 (渡邊ほか 2023) に倣

い、平均卵密度の標準化を行ってチューニング指数として用いた。ウルメイワシ太平洋系群の令和4年度評価では、5分升目の補正済み平均卵密度（卵数/m²）をインプットデータとしてVASTによる標準化を行なっている。30分升目ではなく5分升目データを使用したのは、VASTの作者が生データの標準化を基本的には推奨しており（Thorson 2019）、高解像度なデータの方が生データ（各曳網のデータ）により近い値を得ることができると考えたためである。本報告では、カタクチイワシについて利用可能な1982～2022年のデータを使用した。

卵稚仔データベースの補正済み卵密度は、各月各小区画の平均卵密度を平均孵化日数や卵の平均生残率などによって補正される。計算式は以下で表される。

$$E_{t,m,i} = \left(\frac{1}{\bar{S}} \frac{D_{t,m}}{d_{t,m,i}} \right) \bar{X}_{t,m,i} \quad (24)$$

$E_{t,m,i}$ は t 年 m 月 i 小区画における補正済み卵密度、 \bar{S} は卵の平均生残率、 $D_{t,m}$ は t 年 m 月の日数、 $d_{t,m,i}$ は t 年 m 月 i 小区画における平均孵化日数、 $\bar{X}_{t,m,i}$ は小区画 i における1 m²あたりの平均卵数である。平均孵化日数は各月各小区画における卵数により重み付けされた平均海表面水温と下記のアレーニウスの式を用いて推定される（渡部 1983、Takasuka et al. 2008）。

$$d_{t,m,i} = \frac{1}{24} \frac{1}{a} \exp\left(\frac{b}{\bar{T}_{t,m,i} + 273}\right) \quad (25)$$

$\bar{T}_{t,m,i}$ は t 年 m 月 i 小区画における卵数加重平均海表面水温、 a と b は定数であり、カタクチイワシ太平洋系群では $a = 1.585 \times 10^{12}$ 、 $b = 9.348 \times 10^3$ が用いられる（Takasuka et al. 2008）。カタクチイワシ太平洋系群の卵の平均生残率 \bar{S} は0.600と推定されている（森ほか 1988）。

補正済み卵密度の年別月別平均値の季節変化を見ると、カタクチイワシ太平洋系群の卵はほぼ周年観察されるが、12月に最小となる傾向が見られた（補足図 8-5）。このことからカタクチイワシ太平洋系群の産卵期は1～12月とした。

VASTによる卵密度の標準化では、サンプル i の遭遇確率の線形予測子 $p_1(i)$ と、卵が採集された場合のサンプル i の卵密度の線形予測子 $p_2(i)$ に分けて、以下の式で表す。

$$p_1(i) = \beta_1(t_i) + \omega_1(s_i) + \varepsilon_1(s_i, t_i) + \eta_1(t_i, m_i) \quad (26)$$

$$p_2(i) = \beta_2(t_i) + \omega_2(s_i) + \varepsilon_2(s_i, t_i) + \eta_2(t_i, m_i) \quad (27)$$

式(26)(27)の右辺の第1項の $\beta(t_i)$ から第3項の $\varepsilon(s_i, t_i)$ までは式(13)(14)と同じ意味を表す。第4項の $\eta(t_i, m_i)$ は卵の採集効率（卵の採れやすさ）のランダム効果を表している。この項には通常は船の効果（ある船の漁獲効率と過分散を表す要因に対する船間のランダム効果）を当てはめるが、卵稚仔データベースから落手可能な卵密度データには船の情報がないため、代用的に年・月の組み合わせを船の効果とみなして、過分散を考慮した。ところで、VASTによる卵密度の標準化はゴマサバ太平洋系群でも行われており、マ

サバ卵との区別が困難なために生じると考えられる卵密度の誤差を解消でき、資源量推定値の改善に貢献することが報告されている (Kanamori et al. 2021)。一方で、カタクチイワシ卵は特徴的な形 (投影面が楕円型) をしており、正確に同定できることから、ゴマサバ太平洋系群で考慮されたような他魚種卵による採集率への影響は本報告では考慮していない。

卵密度の標準化においてもノット数は 100 とした。パラメータの推定に関わる式 (15)～(22) までは北上期 CPUE と同様であるため説明は省略する。

推定されたパラメータから、各年における各位置の予測卵密度を

$$d^*(s, t) = r_1^*(s, t) \times r_2^*(s, t) \quad (28)$$

で計算し、各ノットの面積と予測卵密度を掛け合わせた値の総和 (産卵量に相当) を以下の式により算出した。

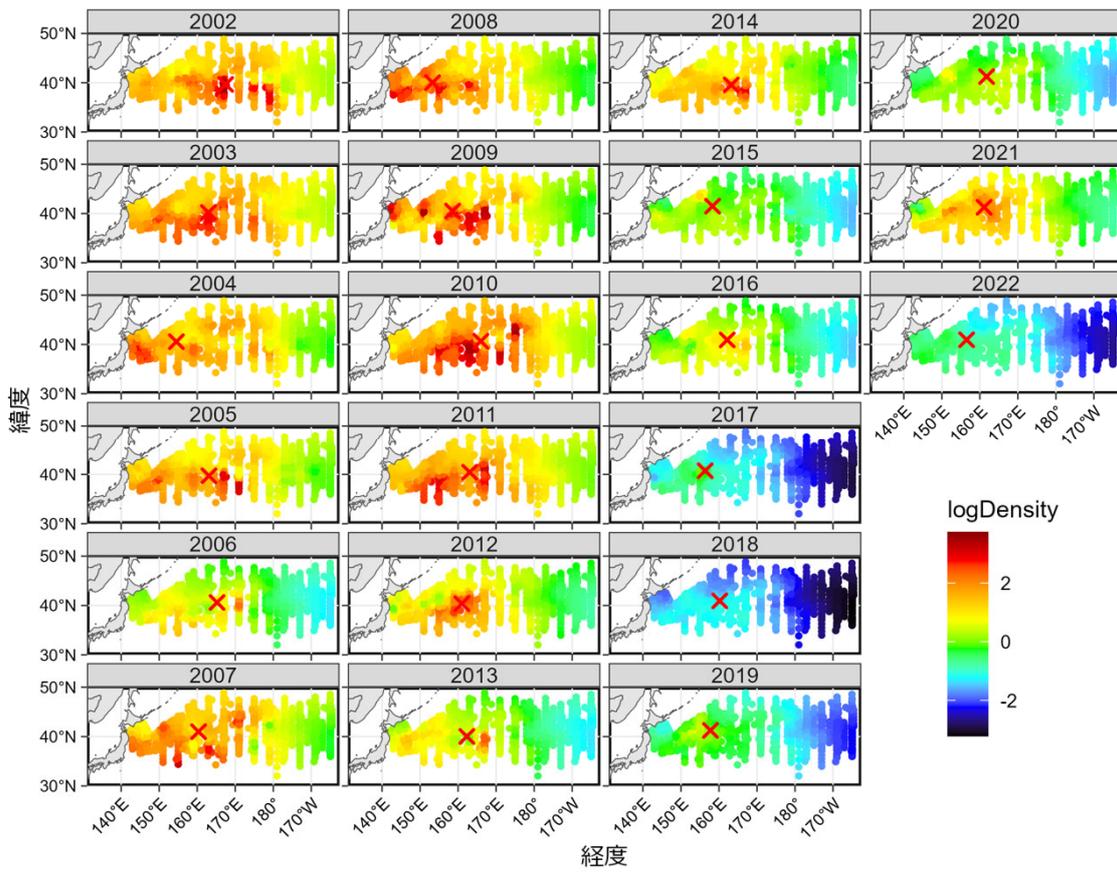
$$I(t) = \sum_{s=1}^{n_s} (a(s) \times d(s, t)) \quad (29)$$

この際、ランダム効果の平均補正を行った (Thorson and Kristensen 2016)。今年度評価では、各年の $I(t)$ を 1982～2022 年の平均値で除して規格化した値をチューニング指数として使用した。

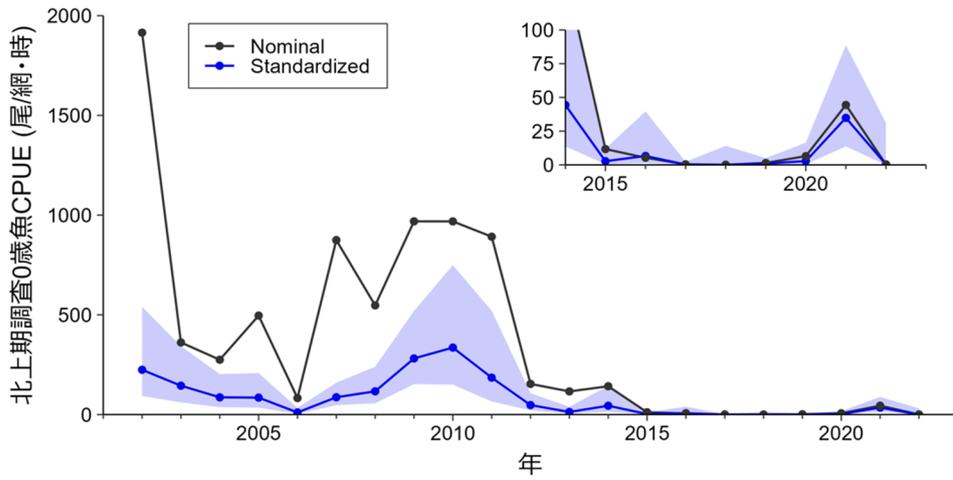
VAST で推定された各年の卵密度分布を補足図 8-6 と補足図 8-7 に示す。資源の水準が高かった 1990 年代～2010 年代初頭にかけては、黒潮続流～黒潮親潮移行域～親潮域においても広く高密度に産卵していたが、資源が急減した 2014 年以降は産卵場の縮小と卵密度の低下が顕著であった。2020 年以降、再び黒潮続流～黒潮親潮移行域において卵密度の増加が見られている。資源量指標値の年変動について、ノミナルな産卵量 (卵稚仔データベースからの 5 分升目産卵量と 30 分升目産卵量) および標準化した産卵量を重ねて示す (補足図 8-8)。1983～1990 年は標準化産卵量がノミナルな 5 分升目産卵量よりも低く推移したが、1991～1992 年と 1997～2000 年は標準化産卵量の方が高くなっており、ウルメイワシ太平洋系群 (渡邊ほか 2023) 同様、標準化によって指標値の変動がより明瞭となった。このことは、ノミナルな産卵量では未調査の小区画では卵が存在しないと見なされるのに対し、VAST ではそうした空間的な欠損を補間できることに起因すると考えられる。ただし、チューニング VPA に使用した 2010 年以降の変動幅は標準化産卵量の方がノミナルな産卵量 (5 分升目と 30 分升目) よりも狭く、特に 2010～2012 年の標準化産卵量の値はノミナルよりも低くなった。このことは、産卵量の非線形係数 b が昨年度評価よりも低下したことに寄与したと考えられる。VAST に備わっているモデル診断を行ったところ、QQ プロットは予測線上に乗っており、予測値と残差にも関係は見られなかった (補足図 8-9)。

引用文献

- Bartoń, K. (2023) MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.47.5., <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>.
- Grüss, A., J. F. Walter III, E. A. Babcock, F. C. Forrestal, J. T. Thorson, M. V. Laretta and M. J. Schirripac (2019) Evaluation of the impacts of different treatments of spatio-temporal variation in catch-per-unit-effort standardization models. *Fish. Res.*, **213**, 75-93.
- Kanamori, Y., S. Nishijima, H. Okamura, R. Yukami, M. Watai and A. Takasuka (2021) Spatio-temporal model reduces species misidentification bias of spawning eggs in stock assessment of spotted mackerel in the western North Pacific. *Fish. Res.*, **236**, 105825.
- Kristensen, K., A. Nielsen, C. E. Berg, H. Skaug and B. M. Bell (2016) TMB: automatic differentiation and Laplace approximation. *J. Stat. Softw.*, **70**, 1-21.
- 森慶一郎・黒田一紀・小西芳信 (1988) 日本の太平洋岸 (常磐～薩南海域) におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況:1978年1月～1986年12月. 東海区水産研究所, 321 pp.
- Oozeki, Y., A. Takasuka, H. Kubota and M. Barange (2007) Characterizing spawning habitats of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*), Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*), and Pacific round herring (*Etrumeus teres*) in the northwestern Pacific. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, **48**, 191-203.
- 大関芳沖・高須賀明典・坪井守夫・木立 孝・鈴木秀彌・服部茂昌 (2013) 産卵調査と資源変動研究—その研究を継続させた想い— 中井甚二郎 (1901～1984). *水産海洋研究*, **77** (創立 50 周年記念特別号), 6-12.
- Takasuka, A., H. Kubota and Y. Oozeki (2008) Spawning overlap of anchovy and sardine in the western North Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **366**, 231-244.
- Thorson, J. T. (2017) Three problems with the conventional delta-model for biomass sampling data, and computationally efficient alternative. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **75**, 1369-1382.
- Thorson, J. T. (2019) Guidance for decisions using the Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) package in stock, ecosystem, habitat and climate assessments. *Fish. Res.*, **210**, 143-161.
- Thorson, J. T. and LAK. Barnett (2017) Comparing estimates of abundance trends and distribution shifts using single- and multispecies models of fishes and biogenic habitat. *ICES J. Mar. Sci.*, **74**, 1311-1321.
- Thorson, J. T. and K. Kristensen (2016) Implementing a generic method for bias correction in statistical models using random effects, with spatial and population dynamics examples. *Fish. Res.*, **175**, 66-74.
- 渡部泰輔 (1983) 卵数法. 水産資源の解析と評価. 石井丈夫編, 恒星社厚生閣. 東京, 9-22pp.
- 渡邊千夏子・安田十也・渡井幹雄・井元順一・木下順二・河野悌昌、高橋正知 (2023) 令和 4 (2022) 年度ウルメイワシ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 29pp. <https://abchan.fra.go.jp/hyouka/doc2022/>

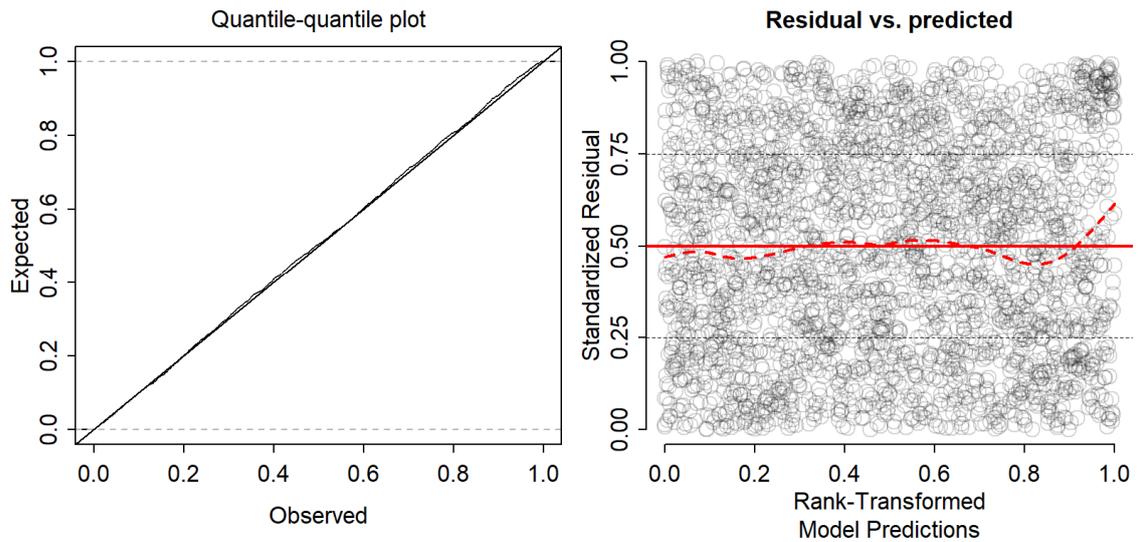


補足図 8-1. 北上期調査 0 歳魚 CPUE から推定された各年の 0 歳魚の相対密度
赤い×印は分布の重心を表す。

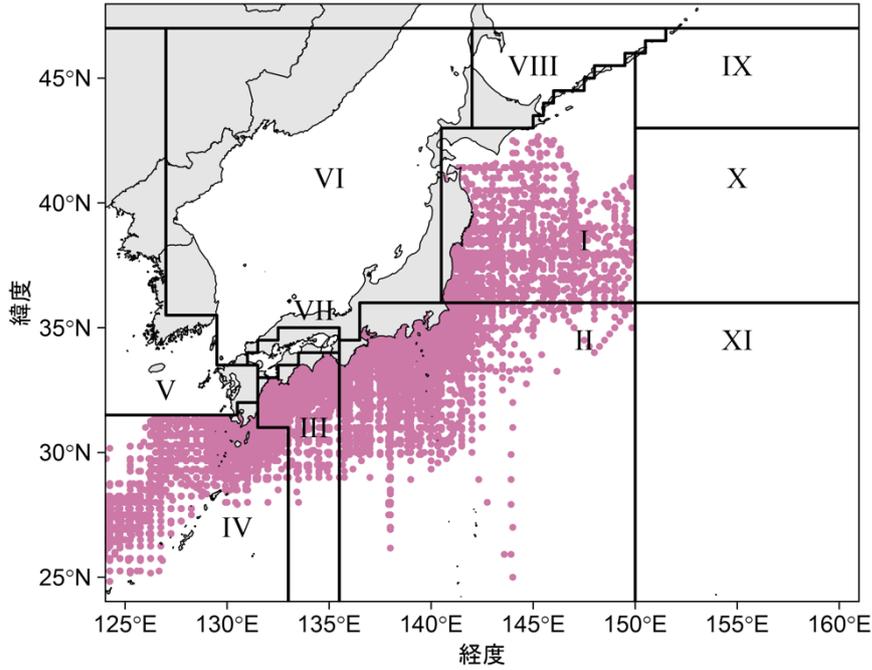


補足図 8-2. 北上期調査 0 歳魚 CPUE の経年変動

青実線は標準化した北上期調査 0 歳魚 CPUE、黒実線はノミナルな北上期調査 0 歳魚 CPUE、青影は 95%信頼区間を表す。

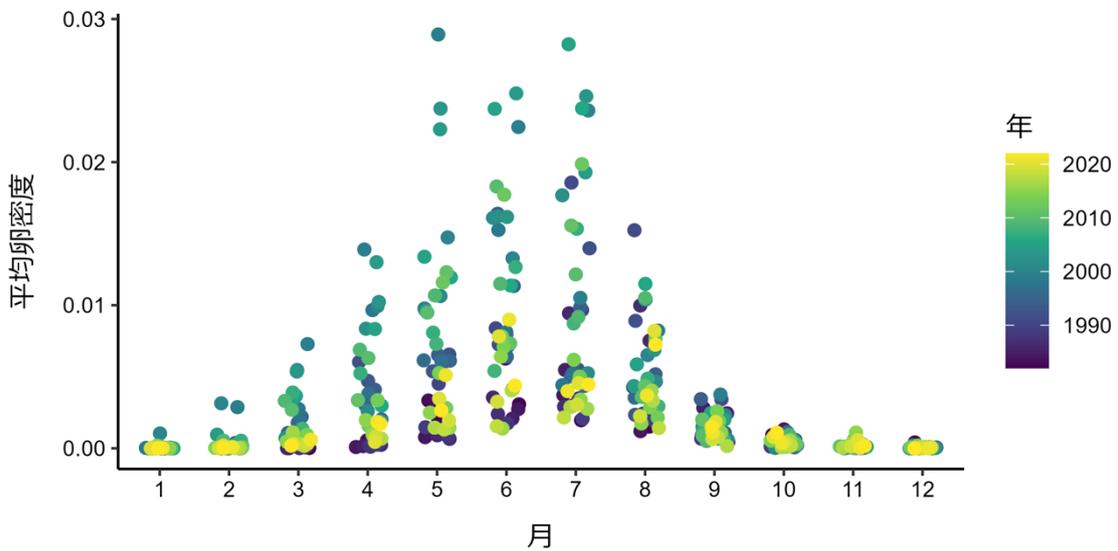


補足図 8-3. 予測された北上期調査 0 歳魚 CPUE の QQ プロット (左) と予測値に対する残差の分布 (右)

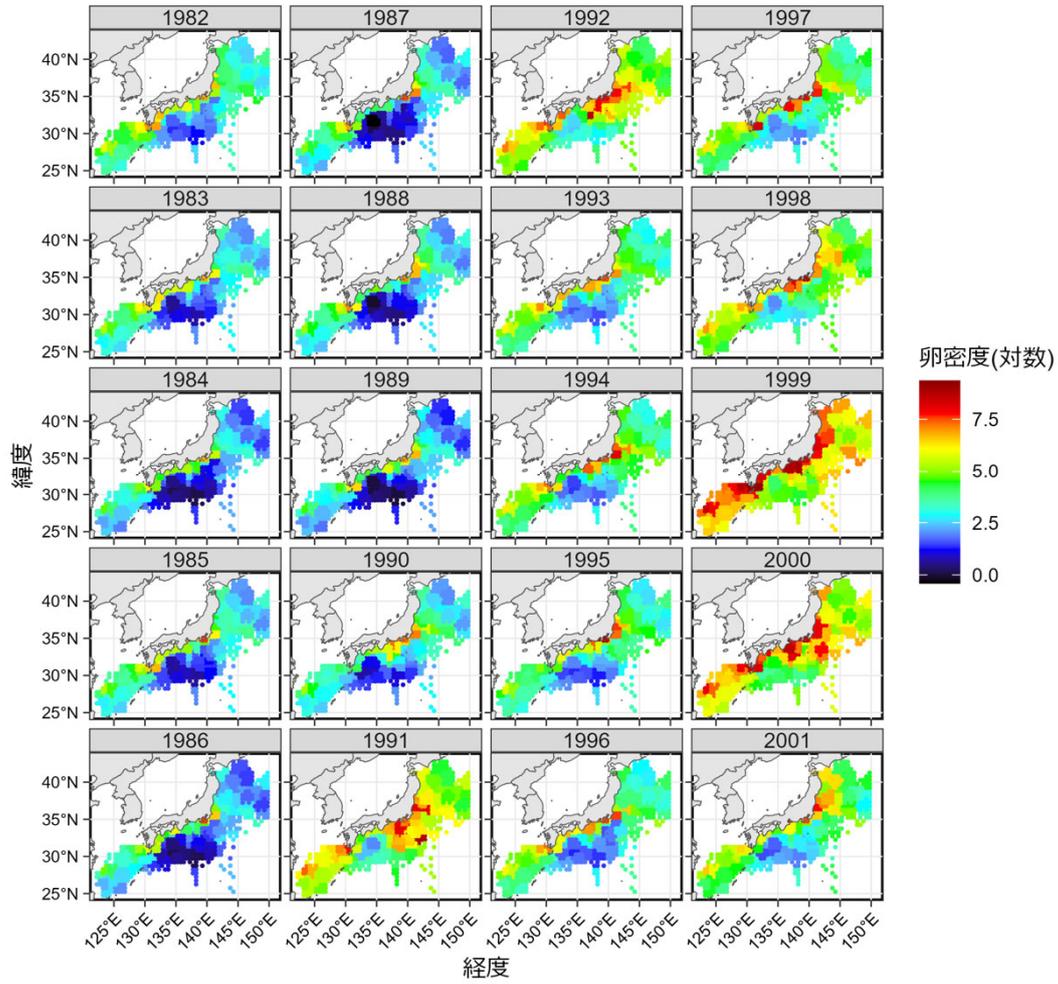


補足図 8-4. 卵・稚仔、プランクトン調査点の分布

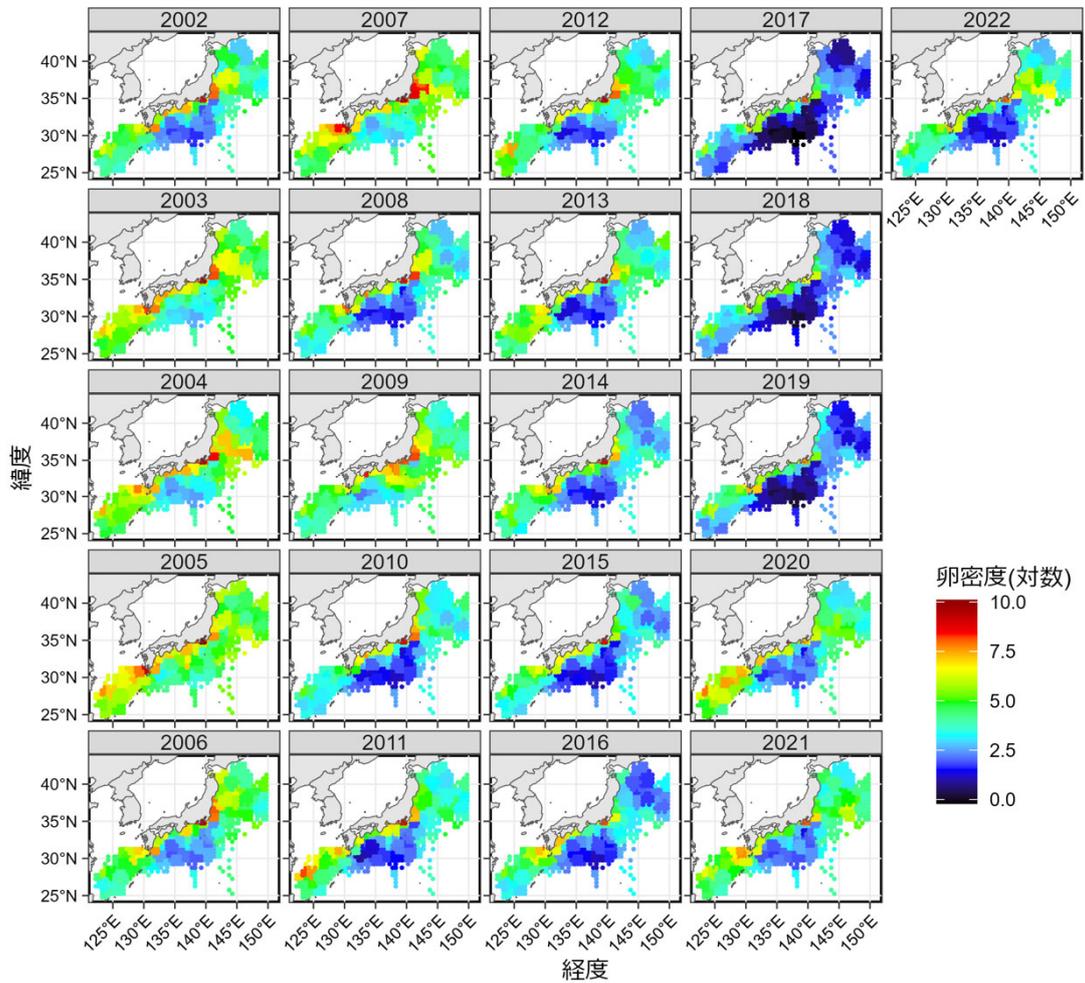
本報告で使用した全データの分布を表す。図中のローマ数字は大海区の区分を表す。



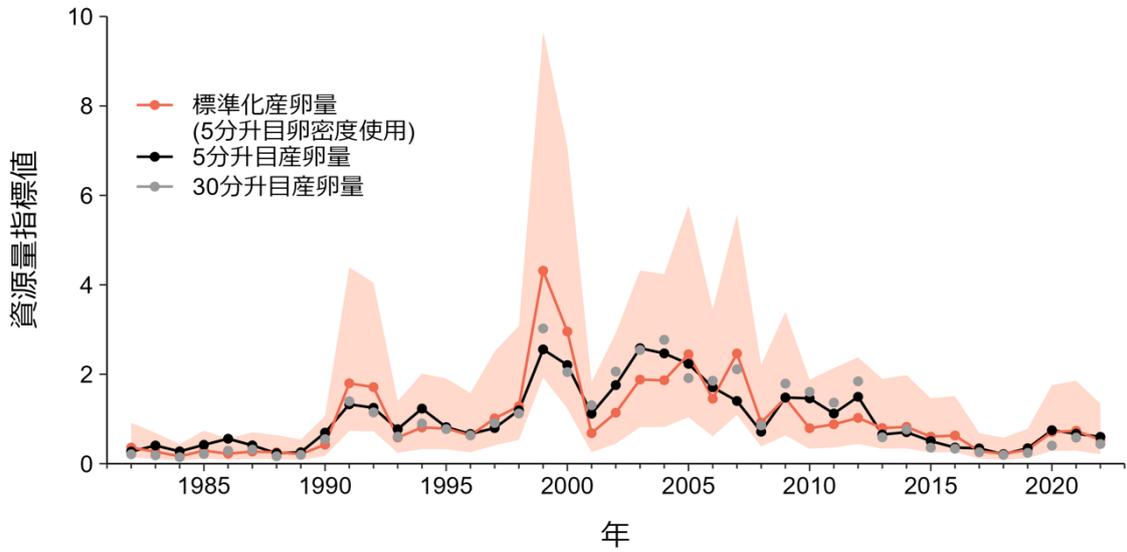
補足図 8-5. 1982～2022 年における補正済み卵密度の年別月別平均値の月変動



補足図 8-6. VAST により推定された各年の相対卵密度の空間分布 (1982~2001 年)
 カラーズケールは卵密度の濃淡を示す。

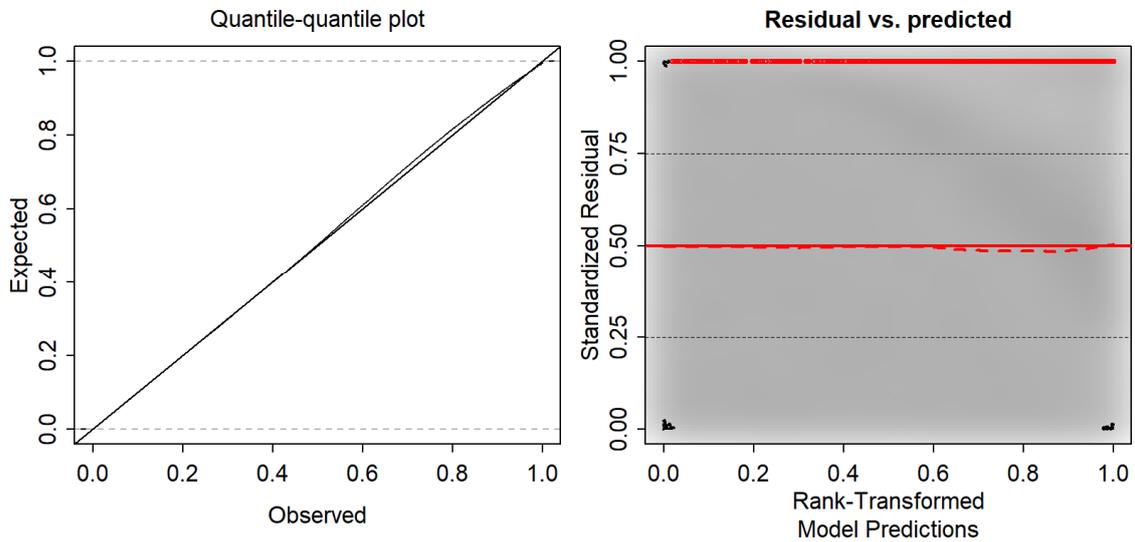


補足図 8-7. VAST により推定された各年の相対卵密度の空間分布 (2002~2022 年)
 カラーズケールは卵密度の濃淡を示す。



補足図 8-8. 産卵量の経年変動

赤実線は標準化した産卵量、黒実線はノミナルな 5 分升目産卵量、灰色の丸はノミナルな 30 分升目産卵量、赤影は標準化産卵量の 95%信頼区間を表す。本図ではいずれの時系列も全年平均値を 1 として規格化した値を示す。



補足図 8-9. 予測された産卵量の QQplot (左) と予測値に対する残差の分布 (右)

補足表 8-1. 北上期調査 0 歳魚 CPUE の二項分布モデルおよびガンマ分布モデルにおける変数選択の結果

	順位	SST	SST ²	T50	T50 ²	SST:T50	ΔAIC
二項分布	1	+	+	-	-	-	0
	2	+	+	+	-	-	1.275
	3	+	+	+	-	+	2.611
	4	+	+	+	+	-	3.212
	5	+	+	+	+	+	4.541
ガンマ分布	1	+	-	-	-	-	0
	2	+	+	-	-	-	0.594
	3	+	-	+	-	-	0.768
	4	+	+	+	-	-	1.503
	5	+	+	+	-	+	1.656

SST は海表面水温、T50 は水深 50 m の水温を表す。+印は変数が選択されたことを、-印は変数が選択されなかったことを表す。

補足資料 9 コホート解析結果の詳細表

補足表 9-1. コホート解析 (チューニング VPA) の結果詳細

年	年齢別資源尾数(百万尾)					年齢別漁獲係数					%SPR	F/Fmsy
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	合計	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚			
1978	27,944.1	8,054.5	1,137.5	156.6	37,292.7	0.20	0.72	0.83	0.83	58.0	0.61	
1979	31,264.1	8,396.6	1,439.1	100.1	41,199.9	0.39	0.36	0.58	0.58	58.1	0.66	
1980	15,287.7	7,825.6	2,155.7	163.1	25,432.0	0.51	1.44	0.86	0.86	38.1	1.26	
1981	24,188.4	3,371.9	681.5	183.6	28,425.4	0.60	1.28	1.73	1.73	34.4	1.42	
1982	28,514.5	4,886.9	344.9	24.4	33,770.7	0.71	0.78	0.96	0.96	34.7	1.36	
1983	43,953.4	5,147.7	821.0	26.7	49,948.8	0.33	1.20	0.60	0.60	48.4	0.88	
1984	40,531.9	11,573.9	568.1	91.0	52,764.8	0.77	2.56	2.67	2.67	21.5	2.54	
1985	37,782.4	6,935.3	330.8	7.9	45,056.4	0.42	1.58	1.35	1.35	39.7	1.22	
1986	46,150.7	9,104.2	527.6	17.3	55,799.7	0.26	1.11	1.58	1.58	52.0	0.74	
1987	36,116.4	13,075.8	1,104.1	21.9	50,318.2	0.19	0.70	0.56	0.56	62.7	0.50	
1988	86,971.8	10,981.8	2,383.8	126.7	100,464.1	0.16	0.71	0.35	0.35	65.6	0.44	
1989	134,088.1	27,201.4	1,987.4	338.9	163,615.8	0.08	0.24	0.65	0.65	80.3	0.20	
1990	119,695.3	45,572.9	7,888.0	208.7	173,364.8	0.08	0.38	0.76	0.76	80.1	0.18	
1991	81,951.1	40,829.4	11,504.8	743.7	135,029.0	0.11	0.34	0.77	0.77	78.0	0.23	
1992	99,594.3	27,134.0	10,713.2	1,073.7	138,515.2	0.08	0.37	1.24	1.24	78.0	0.20	
1993	90,090.6	33,916.4	6,860.6	623.3	131,491.0	0.10	0.20	0.51	0.51	82.0	0.20	
1994	88,806.3	30,054.2	10,242.8	833.5	129,936.8	0.06	0.25	0.36	0.36	84.2	0.15	
1995	66,906.6	30,631.5	8,581.1	1,446.3	107,565.5	0.08	0.28	0.67	0.67	80.7	0.19	
1996	94,966.6	22,644.5	8,526.0	890.1	127,027.2	0.10	0.62	1.39	1.39	72.0	0.27	
1997	141,706.9	31,574.4	4,480.2	430.5	178,191.8	0.05	0.20	1.33	1.33	84.1	0.13	
1998	192,364.1	49,415.8	9,480.5	240.0	251,500.4	0.08	0.50	1.11	1.11	77.7	0.19	
1999	132,124.8	65,437.0	11,058.3	628.7	209,248.8	0.10	0.44	1.17	1.17	74.6	0.26	
2000	129,961.4	43,964.7	15,455.8	693.4	190,075.4	0.05	0.28	0.68	0.68	84.6	0.14	
2001	201,010.5	45,413.9	12,209.7	1,581.2	260,215.2	0.02	0.28	0.81	0.81	85.5	0.14	
2002	196,793.6	72,419.6	12,579.9	1,093.5	282,886.7	0.05	0.45	0.80	0.80	78.9	0.15	
2003	163,324.6	69,032.5	16,985.7	1,141.5	250,484.3	0.05	0.48	1.32	1.32	78.7	0.14	
2004	101,369.3	56,937.8	15,731.9	911.6	174,950.6	0.06	0.68	1.35	1.35	74.8	0.17	
2005	136,626.2	35,063.2	10,662.2	820.4	183,172.0	0.05	0.44	1.76	1.76	79.6	0.14	
2006	97,120.8	47,805.0	8,329.1	370.9	153,625.8	0.11	0.70	1.24	1.24	69.8	0.30	
2007	102,716.3	32,073.3	8,757.7	487.7	144,035.0	0.07	0.74	1.26	1.26	73.8	0.18	
2008	142,260.3	35,336.7	5,642.1	499.3	183,738.5	0.17	0.38	1.36	1.36	70.7	0.36	
2009	91,686.2	44,068.3	8,933.7	291.3	144,979.5	0.07	0.56	0.87	0.87	76.4	0.19	
2010	71,385.6	31,452.5	9,277.4	756.6	112,872.1	0.15	0.66	1.23	1.23	68.1	0.37	
2011	66,052.7	22,542.9	5,998.7	548.1	95,142.3	0.10	0.63	1.11	1.11	71.7	0.27	
2012	50,489.0	22,021.0	4,422.2	398.1	77,330.3	0.22	0.73	1.08	1.08	61.6	0.52	
2013	48,727.5	14,847.7	3,893.6	303.9	67,772.8	0.34	1.14	1.39	1.39	49.5	0.84	
2014	34,428.2	12,715.1	1,747.1	195.9	49,086.3	1.22	1.88	1.18	1.18	17.2	2.50	
2015	38,842.1	3,732.6	712.5	108.2	43,395.5	0.74	1.47	2.24	2.24	28.7	1.73	
2016	30,364.1	6,843.8	314.7	15.2	37,537.8	0.84	2.41	2.12	2.12	22.9	2.28	
2017	20,581.4	4,819.0	226.7	7.6	25,634.7	1.01	2.30	2.55	2.55	20.2	2.45	
2018	16,816.1	2,766.6	178.3	3.6	19,764.5	0.48	2.67	3.09	3.09	33.3	1.69	
2019	30,408.7	3,818.5	70.8	1.6	34,299.6	0.84	2.03	1.40	1.40	25.2	1.99	
2020	36,804.6	4,811.7	183.8	3.5	41,803.6	0.39	1.26	1.19	1.19	43.5	1.05	
2021	46,550.7	9,125.2	503.7	11.3	56,191.0	0.30	0.35	0.30	0.30	60.6	0.61	
2022	21,459.0	12,635.4	2,372.0	75.2	36,541.7	0.45	0.29	0.03	0.03	55.2	0.73	

補足表 9-1. コホート解析 (チューニング VPA) の結果詳細 (続き)

年	年齢別資源量(千トン)				資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (トン)	漁獲割合 (%)
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚				
1978	140.8	68.1	20.7	4.0	233.5	92.8	42,998	18.4
1979	158.1	113.2	28.5	2.4	302.2	144.1	57,426	19.0
1980	86.3	74.4	37.5	3.7	201.9	115.5	65,959	32.7
1981	103.4	35.1	14.4	5.1	158.0	54.6	50,607	32.0
1982	100.4	44.4	6.3	0.6	151.7	51.4	47,542	31.3
1983	186.2	48.0	13.1	0.6	247.9	61.7	55,228	22.3
1984	134.6	73.7	10.2	2.4	220.9	86.3	90,007	40.8
1985	165.0	52.3	5.1	0.1	222.6	57.5	61,435	27.6
1986	223.6	79.7	6.6	0.5	310.3	86.7	66,062	21.3
1987	215.6	120.6	15.8	0.5	352.5	136.9	62,733	17.8
1988	306.1	113.1	38.4	2.8	460.4	154.2	68,088	14.8
1989	768.3	326.0	40.3	9.5	1,144.1	375.8	87,804	7.7
1990	1,131.0	691.2	139.9	4.7	1,966.8	835.8	215,941	11.0
1991	557.6	628.9	230.0	17.1	1,433.5	876.0	202,319	14.1
1992	657.8	385.5	215.3	24.2	1,282.7	625.0	178,276	13.9
1993	477.3	445.6	128.2	14.1	1,065.2	587.9	100,487	9.4
1994	508.8	453.8	200.9	20.8	1,184.3	675.5	110,428	9.3
1995	428.4	489.6	188.8	39.4	1,146.1	717.8	141,716	12.4
1996	717.6	356.9	176.8	22.1	1,273.3	555.7	207,890	16.3
1997	1,299.2	518.3	98.6	10.9	1,927.0	627.8	134,464	7.0
1998	1,711.8	792.0	171.3	5.2	2,680.2	968.4	319,371	11.9
1999	1,083.7	899.0	213.2	15.0	2,210.9	1,127.2	327,997	14.8
2000	965.1	763.5	302.7	16.8	2,048.0	1,082.9	213,116	10.4
2001	1,449.0	702.9	263.4	39.9	2,455.3	1,006.3	197,928	8.1
2002	1,626.1	1,007.9	246.6	28.1	2,908.8	1,282.7	334,399	11.5
2003	1,389.2	1,080.3	323.8	27.2	2,820.6	1,431.3	408,009	14.5
2004	1,051.5	866.6	299.4	20.6	2,238.1	1,186.6	401,865	18.0
2005	878.1	583.0	215.5	19.5	1,696.0	818.0	237,691	14.0
2006	846.9	652.5	156.1	8.7	1,664.2	817.3	303,428	18.2
2007	611.5	506.5	170.6	11.1	1,299.8	688.3	242,468	18.7
2008	705.5	519.1	118.3	12.0	1,354.9	649.4	209,082	15.4
2009	730.6	640.9	165.8	6.4	1,543.8	813.2	240,892	15.6
2010	440.6	492.9	191.1	18.6	1,143.2	702.6	247,629	21.7
2011	489.0	326.1	120.7	13.3	949.1	460.1	159,980	16.9
2012	241.3	308.4	85.7	10.0	645.4	404.1	154,459	23.9
2013	258.5	196.4	80.9	7.3	543.2	284.7	156,030	28.7
2014	152.9	128.9	35.1	5.0	322.0	169.1	143,984	44.7
2015	133.6	37.0	15.0	2.8	188.4	54.8	66,509	35.3
2016	133.6	53.2	5.4	0.3	192.6	58.9	77,695	40.3
2017	83.8	37.6	3.5	0.2	125.1	41.3	54,281	43.4
2018	71.2	20.1	2.7	0.1	94.0	22.9	29,056	30.9
2019	87.2	26.3	0.9	0.0	114.5	27.2	44,337	38.7
2020	191.0	42.0	3.2	0.1	236.2	45.3	57,006	24.1
2021	183.0	67.1	9.8	0.3	260.1	77.1	42,203	16.2
2022	120.4	86.2	38.9	1.7	247.2	126.8	40,168	16.2

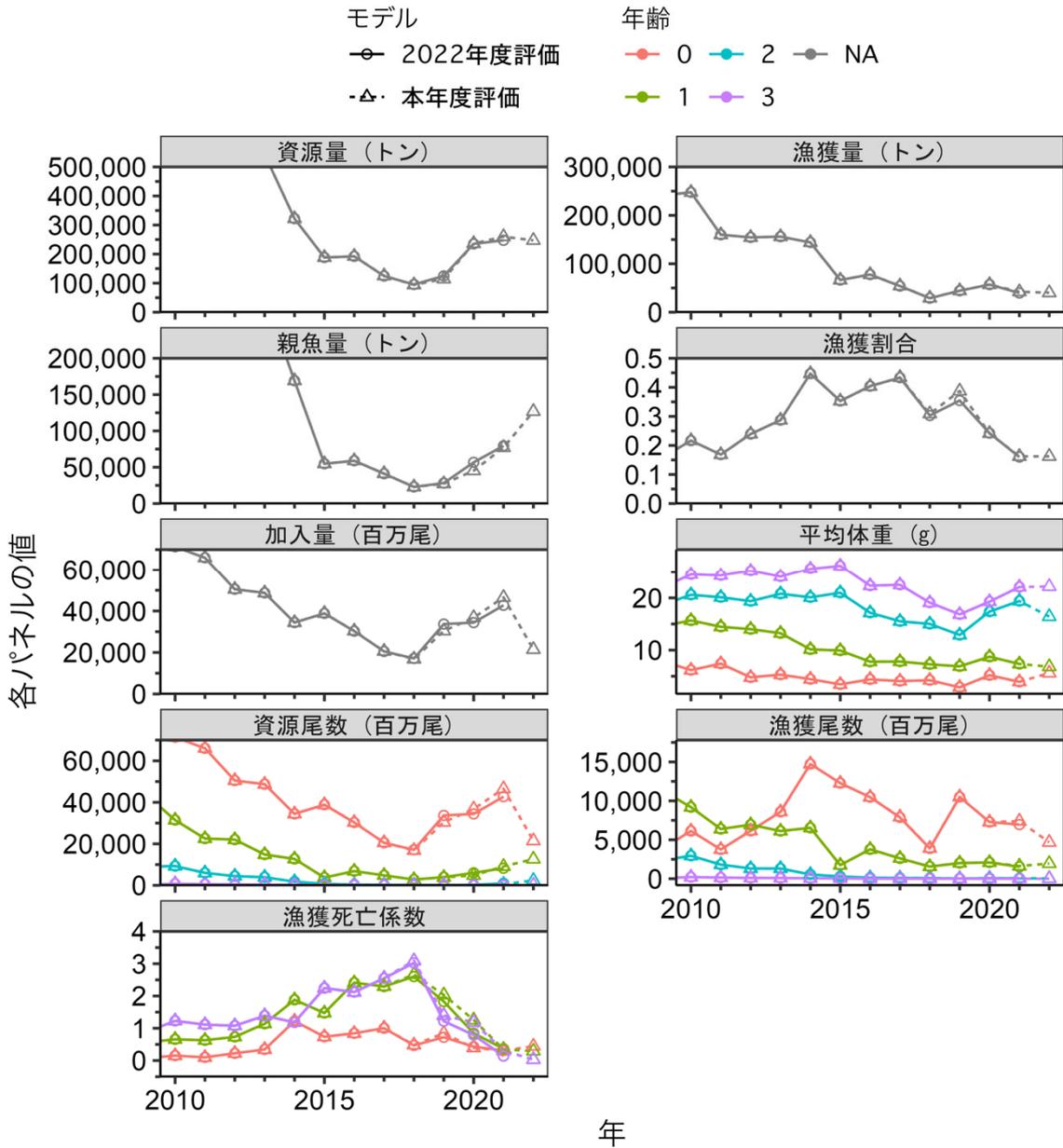
補足資料 10 昨年度評価結果との比較

昨年度と本年度の資源評価結果を比べると、2021年以前の資源量、親魚量、および加入量の推定値に大きな違いはみられない（補足図 10-1、補足表 10-1）。

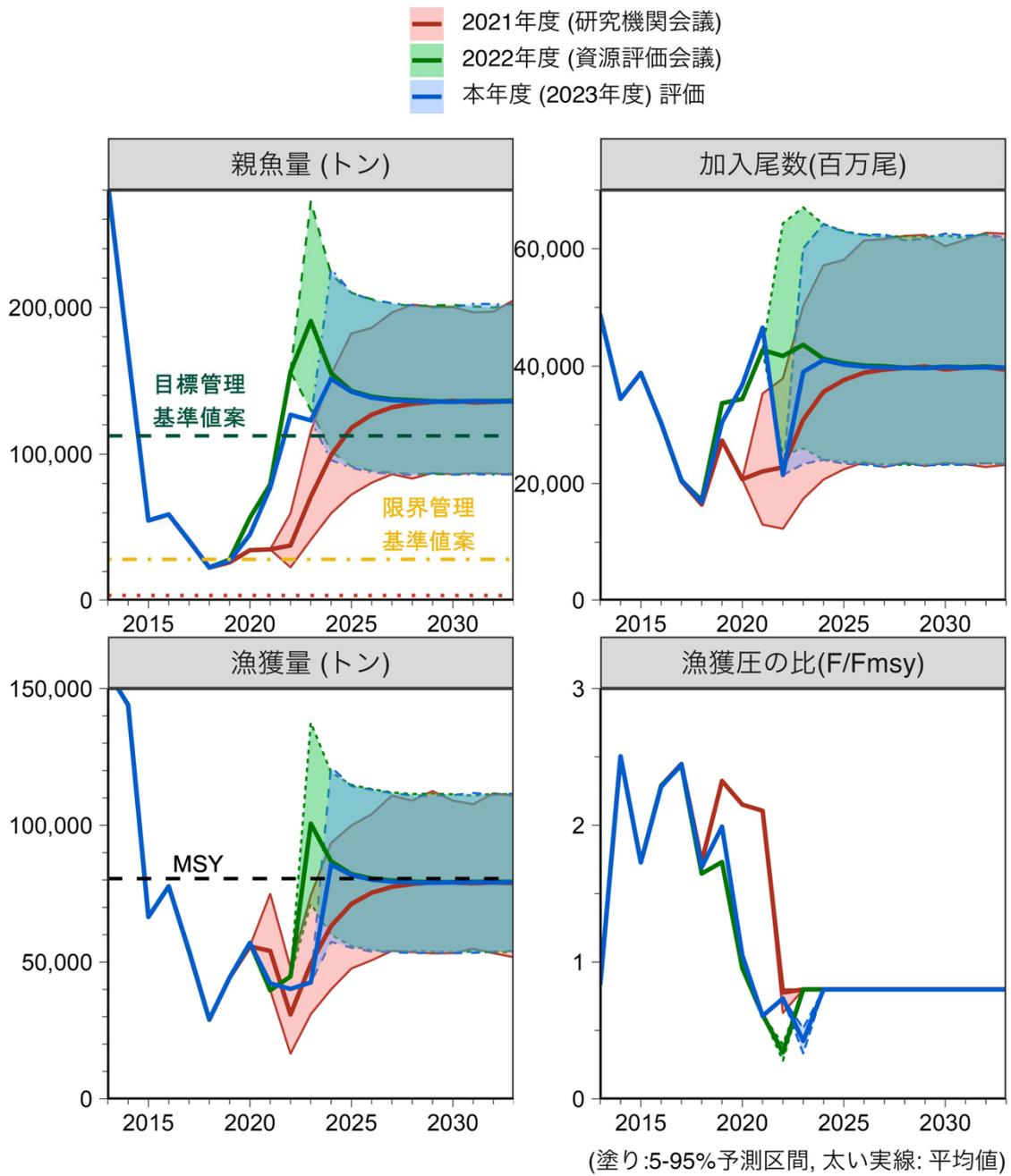
2023年の漁獲量については、本年度評価においては仮定値（2018～2022年の漁獲量の平均、4.3万トン）を用いているため、昨年度評価における予測値の平均よりも6万トン程度低い値となっている。なお、本年度評価において、仮に2023年の漁獲量を $\beta=0.8$ とした漁獲管理規則案に基づき予測した場合（昨年度評価と同条件で予測した場合）、漁獲量は7.0万トンになる。

一方、2022年の加入量については、本年度評価における推定値が、昨年度評価における予測値（再生産関係式に基づく）の半分程度となった（補足図 10-2、補足表 10-1）。これに対し、2022年の親魚量については、昨年度評価における予測値から本年度評価における推定値への減少率は20%程度であり、加入量に比べ下方修正の程度が小さかった。ただし、2023年の親魚量の予測値については、昨年度評価から本年度評価に更新されることにより、2022年の加入量が大幅に低い値となったことから、7万トン程度低い値となった。

漁獲管理規則案に基づく管理を開始してから10年後に親魚量の予測値が目標管理基準値案を上回る確率は、昨年度評価および本年度評価において、ともに β が0.9以下であれば50%を上回った。



補足図 10-1. 昨年度と本年度の資源評価結果の比較



補足図 10-2. 評価年度別の親魚量、加入量、漁獲量、および漁獲係数の比較
 予測部分については β を 0.8 とした漁獲管理規則を適用した場合の結果である。網掛け部分は 90%予測区間を示す。

補足表 10-1. 評価年度別の各年の親魚量加入量、および漁獲量

(a) 親魚量 (千トン)

親魚量	年			
評価年度	2021	2022	2023	2024
2021	35	38	71	99
2022	79	156	191	155
2023	77	127	123	151

(b) 加入量 (百万尾)

加入量	年			
評価年度	2021	2022	2023	2024
2021	22,062	22,760	30,874	35,621
2022	42,736	41,717	43,636	41,244
2023	46,551	21,459	39,011	41,035

(c) 漁獲量 (千トン)

漁獲量	年			
評価年度	2021	2022	2023	2024
2021	54	31	49	63
2022	40	45	101	87
2023	42	40	43	86

黒色の数値は親魚量もしくは加入量の推定値か漁獲量の実績を表す。青色の数値は漁獲量の仮定値を表す。赤色の数値は β を 0.8 とした漁獲管理規則案を適用した場合の予測平均値を表す。

補足資料 11 その他の資源量指標値

分布回遊状況解析調査として JAFIC から提供されている北部太平洋大中型まき網の CPUE（一網当たり漁獲量）については、2013 年以降大きく減少し、2015 年には 3.4 トン/網の最低値となった（補足図 11-1、補足表 11-1）。2016 年以降は 0 または 1 網のみの操業にとどまっており、1 網操業のあった 2017 年と 2020 年の CPUE はそれぞれ 20 トン/網と 23 トン/網であった。

北西太平洋秋季浮魚類資源調査において、調査海域を拡大した 2005 年以降、道東海域のみならず千島列島東方沖にも本系群が広く分布していることが明らかとなった。同調査における体長 11.0 cm 未満の魚の CPUE（尾/網、曳網 30 分あたりの値に換算）は、千葉県水産総合研究センターによる解析の結果、冬春季に常磐・房総海域で漁獲される年明け 1 歳魚の漁獲量との間に相関関係があるとともに、体長 11.0 cm 以上の魚の CPUE と年明け 2 歳魚の漁獲量の間にも正の相関関係があることが明らかにされている（長谷川・川端 2013）。体長 11.0 cm 未満の魚の CPUE は 2011 年に 5,205 尾/網の高い値を示したが、2012 年に急減し、2013 年から 2018 年にかけては 0.1~4.4 尾/網の低い値で推移した。2019 年以降は急増し、2021 年には 5,909 尾/網の最大値となったが、2022 年には 2,370 尾/網に急減した（補足図 11-2、補足表 11-1）。体長 11.0 cm 以上の魚の CPUE は 2006 年に 4,587 尾/網の最大値を示した後は減少傾向にあり、2018 年に 1 尾/網未満の最小値を示した。2021 年には 338 尾/網まで増加したが、2022 年は 163 尾/網に減少した。

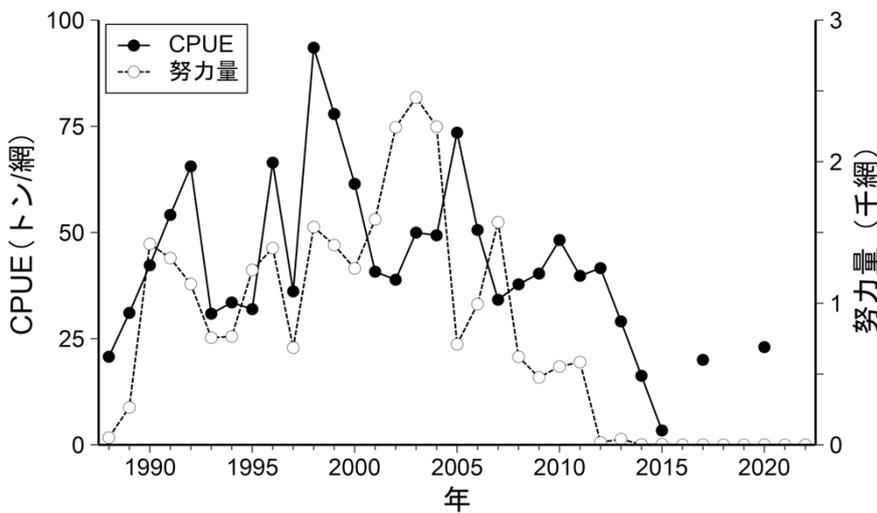
常磐・房総海域（千葉県、茨城県、福島県の沖）は例年、冬春季が主漁期となるため、本海域に限定した漁期を前年 11 月~当年 6 月とした（例えば 2022 年漁期は 2021 年 11 月~2022 年 6 月）。本海域の主要港漁獲量のうち、体長 12 cm 未満の魚の漁獲量は各漁期の前年（2022 年漁期ならば 2021 年）における 0 歳魚資源量と正の相関が強いことに加え、体長 12 cm 以上の魚の漁獲量は各漁期と同年（2022 年漁期ならば 2022 年）の親魚量と正の相関が強い。1999 年以降の体長 12 cm 未満および 12 cm 以上の漁獲量は、ともに 2003 年漁期に最大値を示したが、その後は減少傾向にある（補足図 11-3、補足表 11-2）。2022 年漁期における体長 12 cm 未満および体長 12 cm 以上の魚の漁獲量は、それぞれ過去最低の 22 百トン、および過去 3 番目に低い 0.7 百トンであった（補足図 11-3 には直近の漁況の参考として 2023 年漁期の速報値を示している）。また、常磐・房総海域では、漁期前半（前年 11 月~当年 2 月）には 2 歳魚と 1 歳魚が混じるが、漁期後半（3~6 月）には 1 歳魚が主体となる場合が多い。このため、北部太平洋大中型まき網漁業の主漁場の 1 つである同海域では、3~6 月合計の資源量指数（JAFIC より提供）が前年の 0 歳魚の資源量指標値になると考えられるが、本指数は 2003 年（1129）をピークに減少傾向にあり、2018 年以降は 0 となっている（補足表 11-1）。

近年、資源の減少に伴い、沖合域の分布量は大きく減少しているが、調査船による沖合の調査では直近 3 年ほど増加の兆候が認められている。しかし、分布は散在的であり、分布量も少ない状態にあることから、本系群の主な分布域は引き続き沿岸域主体となっており、沖合回遊群を主な漁獲対象としていた北部太平洋大中型まき網漁業の資源量指数に代わる、沿岸域の資源量指標値の導入が必要と考えられた。そこで、令和元年度評価から、千葉県沿岸における大中型・中型 2 そうまき網船 3 隻の 2~6 月における親魚相当銘柄（中

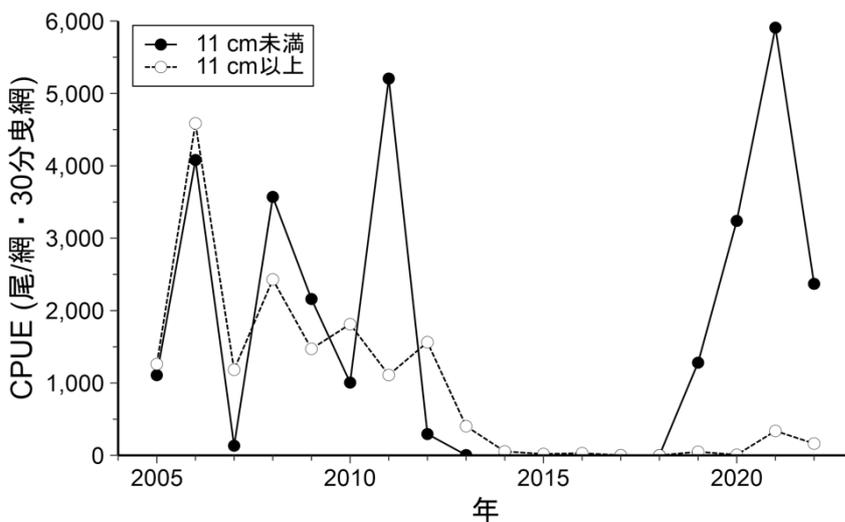
セグロ、中ゴボウ、ゴボウおよび大ゴボウ) の平均 CPUE (有漁 1 投網当たり漁獲量) を示している。当該 CPUE は、2008~2013 年には概ね 30~40 トン/網以上で推移していたが、2014 年以降急減し、2016 年以降は 11 トン/網未満で推移しており、2022 年は 6.5 トン/網と、過去最低値となった (補足図 11-4、補足表 11-2)。

引用文献

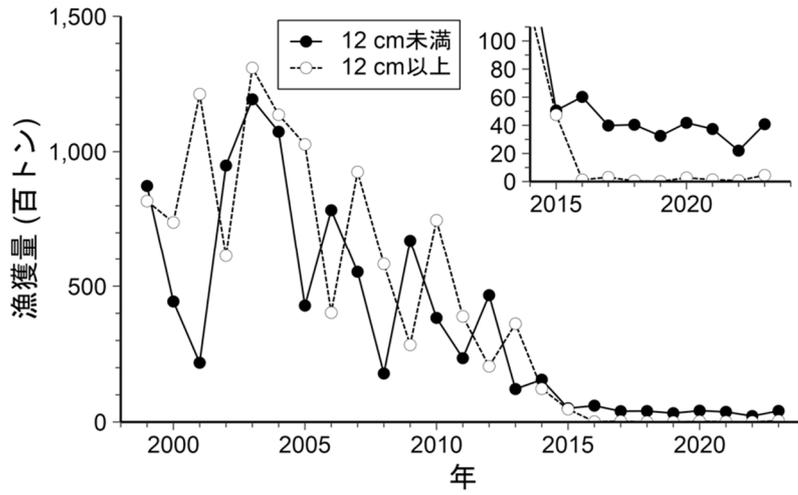
長谷川淳・川端 淳 (2013) 秋季北西太平洋浮魚資源調査結果と冬春季の房総周辺海域に
来遊するカタクチイワシの漁況との関係. 第 61 回サンマ等小型浮魚類資源研究会議
報告, 水産総合研究センター, 237-238.



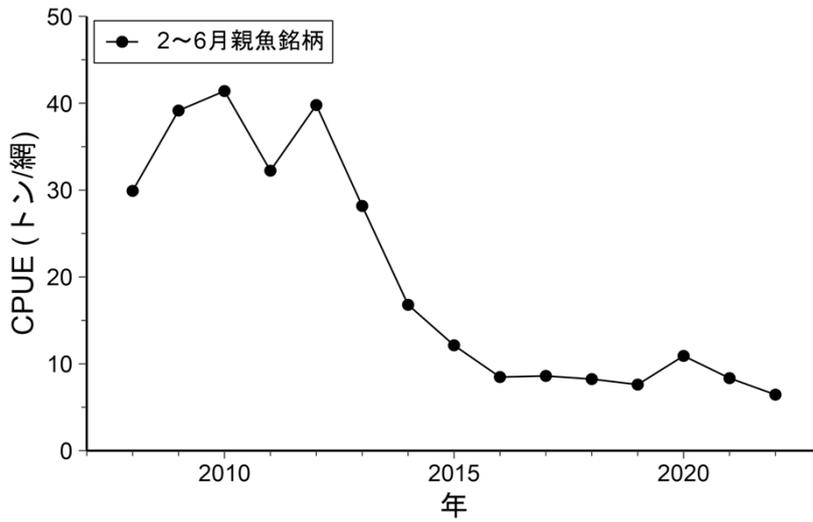
補足図 11-1. 北部太平洋大中型まき網の努力量と CPUE (トン/網) の推移



補足図 11-2. 北西太平洋秋季浮魚類調査 CPUE (尾/網) の推移



補足図 11-3. 常磐・房総海域における前年 11 月～当年 6 月の漁獲量の推移



補足図 11-4. 房総海域における千葉県の大中型・中型 2 そうまき網 3 隻の親魚銘柄（中セグロ、中ゴボウ、ゴボウおよび大ゴボウ）の平均 CPUE（2～6 月）の推移

補足表 11-1. 北部太平洋海域における資源量指標値

年	太平洋北部まき網の漁獲量、努力量、CPUE および3～6月資源量指数計				北西太平洋秋季浮魚類資源調査に おけるCPUEの全測点平均値	
	漁獲量 (トン)	努力量 (網数)	CPUE (トン/網)	3月～6月 資源量指数計	体長11 cm未満 (尾/網・30分)	体長11 cm以上 (尾/網・30分)
1988	1,057.0	51.0	20.7	73.3		
1989	8,198.0	264.0	31.1	147.0		
1990	59,993.0	1,419.0	42.3	53.9		
1991	71,394.0	1,319.0	54.1	287.8		
1992	74,394.0	1,135.0	65.5	208.7		
1993	23,366.0	757.0	30.9	620.3		
1994	25,636.5	765.0	33.5	353.3		
1995	39,439.0	1,235.0	31.9	135.9		
1996	92,344.0	1,390.0	66.4	241.1		
1997	24,775.5	686.0	36.1	160.0		
1998	143,807.5	1,538.0	93.5	436.5		
1999	109,905.2	1,411.0	77.9	608.1		
2000	76,550.0	1,246.0	61.4	396.7		
2001	64,887.5	1,592.0	40.8	712.1		
2002	87,135.9	2,242.0	38.9	823.9		
2003	122,550.0	2,453.0	50.0	1,129.2		
2004	110,835.5	2,247.0	49.3	680.8		
2005	52,187.0	710.0	73.5	551.2	1,107.7	1,261.1
2006	50,277.0	994.0	50.6	853.1	4,080.7	4,586.9
2007	53,686.4	1,572.0	34.2	604.2	132.9	1,183.1
2008	23,459.5	621.0	37.8	418.4	3,571.0	2,429.1
2009	19,189.0	476.0	40.3	630.2	2,159.7	1,471.4
2010	26,662.0	553.0	48.2	577.6	1,005.4	1,812.3
2011	23,234.5	584.0	39.8	392.5	5,205.4	1,110.1
2012	707.0	17.0	41.6	302.7	294.5	1,563.4
2013	1,162.0	40.0	29.1	117.8	4.4	403.2
2014	32.5	2.0	16.3	16.3	0.1	54.3
2015	13.5	4.0	3.4	1.0	0.1	19.2
2016	0.0	0.0		0.0	0.8	29.9
2017	20.0	1.0	20.0	20.0	0.3	1.9
2018	0.0	0.0		0.0	0.6	0.4
2019	0.0	0.0		0.0	1,280.3	49.9
2020	23.0	1.0	23.0	0.0	3,239.3	8.0
2021	0.0	0.0		0.0	5,908.6	337.8
2022	0.0	0.0		0.0	2,369.7	163.0

補足表 11-2. 常磐・房総海域における資源量指標値

年	常磐・房総海域（千葉・茨城・福島） における前年11月～当年6月の漁獲量 （主要港合計）		千葉県大中型・中型2そうまき網船3隻の 2月～6月の親魚銘柄（中セグロ、ゴボウ、 中ゴボウ、大ゴボウ）の平均CPUE
	体長12 cm未満 （百トン）	体長12 cm以上 （百トン）	CPUE （トン/網）
1999	873.3	817.2	
2000	443.5	738.4	
2001	218.1	1,212.3	
2002	948.7	612.9	
2003	1,193.3	1,309.6	
2004	1,073.6	1,136.3	
2005	428.5	1,026.9	
2006	783.5	402.6	
2007	553.1	925.0	
2008	178.5	582.5	29.9
2009	670.3	284.0	39.2
2010	383.2	746.3	41.4
2011	235.0	388.6	32.2
2012	466.7	205.1	39.8
2013	121.5	361.6	28.2
2014	155.9	122.5	16.8
2015	50.6	47.5	12.1
2016	60.2	1.3	8.5
2017	39.8	3.1	8.6
2018	40.4	0.5	8.2
2019	32.5	0.1	7.6
2020	41.8	2.7	10.9
2021	37.4	1.4	8.3
2022	22.0	0.7	6.5

補足資料 12 サバ類の捕食を考慮したチューニング VPA の試算結果

令和 3 年に、サバ類によるカタクチイワシ太平洋系群の捕食死亡率を推定した論文（田中 2022）が公開され、本系群の自然死亡係数（M）を太平洋海域のサバ類（マサバとゴマサバ）の資源量に応じて変動させるチューニング VPA（以下、サバ類捕食 VPA）が示された。このサバ類捕食 VPA に基づく資源量などの試算は令和 3 年度から行っているが、本年度評価においても、引き続き実施した。なお、本補足資料ではサバ類捕食 VPA の結果に基づく再生産関係や管理基準値案などの検討は行っていないが、それらの検討結果については、別資料にて公表している（水産資源研究所 2022、「カタクチイワシ太平洋系群に関して第 2 回資源管理手法検討部会において指摘された事項への対応について（FRA-SA2022-BRP01）」）。

1. 材料と方法

田中（2022）の方法に従って、サバ類捕食 VPA による資源量などの試算を行った。その際、本系群の年齢別漁獲尾数や年齢別体重などのデータについては、本年度評価と同じデータ（1978～2022 年）を用いるとともに、チューニング年は田中（2022）に従い 1995 年以降とした。一方、マサバ太平洋系群およびゴマサバ太平洋系群の資源量については、令和 4 年度の評価結果（由上ほか 2023a、2023b）と将来予測結果を用いた。また、田中（2022）ではベースケース（S0）の他に 12 個のシナリオを感度解析的に実施しているが、本補足資料ではベースケースシナリオ（S0）に加え、高齢魚への捕食圧が高いシナリオ（S7）と若齢魚への捕食圧が高いシナリオ（S8）について、データ使用年を拡張する形での試算を行った。なお、これらの試算においては R version 4.3.0（R core team 2023）で実装したプログラムを用いた。

サバ類捕食 VPA の数式などの詳細については田中（2022）に示されているため、ここではその主要な仮定についてのみ示す。まず、サバ類捕食 VPA では、 M_t （ t 年の M）をサバ類の捕食による $M2_t$ （1/年）とそれ以外の $M1$ （1/年）に分けて扱っている。

$$M_t = M1 + M2_t \quad (30)$$

その上で、ベースケースにおいては 1) $M1$ は年によらず一定、2) $M2_t$ には年齢依存性はない、3) $M2_t$ はサバ類の総資源量に比例し単位重量当たりの捕食圧はマサバとゴマサバで同値、と仮定している。これらの仮定に基づき、M とサバ類資源量の関係は以下の式で表される。

$$M2_t = \sum_{i=1}^2 m_{i,t} \quad (31)$$

$$m_{i,t} = \alpha \bar{P}_{i,t} \quad (32)$$

$$M_\mu = M1 + \bar{M2} \quad (33)$$

$$\bar{M2} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T M2_t \quad (34)$$

ここで、 $m_{i,t}$ はサバ i による年あたりの捕食死亡係数であり、 $i = 1, 2$ はそれぞれマサバ太平洋系群とゴマサバ太平洋系群に相当する。 α はサバ類の単位資源重量あたりの捕食死亡係数 (1/年・トン)、 $\bar{P}_{i,t}$ はサバ i の年間平均資源量である。 $\bar{P}_{i,t}$ を求める理由は、マサバおよびゴマサバ太平洋系群は7~6月を漁期年とした資源計算方法であるため、1~12月を漁期年として資源計算しているカタクチイワシ太平洋系群と比較可能にするためである。なお、ゴマサバ太平洋系群の資源評価結果が利用できない1994年以前の $M2_t$ の推定には、マサバ太平洋系群の資源評価結果のみを使用した。また、 M_μ は現在のカタクチイワシ太平洋系群の資源評価で用いられている年齢別 M (補足表 5-1) の平均値 (1.375) である。この M_μ が、カタクチイワシ太平洋系群の資源評価年数 T で M_t を平均した \bar{M} と等しい、という制約条件を置くことで、既存のカタクチイワシ太平洋系群の資源評価との関連が維持される。一方、 $\bar{P}_{i,t}$ の算出は次式による。

$$\bar{P}_{i,t} = \bar{N}_{t,a} w_{t,a} \quad (35)$$

$$\bar{N}_{t,a} = \frac{N_{t,a}(1 - e^{-F_{t,a} - M_{t,a}})}{F_{t,a} + M_{t,a}} \quad (36)$$

ここで、 $\bar{N}_{t,a}$ はサバ i の年齢別年間平均資源尾数、 $w_{t,a}$ は年齢別体重、 $N_{t,a}$ は漁期年計算の年齢別資源尾数、 $F_{t,a}$ は年齢別漁獲係数、 $M_{t,a}$ は年齢別 M を表す。その上で、VPAによる親魚量の観測誤差が対数正規分布に従うと仮定したチューニングを以下の式によって行った。

$$B_t = \sum_{a=0}^A r_a w_{t,a} N_{t,a} \quad (37)$$

$$\ln(B_t) = \ln(\hat{B}_t) + \varepsilon_t \quad (38)$$

$$\varepsilon_t \sim N\left(-\frac{\sigma^2}{2}, \sigma^2\right) \quad (39)$$

ここで、 r_a は年齢別成熟率、 B_t は卵数法による直接推定の親魚量 (補足表 7-1、補足図 7-2 の I-IV 区)、 \hat{B}_t はサバ類捕食 VPA によって推定した親魚量を表す。また、残差 ε_t が対数正規分布に従うと仮定して、未知パラメータの α 、 θ (最高齢の F と最高齢-1 歳魚の F の比)、およびターミナル F ($F_{2,T}$ 、資源評価最終年かつ最高齢-1 歳魚の F) を最尤法で探索的に求めた。以上の設定から、最小化する負の対数尤度関数は下式となる。

$$-\ln L(F_{2,T}, \theta, \alpha) = \frac{n}{2} \ln \left(2\pi\sigma^2 + \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left\{ \ln(B_t) - \ln(\hat{B}_t(F_{2,T}, \theta, \alpha)) \right\} + \frac{\sigma^2}{2} \right) + \frac{n}{2} \quad (40)$$

さらに、捕食圧の年齢依存シナリオ (S7、S8) では、式 (31)、(32) で計算される M_t の代わりに、次式で定義される年齢依存型の $M_{t,a}$ を用いた計算を行う。

$$M_{t,a} = M1 + M2_{t,a} \quad (41)$$

$$M2_{t,a} = \sum_{i=1}^2 \beta_a m_{i,t} \quad (a = 0, 1, 2, 3) \quad (42)$$

$$M_\mu = M1 + \frac{1}{(3+1)T} \sum_{a=0}^3 \sum_{t=1}^T M2_{t,a} \quad (43)$$

$$\beta_a = \begin{cases} 0.8^{3-a} \\ 0.8^a \end{cases} \quad (a = 0, 1, 2, 3) \quad (44)$$

ここで、 β_a は捕食死亡係数の年齢依存性を表すパラメータで、0.8 を底とするべき乗を仮定した。

2. サバ類捕食 VPA の試算結果

サバ類捕食 VPA の各シナリオに基づくパラメータの推定値を補足表 12-1 に示す。正の対数尤度や c-AIC についてはシナリオ間の違いは小さく、田中 (2022) の結果と同様に、捕食圧の年齢勾配の考慮による尤度の大きな改善は認められなかった。ターミナル F ($F_{2022,2}$) については S7 が最小で、S0、S8 の順に大きくなったのに対し、 θ および M1 についてはターミナル F とは逆順の関係を示した。また、 α は S0 で最も低く、S7、S8 の順で大きくなった。サバ類捕食 VPA の指標値 (卵数法による親魚量) への当てはまり結果 (残差プロット) を補足図 12-3 に示す。いずれのシナリオにおいても残差の 1 次の自己相関は有意ではなかった。

サバ類捕食 VPA による試算結果の詳細を補足表 12-2~12-4 に示す。また、補足図 12-1 と補足図 12-2 においては、本年度の評価結果とチューニングなしの VPA による推定結果も併せて示した。加入量については、サバ類捕食 VPA による試算結果の方が、本年度評価結果やチューニングなしの VPA による推定結果よりも、特に 2000 年代後半以降、かなり高い値となっている。また、この高い加入量に伴って、親魚量についても、サバ類捕食 VPA による試算結果の方が、本年度評価結果やチューニングなしの VPA による推定結果よりも、特に 2000 年代後半以降、高い値となっている。

0 歳魚および 1 歳魚の自然死亡係数 (M) については、サバ類捕食 VPA による試算結果の方が、本年度評価結果やチューニングなし VPA による推定結果よりも全ての年において高い値を示したが、2 歳魚および 3 歳魚の M については、2013 年以降において、サバ類捕食 VPA による試算結果の方が、本年度評価結果やチューニングなし VPA による推定結

果よりも高い値、もしくは類似した値となっている（補足図 12-2）。

漁獲係数と漁獲割合については、どの年齢でもサバ類捕食 VPA による試算結果の方が、本年度評価結果やチューニングなし VPA による推定結果よりも低い値となっているとともに、2006 年以降はその差が特に顕著となっている。

なお、サバ類による捕食量は、2022 年においては、S0 で漁獲量の 7.35 倍、S7 で 4.67 倍、S8 で 12.91 倍と試算された。

3. その他

サバ類捕食 VPA による試算結果を示したが、当該 VPA における本系群の M が太平洋海域のサバ類資源量に比例するという仮定などの妥当性を判断するためには、引き続きサバ類の捕食に関する生物学的な知見などの収集が必要である。

引用文献

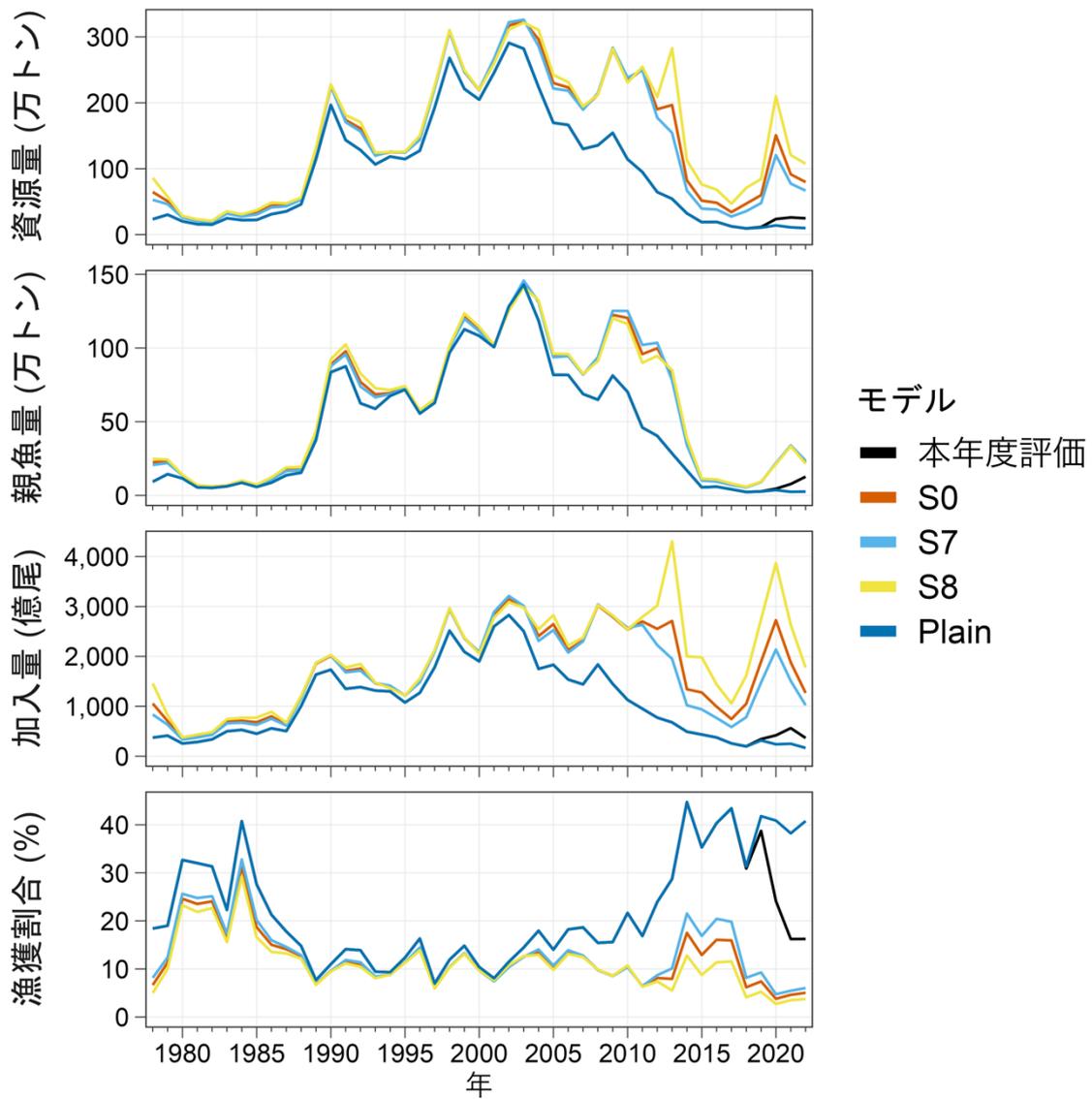
R Core Team (2023) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

田中栄次 (2022) サバ類資源によるカタクチイワシ太平洋系群の捕食死亡率の推定. 日本水産誌, **88**, p.2-11. <https://doi.org/10.2331/suisan.20-00067>

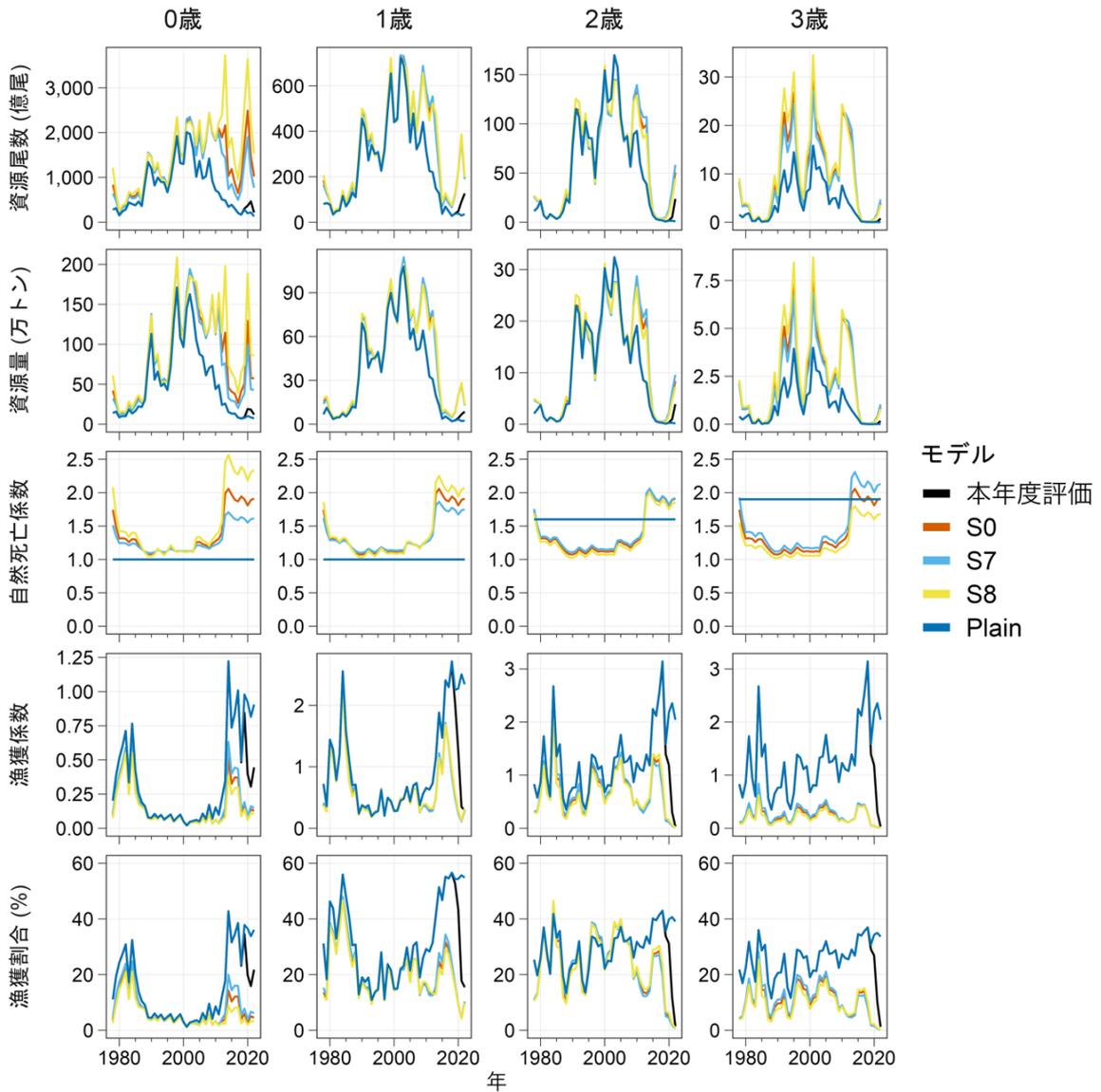
水産資源研究所 (2022) カタクチイワシ太平洋系群に関して第 2 回資源管理手法検討部会において指摘された事項への対応について. FRA-SA2022-BRP01.

由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・古市 生・渡部亮介 (2023a) 令和 4 (2022) 年度マサバ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2022-SC12-01.

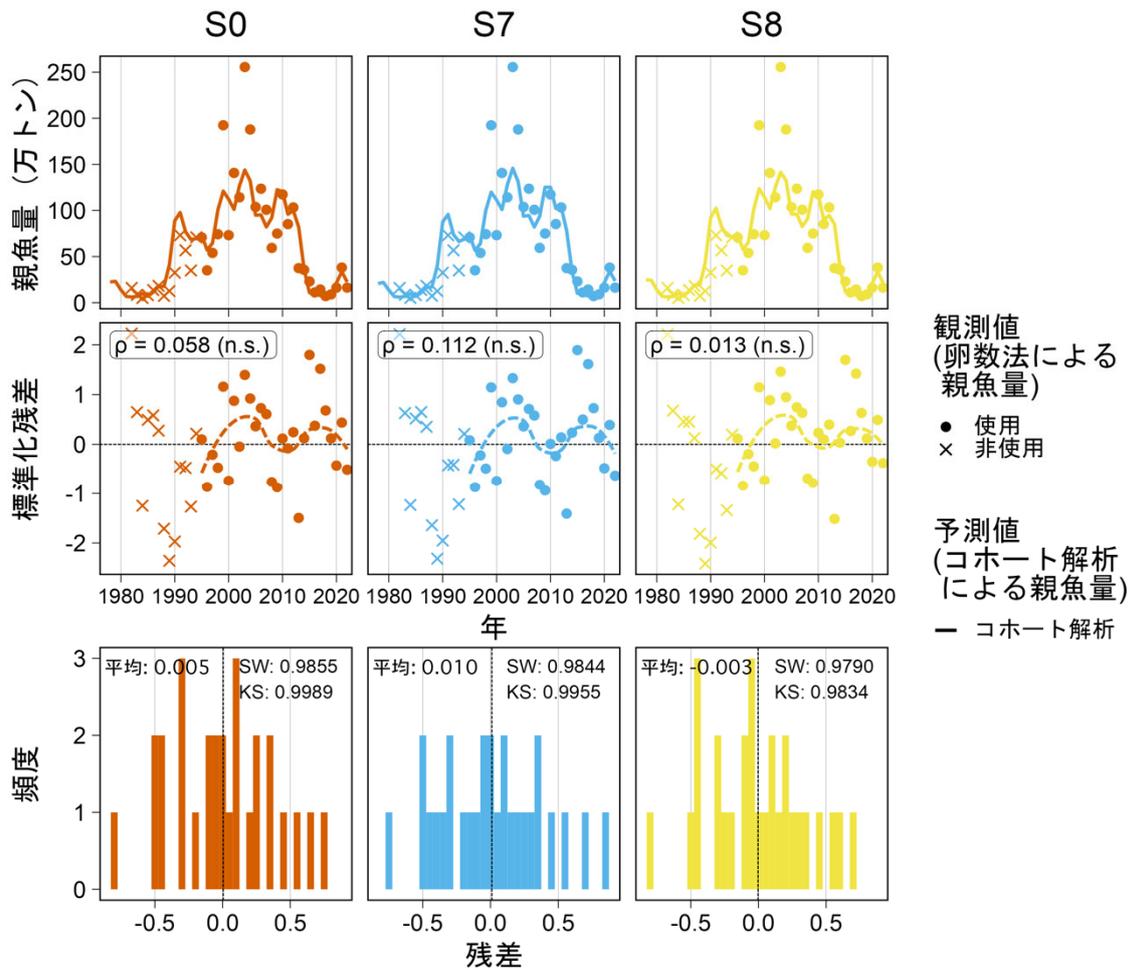
由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・古市 生・渡部亮介 (2023b) 令和 4 (2022) 年度ゴマサバ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2022-SC12-2.



補足図 12-1. 本年度評価結果とサバ類捕食 VPA およびチューニングなしの VPA による資源量、親魚量、加入量、漁獲割合の推移
 色違いの折線はそれぞれ本年度評価、S0：サバ類捕食 VPA のベースケース、S7：サバ類捕食 VPA の高齢への捕食圧が高いシナリオ、S8：サバ類捕食 VPA の若齢への捕食圧が高いシナリオ、Plain：チューニングなしの VPA、による推定結果を表す。



補足図 12-2. 本年度評価結果とサバ類捕食 VPA およびチューニングなしの VPA による年齢別資源量、資源尾数、自然死亡係数、漁獲係数、漁獲割合の推移
 色違いの折線はそれぞれ本年度評価、S0：サバ類捕食 VPA のベースケース、S7：サバ類捕食 VPA の高齢への捕食圧が高いシナリオ、S8：サバ類捕食 VPA の若齢への捕食圧が高いシナリオ、Plain：チューニングなしの VPA、による推定結果を表す。



補足図 12-3. サバ類捕食 VPA の残差プロット

左からベースケース (S0)、高齢魚ほど捕食圧が高いシナリオ (S7)、若齢魚ほど捕食圧が高いシナリオ (S8) を示す。予測値と観測値のトレンド図 (上段) 内の実線は推定されたコホート解析の親魚量の変化を、丸印はチューニングに使用したデータを、×印はチューニングに使用しなかったデータを示す。標準化残差パネル (中段) 内の左上の数値は標準化残差の自己相関係数 (AR1) を表し、いずれのサバ類捕食 VPA のシナリオでも有意ではなかった。また、図中の破線は標準化残差のスムージング曲線を示す。残差ヒストグラム (下段) 内の右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の P 値である。どちらも帰無仮説は「正規分布に従っている」である。

補足表 12-1. サバ類捕食 VPA について推定されたパラメータ

シナリオ	正の 対数尤度	c-AIC	$F_{2022,2}$	θ	α ($\times 10^{-6}$ /トン・年)	M1 (/年)
S0	-12.1417	33.2833	0.0177	0.3428	0.2187	1.0383
S7	-13.1170	35.2339	0.0155	0.3746	0.2649	1.0742
S8	-11.4271	31.8541	0.0198	0.3036	0.3373	0.9919

M1 は田中 (2022) の Table 1 における Constrained parameters に相当する。

補足表 12-2. サバ類捕食 VPA の S0 (ベースケース) シナリオによる結果の詳細

年	年齢別資源尾数 (百万尾)				年齢別漁獲係数				M2 (サバ類による捕食死亡係数)			
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚
1978	83,576.5	18,437.1	2,650.9	832.9	0.09	0.39	0.30	0.10	0.71	0.71	0.71	0.71
1979	54,624.5	13,312.3	2,172.6	342.9	0.26	0.28	0.32	0.11	0.44	0.44	0.44	0.44
1980	22,908.7	9,535.2	2,294.3	358.9	0.37	1.32	0.64	0.22	0.27	0.27	0.27	0.27
1981	34,487.2	4,238.2	686.5	326.8	0.46	1.12	1.24	0.42	0.28	0.28	0.28	0.28
1982	38,803.8	5,806.4	370.3	53.3	0.57	0.76	0.69	0.23	0.27	0.27	0.27	0.27
1983	62,524.8	5,915.9	733.0	50.5	0.26	1.18	0.56	0.19	0.22	0.22	0.22	0.22
1984	56,653.3	13,700.0	514.0	119.3	0.59	2.38	2.18	0.75	0.27	0.27	0.27	0.27
1985	59,154.2	8,525.5	345.2	15.7	0.30	1.38	0.95	0.32	0.26	0.26	0.26	0.26
1986	67,288.6	12,002.0	582.4	36.6	0.19	0.84	0.91	0.31	0.19	0.19	0.19	0.19
1987	45,406.6	16,281.9	1,519.7	69.0	0.16	0.58	0.29	0.10	0.12	0.12	0.12	0.12
1988	101,908.1	12,063.3	2,851.0	355.2	0.14	0.67	0.21	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
1989	153,381.9	29,111.0	2,039.0	759.4	0.07	0.23	0.45	0.15	0.04	0.04	0.04	0.04
1990	144,014.4	48,680.7	7,885.6	444.9	0.06	0.36	0.53	0.18	0.04	0.04	0.04	0.04
1991	111,687.2	46,106.8	11,559.8	1,589.6	0.08	0.31	0.54	0.18	0.05	0.05	0.05	0.05
1992	127,509.4	34,553.9	11,341.2	2,264.8	0.06	0.31	0.77	0.26	0.11	0.11	0.11	0.11
1993	98,464.1	37,886.2	8,054.3	1,665.4	0.09	0.19	0.31	0.11	0.08	0.08	0.08	0.08
1994	97,017.1	29,383.0	10,317.9	1,938.8	0.06	0.27	0.26	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05
1995	80,413.2	30,835.0	7,558.1	2,682.8	0.07	0.30	0.57	0.20	0.09	0.09	0.09	0.09
1996	117,522.0	24,263.4	7,436.5	1,386.1	0.09	0.64	1.20	0.41	0.14	0.14	0.14	0.14
1997	172,358.1	32,986.0	3,927.9	690.2	0.05	0.21	1.10	0.38	0.10	0.10	0.10	0.10
1998	233,094.9	52,488.7	8,540.6	418.3	0.07	0.50	0.88	0.30	0.08	0.08	0.08	0.08
1999	153,577.4	71,359.0	10,480.7	1,161.3	0.09	0.43	0.85	0.29	0.09	0.09	0.09	0.09
2000	144,257.8	45,558.2	15,095.5	1,453.7	0.05	0.29	0.51	0.17	0.08	0.08	0.08	0.08
2001	224,392.2	44,919.8	11,162.1	2,977.8	0.02	0.31	0.65	0.22	0.08	0.08	0.08	0.08
2002	230,357.3	72,157.1	10,836.8	1,912.9	0.04	0.49	0.70	0.24	0.09	0.09	0.09	0.09
2003	212,262.2	71,746.7	14,386.1	1,749.3	0.04	0.49	1.14	0.39	0.08	0.08	0.08	0.08
2004	158,161.2	66,574.0	14,386.4	1,506.0	0.04	0.65	1.15	0.39	0.22	0.22	0.22	0.22
2005	210,258.3	43,133.4	9,928.0	1,302.3	0.04	0.40	1.39	0.48	0.22	0.22	0.22	0.22
2006	146,873.4	57,297.6	8,189.7	698.6	0.08	0.63	0.92	0.31	0.19	0.19	0.19	0.19
2007	182,347.0	39,665.0	8,875.9	957.0	0.04	0.63	0.88	0.30	0.18	0.18	0.18	0.18
2008	242,666.4	51,970.1	6,250.9	1,097.7	0.11	0.26	0.78	0.27	0.14	0.14	0.14	0.14
2009	198,946.0	67,230.7	12,297.0	879.2	0.04	0.38	0.43	0.15	0.20	0.20	0.20	0.20
2010	182,300.6	55,688.6	13,344.7	2,312.0	0.07	0.37	0.54	0.19	0.24	0.24	0.24	0.24
2011	209,384.9	47,742.4	10,716.3	2,172.7	0.04	0.30	0.39	0.13	0.27	0.27	0.27	0.27
2012	189,120.8	54,547.3	9,567.2	1,951.7	0.07	0.30	0.32	0.11	0.37	0.37	0.37	0.37
2013	216,090.7	43,271.0	9,924.6	1,694.2	0.11	0.48	0.44	0.15	0.95	0.95	0.95	0.95
2014	103,141.3	26,464.4	3,667.8	875.1	0.51	1.18	0.54	0.18	1.02	1.02	1.02	1.02
2015	118,566.0	7,904.9	1,042.7	273.8	0.32	0.90	1.33	0.46	0.93	0.93	0.93	0.93
2016	86,817.7	11,927.0	449.4	38.4	0.37	1.70	1.25	0.43	0.86	0.86	0.86	0.86
2017	65,039.5	9,000.0	329.3	19.4	0.37	1.36	1.30	0.44	0.83	0.83	0.83	0.83
2018	97,800.8	6,922.3	355.9	13.9	0.11	0.91	0.84	0.29	0.90	0.90	0.90	0.90
2019	176,637.4	12,535.4	400.8	22.0	0.17	0.54	0.17	0.06	0.86	0.86	0.86	0.86
2020	248,986.6	22,348.1	1,096.0	50.7	0.07	0.26	0.14	0.05	0.77	0.77	0.77	0.77
2021	146,984.1	37,844.8	2,816.1	156.3	0.14	0.12	0.06	0.02	0.85	0.85	0.85	0.85
2022	102,031.8	19,324.5	5,085.2	402.4	0.13	0.31	0.02	0.01	0.87	0.87	0.87	0.87

補足表 12-2. サバ類捕食 VPA の S0 (ベースケース) シナリオによる結果の詳細 (続き)

年	年齢別資源量 (千トン)				資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	漁獲割合 (%)
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚				
1978	421.0	155.8	48.3	21.2	646.3	225.3	43.0	6.7
1979	276.2	179.5	43.1	8.2	507.0	230.8	57.4	11.3
1980	129.4	90.6	39.9	8.1	268.0	138.6	66.0	24.6
1981	147.4	44.2	14.5	9.0	215.1	67.7	50.6	23.5
1982	136.6	52.8	6.8	1.3	197.5	60.9	47.5	24.1
1983	264.9	55.1	11.7	1.1	332.8	67.9	55.2	16.6
1984	188.2	87.2	9.3	3.1	287.7	99.5	90.0	31.3
1985	258.3	64.3	5.3	0.3	328.2	69.9	61.4	18.7
1986	326.0	105.0	7.3	1.0	439.3	113.3	66.1	15.0
1987	271.0	150.2	21.7	1.6	444.6	173.6	62.7	14.1
1988	358.7	124.2	45.9	7.8	536.6	177.9	68.1	12.7
1989	878.8	348.9	41.3	21.4	1,290.4	411.6	87.8	6.8
1990	1,360.8	738.4	139.9	10.0	2,249.0	888.3	215.9	9.6
1991	759.9	710.2	231.1	36.6	1,737.7	977.9	202.3	11.6
1992	842.1	490.9	227.9	51.0	1,612.0	769.8	178.3	11.1
1993	521.6	497.8	150.5	37.6	1,207.5	685.9	100.5	8.3
1994	555.8	443.7	202.3	48.4	1,250.2	694.4	110.4	8.8
1995	514.8	492.8	166.3	73.0	1,247.0	732.2	141.7	11.4
1996	888.1	382.4	154.2	34.4	1,459.0	570.9	207.9	14.2
1997	1,580.2	541.5	86.4	17.5	2,225.6	645.4	134.5	6.0
1998	2,074.2	841.2	154.3	9.0	3,078.8	1,004.5	319.4	10.4
1999	1,259.6	980.4	202.1	27.6	2,469.7	1,210.1	328.0	13.3
2000	1,071.2	791.1	295.6	35.1	2,193.1	1,121.9	213.1	9.7
2001	1,617.6	695.3	240.8	75.2	2,628.9	1,011.3	197.9	7.5
2002	1,903.5	1,004.3	212.4	49.2	3,169.4	1,265.9	334.4	10.6
2003	1,805.5	1,122.7	274.3	41.7	3,244.2	1,438.7	408.0	12.6
2004	1,640.6	1,013.3	273.8	34.0	2,961.6	1,321.1	401.9	13.6
2005	1,351.3	717.2	200.7	30.9	2,300.0	948.8	237.7	10.3
2006	1,280.8	782.1	153.5	16.4	2,232.7	951.9	303.4	13.6
2007	1,085.6	626.4	172.9	21.8	1,906.7	821.1	242.5	12.7
2008	1,203.5	763.4	131.1	26.4	2,124.3	920.9	209.1	9.8
2009	1,585.4	977.8	228.3	19.2	2,810.7	1,225.3	240.9	8.6
2010	1,125.3	872.8	274.8	56.7	2,329.6	1,204.3	247.6	10.6
2011	1,550.1	690.5	215.6	52.9	2,509.1	959.0	160.0	6.4
2012	903.8	763.9	185.3	49.3	1,902.3	998.5	154.5	8.1
2013	1,146.3	572.4	206.3	40.8	1,965.8	819.6	156.0	7.9
2014	458.0	268.4	73.7	22.5	822.6	364.6	144.0	17.5
2015	407.7	78.4	21.9	7.2	515.2	107.5	66.5	12.9
2016	382.0	92.7	7.7	0.9	483.3	101.3	77.7	16.1
2017	264.8	70.2	5.1	0.4	340.5	75.8	54.3	15.9
2018	413.8	50.4	5.3	0.3	469.8	56.0	29.1	6.2
2019	506.8	86.3	5.2	0.4	598.7	91.9	44.3	7.4
2020	1,292.0	195.1	19.0	1.0	1,507.1	215.1	57.0	3.8
2021	577.8	278.2	54.6	3.5	914.0	336.2	42.2	4.6
2022	572.4	131.9	83.5	8.9	796.7	224.3	40.2	5.0

補足表 12-3. サバ類捕食 VPA の S7 (高齢魚ほど捕食圧が高い) シナリオによる結果の詳細

年	年齢別資源尾数 (百万尾)				年齢別漁獲係数				M2 (サバ類による捕食死亡係数)			
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚
1978	63,635.6	16,447.9	2,583.7	810.2	0.11	0.42	0.31	0.12	0.44	0.55	0.68	0.85
1979	48,032.9	12,576.6	2,134.6	325.8	0.28	0.29	0.33	0.12	0.27	0.34	0.43	0.54
1980	21,340.3	9,383.7	2,291.5	341.2	0.39	1.33	0.65	0.24	0.17	0.21	0.27	0.33
1981	32,243.2	4,156.0	687.5	313.5	0.48	1.13	1.27	0.47	0.17	0.22	0.27	0.34
1982	36,692.7	5,714.2	368.5	50.4	0.59	0.77	0.70	0.26	0.17	0.21	0.26	0.33
1983	59,187.5	5,872.1	736.4	48.0	0.27	1.18	0.56	0.21	0.14	0.17	0.21	0.27
1984	53,104.7	13,487.3	516.9	115.6	0.62	2.41	2.25	0.84	0.16	0.21	0.26	0.32
1985	54,146.0	8,306.4	335.7	14.4	0.32	1.43	1.01	0.38	0.16	0.20	0.25	0.32
1986	62,991.3	11,469.9	555.1	32.3	0.20	0.90	1.01	0.38	0.12	0.14	0.18	0.23
1987	44,402.7	15,618.1	1,378.0	57.7	0.17	0.62	0.33	0.12	0.08	0.10	0.12	0.15
1988	101,694.2	11,900.0	2,614.7	299.3	0.15	0.69	0.24	0.09	0.04	0.05	0.07	0.08
1989	155,734.1	28,748.4	1,926.1	655.8	0.07	0.24	0.49	0.18	0.02	0.03	0.04	0.05
1990	145,927.4	48,391.0	7,525.2	388.3	0.06	0.37	0.57	0.22	0.02	0.03	0.03	0.04
1991	109,877.3	45,698.4	11,077.9	1,397.7	0.08	0.32	0.58	0.22	0.03	0.04	0.05	0.07
1992	125,152.2	33,421.2	10,896.8	2,006.0	0.07	0.32	0.84	0.31	0.07	0.09	0.11	0.13
1993	100,286.4	37,379.5	7,596.0	1,445.5	0.09	0.19	0.34	0.13	0.05	0.06	0.07	0.09
1994	99,806.7	29,766.7	9,944.6	1,718.2	0.06	0.27	0.28	0.10	0.03	0.04	0.05	0.06
1995	80,477.3	31,187.9	7,465.6	2,456.7	0.07	0.30	0.59	0.22	0.05	0.07	0.08	0.10
1996	115,176.5	24,208.7	7,407.4	1,294.6	0.09	0.64	1.24	0.47	0.09	0.11	0.14	0.17
1997	172,057.9	32,901.0	3,890.7	635.9	0.05	0.21	1.15	0.43	0.06	0.08	0.10	0.13
1998	233,540.6	52,582.7	8,395.1	380.1	0.07	0.50	0.93	0.35	0.05	0.06	0.07	0.09
1999	154,719.2	71,027.6	10,258.2	1,050.3	0.09	0.44	0.91	0.34	0.05	0.07	0.08	0.10
2000	146,842.8	45,767.6	14,674.4	1,304.8	0.05	0.29	0.54	0.20	0.05	0.06	0.08	0.10
2001	229,941.8	45,499.1	10,997.2	2,715.1	0.02	0.31	0.68	0.25	0.05	0.06	0.07	0.09
2002	235,090.5	73,471.6	10,787.3	1,769.2	0.04	0.48	0.72	0.27	0.05	0.07	0.08	0.10
2003	211,879.4	73,022.5	14,493.4	1,647.9	0.04	0.49	1.16	0.43	0.05	0.06	0.08	0.09
2004	149,039.8	66,017.5	14,452.0	1,438.2	0.05	0.65	1.17	0.44	0.13	0.17	0.21	0.26
2005	199,058.6	42,507.1	9,955.1	1,243.4	0.04	0.40	1.43	0.53	0.14	0.17	0.22	0.27
2006	141,892.3	56,940.0	8,161.8	656.5	0.08	0.64	0.94	0.35	0.12	0.15	0.19	0.23
2007	180,662.3	39,714.6	8,865.1	900.0	0.04	0.63	0.90	0.34	0.11	0.14	0.17	0.21
2008	243,736.7	53,116.0	6,298.6	1,039.0	0.11	0.26	0.79	0.30	0.09	0.11	0.13	0.17
2009	198,717.3	68,771.8	12,583.0	850.1	0.03	0.37	0.43	0.16	0.12	0.15	0.19	0.24
2010	182,994.0	57,927.9	13,944.6	2,306.9	0.06	0.35	0.52	0.19	0.15	0.18	0.23	0.29
2011	198,883.7	50,676.0	11,582.2	2,253.1	0.04	0.27	0.36	0.14	0.17	0.21	0.26	0.33
2012	154,450.7	55,388.8	10,667.1	2,113.9	0.08	0.28	0.29	0.11	0.23	0.29	0.36	0.45
2013	143,695.2	38,775.8	10,703.6	1,908.7	0.15	0.49	0.40	0.15	0.59	0.73	0.92	1.15
2014	73,696.6	23,528.7	3,874.2	974.6	0.63	1.22	0.50	0.19	0.63	0.79	0.99	1.24
2015	85,330.6	7,101.4	1,072.6	298.7	0.40	0.93	1.26	0.47	0.58	0.72	0.90	1.13
2016	65,044.8	10,970.6	466.5	41.9	0.44	1.72	1.17	0.44	0.53	0.66	0.83	1.04
2017	49,722.1	8,376.8	346.1	21.5	0.43	1.35	1.18	0.44	0.51	0.64	0.80	1.01
2018	71,336.8	6,569.5	389.6	16.2	0.13	0.86	0.74	0.28	0.56	0.70	0.88	1.10
2019	135,042.3	12,184.3	470.5	26.6	0.19	0.50	0.14	0.05	0.53	0.67	0.83	1.04
2020	190,058.5	22,331.4	1,291.7	60.5	0.09	0.24	0.12	0.04	0.48	0.60	0.75	0.93
2021	110,364.6	36,913.9	3,293.0	186.1	0.16	0.11	0.05	0.02	0.53	0.66	0.83	1.03
2022	76,926.7	18,910.2	5,834.2	470.1	0.15	0.29	0.02	0.01	0.54	0.68	0.85	1.06

補足表 12-3. サバ類捕食 VPA の S7 (高齢魚ほど捕食圧が高い) シナリオによる結果の詳細 (続き)

年	年齢別資源量 (千トン)				資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	漁獲割合 (%)
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚				
1978	320.5	139.0	47.1	20.6	527.3	206.7	43.0	8.2
1979	242.9	169.6	42.3	7.8	462.6	219.7	57.4	12.4
1980	120.5	89.2	39.8	7.7	257.2	136.7	66.0	25.6
1981	137.8	43.3	14.6	8.6	204.3	66.5	50.6	24.8
1982	129.2	51.9	6.8	1.3	189.1	60.0	47.5	25.1
1983	250.8	54.7	11.8	1.0	318.3	67.5	55.2	17.4
1984	176.4	85.8	9.3	3.0	274.5	98.1	90.0	32.8
1985	236.5	62.7	5.1	0.3	304.6	68.1	61.4	20.2
1986	305.2	100.4	7.0	0.9	413.4	108.2	66.1	16.0
1987	265.0	144.1	19.7	1.4	430.2	165.1	62.7	14.6
1988	357.9	122.5	42.1	6.5	529.1	171.2	68.1	12.9
1989	892.3	344.5	39.1	18.5	1,294.3	402.0	87.8	6.8
1990	1,378.9	734.0	133.5	8.7	2,255.0	876.2	215.9	9.6
1991	747.5	703.9	221.4	32.2	1,705.1	957.5	202.3	11.9
1992	826.6	474.8	219.0	45.2	1,565.5	739.0	178.3	11.4
1993	531.3	491.1	142.0	32.6	1,197.0	665.7	100.5	8.4
1994	571.8	449.5	195.0	42.9	1,259.2	687.3	110.4	8.8
1995	515.3	498.5	164.3	66.9	1,244.9	729.6	141.7	11.4
1996	870.4	381.5	153.6	32.1	1,437.5	567.2	207.9	14.5
1997	1,577.4	540.1	85.6	16.1	2,219.3	641.8	134.5	6.1
1998	2,078.2	842.7	151.7	8.2	3,080.8	1,002.6	319.4	10.4
1999	1,269.0	975.8	197.8	25.0	2,467.6	1,198.6	328.0	13.3
2000	1,090.4	794.8	287.4	31.5	2,204.1	1,113.7	213.1	9.7
2001	1,657.6	704.2	237.3	68.6	2,667.7	1,010.1	197.9	7.4
2002	1,942.6	1,022.6	211.4	45.5	3,222.1	1,279.6	334.4	10.4
2003	1,802.2	1,142.7	276.3	39.3	3,260.6	1,458.3	408.0	12.5
2004	1,546.0	1,004.8	275.0	32.5	2,858.3	1,312.3	401.9	14.1
2005	1,279.3	706.8	201.2	29.5	2,216.8	937.5	237.7	10.7
2006	1,237.4	777.2	153.0	15.4	2,182.9	945.6	303.4	13.9
2007	1,075.5	627.2	172.7	20.5	1,896.0	820.4	242.5	12.8
2008	1,208.8	780.2	132.1	25.0	2,146.0	937.3	209.1	9.7
2009	1,583.6	1,000.2	233.6	18.6	2,836.0	1,252.4	240.9	8.5
2010	1,129.6	907.9	287.2	56.6	2,381.2	1,251.6	247.6	10.4
2011	1,472.4	733.0	233.0	54.8	2,493.2	1,020.8	160.0	6.4
2012	738.1	775.7	206.6	53.4	1,773.8	1,035.7	154.5	8.7
2013	762.2	512.9	222.5	46.0	1,543.7	781.5	156.0	10.1
2014	327.3	238.6	77.9	25.0	668.8	341.5	144.0	21.5
2015	293.5	70.4	22.5	7.8	394.2	100.8	66.5	16.9
2016	286.2	85.3	8.0	0.9	380.4	94.2	77.7	20.4
2017	202.4	65.4	5.4	0.5	273.6	71.2	54.3	19.8
2018	301.9	47.8	5.8	0.3	355.8	54.0	29.1	8.2
2019	387.4	83.9	6.1	0.4	477.9	90.4	44.3	9.3
2020	986.2	194.9	22.4	1.2	1,204.7	218.5	57.0	4.7
2021	433.8	271.3	63.8	4.1	773.1	339.3	42.2	5.5
2022	431.6	129.1	95.8	10.4	666.8	235.2	40.2	6.0

補足表 12-4. サバ類捕食 VPA の S8 (若齢魚ほど捕食圧が高い) シナリオによる結果の詳細

年	年齢別資源尾数 (百万尾)				年齢別漁獲係数				M2 (サバ類による捕食死亡係数)			
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚
1978	121,441.7	20,743.6	2,730.3	904.0	0.08	0.37	0.28	0.09	1.09	0.87	0.70	0.56
1979	65,414.6	14,074.0	2,231.3	380.7	0.24	0.27	0.30	0.09	0.68	0.55	0.44	0.35
1980	25,279.8	9,640.4	2,311.1	395.9	0.35	1.31	0.61	0.18	0.42	0.34	0.27	0.22
1981	37,930.3	4,310.9	685.9	355.9	0.44	1.10	1.18	0.36	0.43	0.35	0.28	0.22
1982	41,977.8	5,888.5	375.3	59.3	0.55	0.76	0.65	0.20	0.41	0.33	0.27	0.21
1983	67,483.1	5,922.2	736.2	55.8	0.25	1.19	0.53	0.16	0.34	0.27	0.22	0.18
1984	62,308.3	13,892.5	510.0	128.5	0.55	2.32	2.06	0.62	0.41	0.33	0.26	0.21
1985	68,042.9	8,813.8	365.2	18.6	0.27	1.31	0.83	0.25	0.40	0.32	0.26	0.21
1986	75,276.5	12,934.8	639.0	45.7	0.18	0.75	0.76	0.23	0.29	0.23	0.18	0.15
1987	47,652.4	17,546.4	1,801.8	92.5	0.16	0.52	0.23	0.07	0.19	0.15	0.12	0.10
1988	104,568.8	12,473.9	3,322.1	468.1	0.14	0.63	0.18	0.05	0.11	0.09	0.07	0.05
1989	153,235.7	30,271.4	2,271.2	963.8	0.07	0.22	0.38	0.12	0.06	0.05	0.04	0.03
1990	143,634.8	49,960.9	8,638.4	555.4	0.06	0.34	0.45	0.14	0.06	0.04	0.04	0.03
1991	115,946.7	47,279.6	12,562.1	1,962.3	0.08	0.29	0.47	0.14	0.08	0.07	0.05	0.04
1992	133,210.6	36,611.6	12,206.4	2,765.7	0.06	0.28	0.67	0.20	0.17	0.14	0.11	0.09
1993	97,225.9	39,141.7	8,917.8	2,082.7	0.10	0.18	0.27	0.08	0.12	0.09	0.08	0.06
1994	93,746.0	29,131.8	11,072.1	2,347.4	0.06	0.27	0.24	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04
1995	80,581.2	30,389.4	7,787.4	3,098.8	0.07	0.30	0.53	0.16	0.13	0.11	0.09	0.07
1996	122,124.4	24,308.2	7,520.3	1,558.0	0.09	0.63	1.12	0.34	0.22	0.18	0.14	0.11
1997	174,462.7	33,295.5	4,016.3	791.2	0.05	0.20	1.01	0.31	0.16	0.13	0.10	0.08
1998	234,812.7	52,635.4	8,856.2	489.0	0.07	0.48	0.80	0.24	0.12	0.10	0.08	0.06
1999	153,423.6	72,262.5	10,929.5	1,366.5	0.09	0.42	0.77	0.23	0.13	0.11	0.08	0.07
2000	141,921.2	45,514.9	15,911.7	1,725.7	0.05	0.28	0.46	0.14	0.12	0.10	0.08	0.06
2001	218,214.7	44,312.4	11,516.9	3,450.8	0.02	0.31	0.60	0.18	0.12	0.09	0.08	0.06
2002	224,777.4	70,487.8	11,003.0	2,170.8	0.04	0.50	0.66	0.20	0.13	0.10	0.08	0.07
2003	211,761.8	69,958.1	14,339.4	1,934.9	0.04	0.50	1.10	0.33	0.12	0.10	0.08	0.06
2004	171,699.4	66,710.3	14,328.9	1,642.0	0.04	0.65	1.10	0.34	0.33	0.27	0.21	0.17
2005	227,554.1	43,711.3	9,907.3	1,422.5	0.04	0.39	1.33	0.40	0.35	0.28	0.22	0.18
2006	155,121.0	57,594.0	8,290.5	781.9	0.08	0.63	0.86	0.26	0.30	0.24	0.19	0.15
2007	188,043.4	39,633.7	8,983.8	1,072.4	0.04	0.63	0.83	0.25	0.27	0.22	0.17	0.14
2008	244,237.4	51,063.9	6,291.0	1,225.1	0.11	0.27	0.75	0.23	0.21	0.17	0.14	0.11
2009	203,114.9	65,695.7	12,214.6	961.9	0.04	0.39	0.42	0.13	0.31	0.25	0.20	0.16
2010	185,223.4	53,442.0	12,897.9	2,435.1	0.07	0.40	0.55	0.17	0.36	0.29	0.23	0.19
2011	222,347.0	44,641.7	9,980.5	2,191.8	0.03	0.33	0.42	0.13	0.42	0.34	0.27	0.21
2012	238,751.5	52,389.8	8,555.6	1,867.5	0.06	0.32	0.36	0.11	0.57	0.45	0.36	0.29
2013	372,733.2	47,336.3	8,964.8	1,539.9	0.08	0.48	0.48	0.15	1.46	1.17	0.94	0.75
2014	166,389.6	29,527.1	3,373.2	803.5	0.38	1.15	0.58	0.18	1.57	1.26	1.01	0.81
2015	188,187.2	8,716.5	989.4	256.9	0.25	0.88	1.40	0.42	1.44	1.15	0.92	0.74
2016	130,503.6	12,909.8	424.6	36.1	0.29	1.68	1.32	0.40	1.32	1.06	0.84	0.68
2017	95,604.1	9,638.2	309.1	18.0	0.30	1.38	1.39	0.42	1.28	1.02	0.82	0.66
2018	153,638.7	7,306.8	323.8	12.5	0.09	0.95	0.93	0.28	1.39	1.12	0.89	0.71
2019	261,141.1	12,940.1	343.6	19.4	0.14	0.57	0.19	0.06	1.33	1.06	0.85	0.68
2020	363,471.0	22,345.8	936.9	44.9	0.06	0.28	0.16	0.05	1.19	0.95	0.76	0.61
2021	221,772.1	38,635.0	2,412.7	138.5	0.11	0.12	0.06	0.02	1.31	1.05	0.84	0.67
2022	153,091.1	19,777.8	4,425.4	362.5	0.10	0.33	0.02	0.01	1.35	1.08	0.86	0.69

補足表 12-4. サバ類捕食 VPA の S8 (若齢魚ほど捕食圧が高い) シナリオによる結果の詳細 (続き)

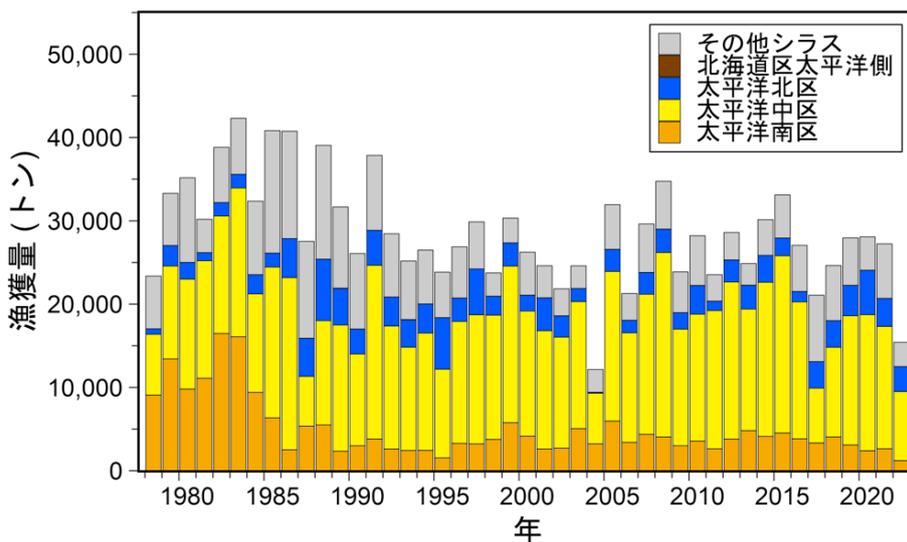
年	年齢別資源量 (千トン)				資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	漁獲割合 (%)
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚				
1978	611.7	175.3	49.8	23.0	859.8	248.1	43.0	5.0
1979	330.8	189.8	44.2	9.1	573.9	243.1	57.4	10.0
1980	142.8	91.6	40.2	9.0	283.5	140.8	66.0	23.3
1981	162.1	44.9	14.5	9.8	231.4	69.3	50.6	21.9
1982	147.8	53.5	6.9	1.5	209.7	61.9	47.5	22.7
1983	285.9	55.2	11.8	1.2	354.0	68.1	55.2	15.6
1984	206.9	88.4	9.2	3.3	307.9	100.9	90.0	29.2
1985	297.2	66.5	5.6	0.3	369.6	72.4	61.4	16.6
1986	364.7	113.2	8.0	1.3	487.2	122.4	66.1	13.6
1987	284.4	161.9	25.8	2.2	474.2	189.8	62.7	13.2
1988	368.1	128.5	53.5	10.2	560.2	192.2	68.1	12.2
1989	878.0	362.8	46.1	27.1	1,313.9	436.0	87.8	6.7
1990	1,357.2	757.8	153.2	12.5	2,280.7	923.5	215.9	9.5
1991	788.8	728.3	251.1	45.2	1,813.4	1,024.5	202.3	11.2
1992	879.8	520.1	245.3	62.3	1,707.5	827.7	178.3	10.4
1993	515.1	514.2	166.7	47.0	1,243.0	727.9	100.5	8.1
1994	537.1	439.9	217.1	58.5	1,252.7	715.6	110.4	8.8
1995	515.9	485.7	171.4	84.3	1,257.3	741.4	141.7	11.3
1996	922.9	383.1	155.9	38.6	1,500.5	577.6	207.9	13.9
1997	1,599.5	546.6	88.3	20.1	2,254.5	655.0	134.5	6.0
1998	2,089.5	843.6	160.0	10.5	3,103.6	1,014.1	319.4	10.3
1999	1,258.4	992.8	210.8	32.5	2,494.4	1,236.1	328.0	13.1
2000	1,053.9	790.4	311.6	41.7	2,197.6	1,143.7	213.1	9.7
2001	1,573.1	685.9	248.5	87.1	2,594.5	1,021.5	197.9	7.6
2002	1,857.4	981.0	215.7	55.9	3,110.0	1,252.6	334.4	10.8
2003	1,801.2	1,094.7	273.4	46.2	3,215.5	1,414.3	408.0	12.7
2004	1,781.0	1,015.4	272.7	37.1	3,106.1	1,325.1	401.9	12.9
2005	1,462.4	726.8	200.2	33.7	2,423.2	960.8	237.7	9.8
2006	1,352.7	786.1	155.4	18.3	2,312.5	959.8	303.4	13.1
2007	1,119.5	625.9	175.0	24.4	1,944.9	825.4	242.5	12.5
2008	1,211.3	750.1	131.9	29.4	2,122.7	911.4	209.1	9.8
2009	1,618.6	955.5	226.7	21.0	2,821.9	1,203.3	240.9	8.5
2010	1,143.3	837.6	265.6	59.7	2,306.3	1,162.9	247.6	10.7
2011	1,646.1	645.7	200.8	53.4	2,545.9	899.8	160.0	6.3
2012	1,141.0	733.7	165.7	47.1	2,087.6	946.6	154.5	7.4
2013	1,977.2	626.2	186.4	37.1	2,826.9	849.7	156.0	5.5
2014	738.9	299.4	67.8	20.6	1,126.8	387.9	144.0	12.8
2015	647.2	86.4	20.8	6.7	761.1	113.9	66.5	8.7
2016	574.2	100.4	7.3	0.8	682.7	108.5	77.7	11.4
2017	389.2	75.2	4.8	0.4	469.6	80.4	54.3	11.6
2018	650.1	53.2	4.9	0.2	708.4	58.3	29.1	4.1
2019	749.2	89.1	4.4	0.3	843.1	93.9	44.3	5.3
2020	1,886.0	195.1	16.3	0.9	2,098.2	212.2	57.0	2.7
2021	871.8	284.0	46.8	3.1	1,205.6	333.8	42.2	3.5
2022	858.9	135.0	72.6	8.0	1,074.5	215.7	40.2	3.7

補足資料 13 シラス漁獲量

カタクチイワシは未成魚と成魚が漁業対象となっているばかりでなく、仔魚期にはシラスとして沿岸漁業における重要な漁獲対象となっている。1978年以降の太平洋におけるシラス漁獲量（漁業・養殖業生産統計年報）は、1.2万～4.2万トンの範囲で比較的安定して推移している（補足図 13-1、補足表 13-1）。

シラス漁獲量に含まれるカタクチイワシシラスの漁獲量を推定するために、県別・月別にシラス漁獲量（主要港）とカタクチイワシシラスの混獲率データを集計し、そこから海区別（主要港）に年間のカタクチイワシシラス漁獲量と混獲率を求めた。この海区別混獲率（主要港）と太平洋における海区別のシラス漁獲量（漁業・養殖業生産統計年報）を用いて、太平洋におけるカタクチイワシシラスの漁獲量を推定した。

本系群のシラス漁獲量についても、0.94万～3.6万トンの範囲で比較的安定して推移している中で、2022年の漁獲量は1.3万トンと過去2番目に低い値であった（補足図 13-1、補足表 13-1）。シラス漁場は本系群の産卵場や分布域全体から見ればごく一部の海域であることから、基本的にはシラス漁業が太平洋系群の資源に与える影響は限定的であると考えられるが、一方で近年は沖合域における本系群の分布量は低調であることから、沿岸域の成育場および産卵場の重要度が高まっているとも考えられるため、引き続きシラスの動向を注視する必要がある。



補足図 13-1. カタクチイワシシラス漁獲量とその他シラス漁獲量の推移

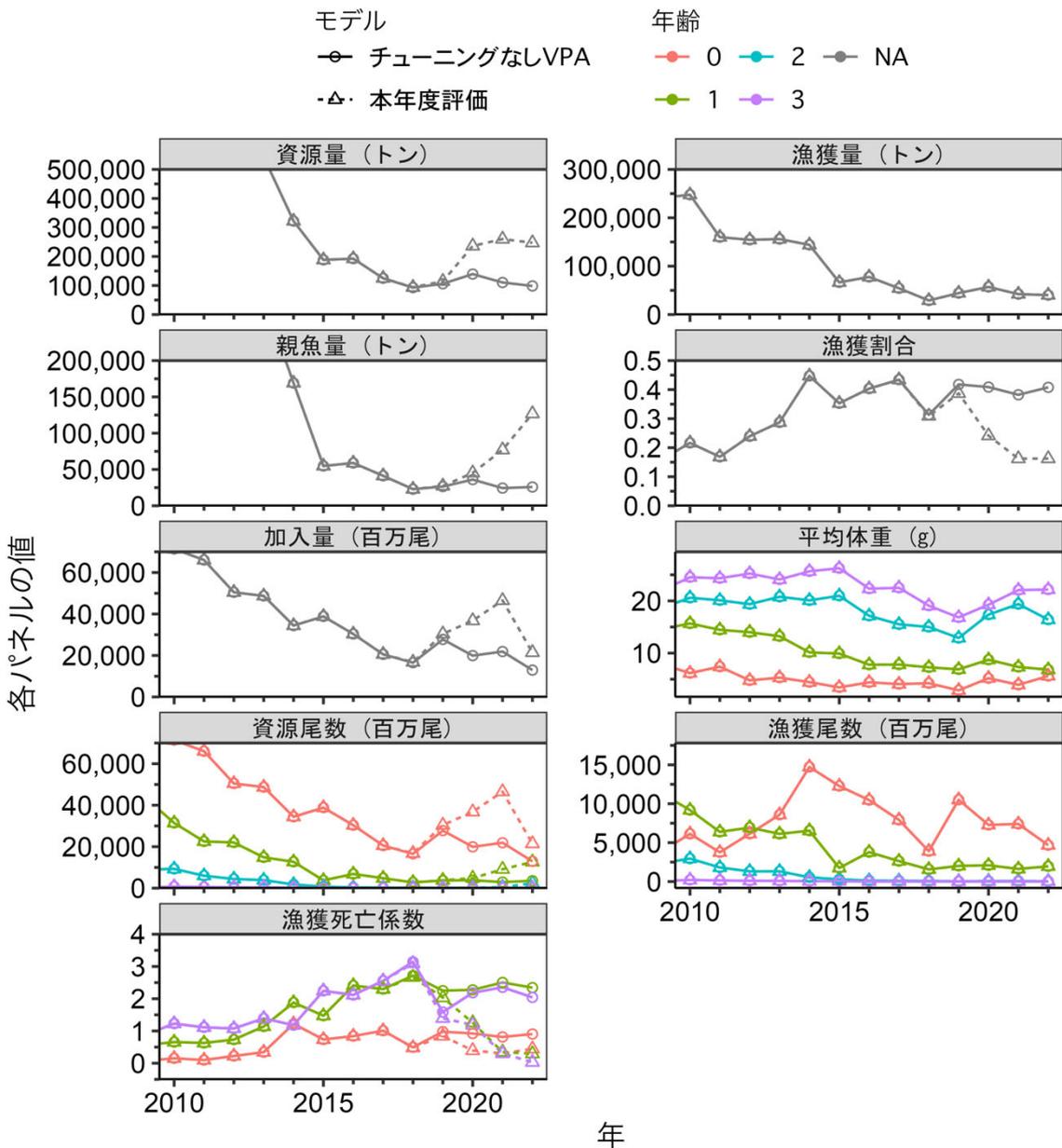
補足表 13-1. シラス漁獲量と推定されたカタクチイワシシラス漁獲量およびシラス漁獲量に占めるカタクチイワシシラスの割合

年	漁業・養殖業生産統計年報のシラス漁獲量(トン)					主要港合計	太平洋合計(推定値)	
	太平洋 南区	太平洋 中区	太平洋 北区	北海道区 太平洋側	太平洋 合計	シラス漁獲量 (トン)	カタクチイワシ シラス漁獲量 (トン)	カタクチイワシ シラスの割合 (%)
1978	12,446	10,019	906	0	23,371	8,643	17,036	73
1979	16,518	13,732	3,040	0	33,290	12,384	27,041	81
1980	13,769	18,559	2,836	0	35,164	16,791	25,009	71
1981	12,793	16,264	1,132	0	30,189	14,880	26,186	87
1982	19,857	17,015	1,953	0	38,825	14,039	32,194	83
1983	18,406	21,879	2,020	0	42,305	26,069	35,588	84
1984	12,358	16,725	3,276	0	32,359	20,092	23,543	73
1985	14,937	23,692	2,205	0	40,834	31,951	26,126	64
1986	11,343	24,721	4,696	0	40,760	31,792	27,867	68
1987	11,672	11,274	4,592	0	27,538	18,945	15,910	58
1988	12,084	19,414	7,561	2	39,061	26,228	25,399	65
1989	10,322	16,344	4,953	43	31,662	25,025	21,915	69
1990	9,889	13,054	3,138	1	26,082	24,526	17,016	65
1991	11,628	21,929	4,303	1	37,861	35,500	28,865	76
1992	9,977	14,921	3,548	2	28,448	25,022	20,859	73
1993	8,255	13,553	3,332	37	25,177	23,119	18,146	72
1994	8,414	14,498	3,571	8	26,491	24,239	20,025	76
1995	6,176	10,833	6,828	1	23,838	23,099	18,384	77
1996	8,747	14,974	3,156	0	26,877	24,559	20,737	77
1997	7,808	15,679	6,388	0	29,875	26,104	24,225	81
1998	6,320	14,960	2,463	1	23,744	20,126	20,957	88
1999	8,395	18,877	3,050	2	30,324	29,440	27,357	90
2000	8,312	15,243	2,685	1	26,241	24,824	21,078	80
2001	4,496	14,570	5,528	14	24,608	23,546	20,762	84
2002	4,214	13,654	3,970	7	21,845	19,660	18,601	85
2003	7,214	15,507	1,876	3	24,600	24,594	21,882	89
2004	5,808	6,161	176	7	12,152	11,987	9,419	78
2005	9,142	18,067	4,725	4	31,938	26,429	26,585	83
2006	5,409	13,211	2,660	1	21,281	19,583	18,068	85
2007	7,397	17,008	5,218	6	29,629	27,640	23,808	80
2008	6,422	22,972	5,345	2	34,741	29,731	29,012	84
2009	5,538	14,268	4,062	3	23,871	21,648	18,981	80
2010	6,890	15,462	5,854	4	28,210	24,631	22,248	79
2011	5,064	17,335	1,136	3	23,538	21,216	20,359	86
2012	6,768	19,177	2,647	5	28,597	24,821	25,309	89
2013	7,059	14,928	2,895	1	24,883	21,242	22,281	90
2014	6,751	20,064	3,322	4	30,141	25,282	25,850	86
2015	7,315	23,606	2,190	3	33,114	26,541	27,940	84
2016	6,807	18,842	1,402	2	27,053	23,038	21,521	80
2017	6,009	10,891	4,173	3	21,076	17,314	13,104	62
2018	6,784	13,783	4,070	1	24,638	19,849	18,022	73
2019	6,395	17,634	3,920	1	27,950	21,579	22,264	80
2020	5,425	16,894	5,754	0	28,073	22,492	24,075	86
2021	6,442	16,672	4,123	1	27,238	23,072	20,691	76
2022	2,758	8,737	3,931	1	15,427	13,029	12,507	81

補足資料 14 異なる仮定の下での資源評価結果

本系群は令和 3 年度評価まではチューニングなしの VPA により資源量推定を行っていた。そのため、参考情報として、本年度の評価結果とチューニングなしの VPA による推定結果を比較した。

資源量、親魚量、および加入量について、2019 年までは本年度評価結果とチューニングなしの VPA による推定結果はほぼ同じ値を示したが、2020 年～2022 年には本年度評価結果の方が、2020 年の親魚量を除くとかなり高い値となっている（補足図 14-1）。



補足図 14-1. 本年度評価結果とチューニングなし VPA による推定結果の比較