

令和4（2022）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

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

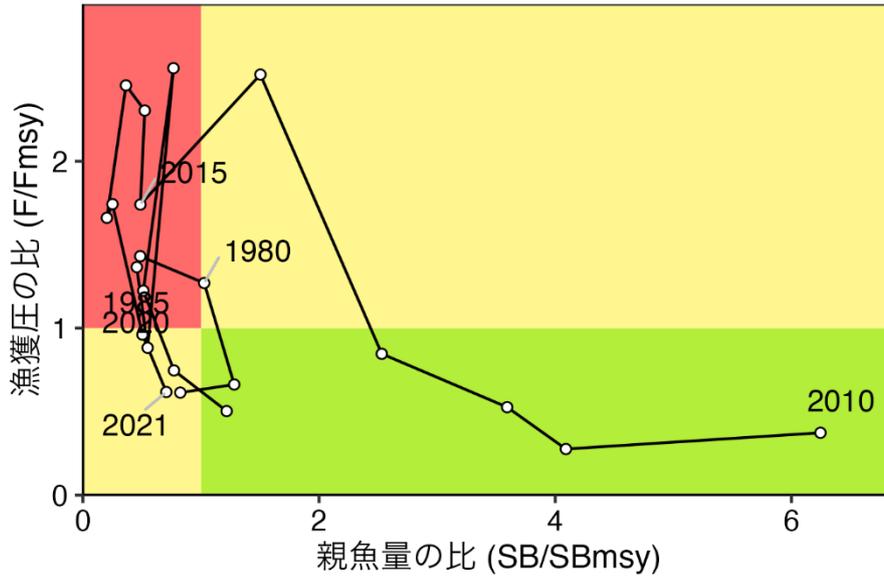
要 約

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200万トンを超え、2002年に291万トンの最大値を示した。2003年以降は減少傾向であり、2018年に9.5万トンの最小値となった後、再び増加に転じて2021年は24.7万トンであった。また、2021年の親魚量は7.9万トンであった。

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2021年の親魚量は、MSYを実現する水準を下回る。また、本系群に対する2021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（2017～2021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
2021 年の親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る
2021 年の漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る
2021 年の親魚量の動向	増加
最大持続生産量 (MSY)	81 千トン
2023 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。 ・ 今年度から資源評価の手法を変更したが、再生産関係の推定に使用した 2018 年以前の加入量と親魚量(令和 2 年度評価に基づく)はほとんど変わらず、手法変更の影響は小さい。	

近年の資源量、親魚量、漁獲量、漁獲圧、および漁獲割合					
年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F/Fmsy	漁獲割合 (%)
2017	124	41	54	2.44	43
2018	95	23	29	1.65	30
2019	125	28	44	1.73	35
2020	235	57	57	0.96	24
2021	247	79	40	0.61	16
2022	352	156	45	0.34	13
2023	395	191	-	-	-

・ 2022 年、2023 年の値は将来予測に基づく平均値である。
 ・ 2022 年の漁獲量として、直近 5 年間(2017～2021 年) の平均漁獲量を用いた。

1. データセット

本件資源評価に使用したデータセットは以下のとおり

データセット	基礎情報、関係調査等
年齢別・年別漁獲尾数	漁業・養殖業生産統計年報(農林水産省) 主要港水揚量(北海道～鹿児島(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 ・北部太平洋大中型まき網の漁獲努力量 ・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	分布回遊状況解析調査(JAFIC) 卵・稚仔、プランクトン調査(2～3 月、水産機構、毎月、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 分布回遊状況解析調査(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(補足資料 2 を参照)

*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)は加入量(尾数)の指標値として用いた。なお、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10.5cm未満の個体を便宜的に0歳魚とみなして算出した。

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および、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10～12cm程度、2歳で13cm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）。

$$\text{体重 (g)} = 0.010 \times \text{体長}^{3.00} \text{ (cm)}$$

(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 7-2）。

(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）が正偏差の期間はマイワシ、負偏差の期間はカタクチイワシの資源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、環境収容力や加入成功などに影響し（Tanaka 2003、Yatsu et al. 2005）、再生産関係にも変化をもたらす可能性が考えられたことから、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）。近年の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。

近年は0歳魚が漁獲の主体となっている。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、資源量は減少傾向にある。高水準期（高加入期に相当）における本系群の分布域は沖合にまで広がったが、近年の沖合の分布量は少なく、漁場は沿岸域に形成されている。

(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、2015～2020年は2.9万～7.8万トンとなり、2021年は4.0万トンであった。海区別では、太平洋中区（千葉県～三重県）が漁獲量の大部分を占めており、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2012年以降、漁獲量が大きく減少している（図3-1、表3-1）。1990年以降、房総・常磐海域（千葉県、茨城県、福島県）の占める割合が、40～70%と高く推移していたが、2015年以降は10%台まで低下した。その一方で、東海海域（三重県～神奈川県）の占める割合が増加傾向にあり、1988～2007年までは20%程度であったものが、2015年以降は50%以上で推移している。

(3) 漁獲努力量

本系群への漁獲努力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小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、2001～2004年は2,000網前後と高い水準にあったが、2005年以降減少し、2008～2011年は500網前後となった（補足図11-1、補足表11-1）。その後、2012年にさらに減少した後、2016年以降は0または1網となっている。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

本系群は、令和3年度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。ただし、令和3年度評価においては、TAC管理の候補種であることから、漁獲数量の制限が実施された場合に向けての、コホート解析へ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、不確実性の軽減に向けた取り組みの必要性が報告書に示された（木下ほか2021b、2022）。そこで、本年度（令和4年度）の資源評価では、資源量指標値をチューニング指数として用いたコホート解析（以下、「チューニングVPA」という）により資源量を推定した。コホート解析の基本的なデータとなる年齢別漁獲尾数は図3-2に示す。親魚量（重量）の指標値としては産卵量を、加入量（尾数）の指標値としては北上期調査（5～7月、北緯39～46度、東経144～西経165度の海域）の0歳魚CPUE（尾/網）を用いた。当該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 10.5 cm 未満の個体を便宜的に 0 歳魚とみなして算出した。なお、サバ類の捕食圧を考慮したコホート解析による資源量の試算結果については、参考として補足資料 12 に示す。また、本系群の資源評価では、シラスを含めずに資源量推定を行った。

(2) 資源量指標値の推移

漁獲係数 F の調整に使用したチューニング指数を図 4-1 と補足表 2-2 に示す。

太平洋海区 (I~IV 区) における産卵量は、卵・稚仔、プランクトン調査によって得られた卵の分布量を緯度経度 30 分目毎に集計することによって推定し、この値を基礎として各種合計値を求めた。年間産卵量は 1991 年に急増した後、1996 年まで緩やかな減少傾向を示した。その後 1999 年に急増して 1 京粒を超えた後は、2012 年まで 1 京粒前後の高水準の産卵量が維持された。2013 年以降は減少傾向を示していたが、2019 年以降は増加傾向となっており、2021 年は 3014 兆粒であった (図 4-1a)。卵・稚仔、プランクトン調査の海区区分、および海區別月別の産卵量の 2013 年以降の推移を補足資料 7 に示す。2015~2019 年までは I 区 (銚子以北の黒潮親潮移行域) における産卵量は少量であったが、2020 年以降増加して 6~8 月に盛期があった (補足図 7-2)。2021 年は II 区 (銚子以南、潮岬以東の本州南の海域) および IV 区 (薩南~東シナ海南部の海域) において産卵量が増加した。

北上期調査 0 歳魚 CPUE (尾/網、曳網 1 時間あたりの値に換算) は、水産機構が 2001 年以降、5~7 月の黒潮親潮移行域~親潮域において中層トロール (網口 30 m、コッド目合 17 mm) を用いて実施した漁獲調査の調査結果に基づき算出した。北上期調査 0 歳魚 CPUE は 2002 年に 1,826 尾/網の最大値を示した後、2003~2008 年まで 80~869 尾/網の間で年々大きく変動した (図 4-1a)。2009~2011 年にかけては 900 尾/網前後で安定して推移したが、2012 年に急減し、2014 年まで 116~150 尾/網で推移した。その後さらに、2015 年の 12 尾/網まで減少した後も、2018 年まで低下を続けて最小値の 0.1 尾/網となった。2019 年以降は増加傾向に転じて 2021 年は 44 尾/網であった。

チューニング VPA には用いなかった資源量指標値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 万トンを超えた (図 4-2、表 4-1)。その後、2002 年に 291 万トンの最大値を示した以降は減少傾向となり、2018 年には 9.5 万トンの最小値となった。その後、再び増加に転じて 2021 年は 24.7 万トンと推定された。

親魚量は 1978 年から 1991 年 (87.6 万トン) まで増加傾向を示した後、約 30 万トン減少して、1992~1997 年は 60 万トン前後で変動した (図 4-2、表 4-1)。その後は再び増加傾向を示し、2003 年に 143.1 万トンの最大値となった。2004 年以降は減少傾向となり、2018 年に 2.3 万トンの最小値を示した後は、再び増加傾向となり、2021 年は 7.9 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) により推定された親魚量は 1982~1988 年には 10 万トン前後で推移していたが、1989 年以降急増し、1991 年に 73.1 万トンを示した後、約 20 万トン減少して、1992~1996 年は 50 万トン前後で変動した (補足図 7-3、補足表 7-1)。その後は再び増加に転じて、1999 年は 192.4 万トンとなり、2003 年に 255.6 万

ンの最大値に至ったが、この期間の年々の変動は大きかった。2004 年以降は減少傾向となり、2012 年まで 100 万トン前後を維持していたがその後急減し、2018 年に 7.1 万トンの最小値を示した。2019 年以降は増加傾向となり、2021 年は 38.1 万トンと推定された。なお、親魚量が最大値に向かって増加を始めた 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が同程度の水準であったが、資源が沖合にも拡大した 1999 年以降はコホート解析の推定値が低めに推移している年が多く、かつ、その変動幅は卵数法による親魚量よりも狭くなっている（補足図 7-3）。

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た（図 4-3、補足表 9-1）。2021 年の資源尾数は全年齢で 2020 年よりも増加し、全年齢合計は 519 億尾であった。

年齢別資源重量は 0 歳魚が 37~77% を占め、0~1 歳魚では 79.6~99.2% と資源の大半を占めた（図 4-4、補足表 9-1）。2021 年の資源重量は 0 歳魚が 2020 年よりも 1 万トン程度減少したが、1~3 歳魚は 2020 年よりも増加した。

加入量は 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 2010 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 171 億尾の過去 2 番目に低い値を示した。2019 年以降は増加傾向となり、2021 年は 427 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、資源水準の高い年に低い傾向を示した（図 4-5、表 4-1）。1978 年以降、加入量が初めて 1000 億尾を上回った 1989 年までは再生産成功率は 132~713 尾/kg の範囲で変動し、この期間の平均は 433 尾/kg であった。その後、親魚量が初めて 80 万トンを上回った 1990 年から 2003 年の親魚量の最大値を経て、親魚量が 20 万トンを下回った 2014 年までは再生産成功率は 85~226 尾/kg の範囲で低く推移した。親魚量が 6 万トンを下回っている 2015 年以降は、再生産成功率は 499~1,194 尾/kg の間で高めに推移し、2021 年の値は 538 尾/kg であった（図 4-5、表 4-1）。

自然死亡係数（M）を 0.5 倍、1 倍（基準値）、1.5 倍と変化させた場合の感度解析の結果を図 4-6 に示す。最新年の推定値に注目すると、M を 0.5 倍した場合の資源量は基準値の 64%、親魚量は 87%、加入量は 52% であった（図 4-6）。M を 1.5 倍した場合の資源量は基準値の 250%、親魚量は 206%、加入量は 271% 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。0 歳魚の F は 1984 年に 0.77 の高い値を示した後、減少して 1987~2011 年は 0.2 未満で推移した。2012~2014 年にかけて増加して 1.22 の最大値を示した後、2015~2020 年は 0.4 以上で変動し、2021 年は 0.31 であった。1 歳魚の F も 0 歳魚と同様に 1984 年に 2.56 と高い値を示した後、減少して 1987~2011 年は 0.20~0.74 で推移した。2012~2018 年にかけて増加傾向となって 2.60 の最大値を示した後は減少し、2021 年は 0.36 であった。2~3 歳魚の F は 1984 年に 2.67 の高い値を示した後、減少して 1987~2011 年は概ね 1.4 未満で推移した。2012~2018 年にかけて増加傾向となって 3.03 の最大値を示した後は減少傾向を示し、以降急減して 2021 年は 0.14 であった。

漁獲割合については、過去 44 年の平均漁獲割合が 21% であるが、2014~2019 年は 40% 前後と高く推移し、その後低下して 2021 年は 16% であった（図 4-8、表 4-1）。

令和 3 年度の資源評価と比べると、2018 年以前の推定値に大きな違いはないものの、2017

～2020年の資源量、親魚量および加入量が上方修正された（補足表 10-1）。これは、2020年の年齢別漁獲尾数が上方修正されるとともに、チューニング VPA を適用したことにより、2014～2020年級群の加入量が上方修正されたためである。

(4) 加入量当たり漁獲量 (YPR)、加入量当たり親魚量 (SPR) および現状の漁獲圧

選択率の影響を考慮して漁獲圧を比較するため、加入量あたり親魚量 (SPR) を基準に、その漁獲圧が無かった場合との比較を行った。図 4-9 に年ごとに漁獲が無かったと仮定した場合の SPR に対する、漁獲があった場合の SPR の割合 (%SPR) の推移を示した。%SPR は漁獲圧が低いほど大きな値となる。%SPR は 1984 年に 21%の低い値を示した後、増加して 1987～2012 年は 60%以上で高めに推移した。2013 年以降急減して 2014 年に 17%の最小値を示した後は 2019 年まで 25%前後で変動したが、その後上昇して 2021 年は 60%であった（補足表 9-1）。現状の漁獲圧として直近 3 年間（2019～2021 年）の平均 F 値から %SPR を算出すると 41%となった。

現状の漁獲圧に対する YPR と %SPR の関係を図 4-10 に示した。このとき 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）を用いた。また、年齢別平均体重および成熟割合についても F_{msy} 算出時の値を使用した。F_{msy} は %SPR に換算すると 45%に相当する。現状の漁獲圧 (F₂₀₁₉₋₂₀₂₁) は F_{40%SPR} や F_{0.1} を下回り、F_{msy} を上回った。

(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）。ここで、再生産関係のパラメータ推定に使用するデータは、令和 2（2020）年度の資源評価（木下ほか 2021a）による親魚量・加入量（2019 年のデータを除く）とし、最適化方法には最小二乗法を用いている。加入量の残差の 1 次の自己相関は考慮しなかった。再生産関係式の各パラメータを補足表 6-1 に示した。

(6) 現在の環境下において MSY を実現する水準

現在（2010 年以降）の環境下において最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SB_{msy}) および MSY を実現する漁獲量として、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。

(7) 資源の水準・動向および漁獲圧の水準

MSY を実現する親魚量と漁獲圧を基準にした神戸プロットを図 4-12 に示した。また、2021 年の親魚量と漁獲圧の概要を補足表 6-3 に示した。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 F_{msy} の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して求めた値と、各年の F 値との比である。

本系群の親魚量は 1979～1980 年、1987 年、2010～2014 年には MSY を実現する親魚量

(SBmsy) を上回っていたが、1978 年、1981～1986 年、2015 年以降は SBmsy を下回り、2021 年の親魚量は SBmsy の 0.71 倍である。また、漁獲圧は 2014～2019 年は MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) を上回っていたが、2020 年以降は Fmsy を下回り、2021 年は Fmsy の 0.62 倍である。親魚量の動向は、直近 5 年間 (2017～2021 年) の推移から増加と判断された。

5. 資源評価のまとめ

今年度からチューニング VPA により資源量を推定した。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。2002 年に 291 万トンの最大値を示して以降は減少傾向であり、2018 年に 9.5 万トンの最小値となった。その後、再び増加して 2021 年の資源量は 24.7 万トンであった。親魚量も 2019 年以降増加しており、2021 年の親魚量は 7.9 万トンであった。

6. その他

今年度の資源評価では、資源量推定方法を、令和 3 年度までの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。また、チューニング指数としては、産卵量を親魚量 (重量) の指標値として、北上期調査 0 歳魚 CPUE を加入量 (尾数) の指標として用いたが、これらのチューニング指数については標準化が実施されていない。また、北上期調査 0 歳魚 CPUE については、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を十分には説明できない可能性がある。そのため、本資源のチューニング 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・標準化が必要である。さらに、資源評価モデルが沖合域の情報を含むことから、推定された資源量などは沖合域をも含めた値であることを留意する必要がある。

また、令和 3 年度の「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)」においては、「サバ類捕食 VPA については不確実性が大きいと考えられ、引き続き様々な条件設定の下での検討を行っていく必要がある」と記載されていることから、サバ類捕食 VPA についての引き続きの検討結果を補足資料 12 に示した。

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.

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.

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.

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.

(執筆者：木下順二、安田十也、渡邊千夏子、渡井幹雄、
井元順一、上村泰洋、河野悌昌、高橋正知)



図 2-1. カタクチイワシ太平洋系群の分布・回遊図

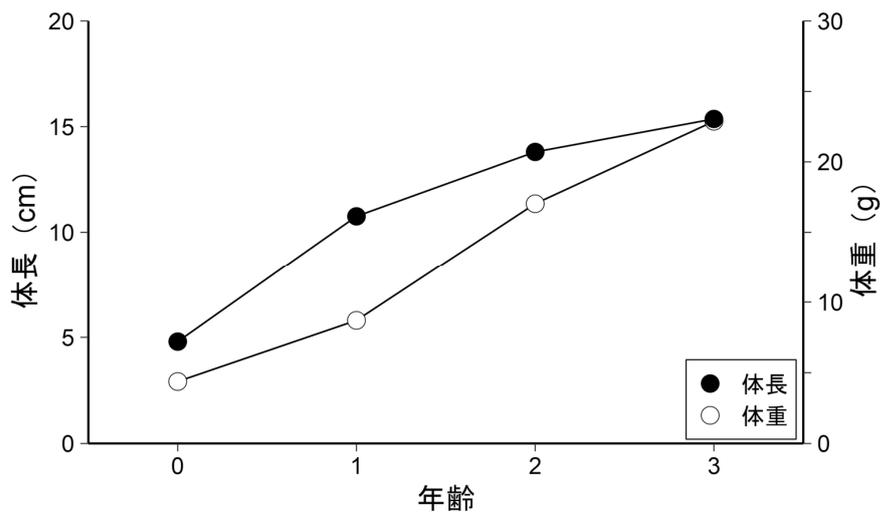


図 2-2. 年齢と成長

体重は、年齢別平均体重の 1978～1988 年および 2015～2021 年（通常加入期）の平均。
 被鱗体長は、その体重から $\text{体重(g)} = 0.010 \times \text{体長(cm)}^3$ の関係式により換算。

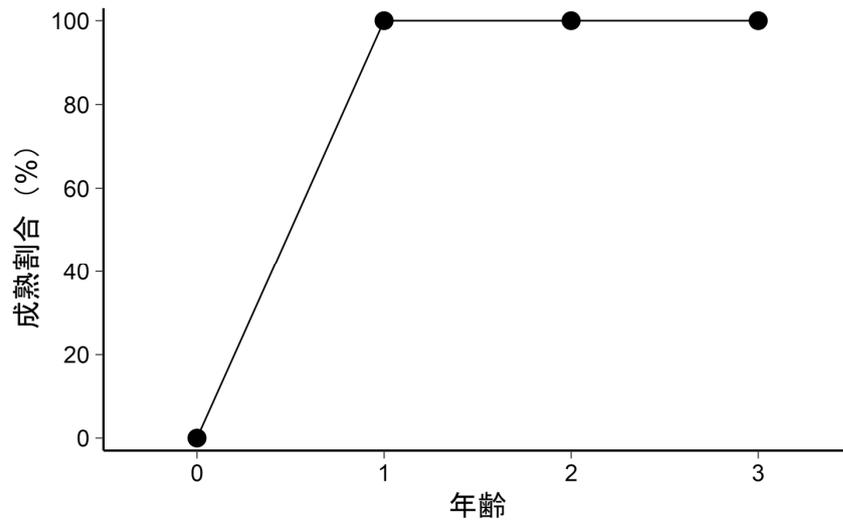


図 2-3. 年齢別成熟割合

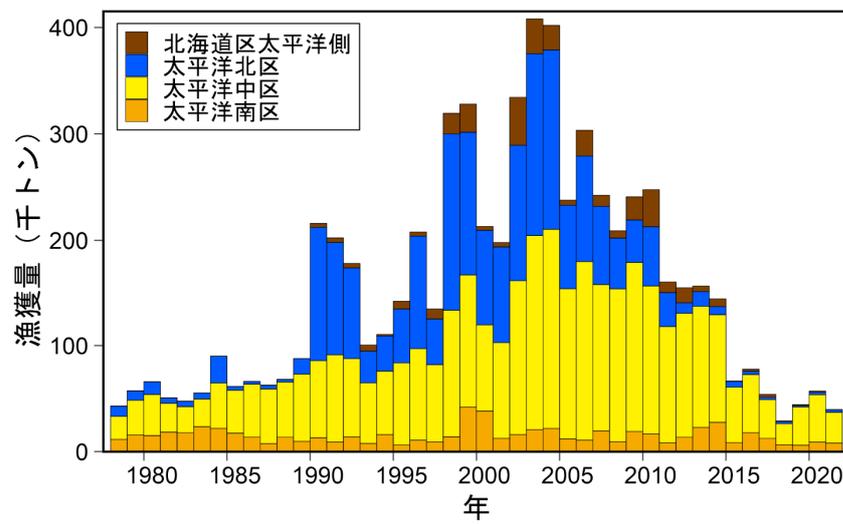


図 3-1. 漁獲量の推移

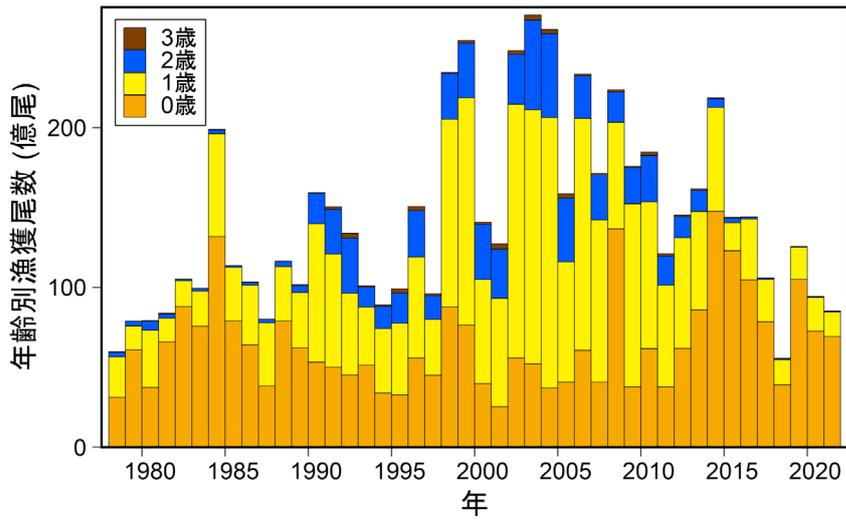


図 3-2. 年齢別漁獲尾数の推移

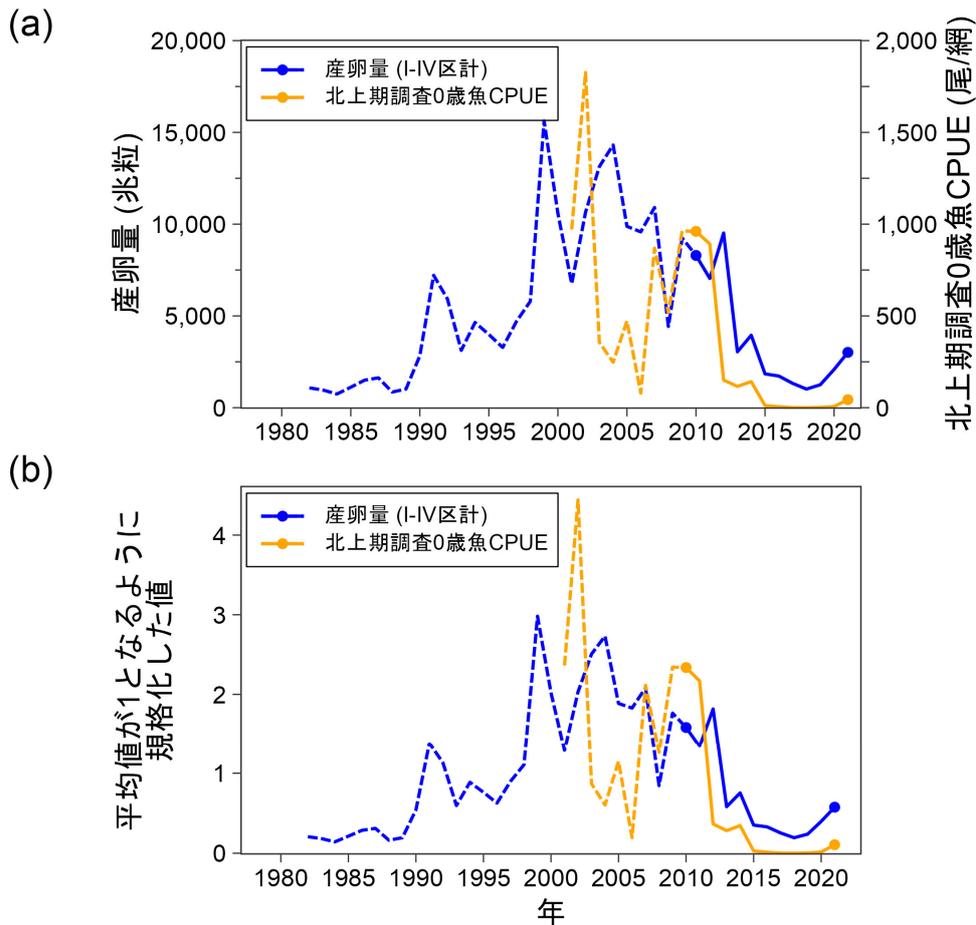


図 4-1. 資源量指標値 (チューニング指数) の推移

(a) は観測値を、(b) は規格化した値を示す。実線部分はチューニングに用いた年を表す。

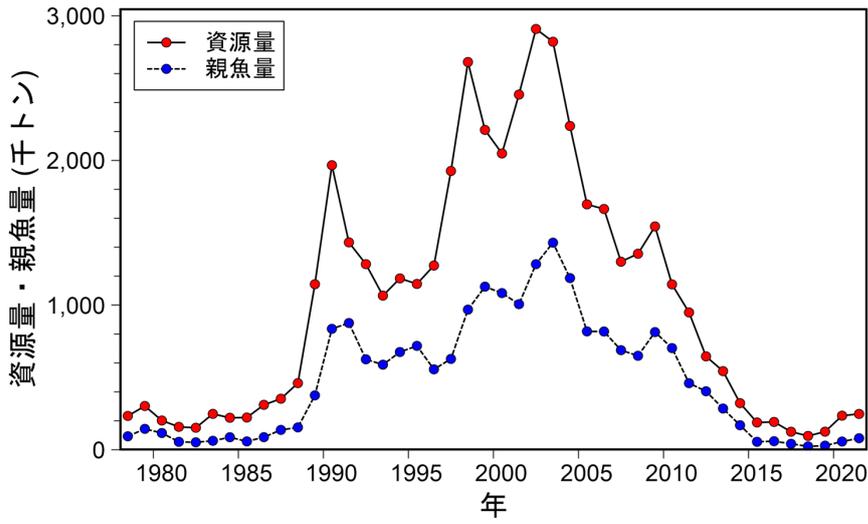


図 4-2. 資源量と親魚量の推移

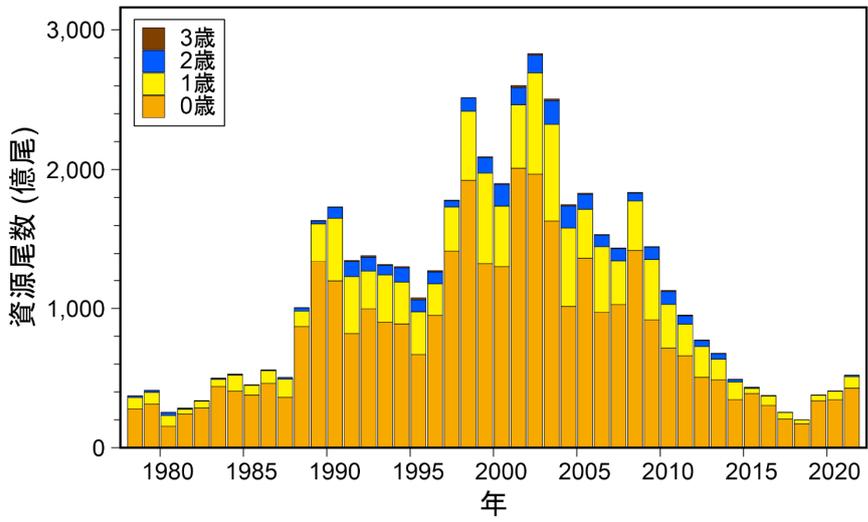


図 4-3. 年齢別資源尾数の推移

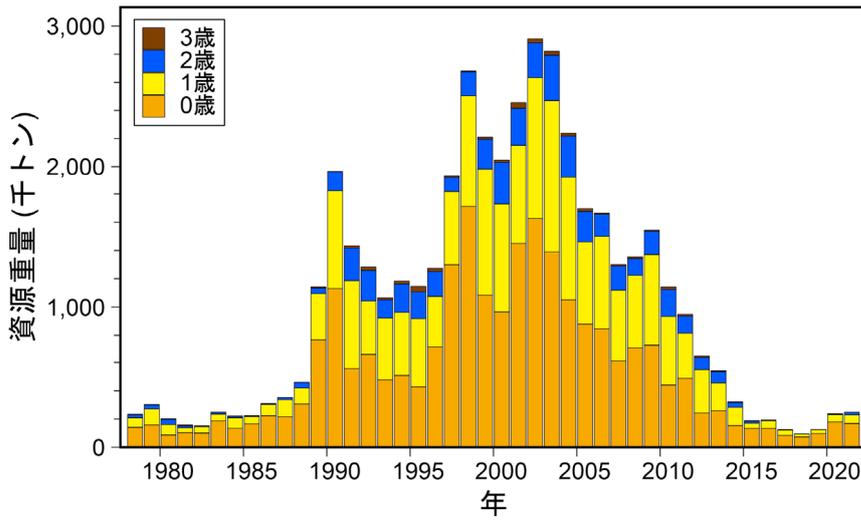


図 4-4. 年齢別資源重量の推移

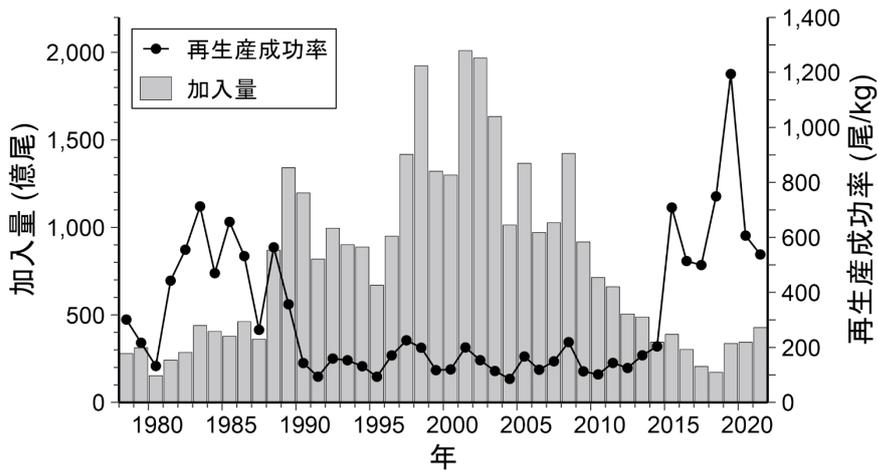


図 4-5. 加入量と再生産成功率の推移

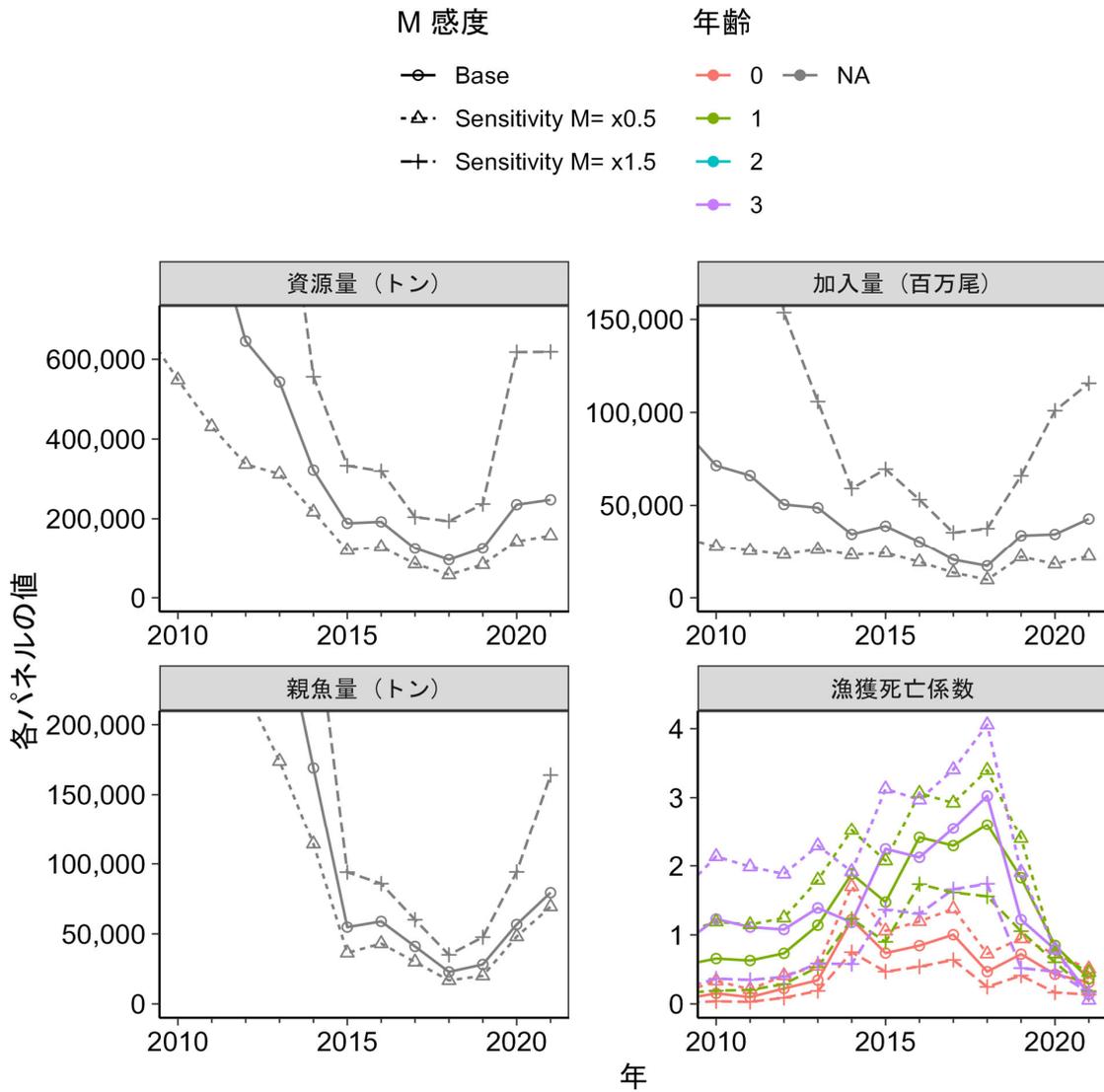


図 4-6. 資源量、親魚量、加入量、および漁獲係数の推定に対する自然死亡係数 M の影響
Base は基準となるシナリオを表す。

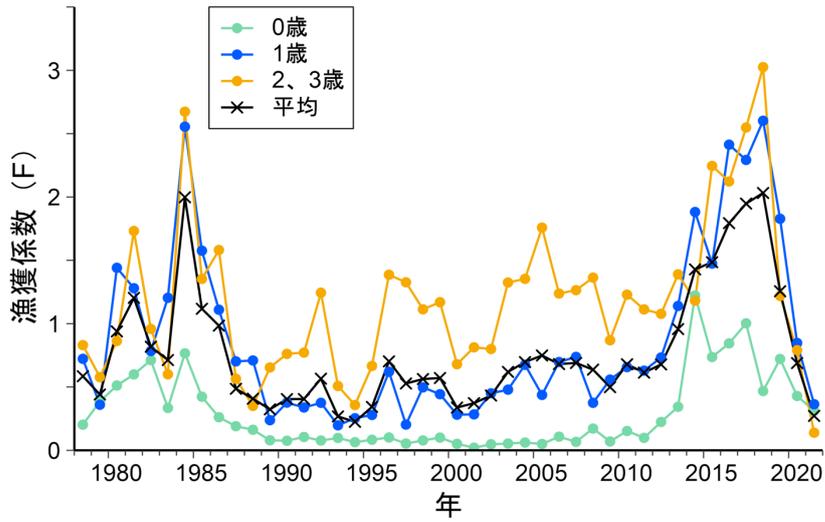


図 4-7. 年齢別漁獲係数 F の推移

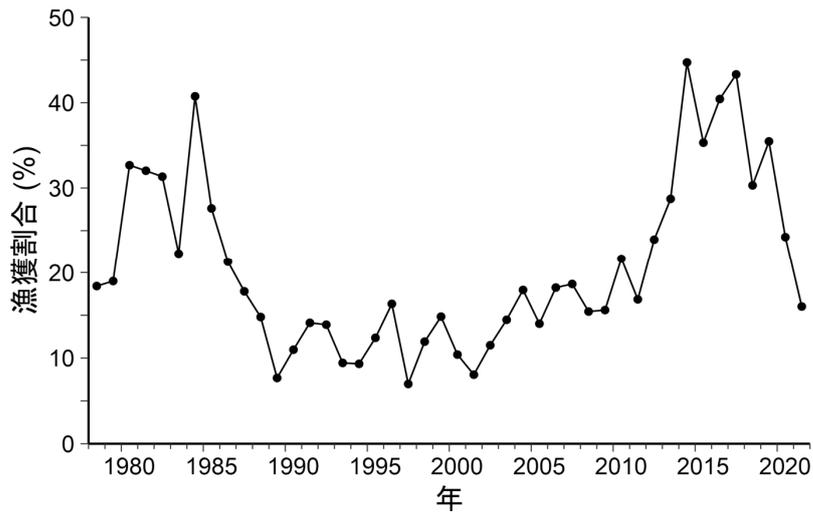


図 4-8. 漁獲割合の推移

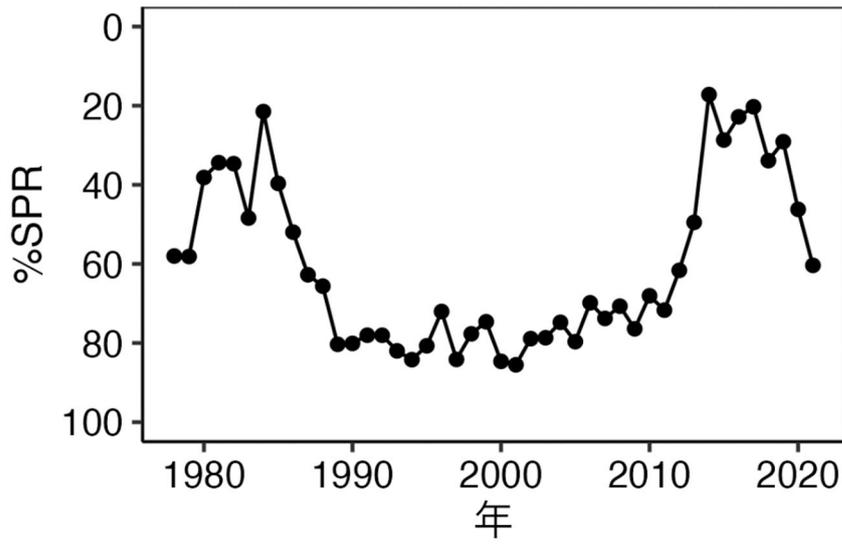


図 4-9. 各年の F における %SPR の推移

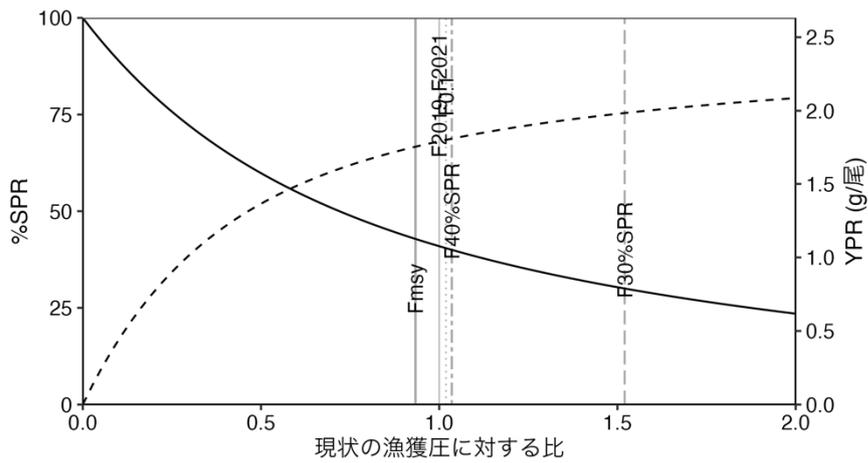


図 4-10. 現状の漁獲圧に対する YPR と SPR の関係

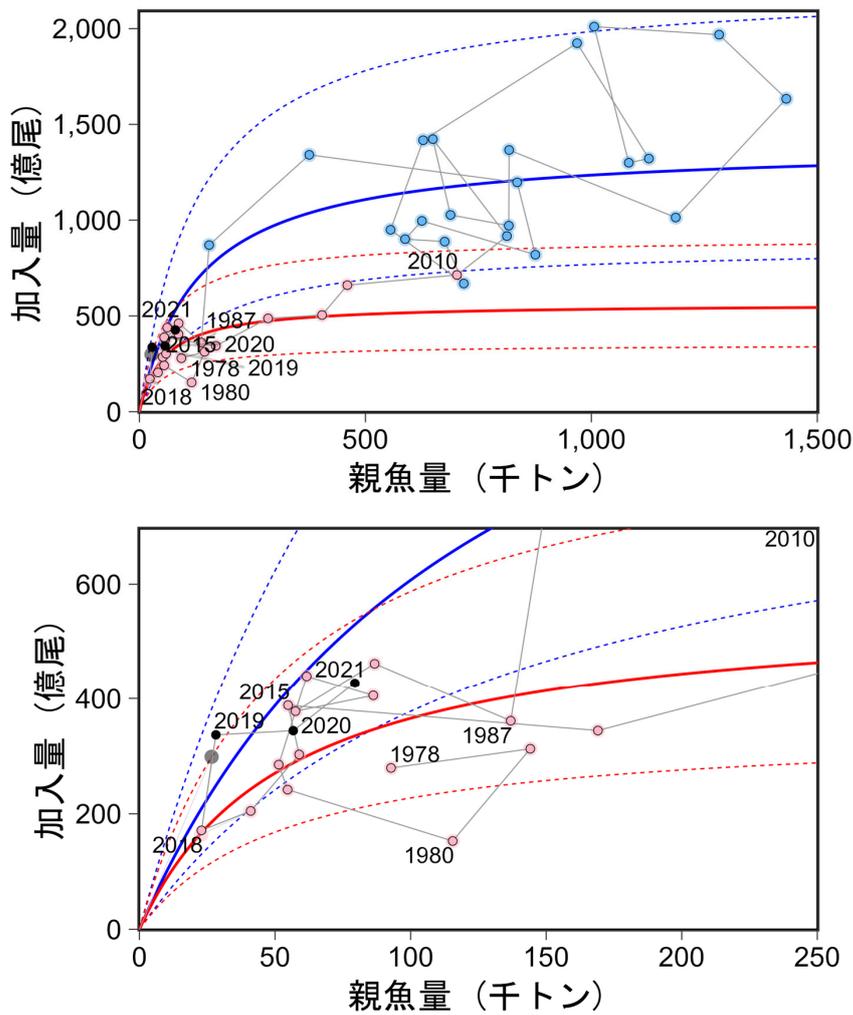


図 4-11. 親魚量と加入量の関係（再生産関係）

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。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。実線と丸印で示したのは令和 4 年度資源評価で得られた再生産関係のプロット（1978～2021 年）。下図は上図の一部を拡大したものである。

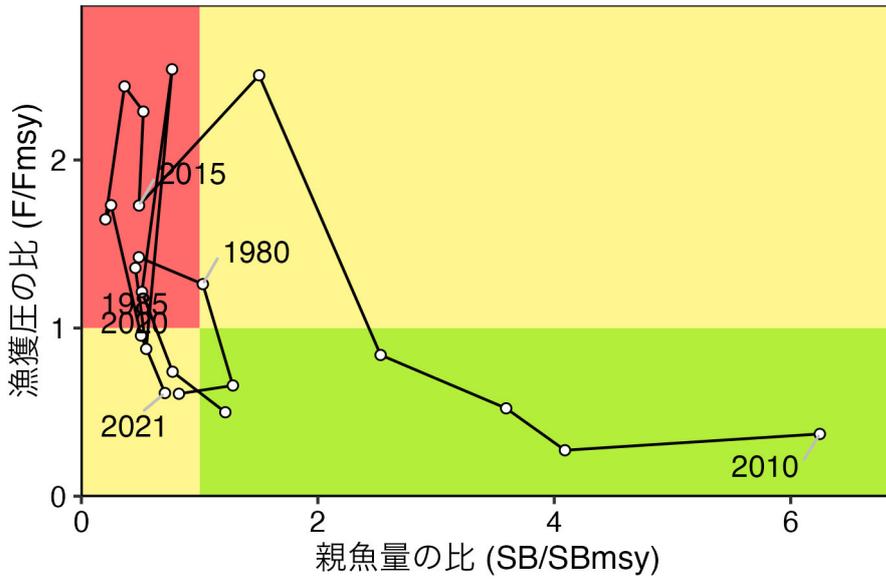


図 4-12. 親魚量と漁獲圧の関係 (神戸プロット)

丸は通常加入期とした年 (1978~1987 年および 2010~2021 年) の結果である。

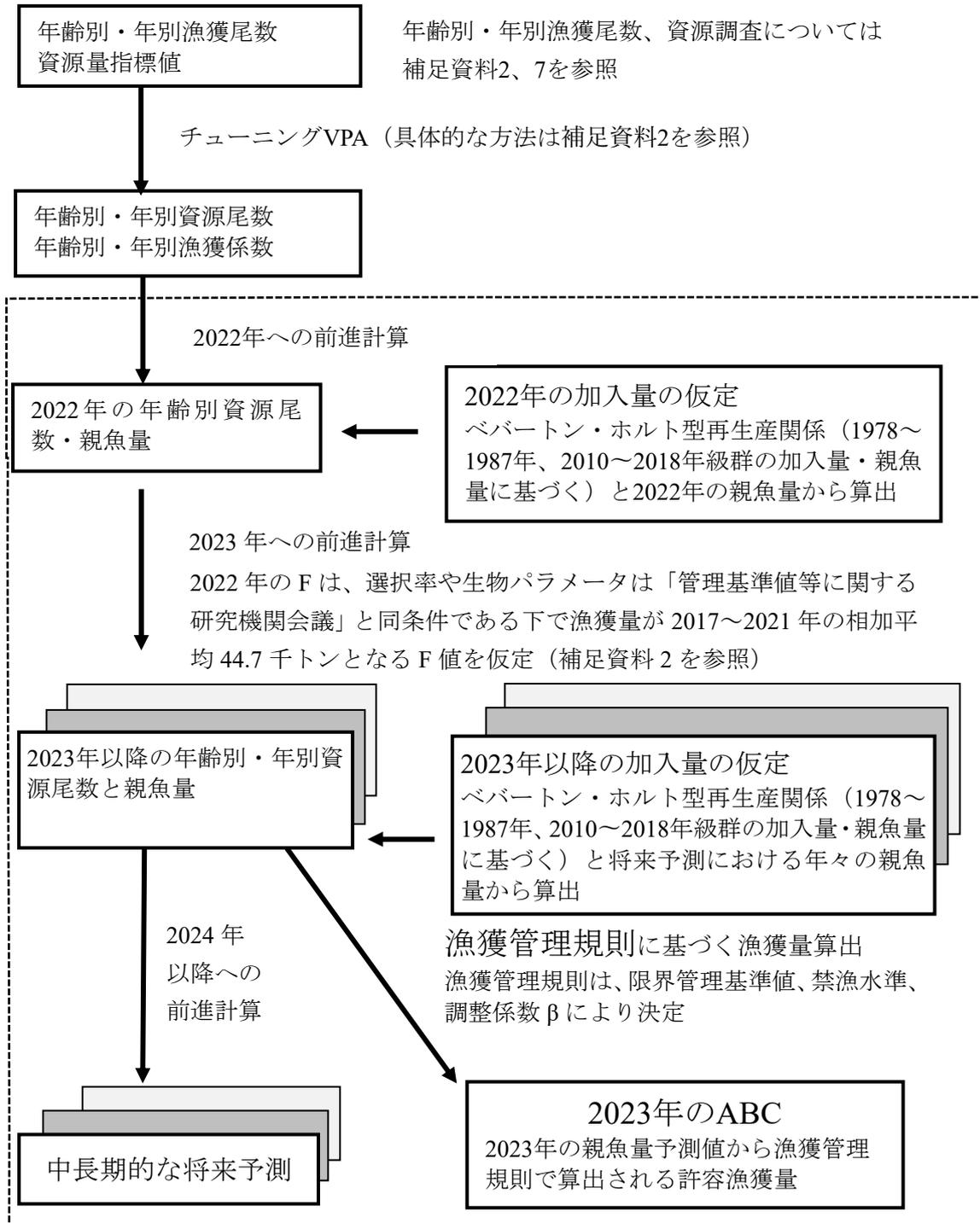
表 3-1. 漁獲量

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 北区	北海道区 太平洋側	太平洋 合計	
1978	11,557	21,626	9,512	303	42,998	
1979	15,725	32,644	8,856	201	57,426	
1980	15,095	38,782	11,814	268	65,959	
1981	18,354	27,218	4,988	47	50,607	
1982	17,804	24,572	5,085	81	47,542	
1983	23,585	25,957	5,640	46	55,228	
1984	21,947	42,780	25,226	54	90,007	
1985	17,311	40,506	3,601	17	61,435	
1986	13,575	49,941	2,448	98	66,062	
1987	7,618	51,406	3,450	259	62,733	
1988	13,461	52,080	2,496	51	68,088	
1989	9,581	63,455	14,723	45	87,804	
1990	13,082	72,619	126,560	3,680	215,941	
1991	9,069	82,142	106,812	4,296	202,319	
1992	13,875	73,791	85,489	5,121	178,276	
1993	7,712	57,101	29,931	5,743	100,487	
1994	16,002	59,842	33,209	1,375	110,428	73,573
1995	6,314	77,267	50,943	7,192	141,716	85,814
1996	10,741	86,365	106,913	3,871	207,890	151,860
1997	9,105	72,876	43,125	9,358	134,464	104,132
1998	13,938	119,330	166,652	19,451	319,371	240,982
1999	41,964	124,592	135,000	26,441	327,997	277,756
2000	38,181	81,333	89,937	3,665	213,116	192,638
2001	12,538	90,150	91,145	4,095	197,928	185,604
2002	15,998	144,967	128,358	45,076	334,399	304,895
2003	20,741	183,802	170,717	32,749	408,009	393,874
2004	21,816	188,584	168,461	23,004	401,865	407,431
2005	11,954	141,565	79,545	4,627	237,691	211,760
2006	10,722	169,385	99,111	24,210	303,428	270,406
2007	19,513	138,030	74,488	10,437	242,468	221,308
2008	9,301	144,075	48,815	6,891	209,082	180,061
2009	18,933	160,340	39,854	21,765	240,892	222,692
2010	16,882	139,307	56,581	34,859	247,629	234,049
2011	8,240	109,571	32,119	10,050	159,980	139,566
2012	13,439	116,920	9,975	14,125	154,459	141,674
2013	22,744	114,105	14,030	5,151	156,030	135,100
2014	27,585	101,488	7,688	7,223	143,984	120,144
2015	8,372	52,293	5,323	521	66,509	52,962
2016	17,853	54,792	3,140	1,908	77,693	65,153
2017	12,380	36,608	2,236	2,691	53,915	43,731
2018	6,488	19,850	1,896	673	28,907	22,947
2019	6,035	36,030	1,407	797	44,269	37,731
2020	9,059	44,591	2,248	1,102	57,000	50,065
2021	7,984	29,012	2,610	32	39,638	35,731

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	188.3	54.8	388.3	708.6	35.3	28.7	1.73
2016	192.2	58.9	302.8	514.0	40.4	22.8	2.29
2017	124.5	41.0	204.9	499.4	43.3	20.3	2.44
2018	95.4	22.9	171.4	749.2	30.3	33.9	1.65
2019	124.8	28.2	336.8	1,194.2	35.5	29.1	1.73
2020	235.2	56.7	344.0	606.5	24.2	46.2	0.96
2021	247.5	79.5	427.4	537.8	16.0	60.4	0.61

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-体重量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、プランクトン調査や北上期調査などの調査船調査の概要については、補足資料 7、10 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-体重量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 2-3）。

0 歳、1 歳、2 歳、および 3 歳の年齢構成とした年齢別・年別漁獲尾数を推定し、Pope の近似式（Pope 1972）を用いて後退法により年齢別・年別資源尾数を計算した。最新年前年（2020 年）までは下記の式 (1) により計算した。

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

$$N_{3,t} = N_{2,t} \frac{C_{3,t}}{C_{2,t}} e^{\frac{(M_3-M_2)}{2}} \quad (1b)$$

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 $F_{a,t}$ は以下の式により計算した。

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

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。

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

最新年 T 年（= 2021 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。

$$N_{a,T} = C_{a,T}e^{\frac{M_a}{2}} \frac{1}{1 - e^{-F_{a,T}}} \quad (a = 0, 1, 2, 3) \quad (4)$$

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、 $F_{a,T}$ を探索的に推定するとともに、式 (1)(2) 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の成熟率と M は補足表 2-1 に示した。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) チューニング VPA による $F_{a,T}$ 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は、太平洋沿岸（補足図 7-1、I~IV 区）の年間産卵量（粒）を親魚量（重量）の指標値として用いるとともに、北上期調査（補足図 7-4、39N~46N、144E~165W の海域）の 0 歳魚 CPUE（尾/網）を加入量（尾数）の指標値として用いた。当該 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 10.5 cm 未満の個体を便宜的に 0 歳魚とみなして算出した。

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 (5) 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 との差の二乗和となっている (全 F 推定法)。

$$(1 - \lambda) \sum_{k=1}^p \sum_t \left[\frac{\{\ln(I_{k,t}) - \ln(q_k X_{k,t}^{b_k})\}^2}{2\sigma_k^2} - \ln\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_k}\right) \right] + \lambda \sum_{a=0}^2 \left(F_{a,2021} - \frac{1}{3} \sum_{t=2019}^{2021} \hat{F}_{a,t} \right)^2 \quad (5)$$

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、初めに λ を 0~0.9 の間を 0.1 刻みで変化させるとともに、 $\lambda = 0.9999$ について計算した。続いて、後述するレトロスペクティブバイアスの基準（全 5 項目で $\pm 20\%$ 以内）を満たしたシナリオ ($\lambda = 0.1, 0.2, 0.7, 0.8, 0.9999$) について、その周辺 ± 0.05 の範囲において 0.01 刻みで λ を変化させる追加計算を行った（補足表 2-4）。 $I_{k,y}$ は指標値 k の t 年の値をそれぞれ表す。 q_k は 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 k の対象（親魚量、加入量）の値、 b_k は 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 はあ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、初期値が 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) としたジッター分析 (反復数 10 回) を行うことにより、初期値 = 1 の場合に最尤推定値が得られているかを診断した。さらに、最尤推定値が得られていないと判断されたモデルについては、ジッター分析において最大の対数尤度が得られた初期値の組み合わせと推定されたターミナル F を抽出するとともに、ターミナル F のいずれかが 0 または無限大に収束・

発散している場合を取り除いて、最尤推定される初期値の傾向とターミナル F 推定値を比較した。その結果、最尤推定された初期値の組み合わせでは同等のターミナル F が推定されていたため、このターミナル F の推定値を初期値として再度チューニング VPA を実施した。

q_k および b_k は、それぞれ以下の式 (6) (7) で推定した。

$$q_k = \exp \left\{ \frac{1}{n_k} \sum_t \ln \left(\frac{I_{k,t}}{X_{k,t}^{b_k}} \right) \right\} \quad (6)$$

$$b_k = \frac{\text{Cov}[\ln(I_k), \ln(X_k)]}{V[\ln(X_k)]} \quad (7)$$

ここで n_k はチューニングに使用した k の年数であり、 V と Cov はそれぞれ分散と共分散を表す。産卵量 ($k = 1$) と北上期調査 0 歳魚 CPUE ($k = 2$) のいずれも非線形性を仮定した ($b_k \neq 1$)。また、 n_k については、「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) で通常加入期とされている 2010 年以降のデータを用いた。

Mohn's ρ は、最新年 T (2021 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新年 ($T - i$ 年) の推定値との相対値の平均値である。データを遡る年数は 5 年 ($i = 1, 2, \dots, 5$) とした。資源量、資源尾数、加入量、親魚量、および漁獲係数の平均の全 5 項目について、レトロスペクティブバイアスが $\pm 20\%$ ($\rho = \pm 0.2$) 未満である中で、Mohn's ρ の絶対値の合計は、 $\lambda = 0.98, 0.99, 0.9999$ 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。しかし、これはチューニングの効果が得られないことによるものであるため、Mohn's ρ の絶対値の合計が、これらのモデルの次に低い値である $\lambda = 0.66$ 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 2-4)。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、推定結果にほとんど影響しないことによるものと考えられる。

「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、親魚量等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)。残差プロットでは、産卵量 ($\sigma = 0.22$) は北上期調査 0 歳魚 CPUE ($\sigma = 0.97$) 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)。推定された非線形係数 b は産卵量で 0.624 と hyper stability の傾向があり、北上期調査 0 歳魚 CPUE は 6.689 と hyper depletion の傾向がみられた。また、ジャックナイフ解析の結果では、どちらの指標値を除いた場合も 1~3 歳魚のターミナル F の推定値が変わる (補足図 2-3) ことから、両指標値の情報が親魚量の推定値に寄与していると考えられるが、北上期調査 0 歳魚 CPUE の指標値を除くと 1

歳魚以上のターミナル F が低下するのに対し、産卵量を除くと上昇したことから、産卵量は親魚量の増加に寄与しているのに対し、北上期調査 0 歳魚 CPUE は親魚量の減少に寄与している（補足図 2-3）。

(4) 自然死亡係数 M

M については平成 17 年度資源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）から算出した。

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

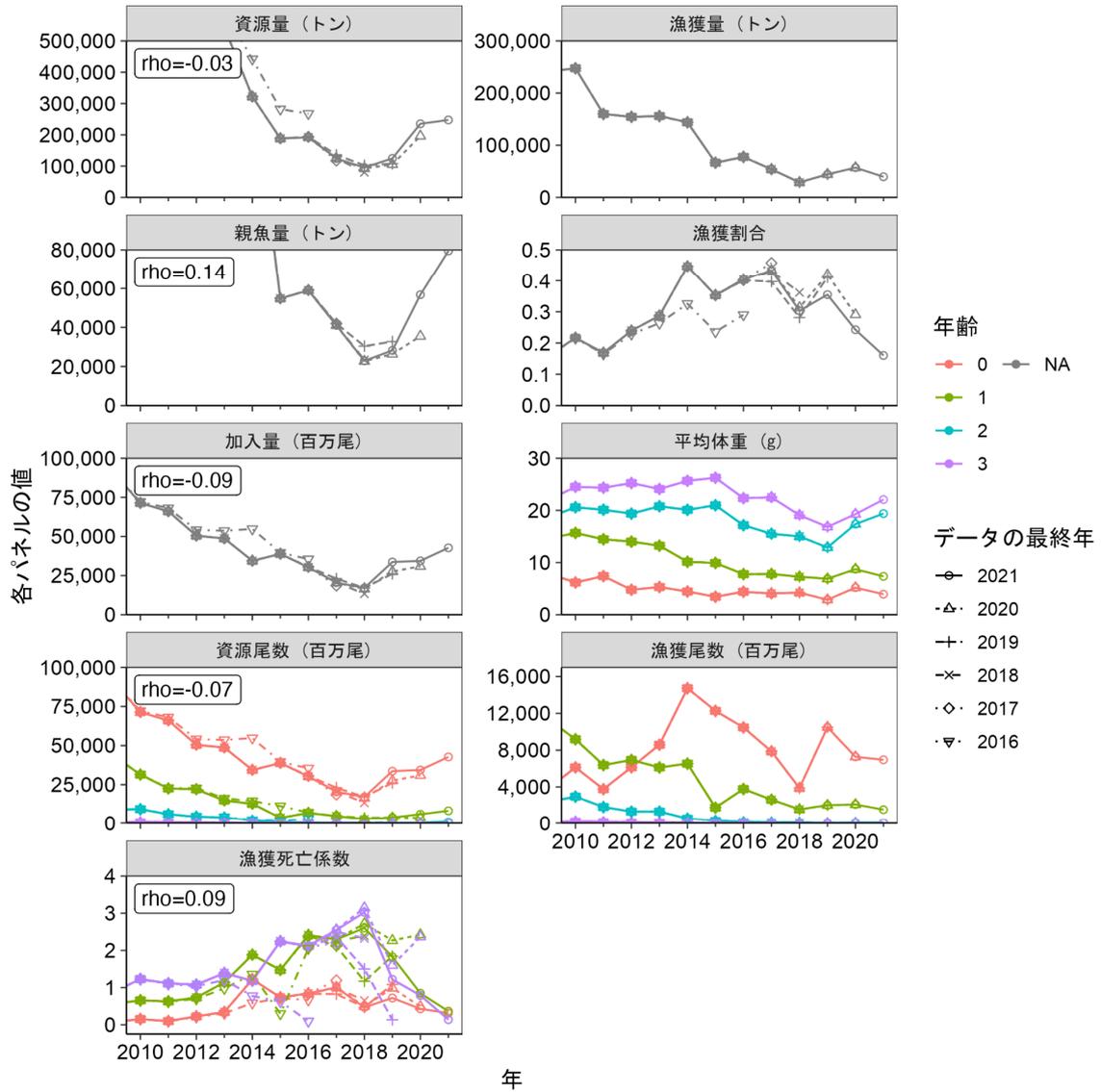
年齢-体長関係の仮定から L_{∞} は 17.0 cm、K は 0.67 とし、平均水温 T は、1950～2000 年の黒潮域（11 月～翌年 5 月）および黒潮親潮移行域（6～10 月）の平均水温である 21.1℃とした。太平洋系カタクチイワシのような小型浮魚類では、高齢になってもカツオなど大型魚類や鯨類などの海産哺乳類による強い捕食圧にさらされている上に、再生産活動による消耗と老衰によって高齢魚の M は急速に増加するため、成長に伴う M の変化傾向は典型的な Bathtub 曲線を描くと考えられる。そこで Chen and Watanabe（1989）を参考に、経験則から求められた平均の M を各年齢に分配した。なお、0～1 歳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）の報告から、Early adult～Late adult の推定値である 1.0 を採用した。また、Bathtub 曲線に基づくシラス期の M は 0 歳魚の値よりも高くなるが、本報告ではシラス期は資源評価の対象に含めていないため、0 歳魚の M は Bathtub 曲線に基づく値よりも低い値を仮定している。

引用文献

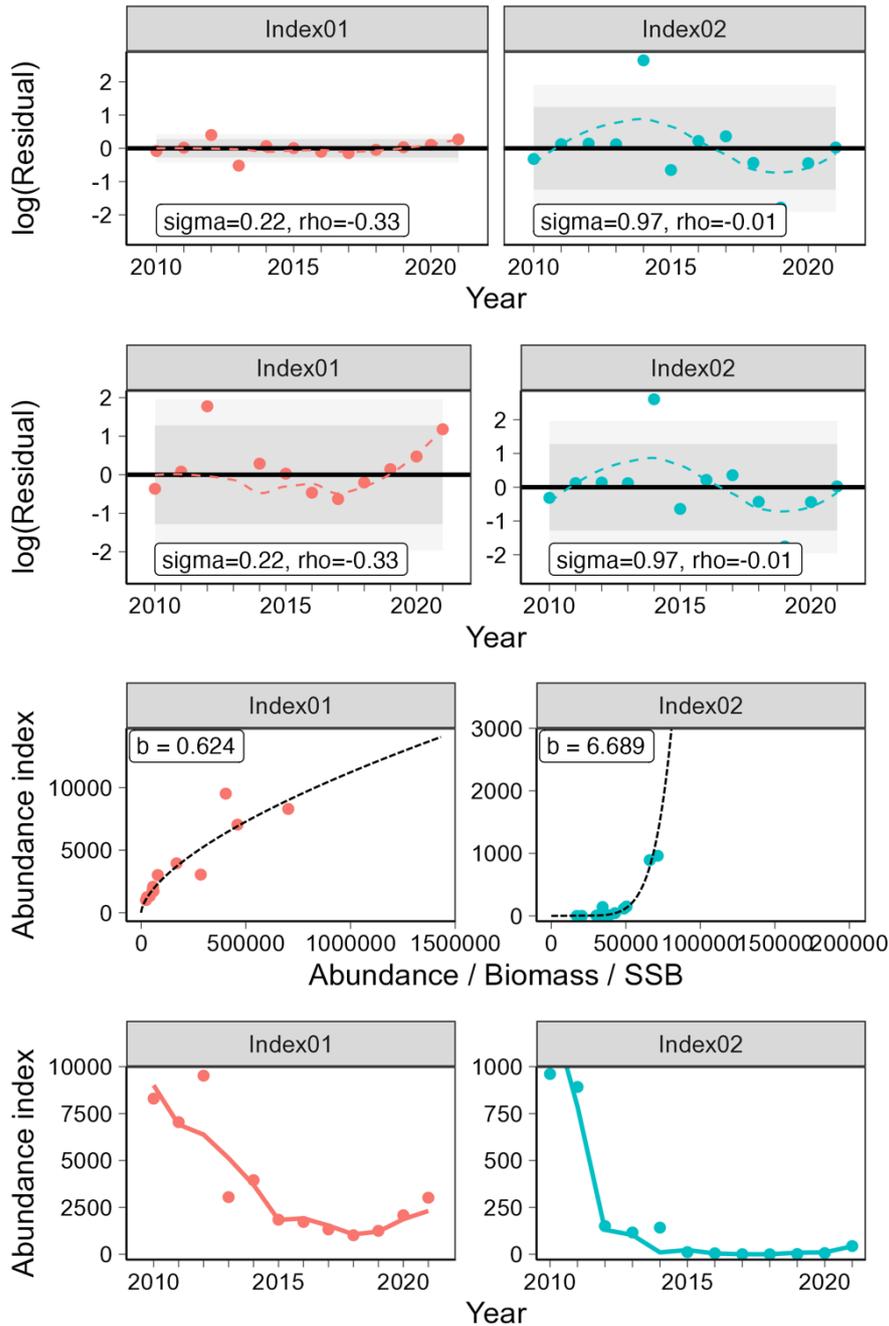
- Butler, J.L., P.E. Smith and N.C.H. Lo (1993) The effect of natural variability of life-history parameters on anchovy and sardine population growth. *CalCOFI Rep.*, **34**, 104-111.
- Chen, S. and S. Watanabe (1989) Age dependence of natural mortality coefficient in Fish population dynamics. *Nippon 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 ($\lambda=0.66$ 、全 F 推定法) のレトロスペクティブ解析結果

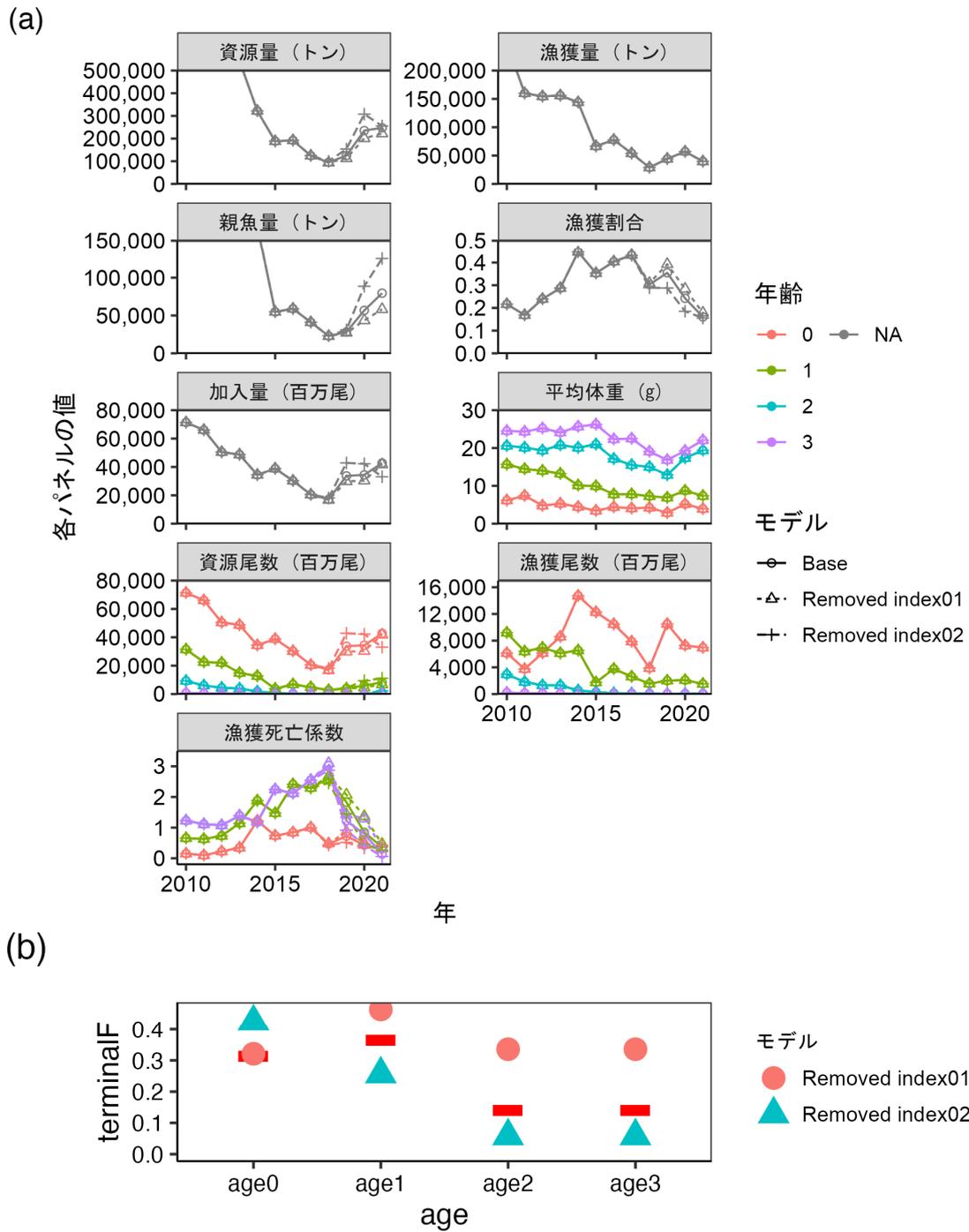


補足図 2-2. 残差プロット

- 1 段目：資源量指標値と予測値の対数残差の時系列プロット
 - 2 段目：資源量指標値と予測値の標準化対数残差の時系列プロット
 - 3 段目：資源量指標値と予測値の回帰関係
 - 4 段目：資源量指標値の観測値（点）と予測値（線）の時系列プロット
- 指標値（index 01：産卵量、index 02：北上期調査推定 0 歳魚 CPUE）。

上段の σ は観測誤差、 ρ は残差の 1 次の自己相関係数（危険率 5% で有意の場合は右肩に*が付く）、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。

左下パネル中の b は資源量指標値の観測値と予測値の非線形係数を表す。



補足図 2-3. 親魚量、資源量、漁獲割合、加入尾数、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) の赤横棒は両指標値を含めた場合、すなわち (a) の Base モデルの推定値を示す。指標値 (index 01 : 産卵量、index 02 : 北上期調査推定 0 歳魚 CPUE)。

補足表 2-1. 資源計算に用いた年齢別の成熟率と自然死亡係数 M

年齢	成熟率	M
0歳	0	1.0
1歳	1.0	1.0
2歳	1.0	1.6
3歳	1.0	1.9

補足表 2-2. チューニング指数

年	産卵量 (兆粒)	北上期調査 0歳魚CPUE (尾/網)
1978		
1979		
1980		
1981		
1982	1,081.6	
1983	958.5	
1984	745.7	
1985	1,116.1	
1986	1,498.7	
1987	1,627.5	
1988	852.7	
1989	1,016.6	
1990	2,826.9	
1991	7,214.6	
1992	5,924.7	
1993	3,122.7	
1994	4,644.0	
1995	3,988.2	
1996	3,282.1	
1997	4,704.2	
1998	5,797.1	
1999	15,622.5	
2000	10,581.9	
2001	6,749.7	971.4
2002	10,642.6	1,826.0
2003	13,134.1	357.0
2004	14,313.2	247.5
2005	9,882.0	472.0
2006	9,579.4	79.8
2007	10,909.2	869.1
2008	4,427.1	518.3
2009	9,246.3	963.0
2010	8,296.7	960.8
2011	7,042.0	891.8
2012	9,518.2	150.4
2013	3,045.7	116.1
2014	3,948.6	142.0
2015	1,842.1	11.7
2016	1,725.0	5.3
2017	1,325.9	0.4
2018	1,014.1	0.1
2019	1,249.4	1.5
2020	2,081.9	6.4
2021	3,014.1	43.8

チューニング VPA に使用した資源量指標値は太字で示した。

補足表 2-3. 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)				合計	年齢別平均体重 (g)			
	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	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	10,471.3	3,777.2	124.4	5.2	14,378.0	4.4	7.8	17.1	22.3
2017	7,868.5	2,611.2	93.3	2.7	10,575.7	4.1	7.8	15.5	22.5
2018	3,883.8	1,553.3	76.1	1.3	5,514.5	4.2	7.3	15.0	19.1
2019	10,494.6	2,009.9	23.9	0.5	12,528.8	2.9	6.9	12.9	16.8
2020	7,277.4	2,087.7	57.3	1.0	9,423.4	5.2	8.7	17.4	19.3
2021	6,952.3	1,525.2	55.4	1.1	8,534.0	3.9	7.4	19.4	22.1

補足表 2-4. 全 F 推定法モデルのレトロバイアスの一覧

シナリオ名	初期値	Mohn's ρ (5年遡及)					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	1	0.025	0.022	0.014	0.054	-0.069	0.184
2 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.05	1	-0.046	-0.087	-0.108	0.102	0.209	0.553
3 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.06	1	-0.046	-0.087	-0.108	0.103	0.204	0.547
4 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.07	1	-0.045	-0.086	-0.107	0.103	0.199	0.541
5 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.08	1	-0.045	-0.086	-0.107	0.104	0.196	0.537
6 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.09	1	-0.044	-0.086	-0.107	0.104	0.193	0.534
7 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.1	1	-0.044	-0.085	-0.106	0.105	0.191	0.531
8 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.11	1	-0.044	-0.085	-0.106	0.105	0.190	0.529
9 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.12	1	-0.043	-0.085	-0.106	0.105	0.189	0.528
10 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.13	0.315, 0.364, 0.291	-0.141	-0.152	-0.167	-0.073	0.371	0.903
11 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.14	0.315, 0.364, 0.287	-0.043	-0.084	-0.105	0.105	0.189	0.526
12 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.15	0.315, 0.364, 0.283	-0.140	-0.152	-0.167	-0.073	0.372	0.904
13 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.16	1	-0.042	-0.084	-0.105	0.105	0.190	0.526
14 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.17	1	-0.042	-0.084	-0.104	0.105	0.191	0.526
15 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.18	1	Inf	Inf	Inf	-0.075	0.101	-
16 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.19	1	-0.042	-0.083	-0.104	0.104	0.193	0.527
17 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.2	1	-0.042	-0.083	-0.104	0.104	0.195	0.528
18 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.21	1	-0.042	-0.083	-0.104	0.104	0.196	0.529
19 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.22	0.315, 0.364, 0.260	-0.140	-0.152	-0.166	-0.077	0.386	0.920
20 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.23	1	-0.041	-0.083	-0.103	0.104	0.200	0.531
21 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.24	1	-0.041	-0.083	-0.103	0.104	0.202	0.533
22 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.25	1	-0.041	-0.083	-0.103	0.103	0.204	0.534
23 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.65	1	-0.143	-0.155	-0.170	-0.077	0.442	0.986
24 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.66	0.312, 0.364, 0.139	-0.025	-0.073	-0.093	0.145	0.094	0.430
25 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.67	0.312, 0.364, 0.137	-0.025	-0.073	-0.093	0.146	0.098	0.435
26 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.68	0.312, 0.365, 0.134	-0.025	-0.072	-0.092	0.147	0.103	0.440
27 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.69	0.312, 0.365, 0.131	-0.025	-0.072	-0.092	0.148	0.108	0.445
28 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.7	0.312, 0.365, 0.129	-0.024	-0.072	-0.092	0.149	0.113	0.451
29 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.71	0.312, 0.366, 0.126	-0.024	-0.072	-0.092	0.151	0.118	0.456
30 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.72	0.312, 0.366, 0.124	-0.024	-0.072	-0.092	0.152	0.124	0.463
31 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.73	0.312, 0.367, 0.121	-0.023	-0.072	-0.091	0.153	0.130	0.469
32 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.74	0.312, 0.367, 0.118	-0.023	-0.072	-0.091	0.155	0.136	0.476
33 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.75	0.312, 0.368, 0.116	-0.023	-0.072	-0.091	0.156	0.142	0.483
34 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.76	0.312, 0.369, 0.113	-0.023	-0.071	-0.090	0.157	0.149	0.491
35 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.77	0.311, 0.370, 0.110	-0.022	-0.071	-0.090	0.159	0.156	0.499
36 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.78	0.311, 0.371, 0.107	-0.022	-0.071	-0.090	0.161	0.164	0.508
37 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.79	0.311, 0.372, 0.105	-0.022	-0.071	-0.089	0.163	0.172	0.517
38 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.8	0.311, 0.373, 0.102	-0.021	-0.071	-0.089	0.165	0.181	0.527
39 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.81	0.3113, 0.3747, 0.0988	-0.021	-0.071	-0.089	0.167	0.191	0.538
40 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.82	0.3113, 0.3765, 0.0958	-0.020	-0.071	-0.088	0.169	0.201	0.549
41 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.83	0.3112, 0.3787, 0.0928	-0.020	-0.070	-0.088	0.172	0.211	0.561
42 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.84	0.3113, 0.3813, 0.0897	-0.019	-0.070	-0.087	0.175	0.223	0.574
43 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.85	0.3113, 0.3845, 0.0865	-0.003	-0.059	-0.079	0.214	-0.229	0.584
44 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.95	0.3298, 0.6008, 0.0483	0.261	0.100	0.044	0.942	-0.540	1.888
45 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.96	0.3408, 0.6460, 0.0442	0.351	0.150	0.078	1.209	-0.567	2.356
46 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.97	0.3579, 0.6689, 0.0395	0.556	0.262	0.148	1.827	-0.613	3.405
47 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.98	1	0.031	0.031	0.031	0.029	-0.008	0.130
48 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.99	1	0.025	0.025	0.023	0.030	-0.009	0.112
49 産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.9999	0.961, 2.261, 1.883	0.022	0.023	0.020	0.031	-0.010	0.106
0.1刻み							
産卵量&北上期0-2010-allF-λ0	0.316, 0.365, 0.343	-0.151	-0.161	-0.174	-0.087	1.1E+42	1.1E+42
産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.1	1	-0.044	-0.085	-0.106	0.105	0.191	0.531
産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.2	1	-0.042	-0.083	-0.104	0.104	0.195	0.528
産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.3	1	-0.041	-0.082	-0.102	0.102	0.215	0.543
産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.4	0.314, 0.363, 0.206	-0.041	-0.082	-0.101	0.101	0.242	0.567
産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.5	1	-0.041	-0.082	-0.101	0.098	0.276	0.597
産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.6	1	-0.142	-0.154	-0.170	-0.074	0.413	0.953
産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.7	0.312, 0.365, 0.129	-0.024	-0.072	-0.092	0.149	0.113	0.451
産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.8	0.311, 0.373, 0.102	-0.021	-0.071	-0.089	0.165	0.181	0.527
産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.9	0.3127, 0.4184, 0.0691	0.010	-0.050	-0.068	0.253	-0.246	0.627
産卵量&北上期0-2010-allF-λ0.9999	0.961, 2.261, 1.883	0.022	0.023	0.020	0.031	-0.010	0.106

F 推定法モデルにおいて、λ を変更した場合のレトロバイアス値 (Mohn's ρ) を示す。シナリオ名の Plain はチューニングなしの VPA を、allF は全 F 推定法を表す。緑色セルは Mohn's ρ の絶対値が 0.2 未満の場合を示す。Mohn's ρ がいずれも 0.2 未満のシナリオ名を緑文字で示した。太枠で囲ったシナリオは採用したシナリオを示す。本表下部は 0.1 刻みの絞り込み過程の結果。

補足資料3 管理基準値案と禁漁水準案等

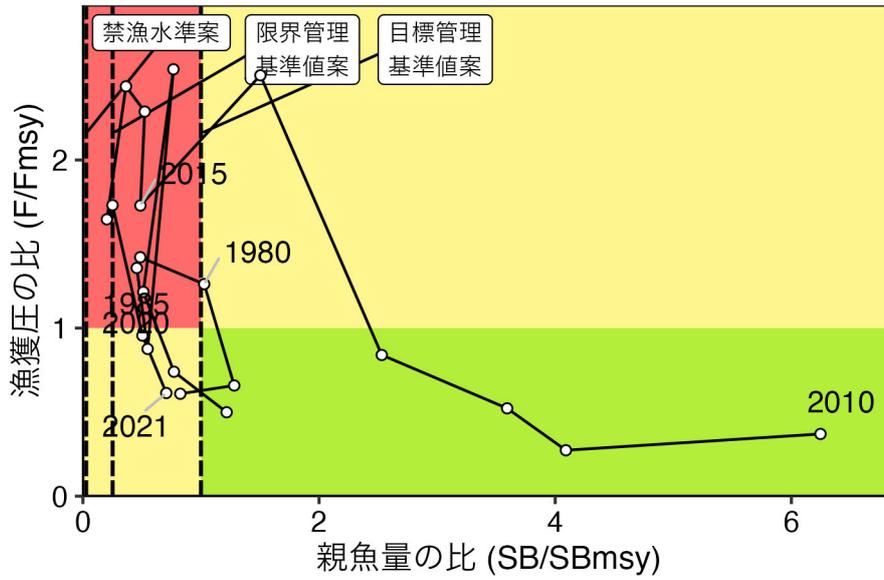
令和3年9月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」により、目標管理基準値(SBtarget)にはMSY水準における親魚量(SBmsy:112千トン)、限界管理基準値(SBlimit)にはMSYの60%が得られる親魚量(SB0.6msy:28千トン)、禁漁水準(SBban)にはMSYの10%が得られる親魚量(SB0.1msy:3千トン)を用いることが提案されている(木下ほか2021、補足表6-2)。

目標管理基準値案と、MSYを実現する漁獲圧(F)を基準にした神戸プロットを補足図3-1に示す。コホート解析により得られた2021年の親魚量(SB2021:79千トン)は目標管理基準値案を下回るが、限界管理基準値案および禁漁水準案は上回る。本系群における2014年以降の漁獲圧は、MSYを実現する漁獲圧(SBmsy)を上回っていたが、2020~2021年にはSBmsyを下回ったと判断される(補足表6-3)。

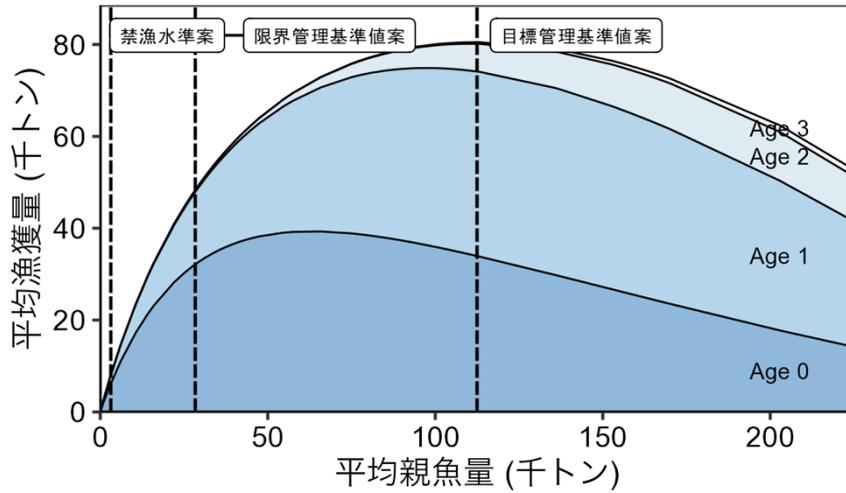
平衡状態における平均親魚量と年齢別平均漁獲量との関係を補足図3-2に示す。平均親魚量が限界管理基準値以下では0歳および1歳魚が殆どを占めている。しかし、親魚量が増加するにつれて高齢魚の比率が高くなる傾向がみられる。

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)
 白丸は通常加入期とした年 (1978~1987 年および 2010~2021 年) の結果である。



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 2021 年の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2022～2053 年までの将来予測計算を行った（補足資料 5）。将来予測における加入量は、各年の親魚量から再生産関係式を用いて予測した。加入量の不確実性として、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。2022 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（2017～2021 年、44.7 千トン）を仮定した。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、今年度評価における 2019～2021 年の漁獲圧に対応する %SPR を与える F 値とした。2023 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。

(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・回復する達成確率を勘案して、親魚量に対応した漁獲圧 (F) 等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漁獲圧を削減するとともに、親魚量が限界管理基準値以上にある場合には F_{msy} に調整係数 β を乗じた値を漁獲圧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」により提案された漁獲管理規則案を示す。ここでは例として調整係数 β を 0.8 とした場合を示した。なお、研究機関会議提案では「 β が 0.9 以下であれば、10 年後に目標管理基準値案を 50%以上の確率で上回ると推定される」とされている。

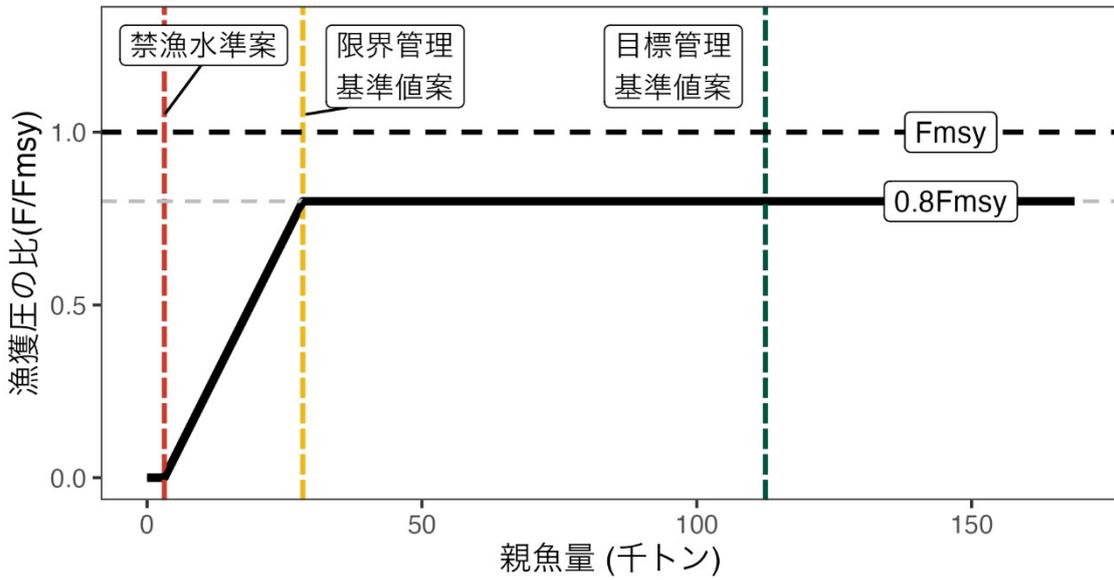
(3) 2023 年の予測値

漁獲管理規則案に基づき算出された 2023 年の平均漁獲量は β を 0.8 とした場合には 101 千トン、 β を 1.0 とした場合には 116 千トンであった（補足表 6-4）。2023 年に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも限界管理基準値を上回り、平均 191 千トンと見込まれた。

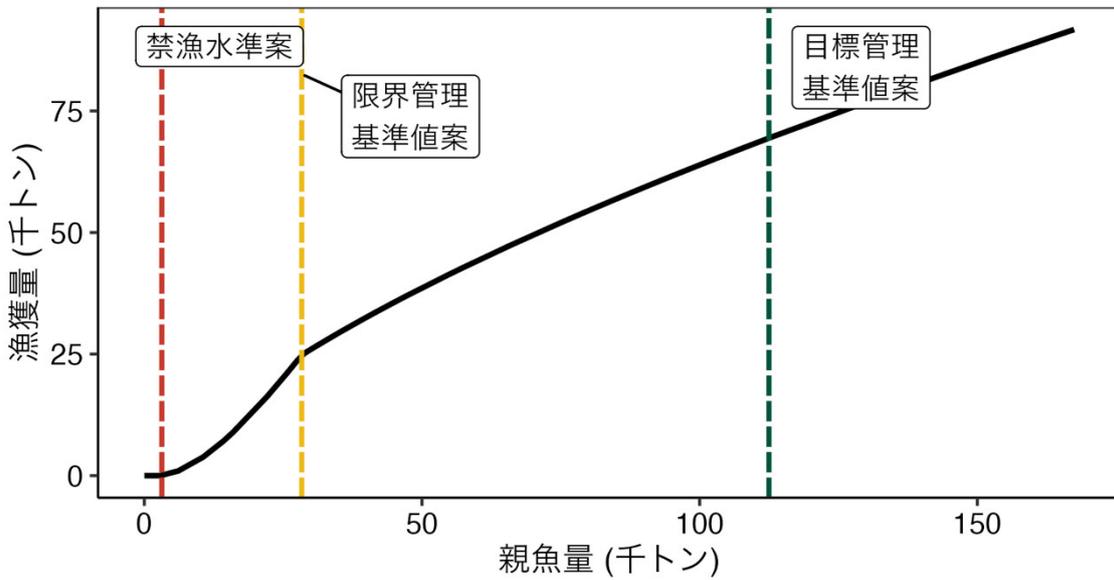
(4) 2024 年以降の予測

2024 年以降も含めた将来予測の結果を補足図 4-2 および補足表 4-1、4-2 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、2033 年の平均親魚量の予測値は β を 0.8 とした場合には 137 千トン（90%予測区間は 87 千～203 千トン）であり、 β を 1.0 とした場合には 113 千トン（90%予測区間は 70 千～171 千トン）である（補足表 6-5）。予測値が 2033 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（補足表 4-1）。また、2033 年に限界管理基準値案を上回る確率は β が 1.0 以下で 100%である。現状の漁獲圧（F2019-2021）を継続した場合の 2033 年の平均親魚量の予測値は 99 千トン（90%予測区間は 60 千～151 千トン）であり目標管理基準値案を上回る確率は 27%、限界管理基準値案を上回る確率は 100%である（補足表 6-5）。

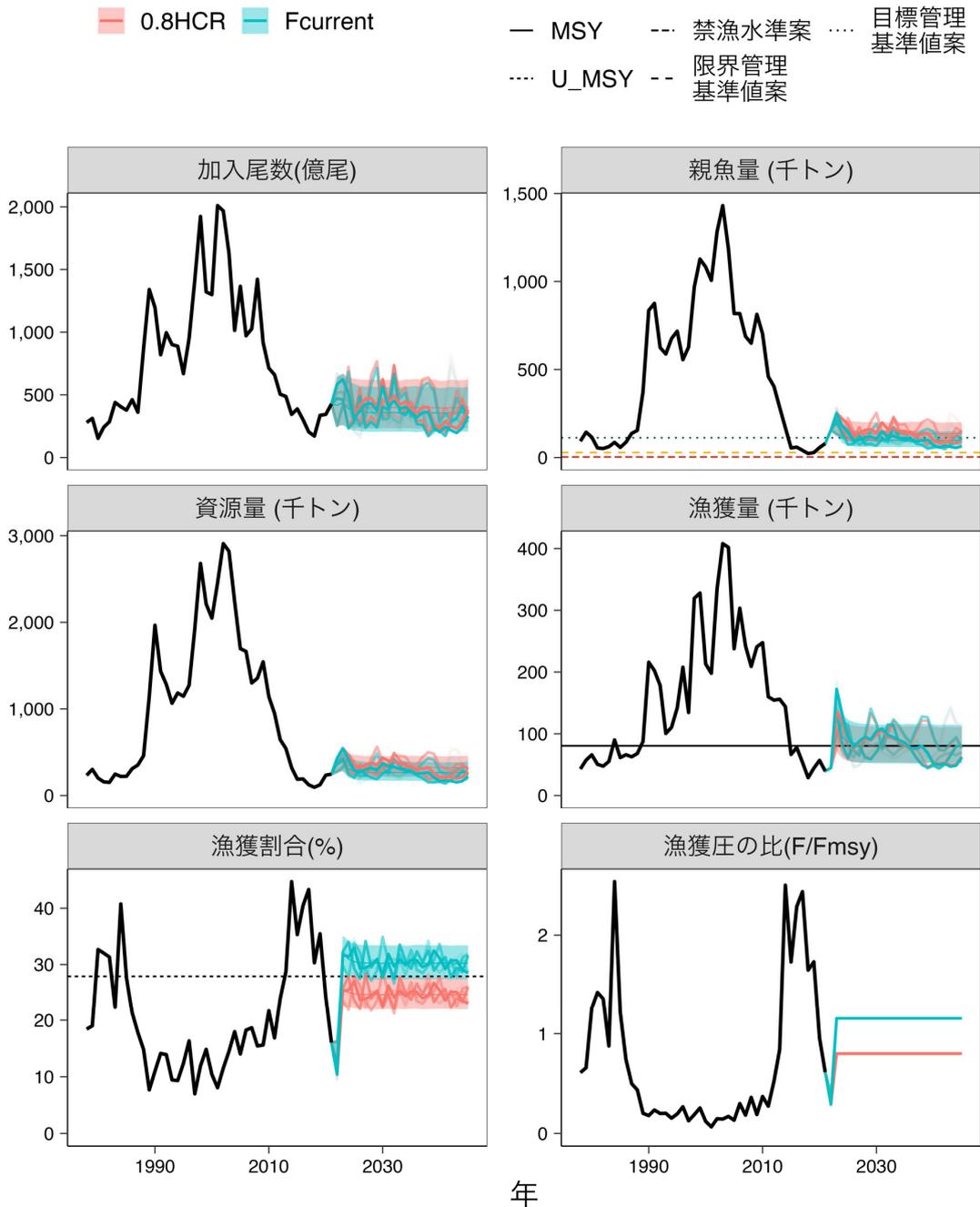
a) 縦軸を漁獲圧にした場合



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, 細い実線: 平均値, 太い実線: 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将来予測 (赤線) と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測 (緑色)

細線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、太実線は 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、黄点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。漁獲量の図の水平な黒実線は MSY を示す。調整係数 $\beta=0.8$ とする一定の漁獲圧で漁獲した結果を用いた。2022 年の F は直近 5 年平均の漁獲量 (2017~2021 年、44.7 千トン) 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	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	100	99	76	58	51	47	46	45	45	45	46	45	45	45
0.9	0	100	99	83	69	64	61	61	59	59	59	60	60	59	59
0.8	0	100	99	89	80	76	74	74	73	73	74	74	73	73	73
0.7	0	100	99	93	88	86	86	85	85	85	85	85	85	84	85
0.6	0	100	99	96	94	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
0.5	0	100	99	98	98	97	98	97	97	98	98	98	97	97	97
0.4	0	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.3	0	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2019-2021	0	100	99	64	41	32	29	28	27	26	27	27	27	26	27

b) 限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
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
F2019-2021	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

太字は漁獲管理規則に基づく管理開始から10年目となる目標年の値を示す。2023年以降の β を0~1.0で変更した場合、および現状の漁獲圧(F2019-2021)で漁獲した場合の将来予測の結果を示す。

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	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	79	156	191	138	122	117	115	114	113	113	113	113	113	113	113
0.9	79	156	191	146	132	128	126	125	124	124	124	124	124	124	124
0.8	79	156	191	155	143	139	137	137	136	136	136	136	137	136	136
0.7	79	156	191	165	155	152	151	150	150	150	150	150	150	149	149
0.6	79	156	191	175	169	167	166	166	165	165	166	165	166	165	165
0.5	79	156	191	187	184	184	183	183	183	183	183	183	183	182	183
0.4	79	156	191	199	201	203	203	203	203	203	203	203	204	202	203
0.3	79	156	191	213	221	225	226	227	226	226	227	227	227	226	226
0.2	79	156	191	228	243	250	252	254	253	253	254	254	254	253	253
0.1	79	156	191	244	269	280	284	285	285	285	286	286	286	284	285
0.0	79	156	191	262	299	314	320	322	322	322	323	323	324	322	323
F2019-2021	79	156	191	127	109	103	101	99	99	98	99	98	99	98	98

b) 漁獲量の平均値の推移 (千トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	40	45	116	93	85	83	82	81	81	81	81	81	81	80	80
0.9	40	45	109	90	84	82	81	81	80	80	80	80	80	80	80
0.8	40	45	101	87	82	81	80	79	79	79	79	79	79	79	79
0.7	40	45	92	83	79	78	78	77	77	77	77	77	77	77	77
0.6	40	45	82	77	75	75	74	74	74	74	74	74	74	74	74
0.5	40	45	72	70	70	70	70	69	69	69	69	69	69	69	69
0.4	40	45	60	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
0.3	40	45	47	51	53	53	53	53	53	53	54	54	54	53	53
0.2	40	45	33	38	40	40	41	41	41	41	41	41	41	41	41
0.1	40	45	17	21	22	23	23	23	23	23	24	24	24	23	23
0.0	40	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2019-2021	40	45	126	95	86	83	81	81	80	80	80	80	80	80	80

太字は漁獲管理規則案に基づく管理開始から10年目となる目標年の値を示す。2023年以降の β を0~1.0で変更した場合、および現状の漁獲圧(F2019-2021)で漁獲した場合の将来予測の結果を示す。

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。2022 年以降の加入量の予測には、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・ホルト型関係式 ($a=1.039$ 、 $b=1.843 \times 10^{-5}$ 、 $SD=0.288$) から推定される値を用いた(木下ほか 2021b)。なお、再生産関係のパラメータ推定に使用するデータは、令和 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ている。加入量の残差の自己相関は考慮していない。

将来予測における漁獲係数 F は、「令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2022-ABCWG02-01)」における 1 系資源の管理規則に基づき算出される値を用いた。選択率や漁獲物平均体重等の値には、上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」において提案された各種管理基準値案の推定に用いた値を引き続き用いた(補足表 5-1)。これらは再生産関係と同じく、令和 2 (2020) 年度の資源評価に基づく値である。

2022 年の漁獲圧 (F2022) は、2022 年の漁獲量が直近 5 年平均 (2017~2021 年) の漁獲量 44.7 千トンになるように仮定した。これは、2022 年の F に現状の漁獲圧 (F2019-2021) を仮定した場合、2022 年の漁獲量は 110 千トンとなるが、直近の 2022 年 6 月までの太平洋ブロックの主要港水揚量(2021 年並であり、2017~2021 年の平均をやや下回る水準にある)を考慮すると、2017~2021 年の平均漁獲量を仮定することが妥当と考えられたためである。

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法を用いた。

$$N_{a+1,t+1} = N_{a,t} \exp(-F_{a,t} - M_a) \quad (a = 0, 1, 2) \quad (8)$$

漁獲尾数は、上式 (8) 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 (9) により求めた。

$$C_{a,t} = N_{a,t} \{1 - \exp(-F_{a,t})\} \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) \quad (a = 0, 1, 2, 3) \quad (9)$$

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)	F2019-2021 (注 3)	平均体重 (g)	自然死亡 係数	成熟 割合
0 歳	0.27	0.38	0.13	4.7	1.0	0.0
1 歳	0.89	1.23	0.42	10.0	1.0	1.0
2 歳	1.00	1.39	0.47	17.8	1.6	1.0
3 歳	1.00	1.39	0.47	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、今回の資源評価で推定された 2021 年資源量のもとで 2022 年の漁獲量が直近 5 年平均（2017～2021 年、44.7 千トン）になるように仮定した F。

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 MSY

補足表 6-3. 最新年の親魚量と漁獲圧

項目	値	説明
SB2021	79 千トン	2021 年の親魚量
F2021	2021 年の漁獲圧(漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳) =(0.31, 0.36, 0.14, 0.14)	
U2021	16%	2021 年の漁獲割合
%SPR (F2021)	60.4%	2021 年の%SPR
%SPR (F2019-2021)	40.9%	現状(2019~2021 年)の漁獲圧に対応する%SPR*
管理基準値案との比較		
SB2021/ SBmsy (SBtarget)	0.71	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 2021 年の親魚量の比
F2021/ Fmsy	0.61	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2021 年の漁獲圧の比*
親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る	
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る	
親魚量の動向	増加	

* 2021 年の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を%SPR 換算して算出し求めた比率。

補足表 6-4. 予測漁獲量と予測親魚量

2023 年の親魚量(予測平均値):191 千トン			
項目	2023 年の 漁獲量 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2019-2021)	2023 年の 漁獲割合(%)
$\beta=1.0$	116	0.87	29
$\beta=0.8$	101	0.69	26
$\beta=0.6$	82	0.52	21
$\beta=0.4$	60	0.35	15
$\beta=0.2$	33	0.17	8
$\beta=0$	0	0	0
F2019-2021	126	1.00	32

補足表 6-5. 異なる β を用いた将来予測結果

考慮している不確実性:加入量					
β	2033 年 の親魚量 (千トン)	90% 予測区間 (千トン)	2033 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	70 – 171	45	100	100
$\beta=0.8$	137	87 – 203	73	100	100
$\beta=0.6$	166	108 – 242	93	100	100
$\beta=0.4$	204	137 – 292	99	100	100
$\beta=0.2$	254	175 – 356	100	100	100
$\beta=0$	324	228 – 444	100	100	100
F2019-2021	99	60 – 151	27	100	100

補足資料 7 調査結果の概要

資源量調査

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）に、改良型ノルパックネット（口径45cm、円筒円錐形、目合0.335mm）の鉛直曳採集を実施し、得られたデータをフレスコ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、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、補足図7-3）。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8cm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）:

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

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30m、コード目合17mm）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7-4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7-5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

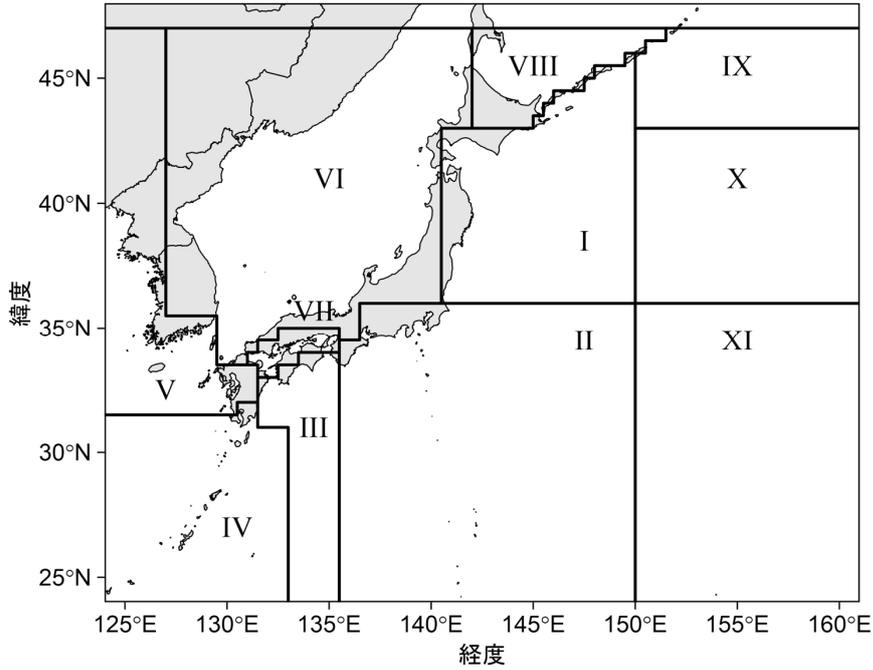
- 石田 実・菊地 弘 (1992) 日本の太平洋岸（常磐~薩南海域）におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況:1989年1月~1990年12月. 南西海区水産研究所・中央水産研究所, 86 pp.
- 菊地 弘・小西芳信 (1990) 日本の太平洋岸（常磐~薩南海域）におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況:1987年1月~1988年12月. 中央水産研究所（旧東海区水産研究所）・南西海区水産研究所, 72 pp.

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.

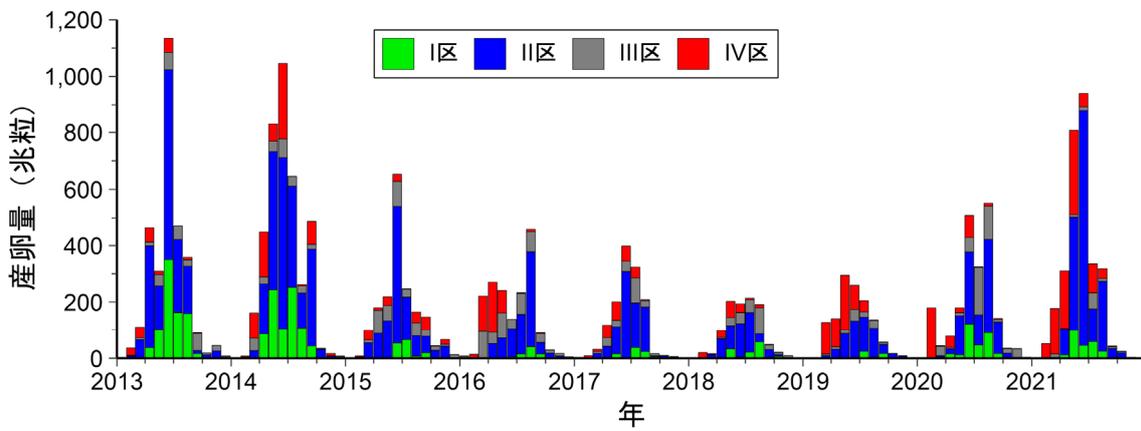
森慶一郎・黒田一紀・小西芳信 (1988) 日本の太平洋岸 (常磐～薩南海域) におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況:1978年1月～1986年12月. 東海区水産研究所, 321 pp.

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.

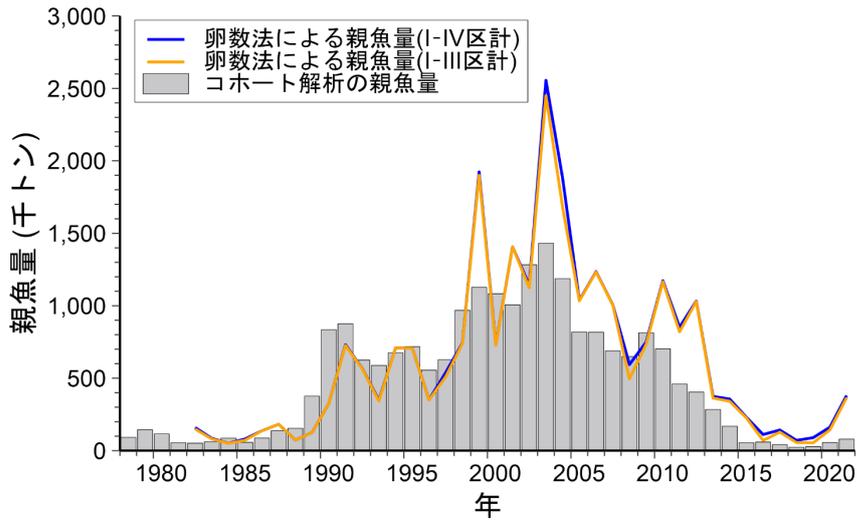
銭谷 弘・石田 実・小西芳信・後藤常夫・渡邊良朗・木村 量編 (1995) 日本周辺水域におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類、ウルメイワシ、およびマアジの卵仔魚とスルメイカ幼生の月別分布状況:1991年1月～1993年12月. 中央水産研究所, 368 pp.



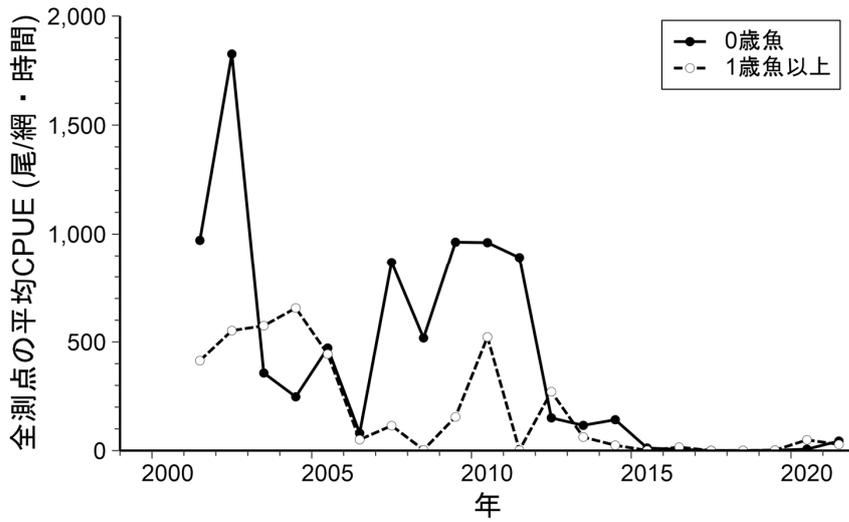
補足図 7-1. 卵・稚仔、プランクトン調査の海区区分



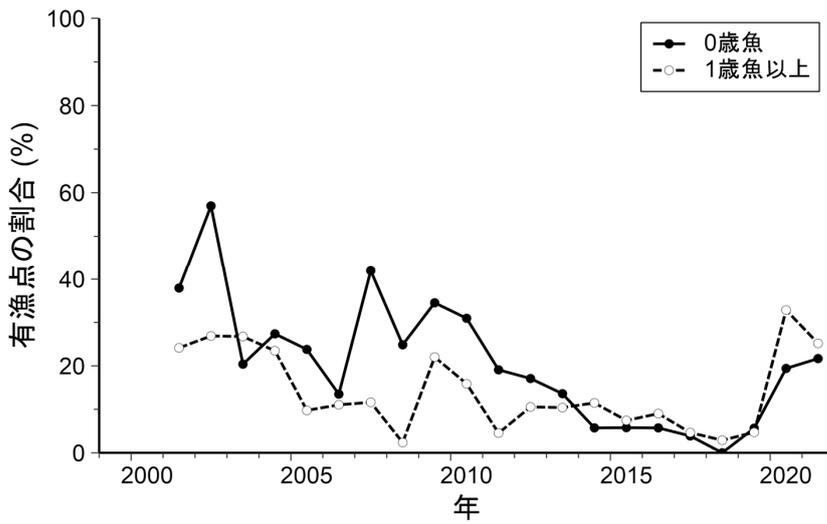
補足図 7-2. 2013 年以降のカタクチイワシの海区別月別産卵量



補足図 7-3. 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 7-4. 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 7-5. 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			北上期調査における 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)	1歳魚以上 (尾/網)
	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
CV	0.80	0.92	0.92	1.20	1.24

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
CV	1.10	0.73	1.21	1.15	1.26	0.74	1.80	1.20	0.24	0.13	0.13	0.13

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. (続き) 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	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	510.9	2.9	2.8	2.5	2.3	19.8	20.9	22.2	23.0	2.4	2.6	2.6	2.6
CV	0.06	0.09	0.09	0.07	0.17	0.08	0.10	0.23	0.05	0.03	0.02	0.04	0.25	0.18	0.18	0.18

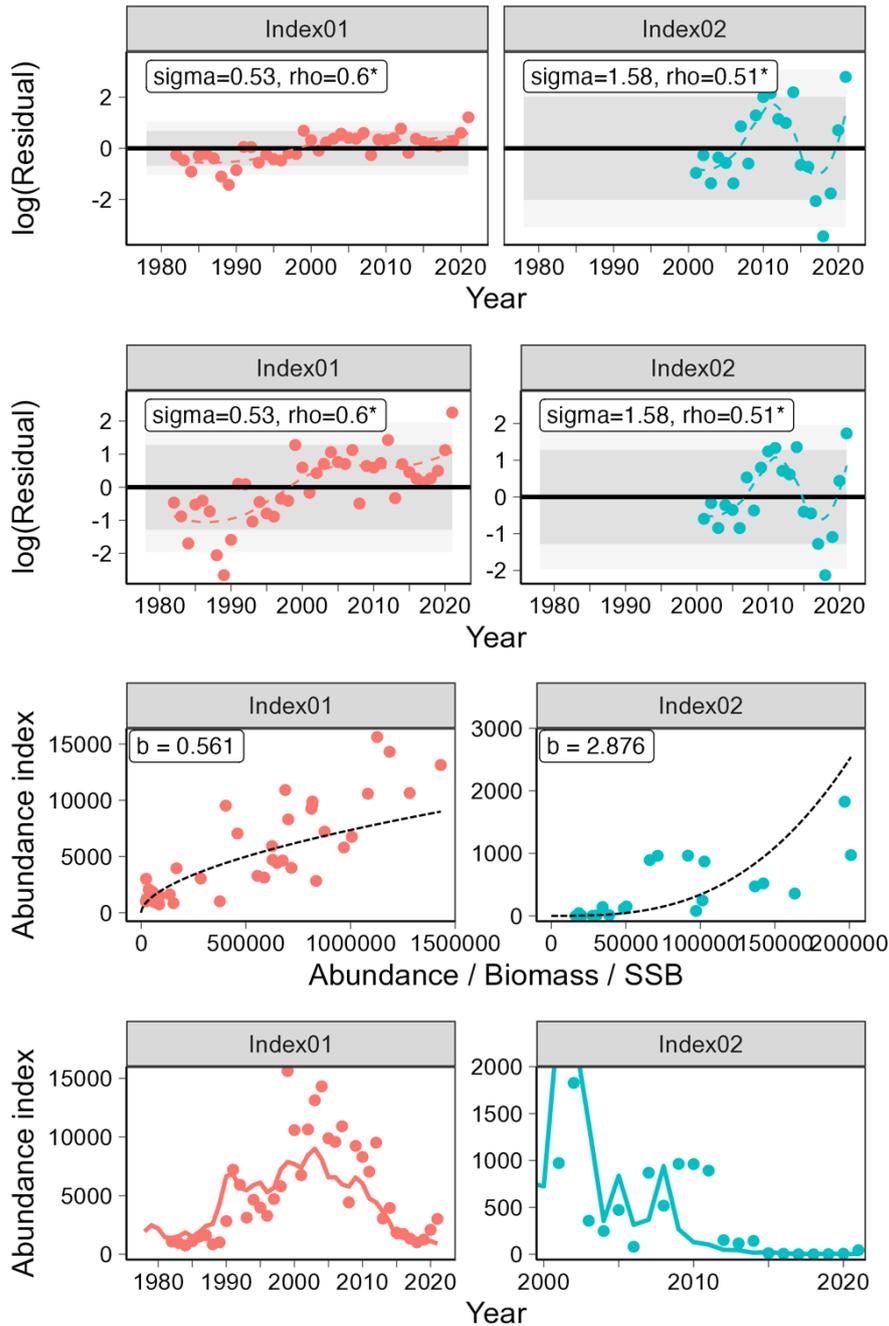
補足資料 8 チューニング VPA に関するチューニング期間とターミナル F の推定法

チューニング VPA については、チューニング期間として通常加入期の 2010 年以降を採用するとともに、ターミナル F の推定法として全 F 推定法を採用したが、前者としてはデータが利用可能な 1982 年（産卵量）および 2001 年（北上期調査 0 歳魚 CPUE）以降を採用した場合と、後者としては選択率 2 段階法を採用した場合についての検討も行った。

チューニング期間として、データが利用可能な 1982 年（産卵量）および 2001 年（北上期調査 0 歳魚 CPUE）以降を使用した場合の Mohn's ρ の結果を、2010 年以降のデータを使用した場合の結果とともに補足表 8-1 に示す。データが利用可能なすべての年を採用した場合には、資源量、資源尾数、加入量、親魚量、および漁獲係数の平均の全 5 項目について、レトロスペクティブバイアスが $\pm 20\%$ ($\rho = \pm 0.2$) 未満となるモデル（シナリオ）が 1 モデル ($\lambda = 0.9999$ のモデル) しか存在しないとともに、当該モデルの残差には 1 次の有意な自己相関が認められた（補足図 8-1）。そのため、チューニング期間としては通常加入期の 2010 年以降を採用することが妥当と考えられた。

また、チューニング期間として通常加入期の 2010 年以降を採用するとともに、ターミナル F の推定法として選択率 2 段階法を採用した場合の Mohn's ρ の結果を、全 F 推定法の結果とともに補足表 8-2 に示す。資源量、資源尾数、加入量、親魚量、および漁獲係数の平均の全 5 項目について、レトロスペクティブバイアスが $\pm 20\%$ ($\rho = \pm 0.2$) 未満である選択率 2 段階法のモデルは、 $\lambda = 0$ のモデルを除くすべてであった。このうち、 $\lambda = 0.9999$ および 0.9 のモデルでは、Mohn's ρ の絶対値の合計が非常に低い値となったが、これらのモデルによる資源量推定の結果は、チューニングしない VPA による推定結果と類似していた。また、 $\lambda = 0.1 \sim 0.8$ のモデルは、いずれも類似した資源量推定結果を示し、推定された 2021 年の親魚量は、2020 年と同程度であった。ここで、2020 年から 2021 年にかけて、調査船調査による産卵量は増加しているが、GSI と水温から推定されるバッチ産卵数（補足資料 7）については特に増加は認められない（補足表 7-2）。そのため、2021 年の親魚量が 2020 年よりも高い値となっている、全 F 推定法 ($\lambda = 0.66$) を採用する方が、選択率 2 段階法を採用するよりも妥当と判断した。しかし、本資源のチューニング VPA については、引き続き、資源量指標値の探索・標準化に加え、チューニング手法についての検討が必要である。

なお、2 段階法を適用する場合も最小化する関数は全 F 推定法と同じ式 (5) を用いた。選択率については、チューニングなしの VPA で推定した漁獲係数の直近 3 年（2019～2021 年）の平均値（0 歳、1 歳、2 歳、3 歳） = (0.39、1、0.88、0.88) とした。



補足図 8-1. 補足表 8-1 の産卵量&北上期 0-全年-allF- $\lambda 0.9999$ のモデルの残差プロット

- 1 段目：資源量指標値と予測値の対数残差の時系列プロット
 - 2 段目：資源量指標値と予測値の標準化対数残差の時系列プロット
 - 3 段目：資源量指標値と予測値の回帰関係
 - 4 段目：資源量指標値の観測値（点）と予測値（線）の時系列プロット
- 指標値（index 01：産卵量、index 02：北上期調査推定 0 歳魚 CPUE）。

上段の σ は観測誤差、 ρ は残差の 1 次の自己相関係数（危険率 5%で有意の場合は右肩に*が付く）、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。

左下パネル中の b は資源量指標値の観測値と予測値の非線形係数を表す。

補足表 8-1. 全 F 推定法によるチューニングで、チューニング期間と λ を変えたシナリオのレトロバイアス (Mohn's ρ) の一覧

シナリオ名	初期値	Mohn's ρ (5年遡及)					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	1	0.025	0.022	0.014	0.054	-0.069	0.184
2 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0	0.316, 0.365, 0.343	-0.151	-0.161	-0.174	-0.087	1.1E+42	1.1E+42
3 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.1	1	-0.044	-0.085	-0.106	0.105	0.191	0.531
4 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.2	1	-0.042	-0.083	-0.104	0.104	0.195	0.528
5 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.3	1	-0.041	-0.082	-0.102	0.102	0.215	0.543
6 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.4	0.314, 0.363, 0.206	-0.041	-0.082	-0.101	0.101	0.242	0.567
7 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.5	1	-0.041	-0.082	-0.101	0.098	0.276	0.597
8 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.6	1	-0.142	-0.154	-0.170	-0.074	0.413	0.953
9 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.7	0.312, 0.365, 0.129	-0.024	-0.072	-0.092	0.149	0.113	0.451
10 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.8	0.311, 0.373, 0.102	-0.021	-0.071	-0.089	0.165	0.181	0.527
11 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.9	0.3127, 0.4184, 0.0691	0.010	-0.050	-0.068	0.253	-0.246	0.627
12 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.9999	0.961, 2.261, 1.883	0.022	0.023	0.020	0.031	-0.010	0.106
13 産卵量&北上期0-全年-allF- λ 0	0.230, 0.267, 0.114	-0.139	-0.320	-0.433	0.603	6.103	7.598
14 産卵量&北上期0-全年-allF- λ 0.1	1	-0.115	-0.283	-0.393	0.571	0.358	1.720
15 産卵量&北上期0-全年-allF- λ 0.2	1	NaN	NaN	NaN	NaN	Inf	-
16 産卵量&北上期0-全年-allF- λ 0.3	1	-0.193	-0.290	-0.360	0.214	0.660	1.718
17 産卵量&北上期0-全年-allF- λ 0.4	1	-0.184	-0.278	-0.345	0.211	0.715	1.733
18 産卵量&北上期0-全年-allF- λ 0.5	0.2316, 0.3039, 0.0677	-0.024	-0.204	-0.313	0.724	0.202	1.467
19 産卵量&北上期0-全年-allF- λ 0.6	0.2328, 0.3228, 0.0596	0.022	-0.169	-0.282	0.823	-0.375	1.672
20 産卵量&北上期0-全年-allF- λ 0.7	0.2354, 0.3577, 0.0513	0.071	-0.132	-0.247	0.928	-0.412	1.790
21 産卵量&北上期0-全年-allF- λ 0.8	0.2423, 0.4393, 0.0426	0.151	-0.073	-0.190	1.109	-0.456	1.979
22 産卵量&北上期0-全年-allF- λ 0.9	0.2656, 0.5596, 0.0333	0.329	0.046	-0.085	1.557	-0.529	2.546
23 産卵量&北上期0-全年-allF- λ 0.9999	1	0.022	0.023	0.020	0.031	-0.010	0.106

シナリオ名の Plain はチューニングなしの VPA を表す。チューニング VPA の allF は全 F 推定法を表す。緑色セルは Mohn's ρ の絶対値が 0.2 未満の場合を示し、全 5 項目が 0.2 未満のシナリオ名を緑文字で示した。

補足表 8-2. チューニング手法 (全 F 推定法と選択率 2 段階法) と λ を変えたシナリオのトロバイアス (Mohn's ρ) の一覧

シナリオ名	初期値	Mohn's ρ (5年遡及)					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	1	0.025	0.022	0.014	0.054	-0.069	0.184
2 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0	0.316、0.365、0.343	-0.151	-0.161	-0.174	-0.087	1.1E+42	1.1E+42
3 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.1	1	-0.044	-0.085	-0.106	0.105	0.191	0.531
4 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.2	1	-0.042	-0.083	-0.104	0.104	0.195	0.528
5 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.3	1	-0.041	-0.082	-0.102	0.102	0.215	0.543
6 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.4	0.314、0.363、0.206	-0.041	-0.082	-0.101	0.101	0.242	0.567
7 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.5	1	-0.041	-0.082	-0.101	0.098	0.276	0.597
8 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.6	1	-0.142	-0.154	-0.170	-0.074	0.413	0.953
9 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.7	0.312、0.365、0.129	-0.024	-0.072	-0.092	0.149	0.113	0.451
10 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.8	0.311、0.373、0.102	-0.021	-0.071	-0.089	0.165	0.181	0.527
11 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.9	0.3127、0.4184、0.0691	0.010	-0.050	-0.068	0.253	-0.246	0.627
12 産卵量&北上期0-2010-allF- λ 0.9999	0.961、2.261、1.883	0.022	0.023	0.020	0.031	-0.010	0.106
13 産卵量&北上期0-2010-maxF- λ 0	1	-0.173	-0.201	-0.240	-0.001	806.0	806.7
14 産卵量&北上期0-2010-maxF- λ 0.1	1	-0.073	-0.086	-0.106	0.018	0.116	0.400
15 産卵量&北上期0-2010-maxF- λ 0.2	1	-0.063	-0.076	-0.094	0.020	0.069	0.321
16 産卵量&北上期0-2010-maxF- λ 0.3	1	-0.058	-0.069	-0.085	0.021	0.039	0.272
17 産卵量&北上期0-2010-maxF- λ 0.4	1	-0.054	-0.065	-0.080	0.020	0.019	0.237
18 産卵量&北上期0-2010-maxF- λ 0.5	1	-0.052	-0.062	-0.076	0.019	0.003	0.212
19 産卵量&北上期0-2010-maxF- λ 0.6	1	-0.051	-0.061	-0.074	0.017	-0.008	0.211
20 産卵量&北上期0-2010-maxF- λ 0.7	1	-0.053	-0.062	-0.075	0.013	-0.014	0.218
21 産卵量&北上期0-2010-maxF- λ 0.8	1	-0.068	-0.077	-0.089	0.002	0.001	0.237
22 産卵量&北上期0-2010-maxF- λ 0.9	1	-0.041	-0.047	-0.056	0.009	-0.032	0.186
23 産卵量&北上期0-2010-maxF- λ 0.9999	2.24	-0.030	-0.035	-0.042	0.016	-0.043	0.165

表の見方は補足表 8-1 に同じ。シナリオ名の allF は全 F 推定法を、maxF は選択率 2 段階法を表す。

補足資料 9 コホート解析の詳細表

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)				合計	漁獲係数				%SPR	F/Fmsy
	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	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	183,738.4	0.17	0.38	1.36	1.36	70.7	0.36
2009	91,686.1	44,068.3	8,933.7	291.3	144,979.4	0.07	0.56	0.87	0.87	76.4	0.19
2010	71,385.5	31,452.5	9,277.4	756.6	112,872.0	0.15	0.66	1.23	1.23	68.1	0.37
2011	66,052.5	22,542.8	5,998.7	548.1	95,142.1	0.10	0.63	1.11	1.11	71.7	0.27
2012	50,488.7	22,020.9	4,422.2	398.1	77,329.9	0.22	0.73	1.08	1.08	61.6	0.52
2013	48,727.1	14,847.6	3,893.6	303.9	67,772.2	0.34	1.14	1.39	1.39	49.5	0.84
2014	34,426.3	12,714.9	1,747.1	195.9	49,084.2	1.22	1.88	1.18	1.18	17.2	2.50
2015	38,831.0	3,732.0	712.5	108.2	43,383.6	0.74	1.47	2.25	2.25	28.7	1.73
2016	30,281.7	6,839.7	314.4	15.2	37,451.1	0.84	2.41	2.12	2.12	22.8	2.29
2017	20,491.9	4,788.8	225.2	7.6	25,513.5	1.00	2.29	2.55	2.55	20.3	2.44
2018	17,136.6	2,766.1	177.9	3.6	20,084.1	0.47	2.60	3.03	3.03	33.9	1.65
2019	33,675.7	3,948.6	75.4	1.7	37,701.4	0.72	1.83	1.22	1.22	29.1	1.73
2020	34,400.5	6,023.3	233.5	4.5	40,661.8	0.43	0.85	0.79	0.79	46.2	0.96
2021	42,735.8	8,241.3	949.6	21.4	51,948.1	0.31	0.36	0.14	0.14	60.4	0.61

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

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	140.76	68.05	20.74	3.99	233.54	92.78	42,998	18.4
1979	158.10	113.22	28.54	2.40	302.25	144.15	57,426	19.0
1980	86.33	74.36	37.48	3.69	201.87	115.54	65,959	32.7
1981	103.39	35.15	14.43	5.06	158.03	54.64	50,607	32.0
1982	100.38	44.40	6.35	0.61	151.74	51.35	47,542	31.3
1983	186.21	47.96	13.15	0.56	247.88	61.67	55,228	22.3
1984	134.61	73.66	10.23	2.36	220.86	86.25	90,007	40.8
1985	165.01	52.33	5.07	0.14	222.55	57.55	61,435	27.6
1986	223.60	79.66	6.61	0.48	310.34	86.74	66,062	21.3
1987	215.57	120.62	15.79	0.52	352.49	136.93	62,733	17.8
1988	306.13	113.09	38.39	2.77	460.38	154.25	68,088	14.8
1989	768.28	325.99	40.30	9.53	1,144.11	375.83	87,804	7.7
1990	1,130.99	691.22	139.91	4.70	1,966.82	835.83	215,941	11.0
1991	557.55	628.90	229.96	17.13	1,433.54	875.99	202,319	14.1
1992	657.78	385.47	215.30	24.19	1,282.73	624.95	178,276	13.9
1993	477.29	445.60	128.23	14.06	1,065.17	587.88	100,487	9.4
1994	508.79	453.81	200.87	20.79	1,184.26	675.47	110,428	9.3
1995	428.37	489.58	188.83	39.37	1,146.15	717.78	141,716	12.4
1996	717.63	356.85	176.76	22.08	1,273.33	555.69	207,890	16.3
1997	1,299.19	518.30	98.55	10.93	1,926.97	627.79	134,464	7.0
1998	1,711.80	791.97	171.26	5.17	2,680.20	968.40	319,371	11.9
1999	1,083.66	899.01	213.24	14.96	2,210.89	1,127.22	327,997	14.8
2000	965.05	763.47	302.67	16.77	2,047.96	1,082.90	213,116	10.4
2001	1,449.04	702.92	263.43	39.93	2,455.31	1,006.28	197,928	8.1
2002	1,626.13	1,007.94	246.59	28.15	2,908.80	1,282.67	334,399	11.5
2003	1,389.22	1,080.25	323.85	27.23	2,820.56	1,431.33	408,009	14.5
2004	1,051.48	866.63	299.39	20.58	2,238.07	1,186.59	401,865	18.0
2005	878.05	583.04	215.49	19.45	1,696.04	817.99	237,691	14.0
2006	846.93	652.52	156.11	8.69	1,664.24	817.31	303,428	18.2
2007	611.50	506.53	170.62	11.11	1,299.76	688.26	242,468	18.7
2008	705.52	519.07	118.32	11.99	1,354.90	649.38	209,082	15.4
2009	730.64	640.95	165.84	6.37	1,543.80	813.16	240,892	15.6
2010	440.65	492.94	191.06	18.55	1,143.20	702.56	247,629	21.7
2011	489.00	326.05	120.68	13.34	949.08	460.07	159,980	16.9
2012	241.29	308.39	85.66	10.05	645.39	404.10	154,459	23.9
2013	258.47	196.41	80.94	7.33	543.16	284.68	156,030	28.7
2014	152.88	128.94	35.12	5.03	321.97	169.09	143,984	44.7
2015	133.54	37.01	14.95	2.84	188.34	54.80	66,509	35.3
2016	133.25	53.18	5.39	0.34	192.16	58.91	77,693	40.4
2017	83.42	37.37	3.49	0.17	124.45	41.03	53,915	43.3
2018	72.51	20.13	2.67	0.07	95.39	22.87	28,907	30.3
2019	96.62	27.20	0.97	0.03	124.82	28.20	44,269	35.5
2020	178.50	52.58	4.06	0.09	235.22	56.72	57,000	24.2
2021	167.99	60.58	18.41	0.47	247.45	79.46	39,638	16.0

補足資料 10 異なる仮定の下での資源評価結果と将来予測

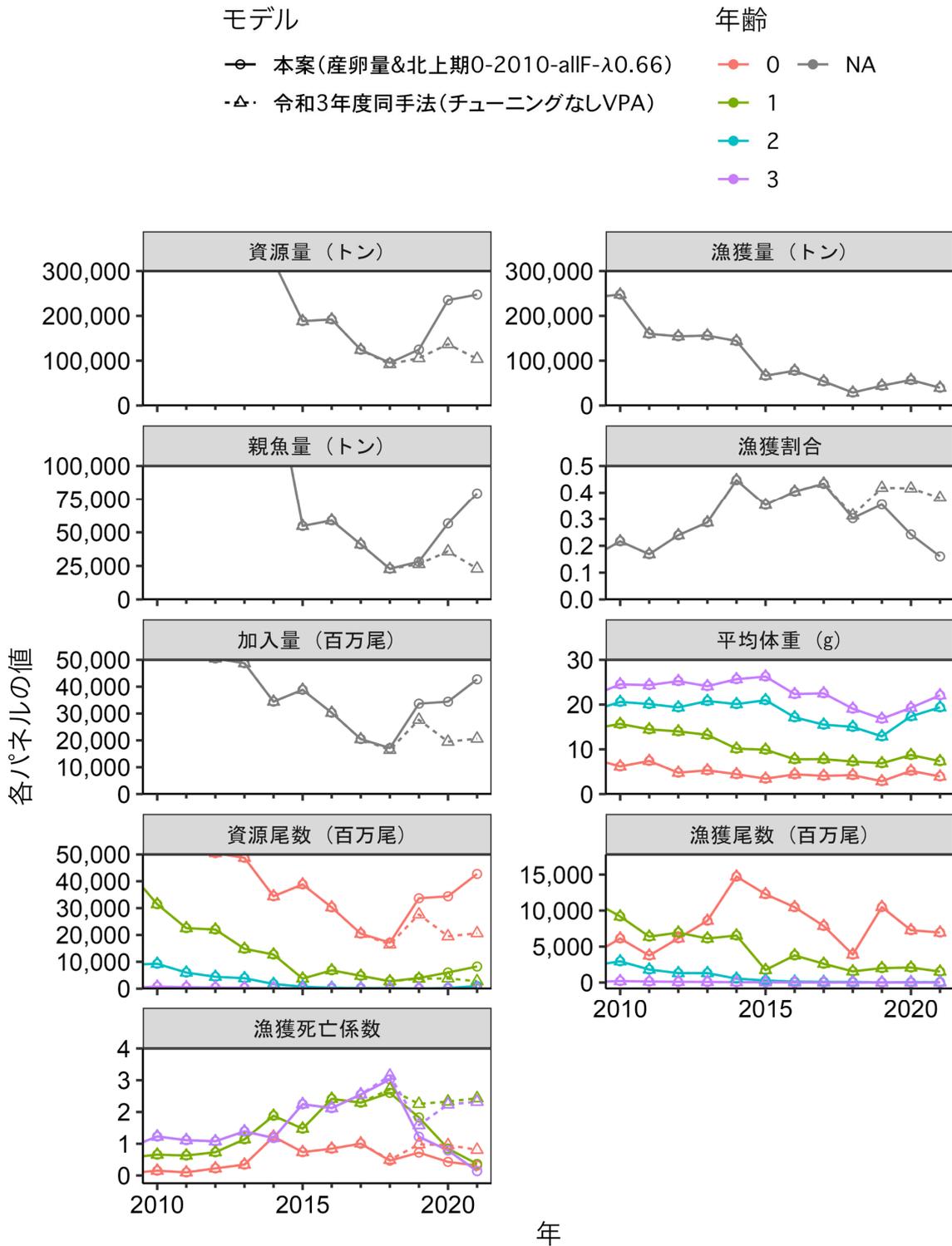
今年度のカタクチイワシ太平洋系群資源評価からチューニング VPA を導入した。ここでは、参考のために、令和 3 年度資源評価と同様の手法（チューニングなしの VPA）で資源評価を行った場合の結果を、本報告書で採用したチューニング VPA の結果と比較する形で示す。なお、令和 3 年度資源評価のチューニングなしの VPA では、式 (1) ~ (4) に加えて、下記の式 (11) (12) の仮定を置いて $F_{3,2021}$ を探索的に求めることで資源量を推定する。

$$F_{a,2021} = \frac{1}{3} \sum_{t=2018}^{2020} F_{a,t} \quad (a = 0, 1, 2) \quad (11)$$

$$F_{3,2021} = F_{2,2021} \quad (12)$$

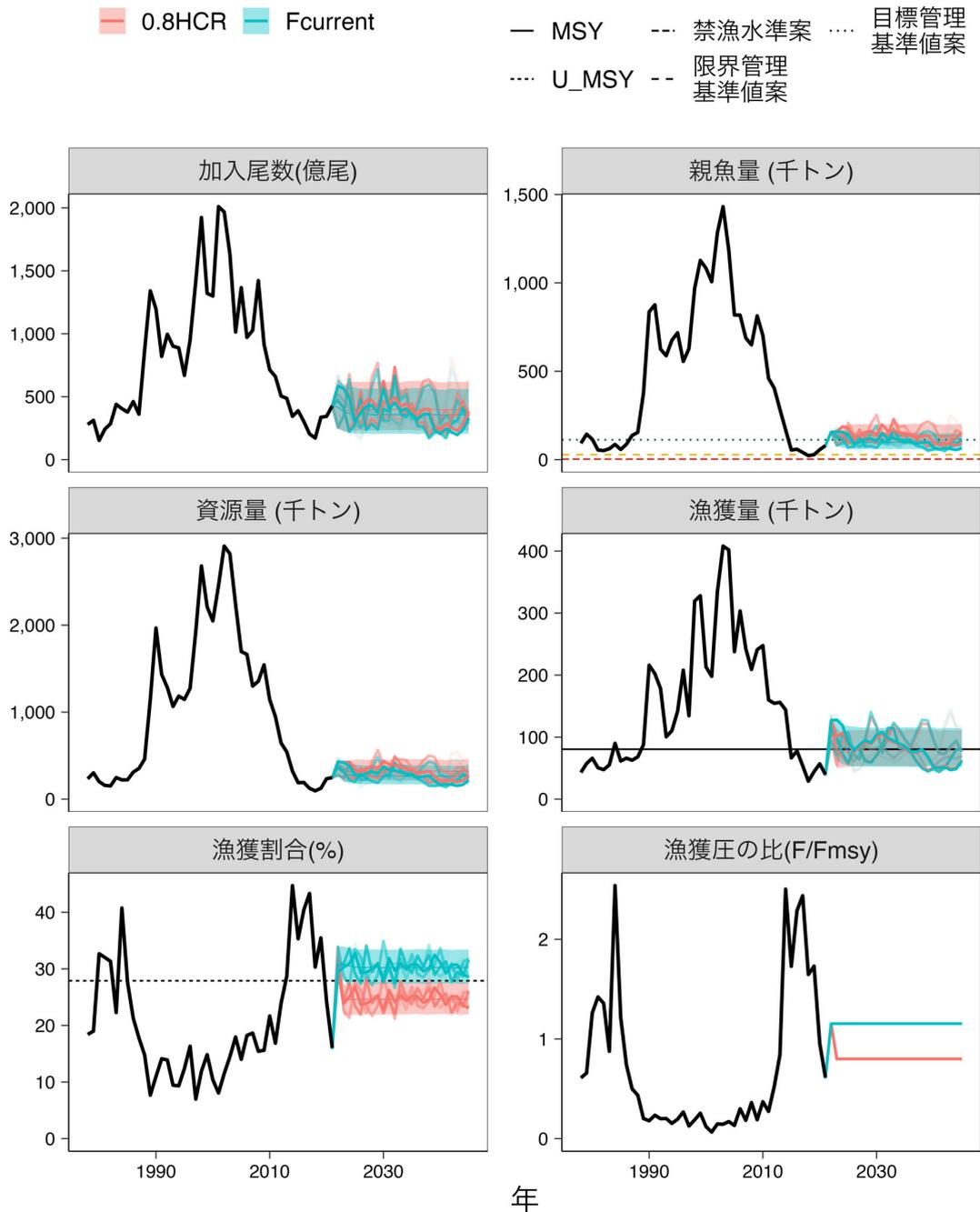
補足図 10-1 に 2010 年以降の各種推定値の推移をモデル毎に示すとともに、補足表 10-1 には直近 5 年間の値を示す。令和 3 年度資源評価と同様のチューニングなしの VPA では、年齢別漁獲尾数の情報のみを用いているため 2021 年の資源量と親魚量は 2020 年に比べて低下し、加入量は 2020 年並となった（補足表 10-1）。

本報告書の 2022 年の F は直近 5 年平均（2017~2021 年）の漁獲量である 44.7 千トンを与える F を仮定したが、これは、2022 年の F に現状の漁獲圧（F2019-2021）を与えた場合には、2022 年の漁獲量が 110 千トンとなり、2017 年以降の約 2 倍の高い漁獲量となるためである。直近の 2022 年 6 月までの太平洋区の漁況は、主要港水揚量が前年同期（2021 年 1~6 月）並となっており、直近 5 年平均（2017~2021 年の 1~6 月）をやや下回る水準にあることから、2022 年の F に直近 5 年平均漁獲量に相当する F を仮定することは妥当と考えられるが、参考として、2022 年に現状の漁獲圧（F2019-2021）を与えた場合の将来予測の結果を補足図 10-2、補足表 10-2、補足表 10-3 に示している。



補足図 10-1. チューニング VPA とチューニングなし VPA の推定値の比較

資源量、親魚量、加入量、加入尾数および漁獲量については低い値の部分を拡大して示す。2018 年までは両モデルでほぼ同じ推移を示した。



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

補足図 10-2. 2022 年の F を現状の F (F2019-2021) とした場合の将来予測結果
図の見方は補足図 4-2 と同じ。

補足表 10-1. 異なるモデルによる直近5年間（2017～2021年）の資源量推定値の比較

項目	資源評価	2017	2018	2019	2020	2021
資源量 (千トン)	令和3年度（公表）	124.15	92.16	104.64	142.13	-
	令和3年度（再評価）	124.16	92.27	105.40	145.83	-
	令和4年度※	124.17	92.36	105.77	136.96	104.14
	令和4年度 (tuned VPA, $\lambda 0.66$)	124.45	95.39	124.82	235.22	247.45
親魚量 (千トン)	令和3年度（公表）	41.01	22.67	26.26	34.58	-
	令和3年度（再評価）	41.01	22.68	26.33	35.43	-
	令和4年度※	41.01	22.69	26.39	35.82	22.98
	令和4年度 (tuned VPA, $\lambda 0.66$)	41.03	22.87	28.20	56.72	79.46
加入量 (百万尾)	令和3年度（公表）	20,423.6	16,420.7	27,318.4	20,726.7	-
	令和3年度（再評価）	20,425.8	16,444.6	27,561.9	21,277.2	-
	令和4年度※	20,427.9	16,466.7	27,668.9	19,491.6	20,646.8
	令和4年度 (tuned VPA, $\lambda 0.66$)	20,491.9	17,136.6	33,675.7	34,400.5	42,735.8
漁獲係数 (最高齢：3歳)	令和3年度（公表）	2.554	3.150	1.625	2.443	-
	令和3年度（再評価）	2.554	3.146	1.606	2.435	-
	令和4年度※	2.554	3.141	1.589	2.238	2.323
	令和4年度 (tuned VPA, $\lambda 0.66$)	2.548	3.025	1.219	0.791	0.139
漁獲割合 (%)	令和3年度（公表）	43.4	31.4	42.3	39.2	-
	令和3年度（再評価）	43.4	31.3	42.0	39.1	-
	令和4年度※	43.4	31.3	41.9	41.6	38.1
	令和4年度 (tuned VPA, $\lambda 0.66$)	43.3	30.3	35.5	24.2	16.0
年齢別漁獲尾数 (百万尾、全齡計)	令和3年度（公表）	10,575.7	5,514.5	12,528.8	9,215.6	-
	令和3年度（再評価）	10,575.7	5,514.5	12,528.8	9,423.4	-
	令和4年度※	10,575.7	5,514.5	12,528.8	9,423.4	8,534.0
	令和4年度 (tuned VPA, $\lambda 0.66$)	10,575.7	5,514.5	12,528.8	9,423.4	8,534.0
漁獲量 (千トン)	令和3年度（公表）	53.9	28.9	44.3	55.7	-
	令和3年度（再評価）	53.9	28.9	44.3	57.0	-
	令和4年度※	53.9	28.9	44.3	57.0	39.6
	令和4年度 (tuned VPA, $\lambda 0.66$)	53.9	28.9	44.3	57.0	39.6

※令和3年度と同じ手法（チューニングなしのVPA）。

緑文字のモデルが本報告書で提案したモデルを表す。

補足表 10-3. 2022 年の F を現状の F (F2019-2021) とした場合の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	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	79	156	119	116	114	114	113	113	113	113	113	113	113	113	113
0.9	79	156	119	122	123	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124
0.8	79	156	119	129	133	135	136	136	136	136	136	136	136	136	136
0.7	79	156	119	137	144	148	149	150	149	149	150	150	150	149	149
0.6	79	156	119	145	156	162	164	165	165	165	165	165	166	165	165
0.5	79	156	119	153	170	178	181	182	182	182	183	183	183	182	183
0.4	79	156	119	163	186	196	201	202	202	203	203	203	204	202	203
0.3	79	156	119	173	203	218	223	226	226	226	227	227	227	226	226
0.2	79	156	119	184	223	242	249	252	253	253	254	254	254	253	253
0.1	79	156	119	197	246	270	280	284	284	285	286	286	286	284	285
0.0	79	156	119	210	272	303	316	321	322	322	323	323	324	322	323
F2019-2021	79	156	119	107	102	100	99	99	98	98	98	98	99	98	98

b) 漁獲量の平均値の推移 (千トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	40	110	84	82	81	81	81	81	80	81	81	81	81	80	80
0.9	40	110	78	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
0.8	40	110	72	76	78	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
0.7	40	110	66	72	75	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
0.6	40	110	59	67	71	73	74	74	74	74	74	74	74	74	74
0.5	40	110	51	61	66	68	69	69	69	69	69	69	69	69	69
0.4	40	110	43	53	59	61	62	63	63	63	63	63	63	63	63
0.3	40	110	33	44	49	52	53	53	53	53	54	54	54	53	53
0.2	40	110	23	32	37	39	40	41	41	41	41	41	41	41	41
0.1	40	110	12	18	21	23	23	23	23	23	24	24	24	23	23
0.0	40	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2019-2021	40	110	91	85	82	81	81	80	80	80	80	80	80	80	80

補足資料 11 令和 3 年度資源評価まで掲載した資源量指標値（チューニングに未使用）

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、2001～2004 年は 39～50 トン/網であったが、2005 年に努力量が減少したことから、CPUE が上昇した（補足図 11-1、補足表 11-1）。2008～2011 年は 2001～2004 年と同程度で安定していたが、2013 年以降大きく減少し、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（漁獲量）はそれぞれ 20 トン/網、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 10.5 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 10.5 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 10.5 cm 未満の魚の CPUE は 2011 年に 5,205 尾/網の高い値を示したが、北上期調査推定 0 歳魚 CPUE と同じく 2012 年に急減し、2013 年から 2018 年にかけては 0.1～4.4 尾/網で推移した後、2019 年以降に 1,000 尾/網以上まで急増し、2021 年は 5,909 尾/網の最大値を示した（補足図 11-2、補足表 11-1）。体長 10.5 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。2019 年以降は増加に転じて 2021 年は 338 尾/網であった。

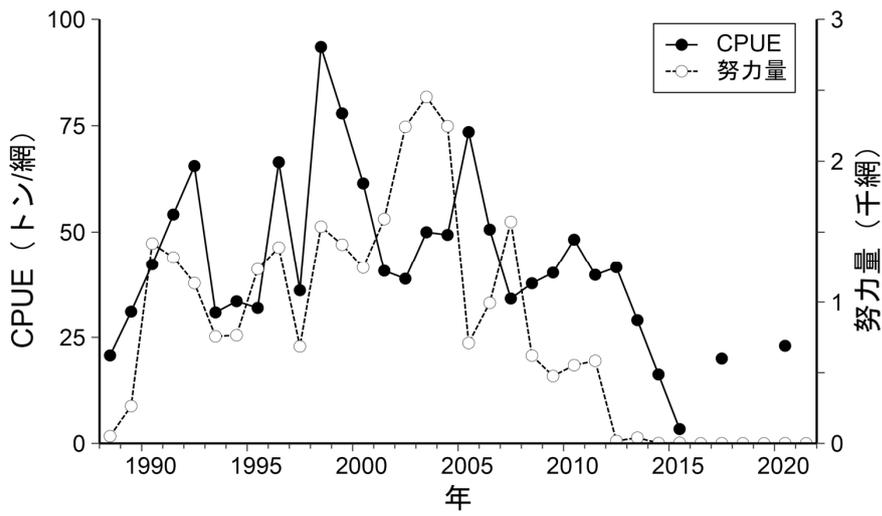
常磐・房総海域（千葉県、茨城県、福島県の沖）は例年、冬春季が主漁期となるため、本海域に限定した漁期を前年 11 月～当年 6 月とした（例えば 2021 年漁期は 2020 年 11 月～2021 年 6 月）。本海域の主要港漁獲量のうち、体長 12 cm 未満の魚の漁獲量は各漁期の前年（2021 年漁期ならば 2020 年）における 0 歳魚資源量と正の相関が強いことに加え、体長 12 cm 以上の魚の漁獲量は各漁期と同年（2021 年漁期ならば 2021 年）の親魚量と正の相関が強い。1999 年以降の体長 12 cm 未満および 12 cm 以上の漁獲量は、ともに 2003 年漁期に最大値を示したが、その後は減少傾向にある（補足図 11-3、補足表 11-2）。2021 年漁期の体長 12 cm 未満の魚の漁獲量は、最小値を示した 2019 年漁期の 32 百トンから微増して 37 百トンであり、2021 年漁期の体長 12 cm 以上の魚の漁獲量は、最小値を示した 2019 年漁期の 14 トンから微増して 1.4 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 2022 年漁期の値（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）は前年の 0 歳魚の資源量指標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、2021 年は 0 であった（補足表 11-2）。

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であると考えられた。そこで、令和元年度資源評価から、千葉県

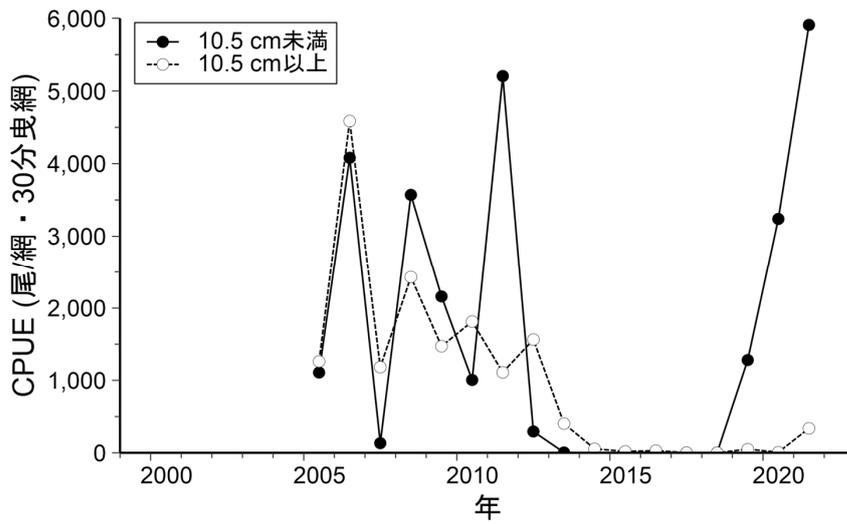
沿岸における大中型・中型 2 そうまき網船 3 隻の 2～6 月における親魚相当銘柄(中セグロ、中ゴボウ、ゴボウおよび大ゴボウ)の平均 CPUE (有漁 1 投網当たり漁獲量)を示している。当該 CPUE は、2008～2013 年には概ね 30～40 トン/網以上で推移していたが、2014 年以降急減し、2016 年以降は 11 トン/網未満で推移しており、2021 年は 8.3 トン/網と、2008 年以降で過去 3 番目に低い値となった(補足図 11-4、補足表 11-2)。

引用文献

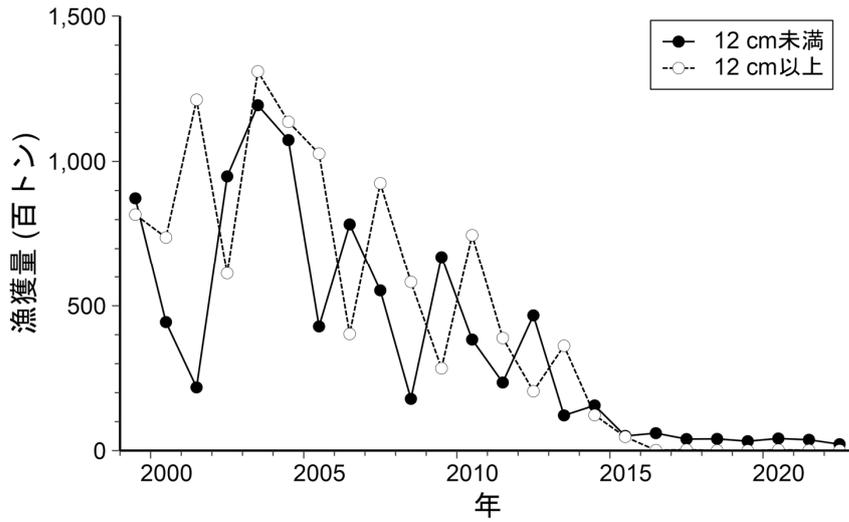
長谷川淳・川端 淳 (2013) 秋季北西太平洋浮魚資源調査結果と冬春季の房総周辺海域に來遊するカタクチイワシの漁況との関係. 第 61 回サンマ等小型浮魚類資源研究会議報告, 水産総合研究センター, 237-238.



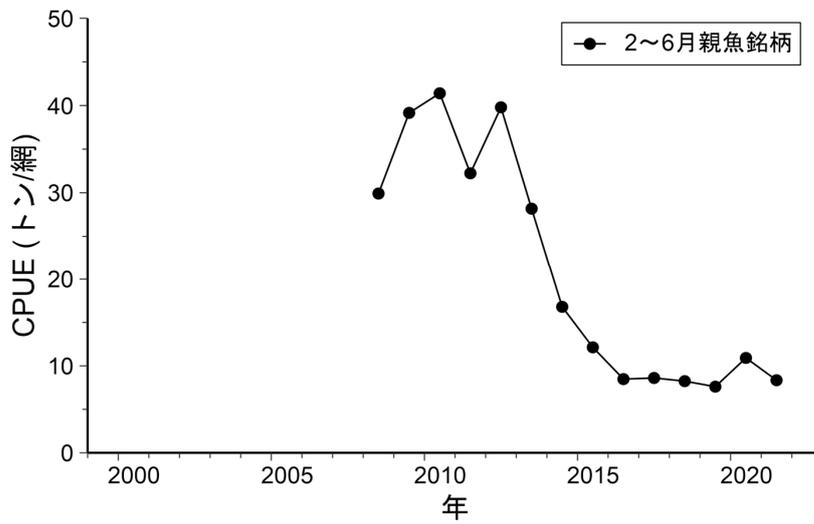
補足図 11-1. 北部太平洋大中型まき網の努力量と CPUE (トン/網) の推移



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10.5 cm未満 (尾/網)	体長10.5 cm以上 (尾/網)
1988	1,057.0	51	20.7	73.3		
1989	8,198.0	264	31.1	147.0		
1990	59,993.0	1,419	42.3	53.9		
1991	71,394.0	1,319	54.1	287.8		
1992	74,394.0	1,135	65.5	208.7		
1993	23,366.0	757	30.9	620.3		
1994	25,636.5	765	33.5	353.3		
1995	39,439.0	1,235	31.9	135.9		
1996	92,344.0	1,390	66.4	241.1		
1997	24,775.5	686	36.1	160.0		
1998	143,807.5	1,538	93.5	436.5		
1999	109,905.2	1,411	77.9	608.1		
2000	76,550.0	1,246	61.4	396.7		
2001	64,887.5	1,592	40.8	712.1		
2002	87,135.9	2,242	38.9	823.9		
2003	122,550.0	2,453	50.0	1,129.2		
2004	110,835.5	2,247	49.3	680.8		
2005	52,187.0	710	73.5	551.2	1,107.7	1,261.1
2006	50,277.0	994	50.6	853.1	4,080.7	4,586.9
2007	53,686.4	1,572	34.2	604.2	132.9	1,183.1
2008	23,459.5	621	37.8	418.4	3,571.0	2,429.1
2009	19,189.0	476	40.3	630.2	2,159.7	1,471.4
2010	26,662.0	553	48.2	577.6	1,005.4	1,812.3
2011	23,234.5	584	39.8	392.5	5,205.4	1,110.1
2012	707.0	17	41.6	302.7	294.5	1,563.4
2013	1,162.0	40	29.1	117.8	4.4	403.2
2014	32.5	2	16.3	16.3	0.1	54.3
2015	13.5	4	3.4	1.0	0.1	19.2
2016	0.0	0		0.0	0.8	29.9
2017	20.0	1	20.0	20.0	0.3	1.9
2018	0.0	0		0.0	0.6	0.4
2019	0.0	0		0.0	1,280.3	49.9
2020	23.0	1	23.0	0.0	3,239.3	8.0
2021	0.0	0		0.0	5,908.6	337.8

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

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 11 月 26 日に、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）が早期公開され、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）を適用した場合の結果が示された。そのため、令和 3 年度に引き続き、今年度の資源評価においても、サバ類捕食 VPA に基づき資源量などの試算を行った。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等の検討は行っていないが、それらについては、令和 3 年度資源評価データを用いて試算した場合を別資料で公表している（「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」（水産資源研究所 2022、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。なお、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、本報告書と同じデータ（1978～2021 年）を用いるとともに、チューニング年は原著論文と同様に 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 3 年度の資源評価結果（由上ほか 2022、FRA-SA2021-SC03-1、FRA-SA2021-SC03-2）と将来予測のデータを用いた。また、田中（2022）では令和元年度資源評価の公表データ（1995～2018 年）を用いるとともに、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）と高齢魚への捕食圧が高いシナリオ（S7）および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試算した。当該試算においては R version 4.2.1（R core team 2022）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原著論文に示されているため、ここではその主要な仮定について示す。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。

$$M_t = M1 + M2_t \quad (13)$$

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。

$$M2_t = \sum_{i=1}^2 m_{i,t} \quad (14)$$

$$m_{i,t} = \alpha \bar{P}_{i,t} \quad (15)$$

$$M_\mu = M1 + \bar{M2} \quad (16)$$

$$\overline{M2} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T M2_t \quad (17)$$

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)、 $\overline{P}_{i,t}$ はサバ i の年間平均資源量である。 $\overline{P}_{i,t}$ を求めるのは、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 2-1) の平均値 1.375 である。 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 \overline{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資源評価との関連が維持される。 $\overline{P}_{i,t}$ の算出は次式による。

$$\overline{P}_{i,t} = \overline{N}_{t,a} w_{t,a} \quad (18)$$

$$\overline{N}_{t,a} = \frac{N_{t,a}(1 - e^{-F_{t,a} - M_{t,a}})}{F_{t,a} + M_{t,a}} \quad (19)$$

ここで、 $\overline{N}_{t,a}$ 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。

$$B_t = \sum_{a=0}^A r_a w_{t,a} N_{t,a} \quad (20)$$

$$\ln(B_t) = \ln(\widehat{B}_t) + \varepsilon_t \quad (21)$$

$$\varepsilon_t \sim N\left(-\frac{\sigma^2}{2}, \sigma^2\right) \quad (22)$$

ここで、 r_a は年齢別成熟率を、 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 7-3 の I-IV 区) を、 \widehat{B}_t はサバ類捕食 VPA による親魚量を表す。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 (23) となる。

$$-\ln L(F_{2,T}, \theta, \alpha) = \frac{n}{2} \ln \left(2\pi\sigma^2 + \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left\{ \ln(B_t) - \ln(\widehat{B}_t(F_{2,T}, \theta, \alpha)) \right\}^2 + \frac{\sigma^2}{2} \right) + \frac{n}{2} \quad (23)$$

さらに、捕食圧の年齢依存シナリオ (S7、S8) では、式 (13)(14) 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。

$$M_{t,a} = M1 + M2_{t,a} \quad (24)$$

$$M2_{t,a} = \sum_{i=1}^2 \beta_a m_{i,t} \quad (a = 0, 1, 2, 3) \quad (25)$$

$$M_{\mu} = M1 + \frac{1}{(3+1)T} \sum_{a=0}^3 \sum_{t=1}^T M2_{t,a} \quad (26)$$

$$\beta_a = \begin{cases} 0.8^{3-a} \\ 0.8^a \end{cases} \quad (a = 0, 1, 2, 3) \quad (27)$$

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 各シナリオのパラメータ推定値を補足表 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) と同様に捕食圧の年齢勾配の仮定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 ($F_{2021,2}$) については S7 が最小で、S0、S8 の順で大きくなったのに対し、 θ およびM1はターミナル F とは逆順の関係を示した。 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 と、令和 3 年度までの手法 (チューニングなし VPA) および今年度資源評価 (チューニング VPA) による親魚量や加入量などの推定結果を補足図 12-1 と補足表 12-2~12-4 に示す。チューニングなし VPA とチューニング VPA で推定された加入量は、2000 年代以降減少傾向を示し、近年は非常に低い水準にあるのに対し、サバ類捕食 VPA で試算された加入量は S0 と S8 では 2019 年、S7 では 2008 年に最大値を示すとともに、近年も比較的高い水準に維持されている。また、この高い加入量に伴って、サバ類捕食 VPA によって試算された親魚量は、チューニングなし VPA とチューニング VPA によって推定された親魚量よりも 2004~2014 年および 2019~2021 年において、かなり高い値となっている。

補足図 12-2 に、年齢別の資源尾数、資源量、自然死亡係数 M、漁獲係数ならびに漁獲割合を示す。サバ類捕食 VPA による 1~2 歳魚の資源尾数と資源量は 2004 年以降にチューニングなし VPA とチューニング VPA に比べて高い値であるのに対し、0 歳魚と 3 歳魚の値はほぼ全ての年で高い値であった。サバ類捕食 VPA による自然死亡係数の推定値は、0~1 歳魚では全ての年でチューニングなし VPA とチューニング VPA の仮定よりも高い値を示したが、2 歳魚は 2013 年以降に高く、3 歳魚はシナリオによって異なるものの概ね低い値を示した (補足図 12-2、補足表 12-2~12-4)。漁獲係数と漁獲割合はどの年齢でもチューニングなし VPA とチューニング VPA の値がサバ類捕食 VPA による推定値よりも高く、2006 年以降はその差が特に顕著であった。

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)

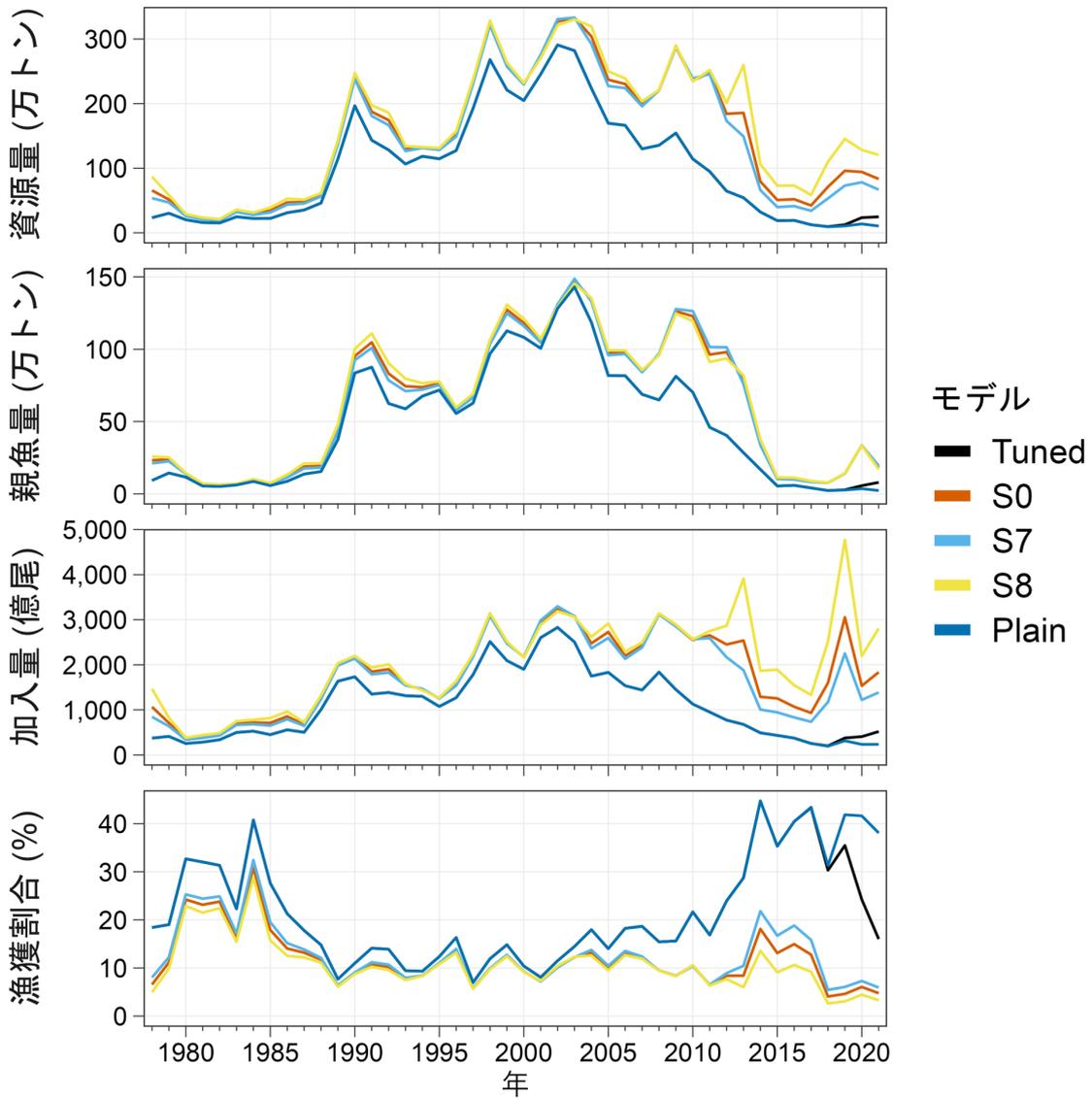
を補足図 12-3 に示す。いずれのシナリオにおいても残差の 1 次の自己相関は有意ではなかった。ただし、標準化残差は近年ほど大きくなる傾向がどのシナリオでも認められた。

3. まとめ

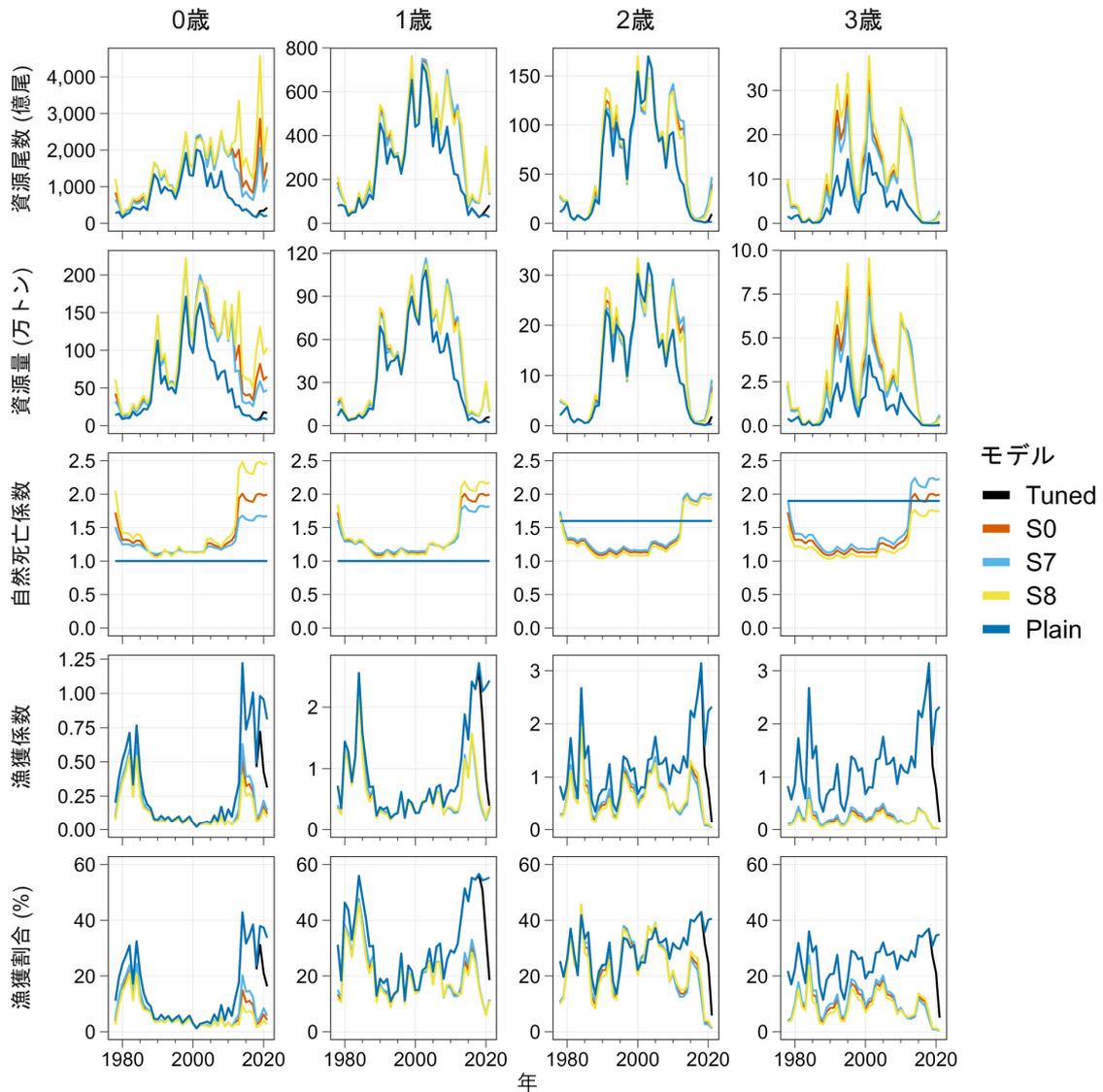
サバ類捕食 VPA による試算結果を示したが、当該 VPA における本系群の M が太平洋海域のサバ類資源量に比例するという仮定などの妥当性を判断するためには、引き続きサバ類の捕食に関する生物学的な知見などの収集が必要である。

引用文献

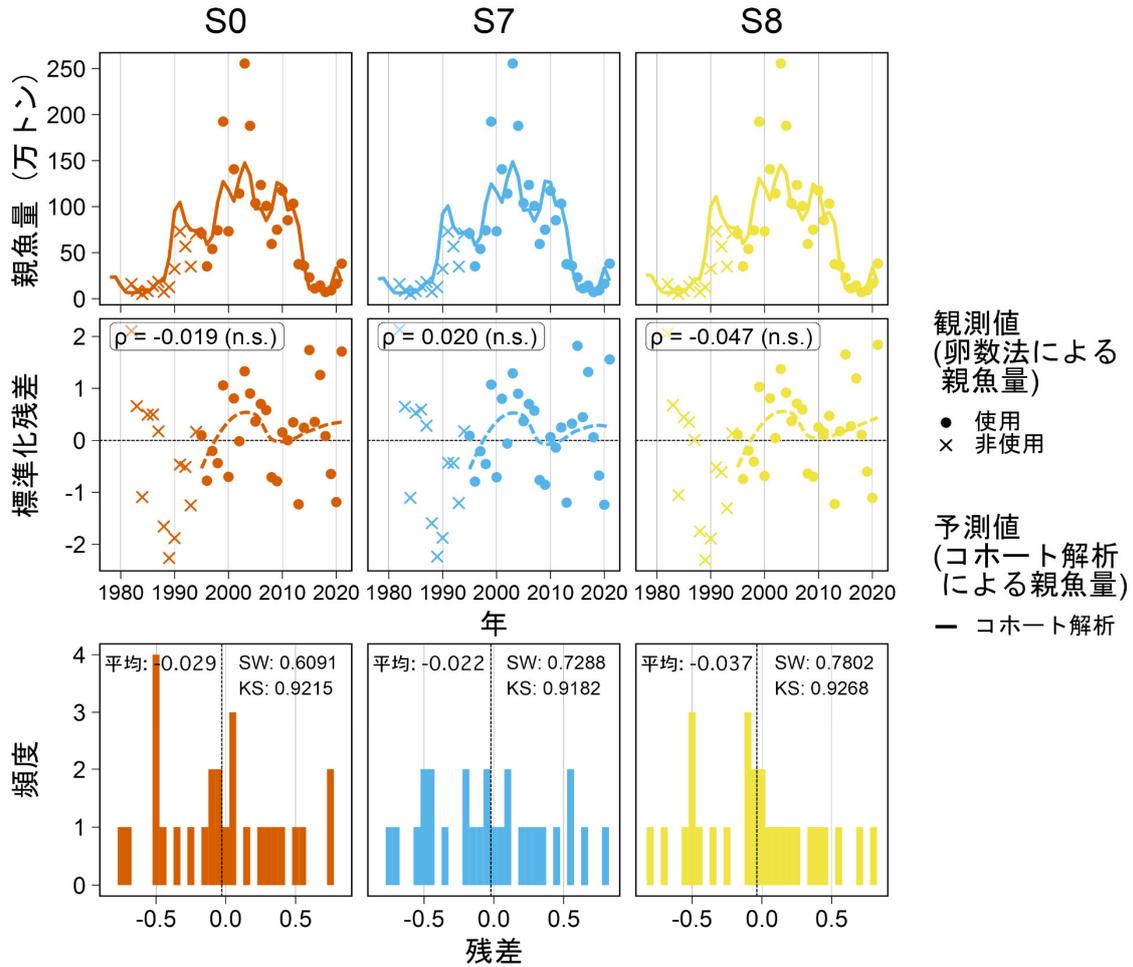
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 田中栄次 (2022) サバ類資源によるカタクチイワシ太平洋系群の捕食死亡率の推定. 日本水産誌, **88** (1), p.2-11. <https://doi.org/10.2331/suisan.20-00067>
- 水産資源研究所 (2022) 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 (2022) 令和3 (2021) 年度マサバ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2021-SC03-1
- 由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・古市 生・渡部亮介 (2022) 令和3 (2021) 年度ゴマサバ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2021-SC03-2



補足図 12-1. サバ類捕食 VPA とチューニングなし VPA およびチューニング VPA の資源量、親魚量、加入量、漁獲割合の推移
 色違いの折線はそれぞれ Tuned：今年度提案のチューニング VPA、S0：サバ類捕食 VPA のベースケース、S7：高齢への捕食圧が高いシナリオ、S8：若齢への捕食圧が高いシナリオ、Plain：令和 3 年度までの手法（チューニングなし VPA）を表す。



補足図 12-2. サバ類捕食 VPA とチューニングなし VPA およびチューニング VPA の年齢別資源量、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 Tuned：今年度提案のチューニング VPA、S0：サバ類捕食 VPA のベースケース、S7：高齢への捕食圧が高いシナリオ、S8：若齢への捕食圧が高いシナリオ、Plain：令和3年度までの手法（チューニングなし VPA）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ミ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. 推定されたパラメータ

シナリオ	正の 対数尤度	c-AIC	$F_{2021,2}$	θ	α ($\times 10^{-6}$ /トン・年)	M1 (/年)
S0	-14.7465	38.5187	0.0383	0.3328	0.2095	1.0531
S7	-14.8305	38.6866	0.0325	0.3649	0.2543	1.0866
S8	-14.8136	38.6529	0.0446	0.2953	0.3248	1.0066

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) シナリオの結果詳細

年	年齢別資源尾数 (百万尾)				年齢別漁獲係数				M2			
	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	84,121.0	18,801.7	2,779.7	903.5	0.09	0.38	0.28	0.09	0.68	0.68	0.68	0.68
1979	54,783.3	13,621.4	2,278.4	371.9	0.26	0.27	0.30	0.10	0.42	0.42	0.42	0.42
1980	23,194.4	9,615.2	2,375.5	384.8	0.37	1.30	0.61	0.20	0.26	0.26	0.26	0.26
1981	34,970.8	4,298.6	702.8	347.2	0.46	1.09	1.18	0.39	0.27	0.27	0.27	0.27
1982	39,076.4	5,913.7	384.2	57.3	0.57	0.74	0.65	0.22	0.26	0.26	0.26	0.26
1983	63,168.8	5,962.0	758.1	54.0	0.26	1.17	0.53	0.18	0.21	0.21	0.21	0.21
1984	57,509.4	13,797.7	521.2	125.5	0.58	2.33	2.09	0.70	0.25	0.25	0.25	0.25
1985	62,185.6	8,715.4	364.6	17.4	0.28	1.33	0.87	0.29	0.25	0.25	0.25	0.25
1986	72,165.7	12,773.8	628.7	41.6	0.18	0.77	0.81	0.27	0.18	0.18	0.18	0.18
1987	48,124.5	17,582.1	1,727.7	81.7	0.15	0.53	0.25	0.08	0.12	0.12	0.12	0.12
1988	110,356.8	12,781.2	3,216.1	415.7	0.13	0.62	0.19	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07
1989	165,368.2	31,500.6	2,238.0	868.6	0.07	0.21	0.40	0.13	0.04	0.04	0.04	0.04
1990	154,717.0	52,055.3	8,573.5	504.4	0.06	0.34	0.48	0.16	0.03	0.03	0.03	0.03
1991	121,487.8	49,089.1	12,512.5	1,793.4	0.07	0.29	0.49	0.16	0.05	0.05	0.05	0.05
1992	138,095.8	37,354.0	12,163.2	2,542.3	0.06	0.28	0.70	0.23	0.11	0.11	0.11	0.11
1993	103,995.0	40,816.5	8,837.9	1,897.0	0.09	0.17	0.28	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07
1994	101,231.5	30,823.8	11,138.1	2,166.8	0.06	0.26	0.24	0.08	0.04	0.04	0.04	0.04
1995	83,320.3	31,837.8	7,928.0	2,917.3	0.07	0.29	0.54	0.18	0.08	0.08	0.08	0.08
1996	123,908.3	24,919.5	7,662.5	1,483.7	0.08	0.62	1.14	0.38	0.14	0.14	0.14	0.14
1997	181,104.1	34,630.2	4,078.4	746.1	0.04	0.20	1.04	0.34	0.10	0.10	0.10	0.10
1998	247,011.9	54,698.2	8,961.8	457.2	0.06	0.47	0.82	0.27	0.07	0.07	0.07	0.07
1999	162,010.5	75,025.9	11,038.9	1,275.2	0.09	0.41	0.79	0.26	0.08	0.08	0.08	0.08
2000	151,422.7	47,741.3	16,062.6	1,606.3	0.05	0.28	0.47	0.16	0.08	0.08	0.08	0.08
2001	232,673.4	46,715.6	11,720.7	3,245.8	0.02	0.30	0.61	0.20	0.07	0.07	0.07	0.07
2002	238,164.5	74,009.0	11,272.9	2,062.2	0.04	0.48	0.67	0.22	0.08	0.08	0.08	0.08
2003	218,001.8	73,445.3	14,772.2	1,860.4	0.04	0.48	1.10	0.37	0.07	0.07	0.07	0.07
2004	163,572.5	67,658.1	14,721.0	1,595.7	0.04	0.64	1.11	0.37	0.21	0.21	0.21	0.21
2005	216,844.8	44,422.3	10,155.1	1,382.1	0.04	0.39	1.33	0.44	0.22	0.22	0.22	0.22
2006	151,851.3	58,846.0	8,499.2	753.3	0.08	0.61	0.87	0.29	0.18	0.18	0.18	0.18
2007	191,442.3	40,838.7	9,241.3	1,035.8	0.04	0.61	0.83	0.28	0.17	0.17	0.17	0.17
2008	250,371.3	54,266.6	6,531.5	1,191.9	0.10	0.25	0.74	0.25	0.13	0.13	0.13	0.13
2009	202,813.0	68,962.9	12,874.7	952.7	0.04	0.37	0.41	0.14	0.19	0.19	0.19	0.19
2010	182,395.5	56,476.4	13,749.4	2,461.6	0.07	0.37	0.52	0.17	0.22	0.22	0.22	0.22
2011	204,607.7	47,614.4	10,894.8	2,276.3	0.04	0.30	0.39	0.13	0.26	0.26	0.26	0.26
2012	180,387.3	53,236.9	9,528.3	1,998.9	0.07	0.30	0.32	0.11	0.35	0.35	0.35	0.35
2013	200,993.1	41,442.1	9,685.9	1,699.3	0.12	0.49	0.44	0.15	0.89	0.89	0.89	0.89
2014	98,840.0	25,645.2	3,636.7	894.8	0.52	1.19	0.52	0.17	0.95	0.95	0.95	0.95
2015	116,210.5	7,904.3	1,054.2	290.0	0.32	0.86	1.24	0.41	0.87	0.87	0.87	0.87
2016	94,139.6	12,327.7	490.1	44.9	0.34	1.56	1.06	0.35	0.84	0.84	0.84	0.84
2017	82,788.7	10,085.6	388.1	25.4	0.28	1.09	0.96	0.32	0.83	0.83	0.83	0.83
2018	149,853.1	9,481.4	511.8	22.5	0.07	0.59	0.52	0.17	0.94	0.94	0.94	0.94
2019	285,585.7	18,999.2	719.3	41.7	0.11	0.34	0.09	0.03	0.95	0.95	0.95	0.95
2020	116,933.3	34,590.9	1,820.0	88.1	0.18	0.18	0.09	0.03	0.93	0.93	0.93	0.93
2021	165,925.1	13,429.7	3,996.9	229.8	0.12	0.37	0.04	0.01	0.94	0.94	0.94	0.94

補足表 12-2. (続き) サバ類捕食 VPA の S0 (ベースケース) シナリオの結果詳細

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	423.7	158.9	50.7	23.0	656.3	232.6	43.0	6.6
1979	277.0	183.7	45.2	8.9	514.8	237.7	57.4	11.2
1980	131.0	91.4	41.3	8.7	272.4	141.4	66.0	24.2
1981	149.5	44.8	14.9	9.6	218.7	69.3	50.6	23.1
1982	137.6	53.7	7.1	1.4	199.8	62.2	47.5	23.8
1983	267.6	55.5	12.1	1.1	336.4	68.8	55.2	16.4
1984	191.0	87.8	9.4	3.3	291.5	100.5	90.0	30.9
1985	271.6	65.8	5.6	0.3	343.2	71.7	61.4	17.9
1986	349.6	111.8	7.9	1.2	470.4	120.8	66.1	14.0
1987	287.2	162.2	24.7	1.9	476.1	188.8	62.7	13.2
1988	388.4	131.6	51.8	9.1	580.9	192.5	68.1	11.7
1989	947.5	377.5	45.4	24.4	1,394.8	447.3	87.8	6.3
1990	1,461.9	789.5	152.1	11.4	2,414.9	953.0	215.9	8.9
1991	826.5	756.1	250.1	41.3	1,874.1	1,047.5	202.3	10.8
1992	912.1	530.7	244.4	57.3	1,744.4	832.4	178.3	10.2
1993	551.0	536.3	165.2	42.8	1,295.2	744.2	100.5	7.8
1994	580.0	465.4	218.4	54.0	1,317.9	737.9	110.4	8.4
1995	533.5	508.9	174.5	79.4	1,296.2	762.7	141.7	10.9
1996	936.3	392.7	158.9	36.8	1,524.7	588.4	207.9	13.6
1997	1,660.4	568.5	89.7	18.9	2,337.5	677.1	134.5	5.8
1998	2,198.1	876.6	161.9	9.8	3,246.5	1,048.4	319.4	9.8
1999	1,328.8	1,030.8	212.9	30.4	2,602.8	1,274.0	328.0	12.6
2000	1,124.4	829.1	314.6	38.8	2,306.9	1,182.4	213.1	9.2
2001	1,677.3	723.1	252.9	82.0	2,735.2	1,057.9	197.9	7.2
2002	1,968.0	1,030.1	221.0	53.1	3,272.1	1,304.1	334.4	10.2
2003	1,854.3	1,149.3	281.6	44.4	3,329.6	1,475.3	408.0	12.3
2004	1,696.7	1,029.8	280.1	36.0	3,042.7	1,346.0	401.9	13.2
2005	1,393.6	738.7	205.2	32.8	2,370.3	976.7	237.7	10.0
2006	1,324.2	803.2	159.3	17.6	2,304.4	980.2	303.4	13.2
2007	1,139.7	645.0	180.0	23.6	1,988.3	848.6	242.5	12.2
2008	1,241.7	797.1	137.0	28.6	2,204.4	962.7	209.1	9.5
2009	1,616.2	1,003.0	239.0	20.8	2,879.1	1,262.9	240.9	8.4
2010	1,125.9	885.1	283.2	60.4	2,354.5	1,228.7	247.6	10.5
2011	1,514.8	688.7	219.2	55.4	2,478.0	963.3	160.0	6.5
2012	862.1	745.6	184.6	50.4	1,842.7	980.6	154.5	8.4
2013	1,066.2	548.2	201.4	41.0	1,856.7	790.5	156.0	8.4
2014	438.9	260.1	73.1	23.0	795.1	356.1	144.0	18.1
2015	399.6	78.4	22.1	7.6	507.8	108.1	66.5	13.1
2016	414.2	95.9	8.4	1.0	519.5	105.3	77.7	15.0
2017	337.0	78.7	6.0	0.6	422.3	85.3	53.9	12.8
2018	634.1	69.0	7.7	0.4	711.2	77.1	28.9	4.1
2019	819.3	130.9	9.3	0.7	960.2	140.8	44.3	4.6
2020	606.8	302.0	31.6	1.7	942.0	335.3	57.0	6.1
2021	652.2	98.7	77.5	5.1	833.5	181.3	39.6	4.8

補足表 12-3. サバ類捕食 VPA の S7 (高齢魚ほど捕食圧が高い) シナリオの結果詳細

年	年齢別資源尾数 (百万尾)				年齢別漁獲係数				M2			
	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	64,374.6	16,698.7	2,668.9	858.6	0.11	0.41	0.30	0.11	0.42	0.53	0.66	0.82
1979	48,352.9	12,807.0	2,210.0	346.5	0.28	0.28	0.32	0.12	0.26	0.33	0.41	0.51
1980	21,606.4	9,450.2	2,350.7	359.9	0.39	1.31	0.63	0.23	0.16	0.20	0.26	0.32
1981	32,671.5	4,203.2	699.3	328.1	0.48	1.11	1.23	0.45	0.17	0.21	0.26	0.33
1982	36,990.2	5,795.4	378.6	53.3	0.59	0.75	0.68	0.25	0.16	0.20	0.25	0.31
1983	59,812.4	5,910.1	754.1	50.5	0.27	1.18	0.55	0.20	0.13	0.16	0.21	0.26
1984	53,805.8	13,564.3	521.7	119.8	0.61	2.38	2.18	0.80	0.16	0.20	0.25	0.31
1985	56,272.5	8,439.1	348.4	15.5	0.30	1.39	0.95	0.35	0.16	0.19	0.24	0.30
1986	66,510.9	12,002.9	585.7	35.5	0.19	0.84	0.93	0.34	0.11	0.14	0.17	0.22
1987	46,482.0	16,545.3	1,518.7	65.8	0.16	0.57	0.30	0.11	0.07	0.09	0.12	0.15
1988	108,234.3	12,430.7	2,868.0	338.8	0.14	0.66	0.22	0.08	0.04	0.05	0.06	0.08
1989	165,191.9	30,535.0	2,066.6	728.6	0.07	0.22	0.45	0.16	0.02	0.03	0.04	0.04
1990	154,401.6	50,937.5	8,015.7	428.5	0.06	0.35	0.53	0.19	0.02	0.03	0.03	0.04
1991	117,560.0	47,955.1	11,761.6	1,536.5	0.08	0.30	0.54	0.20	0.03	0.04	0.05	0.06
1992	133,584.2	35,546.1	11,489.7	2,196.5	0.06	0.30	0.78	0.28	0.07	0.08	0.10	0.13
1993	104,863.7	39,670.0	8,175.2	1,606.5	0.09	0.18	0.31	0.11	0.05	0.06	0.07	0.09
1994	103,342.9	30,915.0	10,564.6	1,880.7	0.06	0.26	0.26	0.10	0.03	0.03	0.04	0.05
1995	82,898.2	31,987.7	7,745.4	2,626.8	0.07	0.29	0.57	0.21	0.05	0.06	0.08	0.10
1996	120,302.9	24,727.1	7,576.1	1,365.2	0.09	0.63	1.20	0.44	0.09	0.11	0.13	0.17
1997	179,218.0	34,184.2	4,003.0	676.0	0.05	0.20	1.10	0.40	0.06	0.08	0.10	0.12
1998	244,944.6	54,325.0	8,709.8	407.8	0.07	0.48	0.88	0.32	0.05	0.06	0.07	0.09
1999	161,747.9	73,932.6	10,677.5	1,131.7	0.09	0.42	0.86	0.31	0.05	0.06	0.08	0.10
2000	152,912.5	47,529.2	15,412.1	1,414.8	0.05	0.28	0.51	0.18	0.05	0.06	0.07	0.09
2001	237,110.9	46,966.8	11,430.0	2,912.0	0.02	0.30	0.65	0.24	0.05	0.06	0.07	0.09
2002	241,776.7	75,004.9	11,127.8	1,880.4	0.04	0.47	0.70	0.25	0.05	0.06	0.08	0.10
2003	216,786.4	74,400.5	14,793.7	1,731.1	0.04	0.48	1.13	0.41	0.05	0.06	0.07	0.09
2004	153,458.6	66,892.6	14,701.5	1,504.2	0.04	0.64	1.14	0.41	0.13	0.16	0.20	0.25
2005	204,521.3	43,510.6	10,123.3	1,301.6	0.04	0.39	1.38	0.50	0.13	0.17	0.21	0.26
2006	145,983.5	58,154.5	8,392.5	696.2	0.08	0.62	0.91	0.33	0.11	0.14	0.18	0.22
2007	187,737.6	40,629.5	9,137.5	957.1	0.04	0.61	0.86	0.31	0.10	0.13	0.16	0.20
2008	249,613.4	54,829.6	6,506.3	1,107.0	0.10	0.25	0.76	0.28	0.08	0.10	0.13	0.16
2009	201,196.7	0.0	12,988.1	902.2	0.03	0.36	0.41	0.15	0.12	0.15	0.18	0.23
2010	182,215.3	58,248.8	14,187.7	2,408.2	0.06	0.35	0.51	0.19	0.14	0.17	0.22	0.27
2011	194,991.3	50,155.6	11,618.8	2,313.8	0.04	0.28	0.36	0.13	0.16	0.20	0.25	0.31
2012	150,096.8	54,047.5	10,500.8	2,125.7	0.08	0.29	0.29	0.11	0.22	0.27	0.34	0.42
2013	138,216.7	37,617.6	10,406.7	1,886.6	0.15	0.50	0.41	0.15	0.55	0.69	0.86	1.08
2014	72,811.2	23,092.3	3,853.4	988.6	0.63	1.22	0.49	0.18	0.59	0.74	0.92	1.16
2015	85,813.5	7,229.9	1,095.1	316.7	0.39	0.87	1.16	0.42	0.54	0.67	0.84	1.05
2016	71,328.3	11,439.3	519.5	50.0	0.40	1.55	0.97	0.35	0.52	0.65	0.82	1.02
2017	63,527.0	9,574.4	424.1	29.4	0.32	1.05	0.84	0.31	0.52	0.65	0.81	1.01
2018	107,600.2	9,236.3	592.8	27.5	0.09	0.54	0.43	0.16	0.58	0.73	0.91	1.14
2019	205,778.4	18,561.8	875.5	52.3	0.13	0.31	0.08	0.03	0.59	0.74	0.92	1.16
2020	86,043.4	33,876.1	2,181.7	108.4	0.22	0.17	0.07	0.03	0.58	0.72	0.90	1.13
2021	120,488.7	13,140.4	4,713.3	277.8	0.14	0.34	0.03	0.01	0.59	0.73	0.91	1.14

補足表 12-3. (続き) サバ類捕食 VPA の S7 (高齢魚ほど捕食圧が高い) シナリオの結果詳細

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	324.3	141.1	48.7	21.9	535.9	211.6	43.0	8.0
1979	244.5	172.7	43.8	8.3	469.3	224.8	57.4	12.2
1980	122.0	89.8	40.9	8.1	260.8	138.8	66.0	25.3
1981	139.7	43.8	14.8	9.0	207.3	67.7	50.6	24.4
1982	130.2	52.7	7.0	1.3	191.2	60.9	47.5	24.9
1983	253.4	55.1	12.1	1.1	321.6	68.2	55.2	17.2
1984	178.7	86.3	9.4	3.1	277.5	98.8	90.0	32.4
1985	245.8	63.7	5.3	0.3	315.1	69.3	61.4	19.5
1986	322.2	105.0	7.3	1.0	435.6	113.3	66.1	15.2
1987	277.4	152.6	21.7	1.6	453.3	175.9	62.7	13.8
1988	381.0	128.0	46.2	7.4	562.6	181.6	68.1	12.1
1989	946.5	365.9	41.9	20.5	1,374.8	428.4	87.8	6.4
1990	1,458.9	772.6	142.2	9.7	2,383.3	924.4	215.9	9.1
1991	799.8	738.7	235.1	35.4	1,809.0	1,009.1	202.3	11.2
1992	882.3	505.0	230.9	49.5	1,667.6	785.4	178.3	10.7
1993	555.6	521.2	152.8	36.2	1,265.8	710.2	100.5	7.9
1994	592.1	466.8	207.2	46.9	1,313.0	720.9	110.4	8.4
1995	530.8	511.3	170.4	71.5	1,284.0	753.2	141.7	11.0
1996	909.1	389.7	157.1	33.9	1,489.7	580.6	207.9	14.0
1997	1,643.1	561.1	88.1	17.2	2,309.5	666.4	134.5	5.8
1998	2,179.7	870.6	157.3	8.8	3,216.5	1,036.8	319.4	9.9
1999	1,326.6	1,015.7	205.9	26.9	2,575.2	1,248.6	328.0	12.7
2000	1,135.5	825.4	301.8	34.2	2,296.9	1,161.4	213.1	9.3
2001	1,709.3	727.0	246.6	73.5	2,756.4	1,047.1	197.9	7.2
2002	1,997.8	1,043.9	218.1	48.4	3,308.3	1,310.4	334.4	10.1
2003	1,844.0	1,164.3	282.1	41.3	3,331.6	1,487.6	408.0	12.2
2004	1,591.8	1,018.1	279.8	34.0	2,923.7	1,331.9	401.9	13.7
2005	1,314.4	723.5	204.6	30.9	2,273.4	959.0	237.7	10.5
2006	1,273.0	793.8	157.3	16.3	2,240.4	967.4	303.4	13.5
2007	1,117.7	641.7	178.0	21.8	1,959.1	841.5	242.5	12.4
2008	1,237.9	805.4	136.4	26.6	2,206.4	968.4	209.1	9.5
2009	1,603.3	1,017.4	241.1	19.7	2,881.5	1,278.2	240.9	8.4
2010	1,124.8	912.9	292.2	59.1	2,388.9	1,264.2	247.6	10.4
2011	1,443.6	725.4	233.7	56.3	2,459.1	1,015.5	160.0	6.5
2012	717.3	756.9	203.4	53.6	1,731.3	1,014.0	154.5	8.9
2013	733.2	497.6	216.3	45.5	1,492.6	759.4	156.0	10.5
2014	323.3	234.2	77.5	25.4	660.4	337.0	144.0	21.8
2015	295.1	71.7	23.0	8.3	398.1	103.0	66.5	16.7
2016	313.9	88.9	8.9	1.1	412.8	99.0	77.7	18.8
2017	258.6	74.7	6.6	0.7	340.6	82.0	53.9	15.8
2018	455.3	67.2	8.9	0.5	532.0	76.7	28.9	5.4
2019	590.4	127.9	11.3	0.9	730.4	140.0	44.3	6.1
2020	446.5	295.7	37.9	2.1	782.2	335.7	57.0	7.3
2021	473.6	96.6	91.4	6.1	667.7	194.1	39.6	5.9

補足表 12-4. サバ類捕食 VPA の S8 (若齢魚ほど捕食圧が高い) シナリオの結果詳細

年	年齢別資源尾数 (百万尾)				年齢別漁獲係数				M2			
	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	121,518.5	21,264.4	2,898.5	994.7	0.07	0.35	0.26	0.08	1.05	0.84	0.67	0.54
1979	65,282.3	14,461.1	2,361.6	417.0	0.24	0.26	0.28	0.08	0.66	0.53	0.42	0.34
1980	25,555.3	9,730.7	2,409.3	427.8	0.35	1.29	0.58	0.17	0.41	0.33	0.26	0.21
1981	38,440.2	4,382.7	706.2	381.2	0.43	1.07	1.12	0.33	0.42	0.33	0.27	0.21
1982	42,176.6	6,020.7	392.6	64.4	0.55	0.73	0.61	0.18	0.40	0.32	0.26	0.20
1983	68,081.3	5,975.9	768.4	60.3	0.24	1.17	0.51	0.15	0.33	0.26	0.21	0.17
1984	63,352.4	14,016.7	520.0	136.9	0.54	2.25	1.95	0.58	0.39	0.32	0.25	0.20
1985	72,250.9	9,076.0	393.0	21.0	0.25	1.24	0.74	0.22	0.39	0.31	0.25	0.20
1986	81,641.0	13,980.7	705.0	53.2	0.16	0.67	0.66	0.19	0.28	0.22	0.18	0.14
1987	50,909.9	19,230.9	2,090.7	111.6	0.15	0.46	0.20	0.06	0.19	0.15	0.12	0.10
1988	114,403.3	13,360.3	3,812.9	556.5	0.13	0.57	0.15	0.05	0.10	0.08	0.07	0.05
1989	166,728.5	33,164.3	2,532.1	1,118.8	0.07	0.20	0.34	0.10	0.06	0.04	0.04	0.03
1990	155,571.5	53,976.5	9,524.4	638.3	0.06	0.32	0.41	0.12	0.05	0.04	0.03	0.03
1991	126,998.9	50,800.7	13,771.7	2,241.6	0.07	0.27	0.42	0.12	0.08	0.07	0.05	0.04
1992	144,955.0	39,895.9	13,238.5	3,139.9	0.06	0.26	0.60	0.18	0.16	0.13	0.11	0.08
1993	103,035.3	42,444.7	9,870.3	2,389.6	0.09	0.16	0.24	0.07	0.11	0.09	0.07	0.06
1994	98,088.2	30,711.8	12,038.9	2,639.0	0.06	0.26	0.22	0.06	0.07	0.06	0.04	0.04
1995	83,641.4	31,494.0	8,221.2	3,391.4	0.07	0.29	0.50	0.15	0.13	0.10	0.08	0.07
1996	129,190.7	25,045.9	7,790.0	1,679.9	0.08	0.61	1.06	0.31	0.21	0.17	0.14	0.11
1997	183,816.4	35,155.5	4,196.5	862.1	0.04	0.19	0.95	0.28	0.15	0.12	0.10	0.08
1998	249,564.6	55,093.1	9,359.2	538.8	0.06	0.46	0.74	0.22	0.11	0.09	0.07	0.06
1999	162,159.3	76,301.6	11,589.4	1,511.2	0.09	0.39	0.71	0.21	0.13	0.10	0.08	0.06
2000	149,173.9	47,859.4	17,029.9	1,916.6	0.05	0.27	0.42	0.13	0.12	0.09	0.08	0.06
2001	226,365.4	46,207.2	12,148.6	3,777.4	0.02	0.29	0.56	0.17	0.11	0.09	0.07	0.06
2002	232,574.5	72,412.5	11,490.4	2,349.2	0.04	0.48	0.63	0.19	0.13	0.10	0.08	0.06
2003	217,589.0	71,766.6	14,771.1	2,066.4	0.04	0.49	1.05	0.31	0.12	0.09	0.07	0.06
2004	177,615.5	67,909.3	14,721.0	1,749.8	0.04	0.63	1.06	0.31	0.32	0.26	0.21	0.16
2005	234,568.3	45,172.3	10,176.3	1,519.7	0.03	0.38	1.26	0.37	0.33	0.27	0.21	0.17
2006	160,386.1	59,317.6	8,653.3	849.2	0.07	0.61	0.81	0.24	0.28	0.23	0.18	0.15
2007	197,975.2	40,926.4	9,408.7	1,169.1	0.04	0.61	0.78	0.23	0.26	0.21	0.17	0.13
2008	252,554.8	53,616.7	6,614.0	1,339.9	0.10	0.25	0.70	0.21	0.21	0.16	0.13	0.11
2009	207,632.5	67,706.0	12,889.4	1,051.1	0.04	0.38	0.40	0.12	0.30	0.24	0.19	0.15
2010	185,954.0	54,531.2	13,398.4	2,618.0	0.07	0.39	0.52	0.15	0.35	0.28	0.22	0.18
2011	217,300.7	44,887.4	10,257.6	2,324.8	0.04	0.32	0.40	0.12	0.40	0.32	0.26	0.20
2012	224,806.2	51,428.9	8,633.1	1,941.3	0.06	0.32	0.35	0.10	0.54	0.43	0.34	0.28
2013	335,404.7	45,153.8	8,843.3	1,569.5	0.09	0.49	0.48	0.14	1.37	1.10	0.88	0.70
2014	154,063.2	28,404.6	3,359.5	829.7	0.40	1.16	0.56	0.17	1.48	1.18	0.94	0.76
2015	179,335.2	8,609.9	997.1	272.2	0.25	0.85	1.31	0.39	1.35	1.08	0.86	0.69
2016	140,764.3	13,284.3	456.7	41.5	0.27	1.58	1.15	0.34	1.31	1.04	0.84	0.67
2017	122,050.5	10,639.2	353.3	22.8	0.23	1.14	1.08	0.32	1.29	1.03	0.83	0.66
2018	241,402.9	9,748.4	440.8	19.2	0.06	0.64	0.61	0.18	1.46	1.17	0.93	0.75
2019	457,140.3	19,424.4	586.6	34.6	0.08	0.37	0.11	0.03	1.48	1.18	0.95	0.76
2020	182,882.6	35,125.3	1,505.3	74.3	0.15	0.19	0.11	0.03	1.44	1.15	0.92	0.74
2021	263,564.3	13,717.0	3,351.7	197.2	0.09	0.40	0.04	0.01	1.46	1.17	0.93	0.75

補足表 12-4. (続き) サバ類捕食 VPA の S8 (若齢魚ほど捕食圧が高い) シナリオの結果詳細

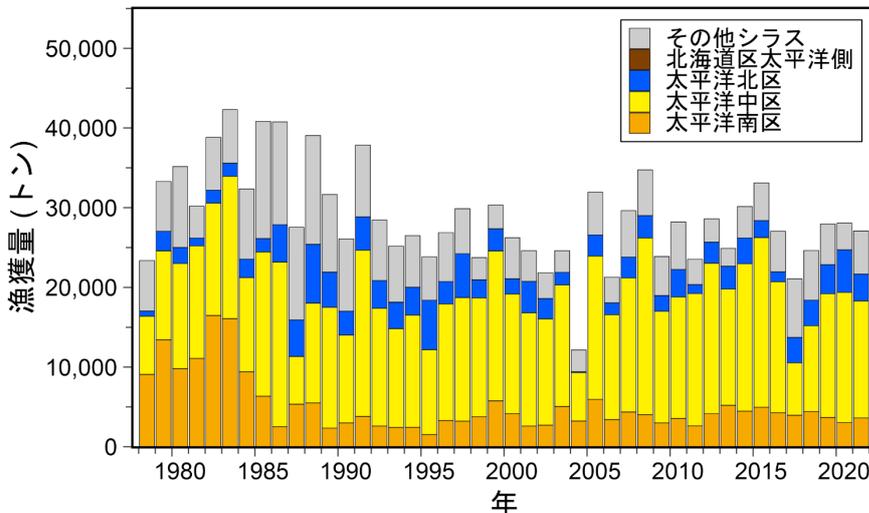
年	年齢別資源量 (千トン)				資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	漁獲割合 (%)
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚				
1978	612.1	179.7	52.8	25.4	870.0	257.9	43.0	4.9
1979	330.1	195.0	46.8	10.0	581.9	251.8	57.4	9.9
1980	144.3	92.5	41.9	9.7	288.4	144.0	66.0	22.9
1981	164.3	45.7	15.0	10.5	235.5	71.1	50.6	21.5
1982	148.5	54.7	7.2	1.6	212.0	63.5	47.5	22.4
1983	288.4	55.7	12.3	1.3	357.7	69.3	55.2	15.4
1984	210.4	89.2	9.4	3.5	312.5	102.1	90.0	28.8
1985	315.5	68.5	6.0	0.4	390.4	74.9	61.4	15.7
1986	395.5	122.3	8.8	1.5	528.2	132.6	66.1	12.5
1987	303.9	177.4	29.9	2.6	513.8	209.9	62.7	12.2
1988	402.7	137.6	61.4	12.1	613.8	211.1	68.1	11.1
1989	955.3	397.5	51.3	31.5	1,435.6	480.3	87.8	6.1
1990	1,470.0	818.7	168.9	14.4	2,472.0	1,002.0	215.9	8.7
1991	864.0	782.5	275.3	51.6	1,973.4	1,109.4	202.3	10.3
1992	957.4	566.8	266.1	70.7	1,860.9	903.6	178.3	9.6
1993	545.9	557.6	184.5	53.9	1,341.9	796.0	100.5	7.5
1994	562.0	463.7	236.1	65.8	1,327.6	765.7	110.4	8.3
1995	535.5	503.4	180.9	92.3	1,312.1	776.6	141.7	10.8
1996	976.3	394.7	161.5	41.7	1,574.1	597.9	207.9	13.2
1997	1,685.3	577.1	92.3	21.9	2,376.5	691.3	134.5	5.7
1998	2,220.8	883.0	169.1	11.6	3,284.4	1,063.6	319.4	9.7
1999	1,330.0	1,048.3	223.5	36.0	2,637.7	1,307.7	328.0	12.4
2000	1,107.7	831.1	333.5	46.3	2,318.7	1,210.9	213.1	9.2
2001	1,631.8	715.2	262.1	95.4	2,704.5	1,072.7	197.9	7.3
2002	1,921.8	1,007.8	225.2	60.5	3,215.3	1,293.5	334.4	10.4
2003	1,850.8	1,123.0	281.6	49.3	3,304.7	1,454.0	408.0	12.3
2004	1,842.4	1,033.6	280.1	39.5	3,195.6	1,353.3	401.9	12.6
2005	1,507.5	751.1	205.7	36.0	2,500.3	992.8	237.7	9.5
2006	1,398.6	809.7	162.2	19.9	2,390.4	991.7	303.4	12.7
2007	1,178.6	646.3	183.3	26.6	2,034.9	856.3	242.5	11.9
2008	1,252.5	787.6	138.7	32.2	2,211.0	958.5	209.1	9.5
2009	1,654.6	984.7	239.3	23.0	2,901.6	1,247.0	240.9	8.3
2010	1,147.9	854.6	275.9	64.2	2,342.6	1,194.8	247.6	10.6
2011	1,608.7	649.2	206.4	56.6	2,520.9	912.2	160.0	6.3
2012	1,074.4	720.2	167.2	49.0	2,010.8	936.5	154.5	7.7
2013	1,779.2	597.3	183.8	37.8	2,598.2	819.0	156.0	6.0
2014	684.2	288.1	67.5	21.3	1,061.0	376.9	144.0	13.6
2015	616.7	85.4	20.9	7.1	730.2	113.4	66.5	9.1
2016	619.4	103.3	7.8	0.9	731.4	112.0	77.7	10.6
2017	496.8	83.0	5.5	0.5	585.9	89.0	53.9	9.2
2018	1,021.5	71.0	6.6	0.4	1,099.4	77.9	28.9	2.6
2019	1,311.5	133.8	7.6	0.6	1,453.5	141.9	44.3	3.0
2020	949.0	306.6	26.1	1.4	1,283.2	334.2	57.0	4.4
2021	1,036.1	100.8	65.0	4.4	1,206.2	170.2	39.6	3.3

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 万トンで推移している（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、そこから海區別（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。この海區別混獲率（主要港）と太平洋における海區別のシラス漁獲量（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は、0.94 万～3.6 万トンで推移しており、概ね 2.3 万トン程度で安定している（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 シラス漁獲量 (トン)	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		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	39,059	26,228	25,399	65
1989	10,322	16,344	4,953	43	31,619	25,025	21,915	69
1990	9,889	13,054	3,138	1	26,081	24,526	17,016	65
1991	11,628	21,929	4,303	1	37,860	35,500	28,865	76
1992	9,977	14,921	3,548	2	28,446	25,022	20,859	73
1993	8,255	13,553	3,332	37	25,140	23,119	18,146	72
1994	8,414	14,498	3,571	8	26,483	24,239	20,025	76
1995	6,176	10,833	6,828	1	23,837	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	23,743	20,126	20,957	88
1999	8,395	18,877	3,050	2	30,322	29,440	27,357	90
2000	8,312	15,243	2,685	1	26,240	24,824	21,078	80
2001	4,496	14,570	5,528	14	24,594	23,546	20,762	84
2002	4,214	13,654	3,970	7	21,838	19,660	18,601	85
2003	7,214	15,507	1,876	3	24,597	24,594	21,882	89
2004	5,808	6,161	176	7	12,145	11,987	9,419	78
2005	9,142	18,067	4,725	4	31,934	26,429	26,585	83
2006	5,409	13,211	2,660	1	21,280	19,583	18,068	85
2007	7,397	17,008	5,218	6	29,623	27,640	23,808	80
2008	6,422	22,972	5,345	2	34,739	29,731	29,012	84
2009	5,538	14,268	4,062	3	23,868	21,648	18,981	80
2010	6,890	15,462	5,854	4	28,206	24,631	22,248	79
2011	5,064	17,335	1,136	3	23,535	21,216	20,359	87
2012	6,768	19,177	2,647	5	28,592	25,624	25,677	90
2013	7,059	14,928	2,895	1	24,882	22,515	22,663	91
2014	6,751	20,064	3,322	4	30,137	26,116	26,196	87
2015	7,315	23,606	2,190	3	33,111	27,693	28,386	86
2016	6,807	18,842	1,402	2	27,051	24,109	21,956	81
2017	6,009	10,891	4,173	3	21,073	19,024	13,728	65
2018	6,784	13,783	4,070	1	24,637	20,812	18,391	75
2019	6,395	17,634	3,920	1	27,949	22,909	22,865	82
2020	5,425	16,894	5,754	0	28,073	23,897	24,714	88
2021	6,288	16,669	4,123	1	27,080	25,569	21,668	80