

令和 6（2024）年度カタクチイワシ太平洋系群の資源評価

水産研究・教育機構

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

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

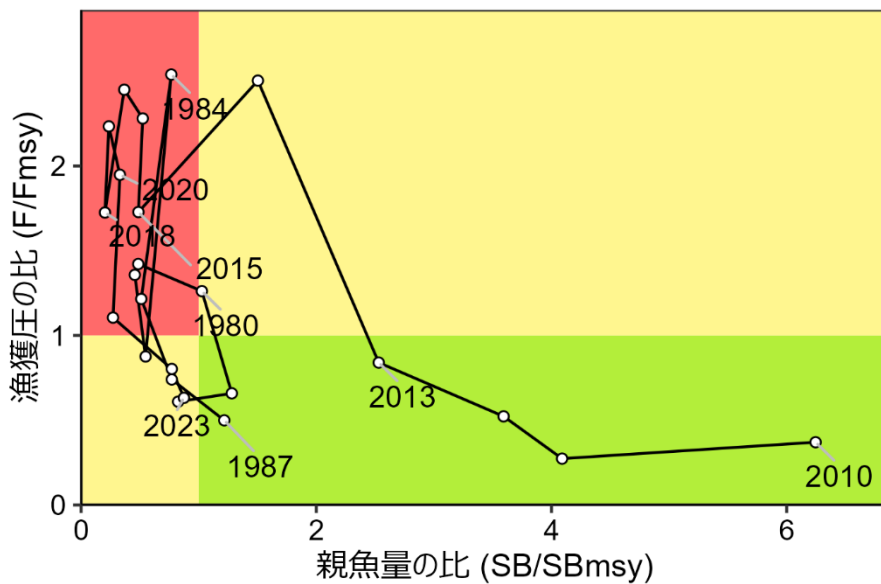
要 約

本系群の資源量について、2010 年以降の産卵量と北上期調査 0 歳魚 CPUE をチューニング指数として用いたコホート解析により推定した。資源量は 1978～1988 年は 50 万トン未満であったが、1989 年に急増して 100 万トンを上回り、1998 年には 200 万トンを上回った。その後、2002 年には 291 万トンの最大値を示したが、2003 年以降は減少傾向となり、2018 年には 9.3 万トンの最小値となった。2019 年以降は増加傾向を示しており、2023 年の資源量は 26.2 万トンであった。親魚量についても 2019 年以降、増加傾向を示しており、2023 年は 9.8 万トンであった。

令和 3 年 9 月に公開された「管理基準値等に関する研究機関会議資料」では、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 2023 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 2023 年の漁獲圧は SBmsy を維持する水準の漁獲圧 (Fmsy) を下回る。親魚量の動向は直近 5 年間 (2019～2023 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については、管理基準値等に関する研究機関会議・資源管理方針に関する検討会等において議論された値を暫定的に示した。

要 約 図 表



最大持続生産量 (MSY)、親魚量の水準と動向、および ABC	
MSY を実現する水準の親魚量 (SBmsy)	112 千トン
2023 年の親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る
2023 年の漁獲圧の水準	SBmsy を維持する水準を下回る
2023 年の親魚量の動向	増加
MSY	81 千トン
2025 年の ABC	-
コメント: ・ ABC は、本系群の漁獲シナリオが「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。	

直近 5 年と将来 2 年の資源量、親魚量、漁獲量、F/Fmsy、および漁獲割合					
年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F/Fmsy	漁獲割合 (%)
2019	107	27	44	2.23	41
2020	151	37	57	1.95	38
2021	205	31	42	1.11	21
2022	202	87	40	0.80	20
2023	262	98	41	0.63	16
2024	289	111	45	0.47	16
2025	343	150	—	—	—

・ 2024、2025 年の値は将来予測に基づく平均値である。
 ・ 2024 年の漁獲量として、直近 5 年間（2019～2023 年）の平均漁獲量 45 千トンを用いた。

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 ・産卵量* ・北上期トロール調査 CPUE* ・秋季トロール調査 CPUE ・冬春季の常磐・房総海域漁獲量 ・北部太平洋大中型まき網の漁獲努力量 ・北部太平洋まき網の 3～6 月の資源量指数 ・大中型・中型 2 そうまき網船 3 隻の 2～6 月の平均 CPUE	卵・稚仔、プランクトン調査(毎月、水産機構、青森～鹿児島(18 都県)): ノルパックネット、CTD 等 北西太平洋北上期浮魚類資源調査(5～7 月、水産機構) 北西太平洋秋季浮魚類資源調査(9～10 月、水産機構) 主要港水揚量(千葉県、茨城県、福島県)、体長組成調査 漁場別漁獲状況調査(JAFIC) 漁場別漁獲状況調査(JAFIC) 房総沿岸 2 そうまき網漁況(千葉水総研)
自然死亡係数(M)	0～1 歳魚は 1.0、2 歳魚は 1.6、3 歳魚は 1.9
漁獲努力量	-

*はコホート解析におけるチューニング指数である。

2. 生態

(1) 分布・回遊

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

(2) 年齢・成長

寿命はこれまでの鱸の読輪結果から 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と、満 1 歳で被鱸体長 10～12 cm 程度、2 歳で 13 cm 程度に成長するが、成長の早い個体は満 1 歳で 13 cm に達することも報告されている(Hayashi and Kondo 1957、三谷 2001、八角ほか 2007、Yukami et al. 2008) (図 2-2)。体長-体重関係は以下の冪乗(アロメトリック)回帰式で示され、2 つのパラメータの値(比例定数、冪指数)は 1998～2007 年各年のパラメータの平均である。

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

ここで、 BW は体重 (g)、 L は被鱗体長 (cm) を表す。

(3) 成熟・産卵

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

(4) 被捕食関係

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

(5) 特記事項

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

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

本系群の仔魚は、宮城県から鹿児島県の沿岸において、シラス船びき網などにより春から秋にかけてシラスとして漁獲される。未成魚と成魚は、各地の定置網ならびにまき網でも漁獲される。常磐・房総 (福島県、茨城県、千葉県) の大中型まき網の漁期は 12 月～翌年 6 月である。資源量が多い年には 9～11 月に道東から三陸で漁獲されるとともに、1～5

月には熊野灘や日向灘でも多獲される。黒潮・親潮移行域など、沖合域に分布する魚群はほとんど漁獲対象となっていない。1999～2004年には未成魚と成魚の漁獲の30～35%が常磐・房総の大中型まき網によるものであったが、その後この割合は減少し、2012年以降は10%未満となっている。

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

(2) 漁獲量の推移

本系群の漁獲量は、1989年まで4.3万～9.0万トンで推移していたが、1990年に太平洋北区（青森県～茨城県）で急増し20万トンを超えた（図3-1、表3-1）。その後は、年変動が激しいものの概ね増加傾向を示し、2003年には過去最高の40.8万トンとなった。2004年以降は減少傾向にあり、2011～2014年は14.4万～16.0万トン、2015～2022年は2.9万～7.8万トンとなり、2023年の漁獲量は4.1万トンであった。海区別では、太平洋北区と太平洋中区（千葉県～三重県）の漁獲量が多く、太平洋南区（和歌山県～宮崎県）と北海道区太平洋側の漁獲量は少ない。太平洋北区では2000年代後半以降、漁獲量が大きく減少している。太平洋中区では、2010年代前半までは千葉県の割合が高かったが、2015年以降は急減して低調に推移している。千葉県を除く東海海域（神奈川県～三重県）の漁獲量については、全年代を通して比較的安定して推移している。また、本系群のシラス漁獲量についても、1980年代後半以降、全海区において比較的安定して推移している（補足図13-1、補足表13-1）。

(3) 漁獲努力量

本系群への漁獲努力量を正確に把握することは難しい。しかし、資源量が多かった年には北部太平洋大中型まき網の網数が一つの指標になると考えられる。当該網数は、2002～2004年は2,000網を超える高い水準にあったが、2005年以降減少傾向を示し、2012年以降については50網未満の非常に低い水準で推移している（補足図9-1、補足表9-1）。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

1978年以降の年齢別漁獲尾数（図3-2、補足表2-2）および2010年以降の資源量指標値（図4-1、補足表2-1）に基づいて、チューニングコホート解析（以下、「チューニングVPA」という）により資源量を推定した（補足資料1、2）。資源量指標値（チューニング指数）としては、卵稚仔データベースに基づく産卵量（5分升目）と北上期調査0歳魚CPUEをそれぞれ標準化した値を用い（補足資料8）、2023年の漁獲圧は年齢別漁獲係数（F）の大きさに応じて罰則を課す推定方法（リッジVPA; Okamura et al. 2017）により推定した。また、サバ類の捕食圧を考慮したコホート解析による試算結果について参考情報として補足資料12に示した。なお、本系群の資源評価は、シラスを含めない形で資源量推定を行っている。

(2) 資源量指標値の推移

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

資源量指標値として用いた産卵量と北上期調査0歳魚CPUEを図4-1と補足表2-1に示す。これら2つの資源量指標値は、近年ともに低い水準で推移しているが、2022年から2023年にかけては増加した。チューニングに使用した2010年以降で見ると、産卵量については2020年以降で比較的高い値となっている。北上期調査0歳魚CPUEについては、2021年に比較的高い値を示した他は、低い水準となっている。なお、チューニング指数に係る調査船調査の概要については補足資料7に、チューニング指数の標準化手法については補足資料8に示す。また、チューニングVPAに使用しなかった資源量指標値の概要については補足資料9に示す。

(3) 資源量と漁獲量の推移

チューニングVPAにより推定した資源量は1978～1988年は50万トン未満であったが、1989年に急増して100万トンを上回り、1998年には200万トンを上回った（図4-2、表4-1）。その後、2002年には291万トンの最大値を示したが、2003年以降は減少傾向となり、2018年には9.3万トンの最小値となった。2019年以降は増加傾向を示しており、2023年の資源量は26.2万トンであった。

親魚量も1980年代後半以降増加傾向となり、1990、1991年の80万トン台を経て、2003年には143.1万トンの最大値となった（図4-2、表4-1）。2004年以降は減少傾向となり、2018年には2.3万トンの最低値を示したが、その後は増加傾向を示しており、2023年の親魚量は9.8万トンであった。

参考として、産卵量に基づき、卵数法（渡部1983）により推定した親魚量（I～IV区）は、1980年代後半以降増加傾向となり、2003年には256万トンの最大値となった（補足図7-5、補足表7-1）。2004年以降は減少傾向となり、2018年には7.1万トンの最低値となったが、2019年以降は増加傾向を示しており、2023年は30.8万トンであった。なお、1998年以前は、コホート解析と卵数法による親魚量の推定値は同程度にあるか、もしくはコホート解析の推定値の方が高めであったが、1999年以降はコホート解析の推定値の方が低めで推移している年が多くなっている。

年齢別資源尾数は0歳魚が58～92%を占め、0～1歳魚では90.5～99.8%と資源の大半を占める（図4-3、補足表2-2）。2023年の資源尾数は、全年齢合計では379億尾となり、年齢別では、0歳魚（加入量）と2～3歳魚では2022年よりも増加したが、1歳魚では2022年の低加入を受けて半減以下となった。

年齢別資源量は0歳魚が37～85%を占め、0～1歳魚では79.6～99.2%と資源の大半を占める（図4-4、補足表2-2）。2023年の資源量は0歳魚が2022年よりも5万トン程度増加したが、1歳魚は約3万トン減少し、2～3歳魚は合計すると2022年よりも4.5万トン程度増

加したため、資源量全体としては2022年から増加した。

加入量（0歳魚資源尾数）は1987年まで153億～462億尾で推移していたが、1988年以降急増し、2001年には2,010億尾の最大値となった（図4-5、表4-1）。2002年以降は減少傾向となり、2018年には166億尾と過去2番目に低い値となったが、2019年以降は増加傾向を示しており、2023年の加入量は300億尾であった。

再生産成功率は、おおよそ資源水準の低い年に高く、逆に資源水準の高い年に低い傾向にある（図4-5、表4-1）。2023年の再生産成功率は2022年よりも微増し305尾/kgとなった。

自然死亡係数（M）を0.5倍、0.75倍、1.25倍および1.5倍に変化させた場合の感度解析の結果を図4-6に示す。最新年（2023年）の推定値に注目すると、基準値（評価結果）に対する比率は、Mを0.5倍した場合には資源量で73%、親魚量で102%、加入量で56%であった。Mを1.5倍した場合には、資源量で180%、親魚量で127%、加入量で212%であった。Mを0.75倍、1.25倍した場合の基準値に対する比率は、0.75倍した場合の親魚量を除いて、これらの中間的な値を示した。Mを0.75倍した場合の親魚量の基準値に対する比率は97%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2-2に示す。すべての年齢のFについて、再生産成功率と同様に、おおよそ資源水準の低い年に高く、逆に資源水準の高い年に低い傾向が認められる。2023年のFは、0歳魚（0.23）と1歳魚（1.16）については2021年と同程度であったが、2～3歳魚については0.06と過去最低値となった。

漁獲割合については、過去46年間（1978～2023年）の平均が21%であるが、2014～2020年には30%以上の高い値で推移した（図4-8、表4-1）。その後減少傾向を示しており、2023年の漁獲割合は16%であった。

昨年度以前の資源評価結果との比較については補足資料11に示した。

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

選択率の影響を考慮して漁獲圧を比較するため、加入量あたり親魚量（SPR）を基準に、その漁獲圧が無かった場合との比較を行った。図4-9と表4-1に年ごとに漁獲が無かったと仮定した場合のSPRに対する、漁獲があった場合のSPRの割合（%SPR）の推移を示した。%SPRは漁獲圧が低いほど大きな値となるが、おおよそ資源水準の低い年に低く、逆に資源水準の高い年に高い傾向が認められる。2023年の%SPRは2022年と同程度の56%であった。また、現状の漁獲圧として、直近3年間（2021～2023年）の平均F値から%SPRを算出すると49%となった（補足表6-3）。

最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量（SBmsy）を維持するF（Fmsy）に対するYPRと%SPRの関係を図4-10に示した。ここでのFの選択率としては令和3年9月に公開された「管理基準値等に関する研究機関会議資料」においてFmsyの推定に用いた値（木下ほか2021b）を使用した（補足表5-1）。また、年齢別平均体重および成熟割合についてもFmsy算出時の値を使用した。Fmsyは%SPRに換算すると45%に相当する（補足表6-2）。現状の漁獲圧（F2021-2023）はFmsyやF40%SPR、およびF0.1を下回っている（図4-10）。

(5) 再生産関係

親魚量（重量）と加入量（尾数）の関係（再生産関係）を図 4-11 に示した。上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」により、本系群の再生産関係としては、通常加入期のベバートン・ホルト型再生産関係式が適用されている（木下ほか 2021b）。また、再生産関係式のパラメータ推定に使用したデータは、令和 2（2020）年度の資源評価（木下ほか 2021a）における親魚量・加入量（2019 年のデータを除く）であり、最適化方法には最小二乗法を用い、加入量の残差の 1 次の自己相関については考慮していない。再生産関係式の各パラメータを補足表 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

令和 3 年 9 月に公開された「管理基準値等に関する研究機関会議資料」（木下ほか 2021b）で示された現在を含む通常加入期（1978～1987 年および 2010 年以降）の環境下における最大持続生産量（MSY）、MSY を実現する親魚量（SBmsy）、および SBmsy を維持する F（Fmsy）を補足表 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（SBmsy）と SBmsy を維持する漁獲圧（Fmsy）を基準にした神戸プロットを図 4-12 に示した。また、2023 年の親魚量と漁獲圧、それらの値と管理基準値との比較結果を補足表 6-3 に示した。本系群における 2023 年の親魚量は SBmsy を下回るが、MSY の 60% の漁獲量が得られる親魚量（SB0.6msy）を上回る。2023 年の親魚量は SBmsy の 0.87 倍である。また、2023 年の漁獲圧は、Fmsy を下回っており、Fmsy の 0.63 倍である。なお、神戸プロットに示した漁獲圧の比（F/Fmsy）とは、各年の F の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して求めた値と、各年の F 値との比である。

親魚量の動向は、直近 5 年間（2019～2023 年）の推移から増加と判断される。本系群の親魚量は、近年について見ると、2015 年以降は SBmsy を下回っているが、2022 年から漁獲圧が Fmsy 以下に削減され、2022 年以降の親魚量は SBmsy の水準に近づきつつある。

5. 資源評価のまとめ

昨年度評価に引き続き、本年度評価でもチューニング VPA により資源量を推定した。資源量は 1989 年に急増して 100 万トンを上回り、2002 年には 291 万トンの最大値となったが、2003 年以降は減少傾向となり、2018 年には 9.3 万トンの最小値となった。その後は増加傾向を示しており、2023 年の資源量は 26.2 万トンであった。2023 年の親魚量は 9.8 万トンであり、SBmsy（11.2 万トン）を下回っているが、2019 年以降増加傾向を示している。漁獲圧は、2019 年以降減少傾向を示しており、2023 年の値は Fmsy を下回っている。

6. その他

本年度評価では、令和 4 年度評価から引き続き、資源量推定方法にチューニング VPA（リッジ VPA）を適用し、チューニング指数については昨年度評価と同じく標準化した産卵量と北上期調査 0 歳魚 CPUE を使用した。ただし、北上期調査 0 歳魚 CPUE は沖合域の調査船調査による指標値であるため、現在のように分布がほぼ沿岸域に限られる状況では、資

源状況を十分には説明できない可能性があることなどから、本系群のチューニング VPA については、引き続きチューニング手法の検討に加え、資源量指標値の探索が必要である。なお、参考のため、チューニングをしない場合の VPA の結果を補足資料 10 に示すとともに、令和 4 年度評価から引き続き、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 (サバ類捕食 VPA) による試算結果も参考情報として補足資料 12 に示した。

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

なお、本系群は、2024 年 4 月 24 日に開催された第 4 回資源管理方針に関する検討会 (ステークホルダー会合) において、令和 7 年 1 月 1 日からの TAC 管理のステップ 1 の開始が合意された。この検討において議論された取り組み (FRA-SA2024-SSC01-01 参照) については、引き続き関係機関と協議・協力しながら進めていく予定である。

7. 引用文献

- Chavez, F.P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota, C.M. Niquen (2003) From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, **299**, 217-221.
- 船越茂雄 (1990) 遠州灘, 伊勢・三河湾およびその周辺海域におけるカタクチイワシの再生産機構に関する研究. 愛知水試研究業績 B 集, **10**, 1-208.
- 船本鉄一郎 (2001) カタクチイワシの成熟・産卵. 日水誌, **67**, 1129-1130.
- Hayashi, S. and K. Kondo (1957) Growth of the Japanese Anchovy-IV. Age determination with the use of scales. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, **17**, 31-64, pls.1-4.
- Kawasaki, T. (1992) Climate-dependent fluctuations in far eastern sardine population and their impacts on fisheries and society. In: *Climate variability, climate change and fisheries*, ed. Glantz, M.H., Cambridge University press, Cambridge, pp. 325-354.
- 木下順二・上村泰洋・安田十也 (2021a) 令和 2 (2020) 年度カタクチイワシ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2020-SC02-1, 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, 東京, 90pp. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2023/07/details_2022_24.pdf
- 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, 水産研究・教育機構, 横浜, 53pp. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20210906/FRA-SA2021-BRP03-1.pdf
- 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.
- 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.
- 須原三加・森 泰雄・三原行雄・山本昌幸・川端 淳・高橋素光・勝川木綿・片山知史・山下 洋・川村知彦・渡邊良朗 (2013) カタクチイワシの繁殖特性の海域間比較. 日水誌, **79**, 813-822.
- Takasuka, A., Y. Oozeki and H. Kubota (2008) Multi-species regime shifts reflected in spawning temperature optima of small pelagic fish in the western North Pacific. Mar. Ecol. Prog. Ser., **360**, 211-217.
- Tanaka, E. (2003) A method for estimating dynamics of carrying capacity using time series of stock and recruitment. Fish. Sci., **69**, 677-686.
- 靄田義成・高橋章策 (1997) 黒潮続流域および混合水域におけるカタクチイワシ *Engraulis japonicus* の産卵生態. 北水研報, **61**, 9-15.
- 靄田義成 (2001) カタクチイワシの生活史戦略. 日水誌, **67**, 1133-1134.
- 渡部泰輔 (1983) 卵数法. 「水産資源の解析と評価 その手法と適用例」石井丈夫編, 恒星社厚生閣, 東京, 9-29.
- 八角直道・平野和夫・森 泰雄・永島 宏 (2007) カタクチイワシの成長および寿命の再検討. 黒潮の資源海洋研究, **8**, 67-78.
- Yatsu, A., T. Watanabe, M. Ishida, H. Sugisaki, L.D. Jacobsen (2005) Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management. Fish. Oceanogr., **14**, 263-278.
- Yukami R., I. Aoki and I. Mitani (2008) Daily age of adult Japanese anchovy *Engraulis japonicus* off eastern Honshu, Japan by otolith daily increment. Fish. Sci., **74**, 1348-1350.
- 銭谷 弘・木村 量 (1997) 太平洋岸域のカタクチイワシの資源回復に伴う 2~3 月産卵量の増加. 日水誌, **63**, 665-671.
- 銭谷 弘 (2001) カタクチイワシの資源増加の経過と特徴. 日水誌, **67**, 1125-1126.
- 水産資源研究所 (2024) カタクチイワシ太平洋系群に関する検討依頼への対応について. FRA-SA2024-SSC01-01, 10pp. https://www.fra.go.jp/shigen/fisheries_resources/meeting/stok_assesment_meeting/2023/files/sa2024-ssc01/fra-sa2024-ssc01-01.pdf



図 2-1. カタクチイワシ太平洋系群の分布域

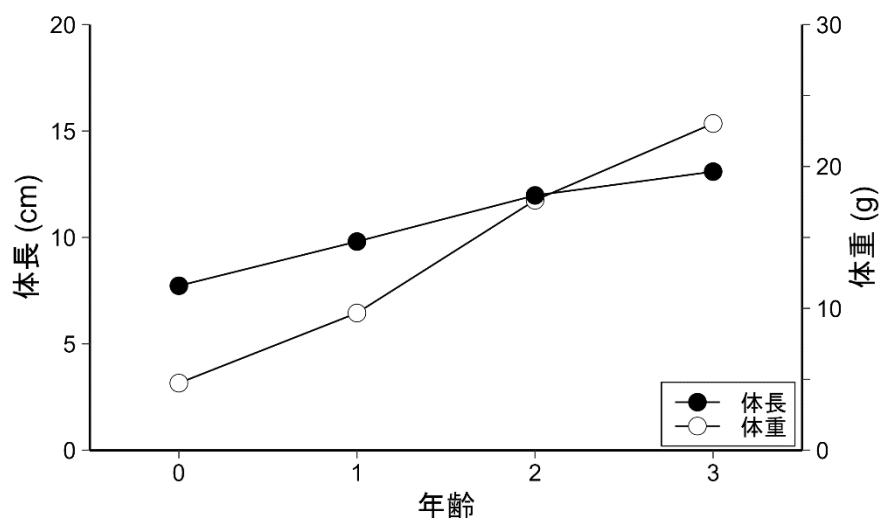


図 2-2. 年齢と成長

体重は、年齢別平均体重の 1978～1987 年および 2010～2023 年（通常加入期）の平均。
被鱗体長は、その体重から式 (1) を使用して換算。

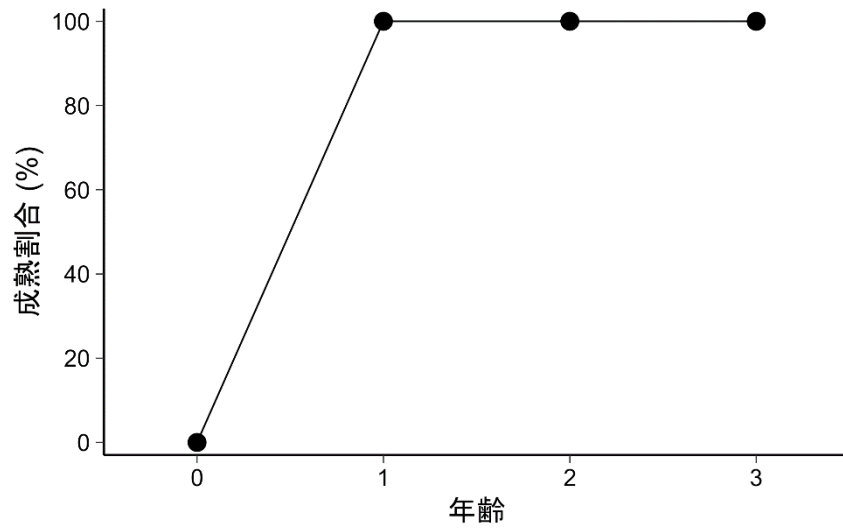


図 2-3. 年齢別成熟割合

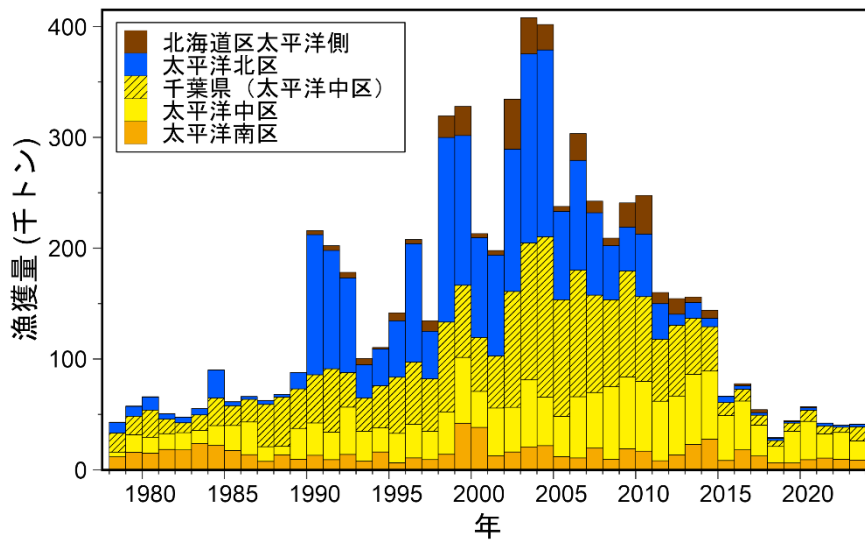


図 3-1. 漁獲量の推移

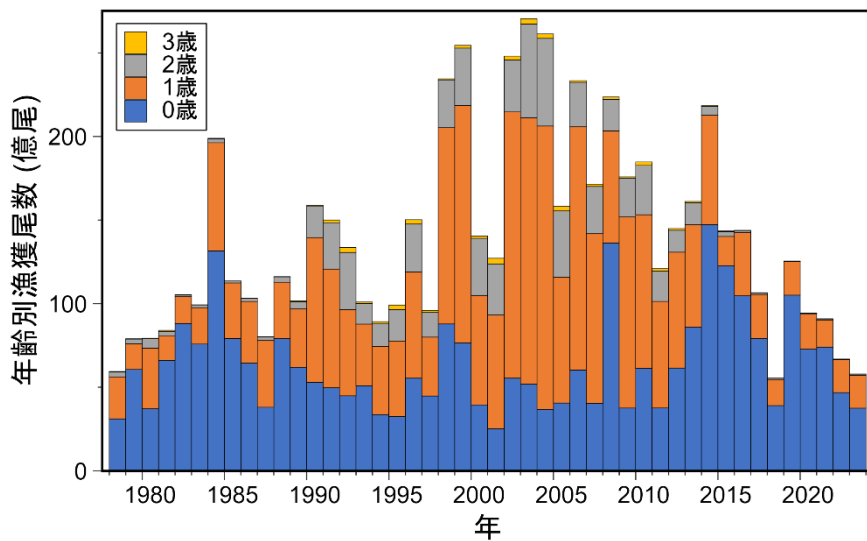


図 3-2. 年齢別漁獲尾数の推移

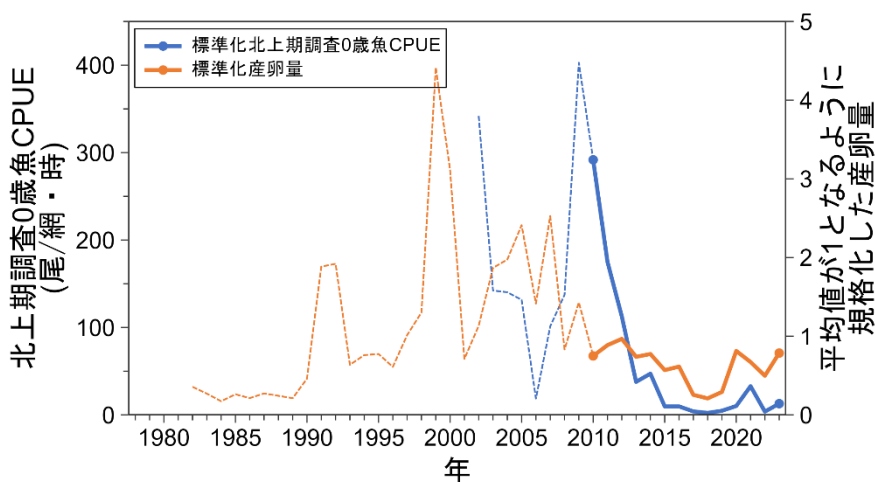


図 4-1. 資源量指標値（チューニング指数）の推移

実線部分（2010～2023年）はチューニングに用いた年を表す。

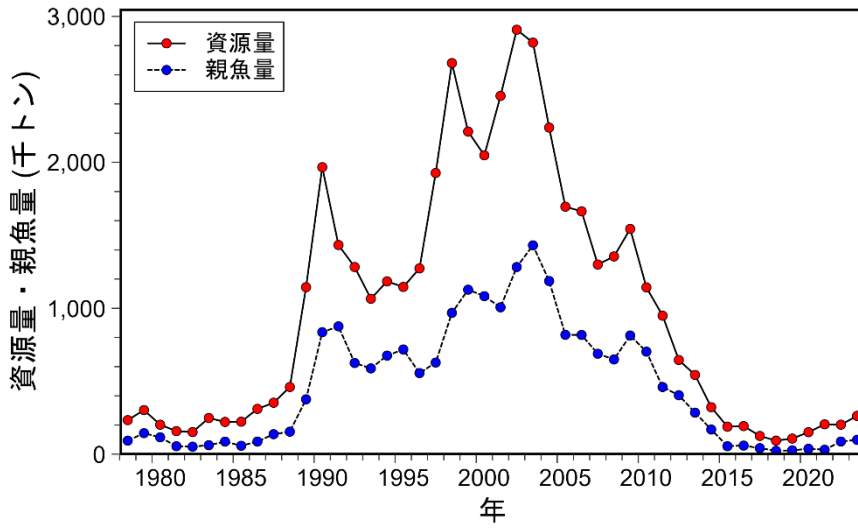


図 4-2. 資源量と親魚量の推移

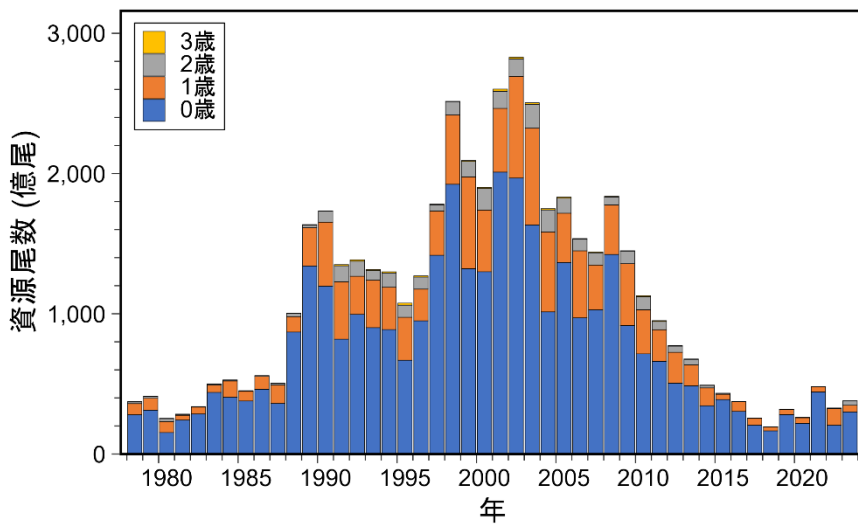


図 4-3. 年齢別資源尾数の推移

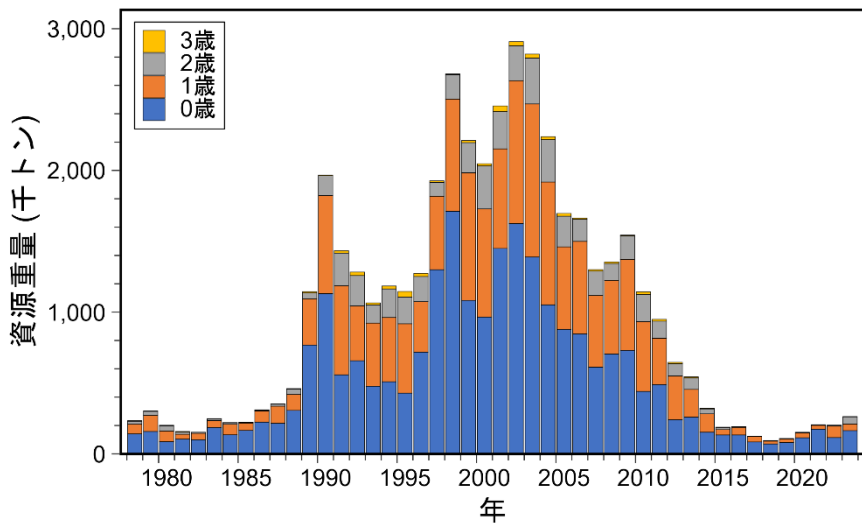


図 4-4. 年齢別資源重量の推移

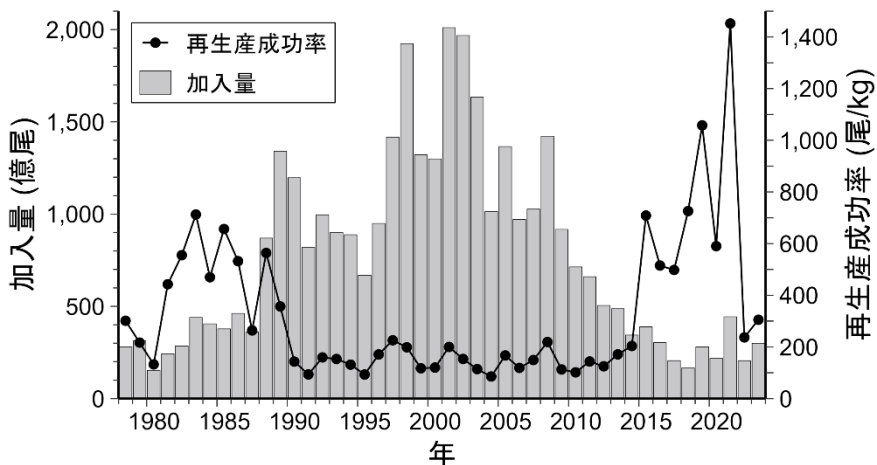


図 4-5. 加入量と再生産成功率の推移

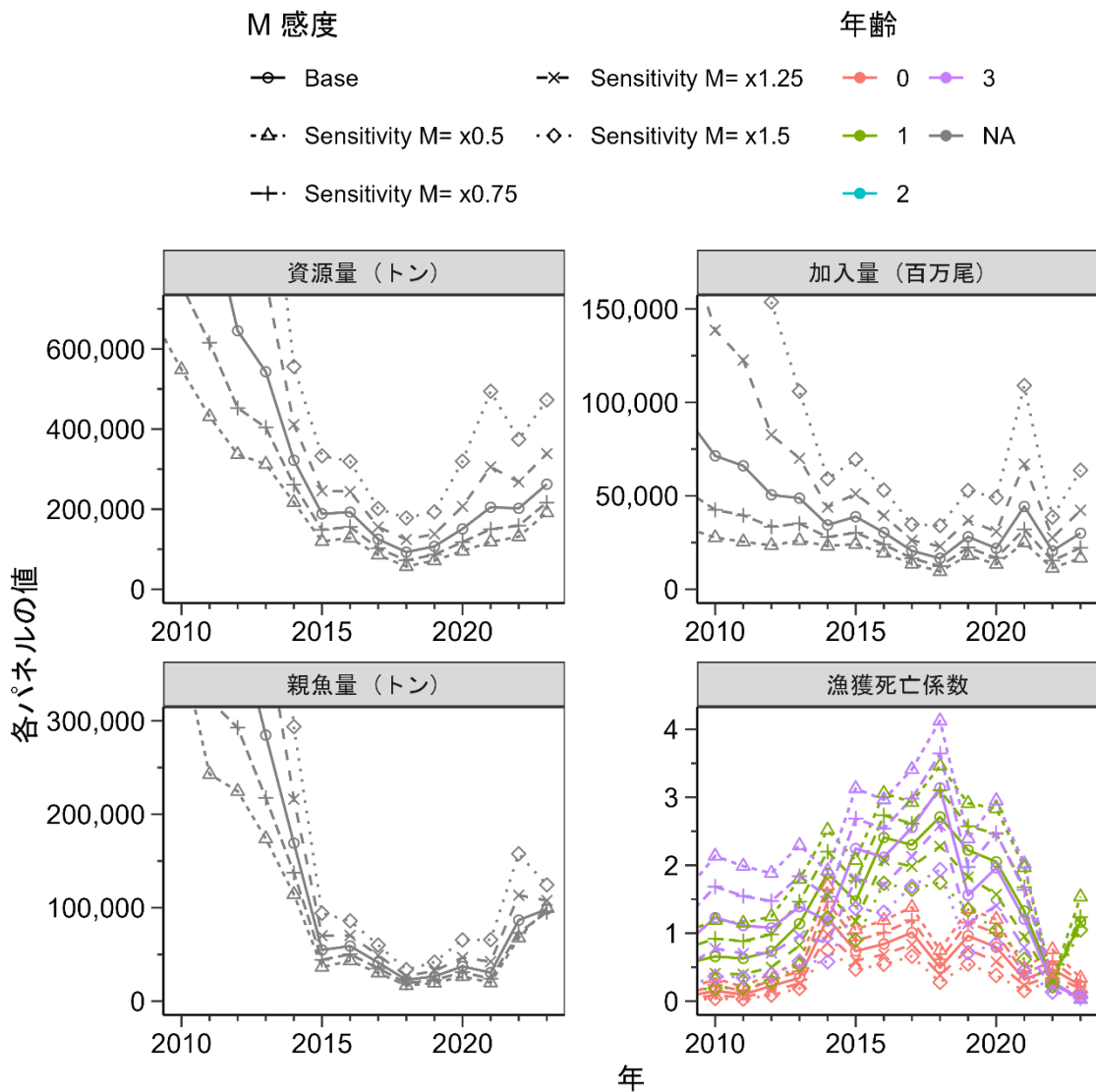


図 4-6. 資源量、親魚量、加入量、および漁獲係数の推定値に対する自然死亡係数 M の影響

Base は評価結果を表す。

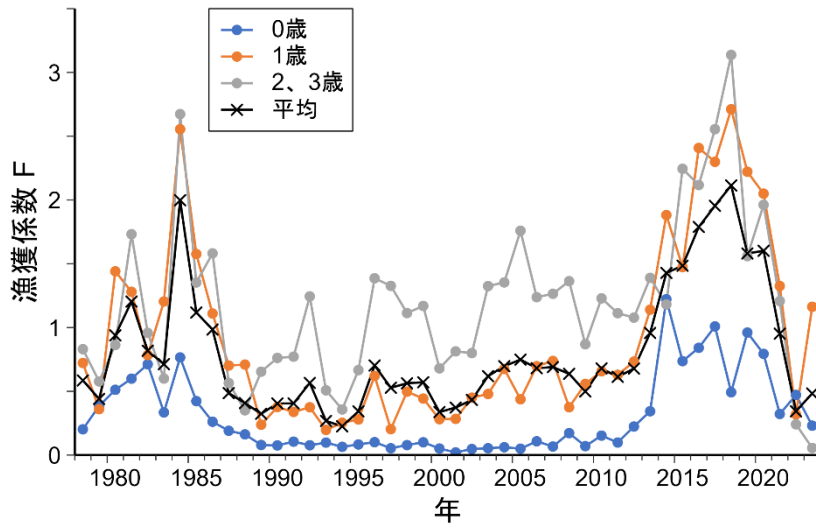


図 4-7. 年齢別漁獲係数 F の推移

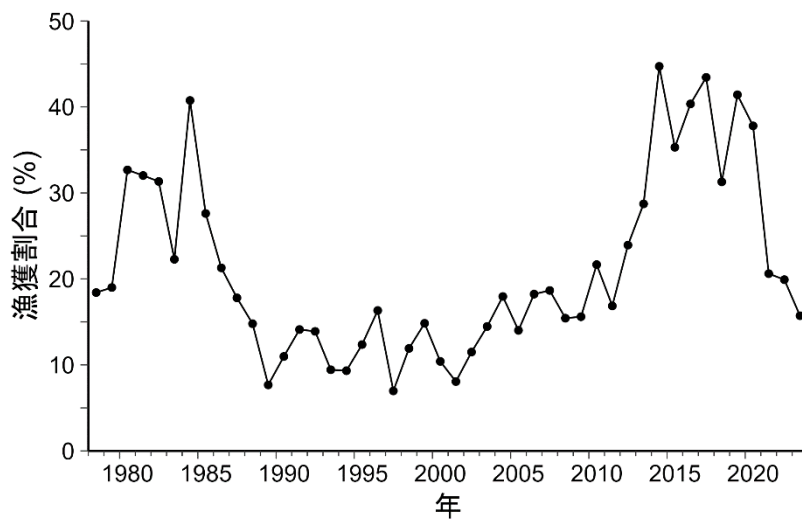


図 4-8. 漁獲割合の推移

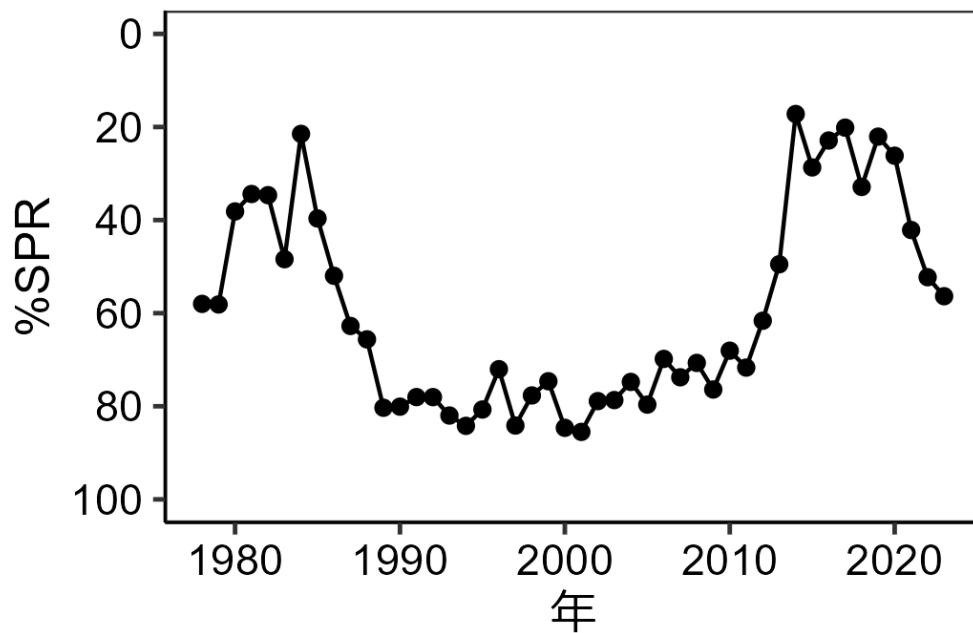


図 4-9. %SPR の推移

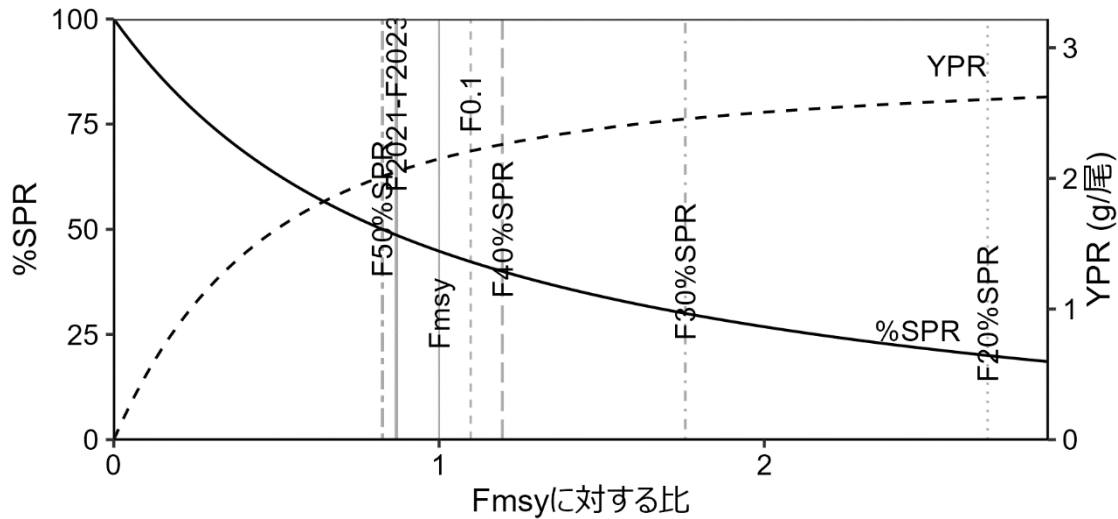


図 4-10. Fmsy に対する YPR と%SPR の関係

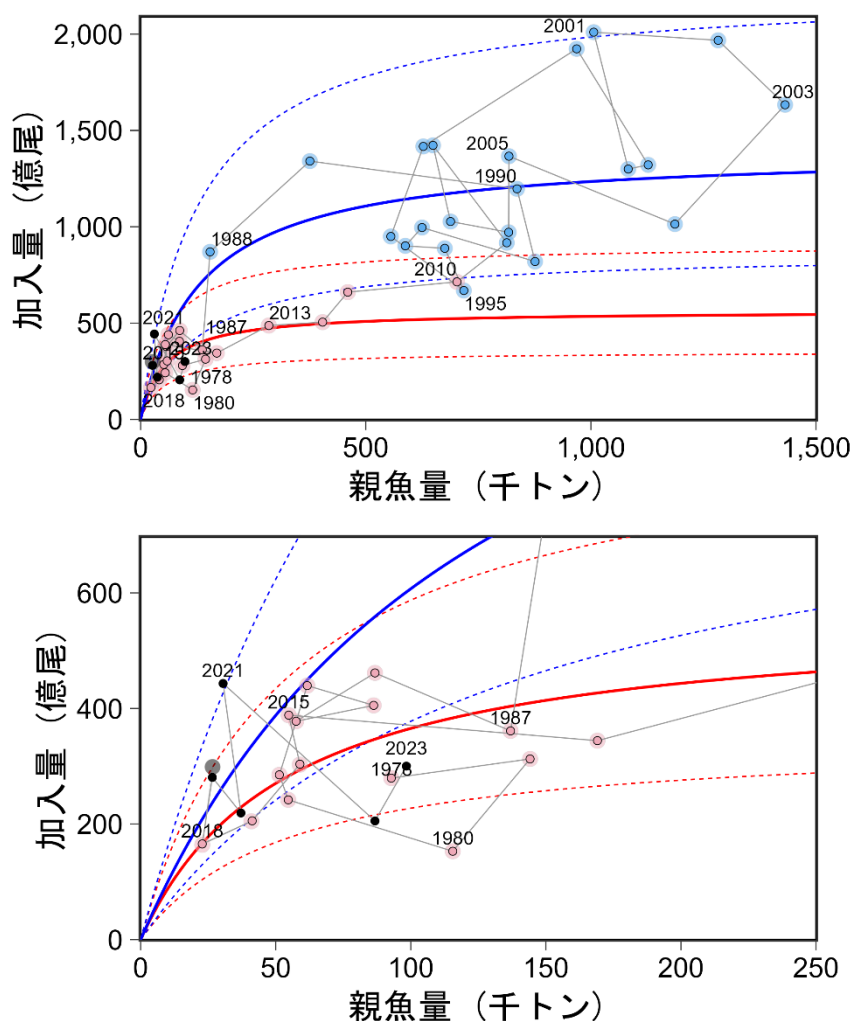


図 4-11. 親魚量と加入量の関係（再生産関係）

令和 3 年 9 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（木下ほか 2021b）で提案された通常加入期（赤実線）と高加入期（青実線）の再生産関係式。下図は上図の一部を拡大したものである。再生産関係には自己相関を考慮しないベarton・ホルト（BH）型再生産関係式を用い、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。薄い青色（1988～2009 年（高加入期））と赤色（1978～1987 年および 2010～2018 年（通常加入期））の丸印はそれぞれの再生産関係を求めるのに使用した、灰色（2019 年）の丸印は再生産関係を求めるのに使用しなかった令和 2 年度評価における親魚量と加入量を示す。図中の再生産関係式の上下の点線（赤：通常加入期、青：高加入期）は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。枠線のみ丸と黒丸は本評価で推定された親魚量と加入量（1978～2023 年）を示す。図中の数字は加入群の年級（生まれ年）を示す。

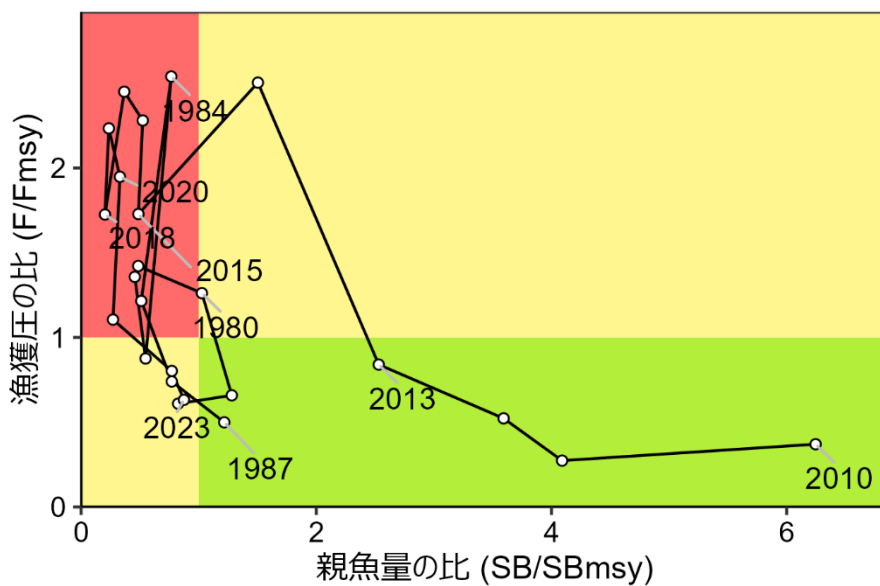


図 4-12. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SB_{msy}) と SB_{msy} を維持する漁獲圧 (F_{msy}) に対する過去の親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)
 本図は通常加入期とした年 (1978~1987 年および 2010~2023 年) の結果である。

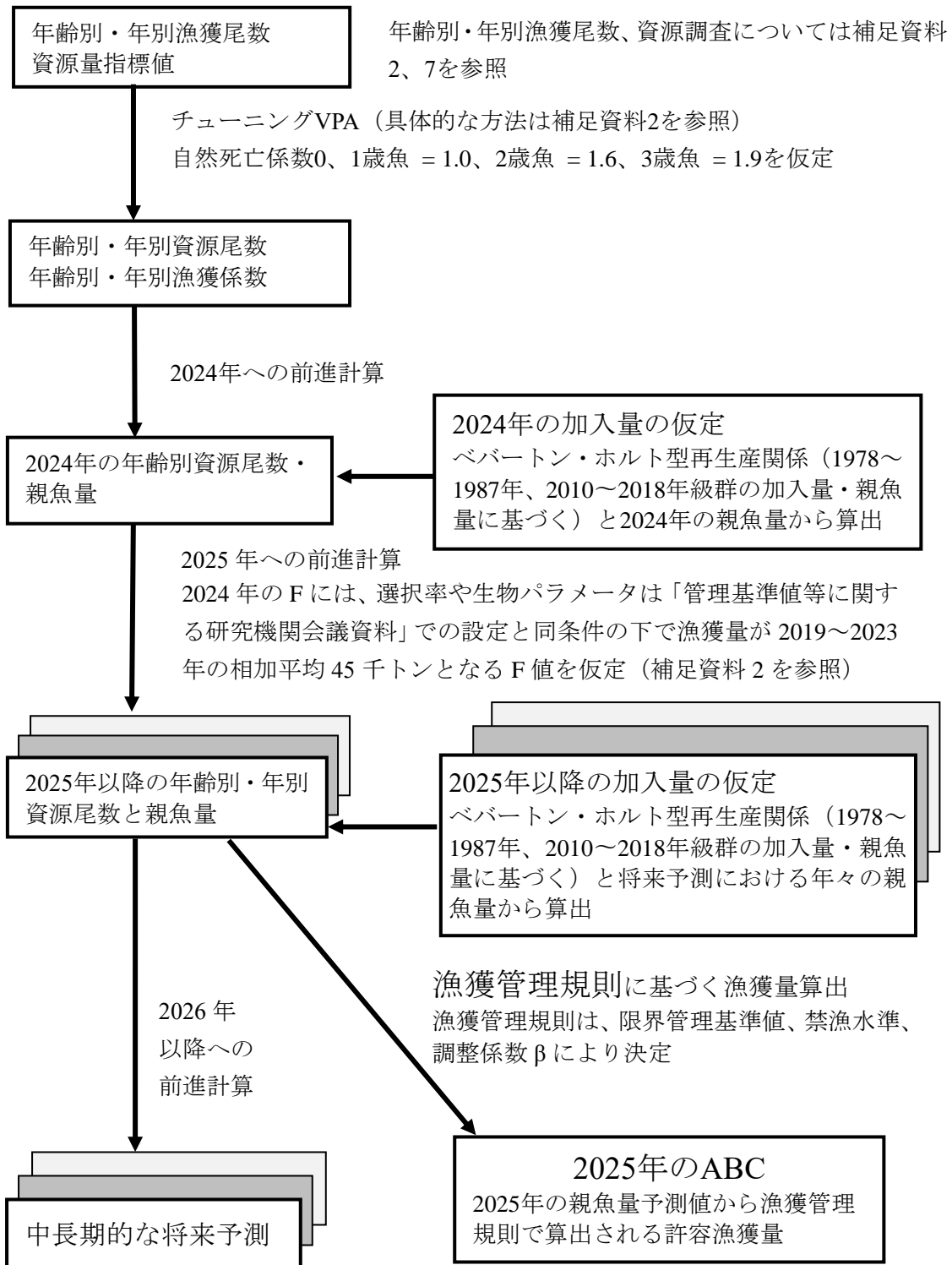
表 3-1. 太平洋区における海区別漁獲量および主要港水揚量（トン）

年	漁獲量(トン)					太平洋合計	主要港 漁獲量
	太平洋南区	太平洋中区 (千葉県除く)	千葉県 (太平洋中区)	太平洋北区	北海道区 太平洋側		
1978	11,557	4,371	17,255	9,512	303	42,998	
1979	15,725	15,829	16,815	8,856	201	57,426	
1980	15,095	14,332	24,450	11,814	268	65,959	
1981	18,354	14,223	12,995	4,988	47	50,607	
1982	17,804	15,771	8,801	5,085	81	47,542	
1983	23,585	12,032	13,925	5,640	46	55,228	
1984	21,947	17,947	24,833	25,226	54	90,007	
1985	17,311	22,638	17,868	3,601	17	61,435	
1986	13,575	29,511	20,430	2,448	98	66,062	
1987	7,618	13,195	38,211	3,450	259	62,733	
1988	13,461	7,710	44,370	2,496	51	68,088	
1989	9,582	27,828	35,626	14,723	45	87,804	
1990	13,082	29,222	43,397	126,560	3,680	215,941	
1991	9,069	24,844	57,298	106,812	4,296	202,319	
1992	13,875	42,677	31,114	85,489	5,121	178,276	
1993	7,712	26,952	30,149	29,931	5,743	100,487	
1994	16,002	21,753	38,089	33,209	1,375	110,428	73,573
1995	6,314	26,602	50,665	50,943	7,192	141,716	85,814
1996	10,741	30,306	56,059	106,913	3,871	207,890	151,860
1997	9,105	25,527	47,349	43,125	9,358	134,464	104,132
1998	13,938	38,366	80,964	166,652	19,451	319,371	240,982
1999	41,964	59,397	65,195	135,000	26,441	327,997	277,756
2000	38,181	32,601	48,732	89,937	3,665	213,116	192,638
2001	12,538	43,219	46,931	91,145	4,095	197,928	185,604
2002	15,998	40,452	104,515	128,358	45,076	334,399	304,895
2003	20,741	60,460	123,342	170,717	32,749	408,009	393,874
2004	21,816	43,577	145,007	168,461	23,004	401,865	407,431
2005	11,954	36,205	105,360	79,545	4,627	237,691	211,760
2006	10,722	55,203	114,182	99,111	24,210	303,428	270,406
2007	19,513	50,190	87,840	74,488	10,437	242,468	221,308
2008	9,301	65,651	78,424	48,815	6,891	209,082	180,061
2009	18,933	64,891	95,449	39,854	21,765	240,892	222,692
2010	16,882	62,890	76,417	56,581	34,859	247,629	234,049
2011	8,240	53,572	55,999	32,119	10,050	159,980	139,566
2012	13,439	53,126	63,794	9,975	14,125	154,459	141,674
2013	22,744	63,450	50,655	14,030	5,151	156,030	135,100
2014	27,585	61,533	39,955	7,688	7,223	143,984	120,144
2015	8,372	40,483	11,810	5,323	521	66,509	52,962
2016	17,853	44,215	10,579	3,140	1,908	77,695	65,153
2017	12,380	27,933	8,933	2,344	2,691	54,281	43,731
2018	6,488	14,537	5,340	2,018	673	29,056	22,947
2019	6,035	28,740	7,358	1,407	797	44,337	37,731
2020	9,059	34,625	9,956	2,264	1,102	57,006	50,065
2021	10,548	21,865	7,148	2,610	32	42,203	35,731
2022	9,564	24,160	4,595	1,733	155	40,207	34,084
2023	8,831	17,317	12,560	2,391	139	41,238	38,238

表 4-1. カタクチイワシ太平洋系群の資源解析結果（チューニング VPA の結果）

年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	加入量 (億尾)	再生産成功率 (尾/kg)	漁獲割合 (%)	%SPR	F/Fmsy
1978	233.5	92.8	279.4	301.2	18.4	58.0	0.61
1979	302.2	144.1	312.6	216.9	19.0	58.1	0.66
1980	201.9	115.5	152.9	132.3	32.7	38.1	1.26
1981	158.0	54.6	241.9	442.7	32.0	34.4	1.42
1982	151.7	51.4	285.1	555.3	31.3	34.7	1.36
1983	247.9	61.7	439.5	712.7	22.3	48.4	0.88
1984	220.9	86.3	405.3	469.9	40.8	21.5	2.54
1985	222.6	57.5	377.8	656.6	27.6	39.7	1.22
1986	310.3	86.7	461.5	532.0	21.3	52.0	0.74
1987	352.5	136.9	361.2	263.8	17.8	62.7	0.50
1988	460.4	154.2	869.7	563.9	14.8	65.6	0.44
1989	1,144.1	375.8	1,340.9	356.8	7.7	80.3	0.20
1990	1,966.8	835.8	1,197.0	143.2	11.0	80.1	0.18
1991	1,433.5	876.0	819.5	93.6	14.1	78.0	0.23
1992	1,282.7	625.0	995.9	159.4	13.9	78.0	0.20
1993	1,065.2	587.9	900.9	153.2	9.4	82.0	0.20
1994	1,184.3	675.5	888.1	131.5	9.3	84.2	0.15
1995	1,146.1	717.8	669.1	93.2	12.4	80.7	0.19
1996	1,273.3	555.7	949.7	170.9	16.3	72.0	0.27
1997	1,927.0	627.8	1,417.1	225.7	7.0	84.1	0.13
1998	2,680.2	968.4	1,923.6	198.6	11.9	77.7	0.19
1999	2,210.9	1,127.2	1,321.2	117.2	14.8	74.6	0.26
2000	2,048.0	1,082.9	1,299.6	120.0	10.4	84.6	0.14
2001	2,455.3	1,006.3	2,010.1	199.8	8.1	85.5	0.14
2002	2,908.8	1,282.7	1,967.9	153.4	11.5	78.9	0.15
2003	2,820.6	1,431.3	1,633.2	114.1	14.5	78.7	0.14
2004	2,238.1	1,186.6	1,013.7	85.4	18.0	74.8	0.17
2005	1,696.0	818.0	1,366.3	167.0	14.0	79.6	0.14
2006	1,664.2	817.3	971.2	118.8	18.2	69.8	0.30
2007	1,299.8	688.3	1,027.2	149.2	18.7	73.8	0.18
2008	1,354.9	649.4	1,422.6	219.1	15.4	70.7	0.36
2009	1,543.8	813.2	916.9	112.8	15.6	76.4	0.19
2010	1,143.2	702.6	713.9	101.6	21.7	68.1	0.37
2011	949.1	460.1	660.5	143.6	16.9	71.7	0.27
2012	645.4	404.1	504.9	124.9	23.9	61.6	0.52
2013	543.2	284.7	487.3	171.2	28.7	49.5	0.84
2014	322.0	169.1	344.3	203.6	44.7	17.2	2.50
2015	188.4	54.8	388.4	708.7	35.3	28.7	1.73
2016	192.5	58.9	303.6	515.0	40.4	22.9	2.28
2017	125.0	41.3	205.6	497.9	43.4	20.1	2.45
2018	92.9	22.8	165.6	725.8	31.3	32.9	1.73
2019	107.1	26.5	280.7	1,057.8	41.4	22.1	2.23
2020	150.8	37.1	219.1	590.1	37.8	26.2	1.95
2021	204.7	30.5	443.2	1,452.2	20.6	42.1	1.11
2022	201.9	86.7	205.3	236.7	19.9	52.3	0.80
2023	262.4	98.3	300.2	305.2	15.7	56.4	0.63

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。ABCは本系群の漁獲シナリオが水産政策審議会を経て定められた後に算定される。

補足資料 2 計算方法

(1) データ収集

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

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

(2) 年齢別漁獲尾数の作成方法

第一に、18 道県の参画機関から提供された主要港における月別の体長組成（尾数）と水揚量を県別に整理する（属地統計）。このとき、体長組成は 0.5 cm 階級幅で作成し、最小値を 4 cm、最大値を 18 cm としている。

第二に、体長組成（尾数）に式 (1) の体長体重関係式を適用して、体長階級毎の平均体重（体長別平均体重）を求めて、体長別重量組成に変換する。体長別平均体重は、たとえば 4～4.5 cm の階級については階級の間値 4.25 cm を式 (1) に当てはめて算出する。

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

ここで、 BW は体重 (g)、 L は被鱗体長 (cm) を表す。

第三に、県別月別に整理された体長別重量組成と水揚量を、三陸以北(北海道～宮城県)、常磐・房総(福島県～千葉県)、東海(神奈川県～三重県)、西日本(和歌山県～宮崎県)の地域毎に合算して、地域別月別の体長別重量組成と水揚量を作成する。続いて、月別体長別重量組成を、月毎の合計重量で各体長階級の重量を割って、月別相対頻度に変換する。この月別相対頻度を海域別月別の水揚量と掛け合わせて、主要港の水揚量に引き伸ばした体長別漁獲重量を作成する。ここで、水揚はあるが体長組成の情報が無い場合が稀に起こりうるため、そうした情報の欠測月については、前後月の相対頻度の平均を当てはめたり、近い過去年（基本的には前年か前々年）の同月の相対頻度を当てはめたりして、補間を行う。

第四に、体長別漁獲重量を全地域で合算した後、体長別平均体重で割ることによって全国主要港における体長別漁獲尾数を計算する。これら体長別漁獲尾数と体長別漁獲重量に、体長別月別の年齢体長キー（Age-Length Key、補足図 2-1）を掛け合わせて、全国主要港における年齢別・年別漁獲尾数と年齢別・年別漁獲重量を算出する。続いて、年齢別・年別漁獲重量を年齢別・年別漁獲尾数で割ることにより、年齢別・年別平均体重を計算し、これを資源量計算に使用している。年齢体長キーは、2000～2017 年間に参画機関により測定されたカタクチイワシの鱗による年齢査定データ（ $n=26,220$ ）に基づいて作成し、平成 30（2018）年度評価から使用している。なお、寿命は 4 年（3 歳の最後で死亡）と仮定した。

第五に、カタクチイワシ太平洋系群に関する、漁業・養殖業生産統計年報（農林統計）の県別漁獲量（いわゆる属人統計）を、大中型まき網の漁獲成績報告書によって補正して、できる限り属地統計に近づけた年間総漁獲量を算出する。大中型まき網の漁獲成績報告書による補正については、太平洋側の県に根拠地（船籍）を置く船が東シナ海・日本海側でカタクチイワシを漁獲した場合には農林統計の県別漁獲量から控除し、反対に、東シナ海・日本海側に根拠地を置く船が太平洋側でカタクチイワシを漁獲した場合には、それを北海道区太平洋側の漁獲量に加算する。このようにして算出した年間総漁獲量と全国主要港の年間水揚量との比（年間総漁獲量 / 全国主要港の年間水揚量）を使用して、全国主要港における年齢別・年別漁獲尾数を引き伸ばし、コホート解析のインプットデータとなる年齢別・年別漁獲尾数を作成する（補足表 2-2）。

(3) チューニング VPA による資源量計算方法

上述した方法で作成した年齢別・年別漁獲尾数（年齢構成は 0、1、2 歳、および 3 歳）に基づき、Pope の近似式（Pope 1972）を用いて後退法により年齢別・年別資源尾数を推定した（年齢別の入力値と資源量推定結果は補足表 2-2 に示した）。最新年の前年（2022 年）までは下記の式 (2)(3) により計算した。

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

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

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

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

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

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

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

最新年 T 年（2023 年）の a 歳魚の資源尾数 $N_{a,T}$ については以下の式により計算した。

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

ここで、 $C_{a,T}$ は a 歳魚の最新年の漁獲尾数である。 $F_{a,T}$ は a 歳魚の最新年の漁獲係数（ター

ミナル F) であり、この $F_{a,T}$ をチューニングにより探索的に推定するとともに、式 (2)～(5) を用いることによって、過去に遡って年齢別・年別資源尾数を計算できる。

資源計算に用いた年齢別 (0、1、2、3 歳) の成熟割合と M については、それぞれ (0、1、1、1) および (1、1、1.6、1.9) とした。

(4) ターミナル F の推定

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

ターミナル F は全 F 推定法により推定し、こ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、残差平方和に罰則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、罰則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 の罰則項は、式 (7) に示すように、最新年の年齢別 F と直近 3 年 (2021～2023 年) 平均の年齢別 F との差の二乗和としている。

$$(1 - \lambda) \sum_{k=1}^p \sum_t \left[\frac{\{\ln(I_{k,t}) - \ln(q_k X_{k,t}^{b_k})\}^2}{2\sigma_k^2} - \ln\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_k}\right) \right] + \lambda \sum_{a=0}^2 \left(F_{a,2023} - \frac{1}{3} \sum_{t=2020}^{2022} \hat{F}_{a,t} \right)^2 \quad (7)$$

λ はリッジ回帰における罰則の大きさを決める係数であり、0 以上 1 未満の値をとるようにした。本検討では、 λ を 0～0.99 の間において 0.01 刻みで変化させるとともに、 $\lambda=0.9999$ について計算した。 $I_{k,t}$ は k 番目の資源量指標値 (以降、指標値 k) の t 年の値をそれぞれ表す。 q_k は指標値 k の比例定数、 $X_{k,t}$ はコホート解析から計算される t 年における指標値 k の対象 (親魚量もしくは加入量) の値、 b_k は指標値 k と VPA の推定値の関係における非線形性を表す係数、 σ_k^2 は $\ln(I_{k,t})$ と $\ln(q_k X_{k,t}^{b_k})$ の差の分散である (Hashimoto et al. 2018)。 p は当てはめた指標値の数を表し、産卵量および北上期調査 0 歳魚 CPUE を用いたため $p=2$ である。なお、本系群では、 λ の値によってはターミナル F の初期値に依存してモデルが収束しない場合があったため、まずは初期値を 0.2 (0～2 歳魚の全てで同じ値) として計算を行った上で、収束していない (ヘッセ行列の対角成分が正定値でない) モデルについては 0.25、0.5、0.9 のいずれかの初期値 (0～2 歳魚の全てで同じ値) を当てはめて再び計算を実施し、モデルの収束 (ヘッセ行列の対角成分が正定値であること) を確認した (ここまですてップ 1 とする)。続いて、各年齢のターミナル F の初期値を 0.01～2 の間の 10 個 (0.01、0.02、0.03、0.06、0.11、0.19、0.34、0.62、1.11、2.00) から無作為に 3 個を選ぶジッター分析 (反復数 10 回) を行うことにより、ステップ 1 のモデルが最尤推定値かどうかを診断した。この診断においては、モデルが収束するとともに、ターミナル F が極端な値 (0～2 歳魚のターミナル F のいずれかが 1,000,000 を超える場合または 100 万分の 1 未満の微小値

になる場合) ではないジッター分析のモデルを選抜し、それらの対数尤度、初期値セット、およびターミナル F 推定値を抽出した。そして、これらのジッター分析モデルの対数尤度とステップ 1 のモデルの対数尤度を比較して、ジッター分析モデルの対数尤度の方が大きい場合にはステップ 1 のモデルは最尤推定値が得られていないと判断した。最尤推定値が得られていないと判断されたステップ 1 のモデルについては、選抜されたジッター分析モデルの中で最大の対数尤度を持つモデルのターミナル F 推定値を初期値として用い、チューニング VPA の再計算を行った (これをステップ 2 のモデルとする)。ステップ 2 のモデルについて、後述するレトロスペクティブ解析を行ない、レトロスペクティブバイアスの比較を行った (補足表 2-3)。

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

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

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

ここで、 n_k はチューニングに使用した指標値 k の年数であり、 V と Cov はそれぞれ分散と共分散を表す。チューニング指数の標準化については利用可能な全期間のデータを用いたが (補足資料 8)、チューニングには 2010 年以降のデータを用いた (すなわち、 $n_k = 14$)。これは「令和 3 (2021) 年度カタクチイワシ太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料」(木下ほか 2021) において、本系群の再生産関係の通常加入期とされているのが 1987 年以前および 2010 年以降のためである。また、北上期調査 0 歳魚 CPUE ($k = 1$) と産卵量 ($k = 2$) の b_k についてはともに非線形性を仮定した (すなわち、 $b_k \neq 1$)。 q については、本年度評価では $q_1 = 1.021 \times 10^{-13}$ 、 $q_2 = 2.196 \times 10^{-2}$ と推定された。

Mohn's ρ は、最新年 T 年 (2023 年) までのフルデータを用いた場合の推定値と、最新年から i 年分のデータを落とした場合の最終年 ($T - i$ 年) の推定値との相対値の平均値である。レトロスペクティブ解析でデータを遡る年数は、本系群の寿命は 4 年であることから、世代が一新される 5 年 ($i = 1, 2, \dots, 5$) とした。資源量、資源尾数、加入量、親魚量、および漁獲係数の全 5 項目について、レトロスペクティブバイアスが $\pm 20\%$ (Mohn's ρ が ± 0.2) の範囲内にあるモデルを候補とした上で、Mohn's ρ の絶対値の合計が最も小さく、かつチューニングの効果が得られたと判断された $\lambda = 0.40$ 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 2-2、2-3、2-4)。 $\lambda = 0$ (罰則項が 0 となるためリッジではないチューニング VPA に相当する) または $\lambda = 0.01 \sim 0.22$ のモデルでは Mohn's ρ の絶対値の合計が無限大に達する可能性があるため不安定なモデルであるとともに、 $\lambda = 0.85 \sim 0.9999$ のモデルではターミナル F の推定値や近年の資源トレンドがチューニングなしの VPA とほとんど同じであった (補足図 10-1、補足表 2-4)。これらのことは、本評価で使用しているデータ (年齢別漁獲尾数、2010 年以降のチューニング指数) およびターミナル F の推定方法 (全 F 推定法) の下では、極めて大きなレトロスペクティブバイアスを回避するために罰則項の導入は必要であるが、 λ がある閾値 (本年度評価の場合 $\lambda = 0.85$) よりも大きくなるとチュー

ニングの効果が得られなくなることを示唆している。

「資源評価におけるモデル診断の手順と診断結果の提供指針（令和 6 年度）FRA-SA2024-ABCWG02-03」に従って、本系群の評価に用いたチューニング VPA の統計学的妥当性や仮定に対する頑健性について診断した。5 年遡及のレトロスペクティブ解析の結果、資源量、加入量、および親魚量などの推定値に顕著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 2-2）。

残差プロットの結果では、産卵量 ($\sigma_2 = 0.348$) は北上期調査 0 歳魚 CPUE ($\sigma_1 = 0.535$) 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 2-3）。また、推定された非線形係数 b は、産卵量で $b_2 = 0.285$ （昨年度評価は 0.333）であり、昨年度評価と同様に hyper stability の傾向が認められるとともにその傾向が強まった。北上期調査 0 歳魚 CPUE についても $b_1 = 3.148$ （昨年度評価は 5.490）と推定され、昨年度評価と同様に hyper depletion の傾向が認められたが、その程度は弱まった。

ジャックナイフ解析の結果では、北上期調査 0 歳魚 CPUE の指標値を除いた場合に 1 歳魚のターミナル F が大きくなり、直近 3 年の親魚量が 2 倍以上増加する（補足図 2-4）。このことから、北上期調査 0 歳魚 CPUE は、直近 3 年において比較的高い値となっている産卵量のチューニング効果を抑える形になっていると考えられる。

ノンパラメトリック・ブートストラップ法により推定した資源量、親魚量、および加入量の 95%信頼区間を補足図 2-5 に示した。2023 年の 95%信頼区間は、資源量で 19.9 万～34.8 万トン、親魚量で 6.6 万～15.1 万トン、加入量で 206 億～410 億尾であった。

(5) 自然死亡係数 M

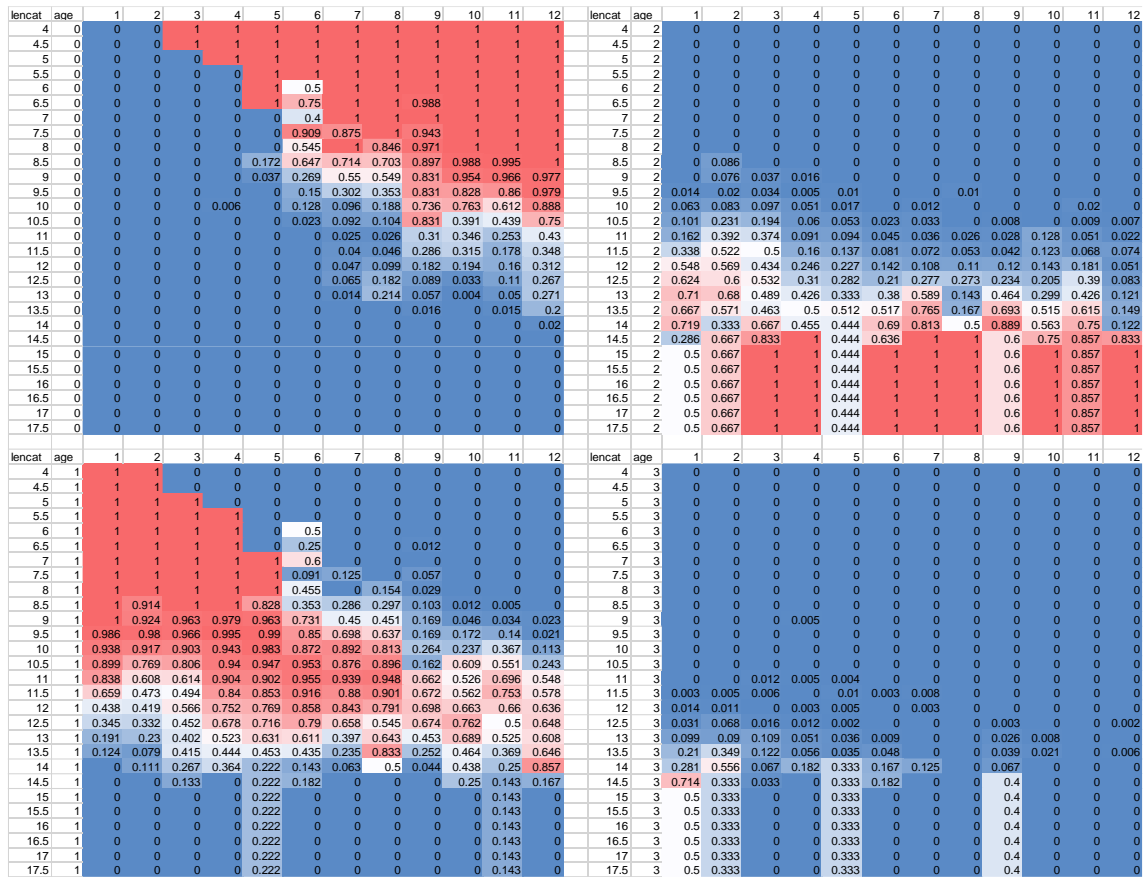
M については平成 17 年度評価より算出方法を改め、von Bertalanffy の成長式に基づく極限体長 L_∞ と成長係数 K および水温から平均の M を求める経験則（Pauly 1980）を採用し、実際にはこの式を改訂した下記の推定式（Quinn and Deriso 1999）から算出している。

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

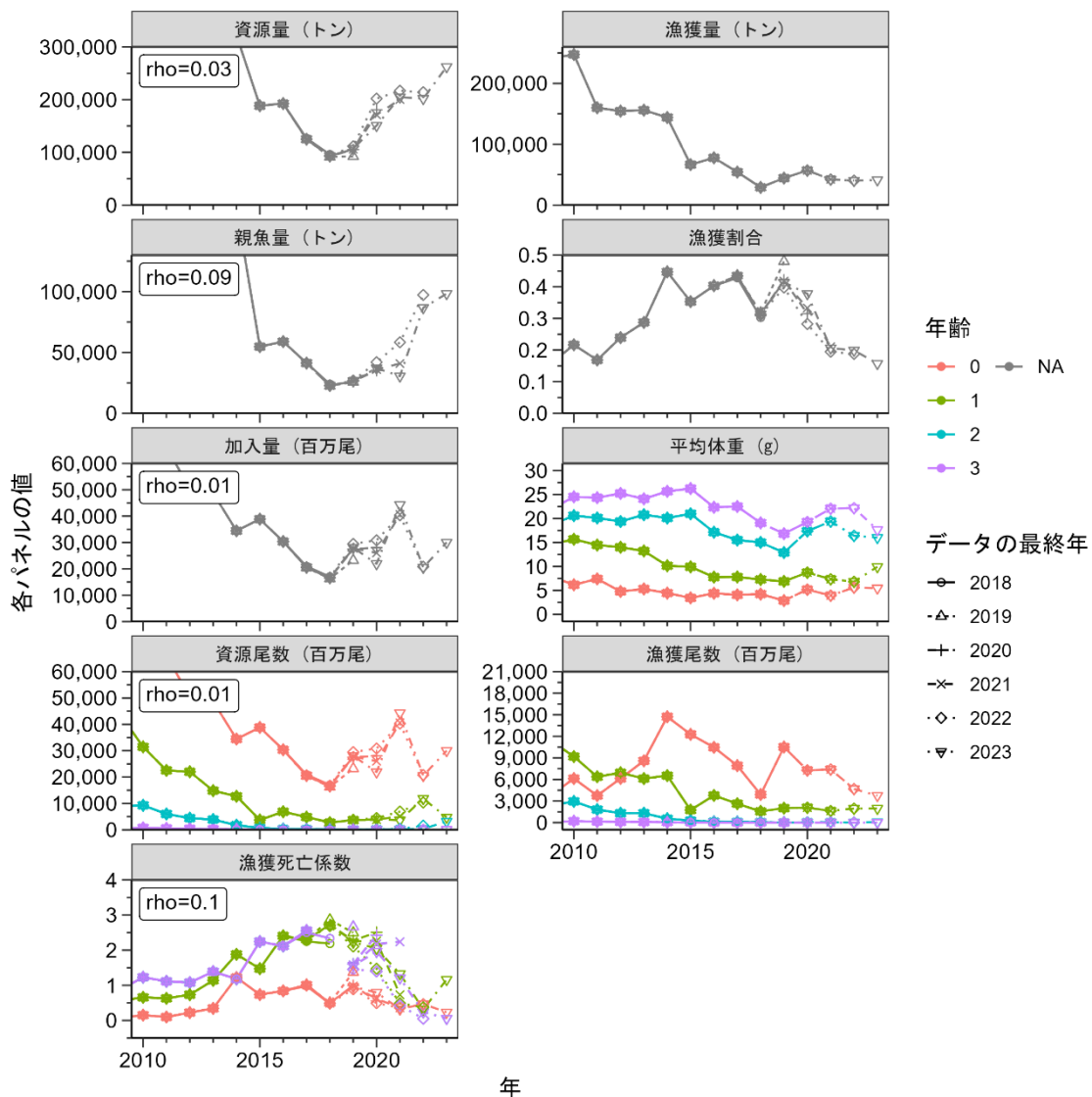
ここで、年齢-体長関係の仮定から L_∞ は 17.0 cm、 K は 0.67 とするとともに、平均水温 T_{mean} は、1950～2000 年の黒潮域（11 月～翌年 5 月）および黒潮親潮移行域（6～10 月）の平均水温である 21.1℃とした。カタクチイワシのような小型浮魚類については、高齢になってもカツオなどの大型魚類や鯨類などの海産哺乳類による強い捕食圧にさらされる上に、再生産活動による消耗と老衰も相まって高齢魚の M は急速に高まるため、成長に伴う M の変化傾向は典型的な Bath tub 曲線を描くと考えられる。そこで Chen and Watanabe（1989）を参考に、式（10）から求められた平均の M を各年齢に分配した。その際、0～1 歳の M については、北米産カタクチイワシの M を発育段階ごとに調べた Butler et al.（1993）に示されている、Early adult～Late adult の推定値である 1.0 を採用した。なお、Bath tub 曲線に基づくと、0 歳魚の M は 1 歳魚の M よりも高くなるが、本評価ではシラス期を評価対象に含めていないこともあり、0 歳魚の M は 1 歳魚の M と同値と仮定している。

引用文献

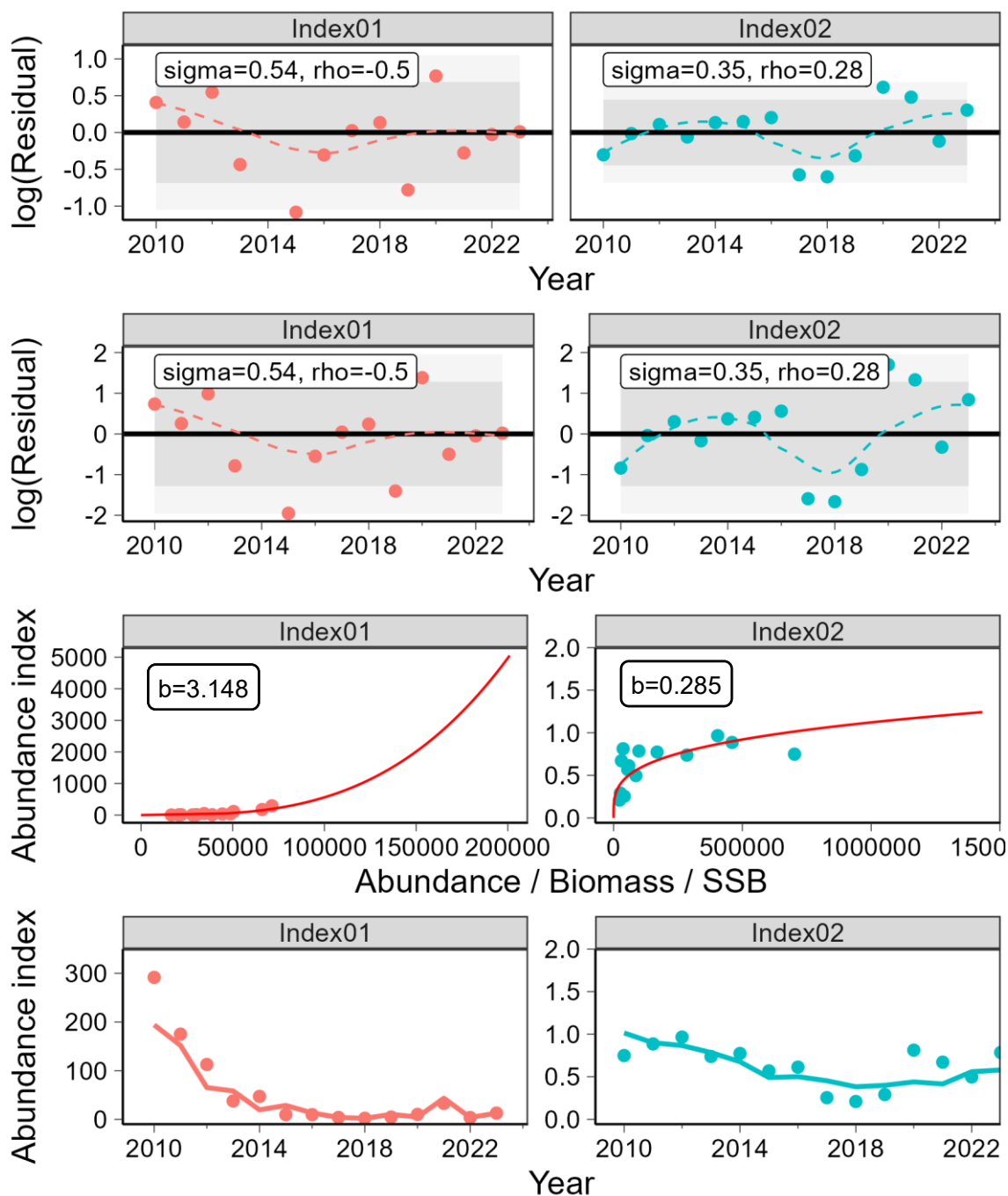
- ABCWG (2024) 令和 6 (2024) 年度 資源評価におけるモデル診断の手順と診断結果の提供指針. FRA-SA2024-ABCWG02-03, https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-03.pdf
- Butler, J.L., P.E. Smith and N.C.H. Lo (1993) The effect of natural variability of life-history parameters on anchovy and sardine population growth. *CalCOFI 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, 水産研究・教育機構, 横浜, 53pp. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20210906/FRA-SA2021-BRP03-1.pdf
- 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. 本系群の年齢別漁獲尾数の作成に使用した年齢体長キー
 左上：0歳魚、左下：1歳魚、右上：2歳魚、右下：3歳魚の存在確率を表し、青色が濃いほど確率が低く（最小0%）、赤色が濃いほど確率が高い（最大100%）。縦方向は上から下に向かって4～17.5 cm までの0.5 cm 階級を表し、横方向は左から右に向かって1～12月の月を表す。



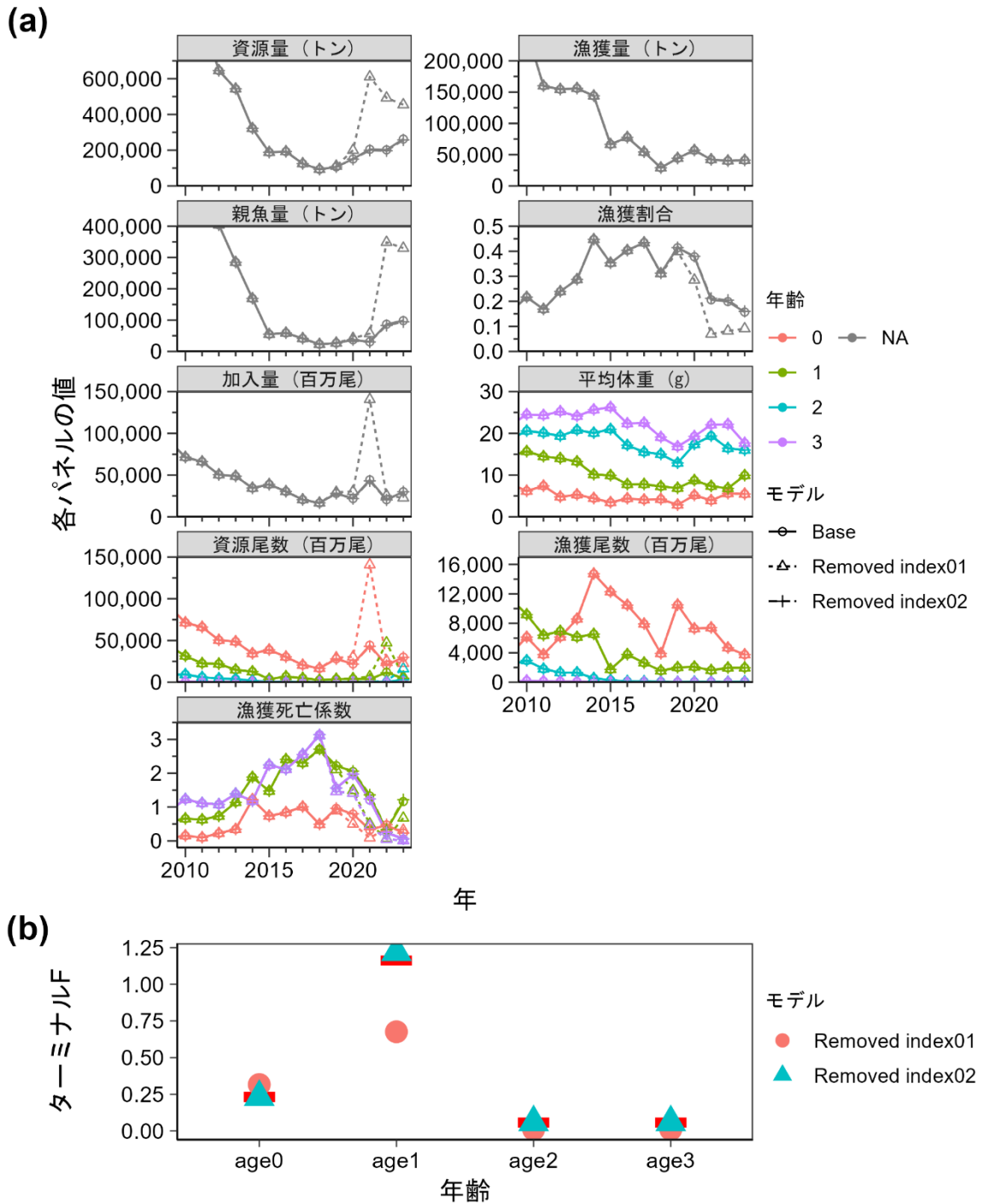
補足図 2-2. チューニング VPA ($\lambda=0.40$) のレトロスペクティブ解析結果



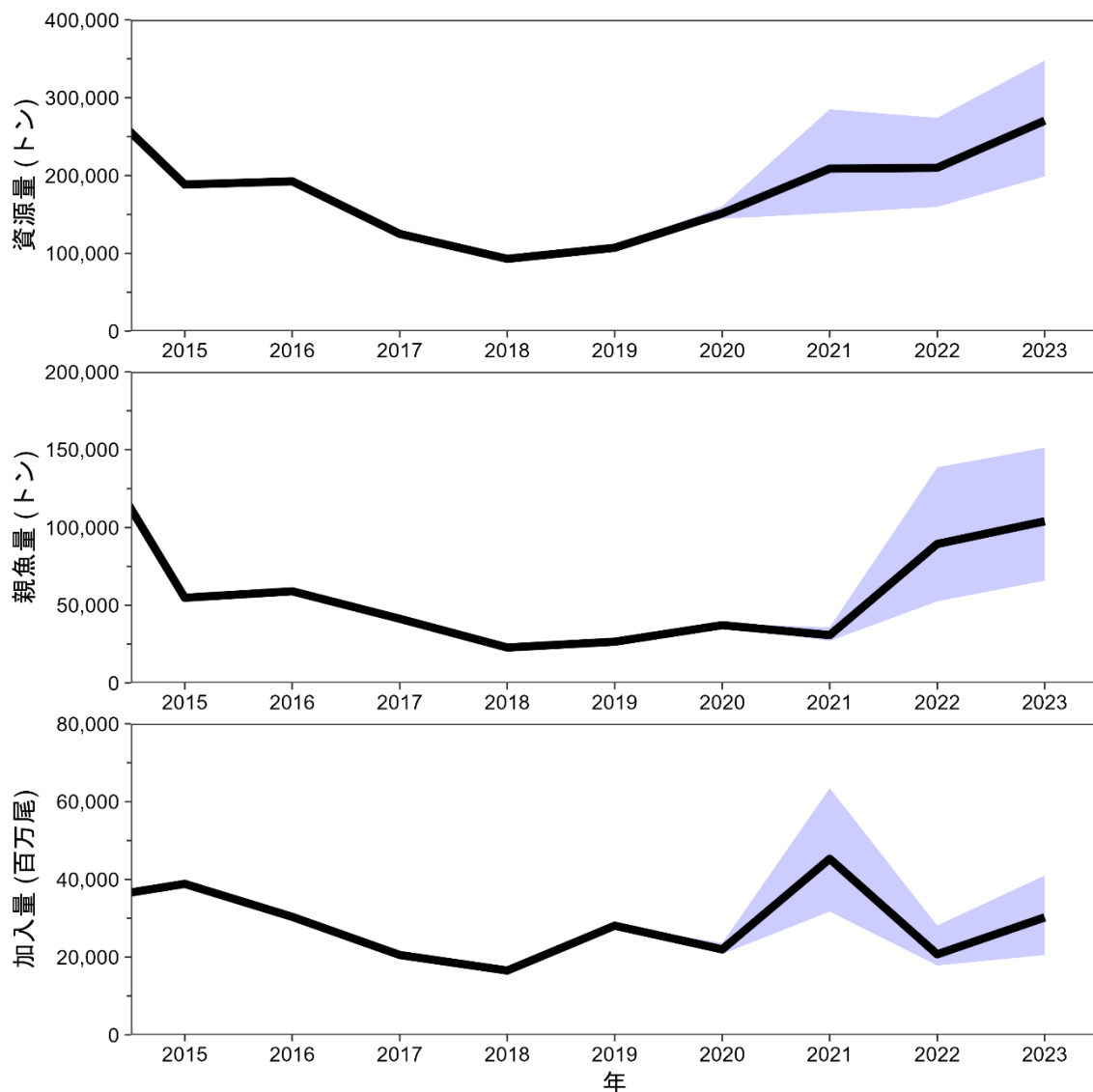
補足図 2-3. チューニング VPA ($\lambda=0.40$) の残差プロット

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

チューニング指数 (Index01: 北上期調査 0 歳魚 CPUE、Index02: 規格化した産卵量)。
 上 2 段の σ は観測誤差、 ρ は残差の 1 次の自己相関 (危険率 5% で有意の場合は右肩に*が付く)、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。



補足図 2-4. 資源量、親魚量、加入量、資源尾数、漁獲係数のジャックナイフ解析 (a) 各種資源量推定値の推移、(b) ターミナル F の推定値
 (b) の赤横棒は両チューニング指数を含めた場合、すなわち (a) の Base モデルの推定値を表す。
 チューニング指数 (index01 : 北上期調査 0 歳魚 CPUE、index02 : 規格化した産卵量)。



補足図 2-5. ノンパラメトリック・ブートストラップ法による資源量、親魚量、および加入量の信頼区間

リサンプリング回数は1,000回とし、紫色の範囲は95%信頼区間を表す。

補足表 2-1. チューニング指数

年	規格化した 産卵量	北上期調査 0歳魚CPUE (尾/網・時)
1978		
1979		
1980		
1981		
1982	0.36	
1983	0.27	
1984	0.17	
1985	0.26	
1986	0.21	
1987	0.27	
1988	0.24	
1989	0.21	
1990	0.46	
1991	1.88	
1992	1.92	
1993	0.64	
1994	0.76	
1995	0.77	
1996	0.61	
1997	1.01	
1998	1.30	
1999	4.42	
2000	3.11	
2001	0.71	
2002	1.13	341.8
2003	1.87	142.2
2004	1.97	140.3
2005	2.41	131.6
2006	1.41	18.7
2007	2.53	101.3
2008	0.83	137.3
2009	1.43	402.8
2010	0.75	291.7
2011	0.89	175.1
2012	0.97	112.7
2013	0.74	37.7
2014	0.77	47.1
2015	0.57	9.7
2016	0.61	9.7
2017	0.25	3.9
2018	0.21	2.2
2019	0.29	4.7
2020	0.81	10.1
2021	0.67	32.8
2022	0.50	3.7
2023	0.79	12.8

チューニング VPA に使用した年の値は太字で示した。

補足表 2-2. コホート解析に用いた入力値と解析結果の詳細

年	年齢別漁獲尾数(百万尾)					年齢別平均体重(g)			
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	合計	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚
1978	3,105.2	2,512.6	288.3	34.2	5,940.3	5.0	8.4	18.2	25.5
1979	6,060.4	1,538.7	283.7	17.0	7,899.8	5.1	13.5	19.8	23.9
1980	3,713.1	3,622.8	560.0	36.5	7,932.5	5.6	9.5	17.4	22.6
1981	6,613.8	1,476.4	252.0	58.4	8,400.7	4.3	10.4	21.2	27.6
1982	8,807.7	1,610.6	95.5	5.8	10,519.6	3.5	9.1	18.4	24.9
1983	7,577.0	2,185.6	166.4	4.7	9,933.7	4.2	9.3	16.0	21.0
1984	13,149.4	6,474.5	237.6	32.8	19,894.3	3.3	6.4	18.0	25.9
1985	7,905.9	3,336.6	110.2	2.3	11,355.0	4.4	7.5	15.3	17.8
1986	6,433.4	3,701.7	188.3	5.3	10,328.7	4.8	8.7	12.5	27.8
1987	3,799.8	4,000.7	214.1	3.7	8,018.2	6.0	9.2	14.3	23.5
1988	7,903.6	3,384.0	316.9	14.5	11,619.0	3.5	10.3	16.1	21.8
1989	6,191.5	3,493.4	428.7	62.9	10,176.5	5.7	12.0	20.3	28.1
1990	5,282.6	8,673.2	1,889.1	43.0	15,887.9	9.4	15.2	17.7	22.5
1991	4,969.5	7,101.2	2,779.9	154.7	15,005.3	6.8	15.4	20.0	23.0
1992	4,488.2	5,146.4	3,426.6	295.6	13,356.8	6.6	14.2	20.1	22.5
1993	5,091.7	3,683.9	1,227.8	96.0	10,099.3	5.3	13.1	18.7	22.6
1994	3,360.9	4,080.9	1,383.7	96.9	8,922.4	5.7	15.1	19.6	24.9
1995	3,246.4	4,521.9	1,874.7	272.0	9,915.0	6.4	16.0	22.0	27.2
1996	5,542.8	6,348.1	2,873.0	258.2	15,022.0	7.6	15.8	20.7	24.8
1997	4,476.7	3,520.1	1,478.9	122.3	9,598.0	9.2	16.4	22.0	25.4
1998	8,787.4	11,740.1	2,860.6	62.3	23,450.5	8.9	16.0	18.1	21.5
1999	7,652.1	14,207.3	3,425.6	167.6	25,452.6	8.2	13.7	19.3	23.8
2000	3,950.7	6,535.6	3,425.8	132.3	14,044.4	7.4	17.4	19.6	24.2
2001	2,519.2	6,804.1	3,052.6	340.2	12,716.2	7.2	15.5	21.6	25.3
2002	5,546.0	15,920.1	3,112.1	232.8	24,811.1	8.3	13.9	19.6	25.7
2003	5,186.8	15,932.9	5,603.3	324.1	27,047.1	8.5	15.6	19.1	23.9
2004	3,674.2	16,955.5	5,243.0	261.5	26,134.2	10.4	15.2	19.0	22.6
2005	4,050.8	7,534.5	3,965.4	262.6	15,813.4	6.4	16.6	20.2	23.7
2006	6,026.8	14,556.2	2,657.1	101.8	23,341.9	8.7	13.6	18.7	23.4
2007	4,040.2	10,151.2	2,823.8	135.3	17,150.6	6.0	15.8	19.5	22.8
2008	13,629.0	6,703.6	1,886.8	143.7	22,363.1	5.0	14.7	21.0	24.0
2009	3,754.0	11,432.9	2,330.4	65.4	17,582.8	8.0	14.5	18.6	21.9
2010	6,130.7	9,186.7	2,948.9	207.0	18,473.2	6.2	15.7	20.6	24.5
2011	3,756.5	6,382.0	1,809.3	142.3	12,090.1	7.4	14.5	20.1	24.3
2012	6,143.4	6,937.0	1,310.6	101.6	14,492.5	4.8	14.0	19.4	25.2
2013	8,591.2	6,125.1	1,313.4	88.2	16,117.9	5.3	13.2	20.8	24.1
2014	14,727.6	6,537.3	544.1	52.5	21,861.6	4.4	10.1	20.1	25.7
2015	12,275.3	1,745.2	286.2	37.4	14,344.2	3.4	9.9	21.0	26.3
2016	10,471.6	3,777.3	124.4	5.2	14,378.4	4.4	7.8	17.1	22.3
2017	7,921.9	2,628.9	93.9	2.7	10,647.5	4.1	7.8	15.5	22.5
2018	3,903.8	1,561.4	76.5	1.3	5,542.9	4.2	7.3	15.0	19.1
2019	10,510.7	2,013.0	23.9	0.5	12,548.1	2.9	6.9	12.9	16.8
2020	7,278.2	2,087.9	57.3	1.0	9,424.4	5.2	8.7	17.4	19.3
2021	7,402.2	1,623.9	59.0	1.1	9,086.2	3.9	7.4	19.4	22.1
2022	4,681.6	1,957.2	34.3	0.9	6,674.0	5.6	6.8	16.4	22.2
2023	3,749.0	1,964.9	77.0	1.2	5,792.1	5.5	9.9	16.0	17.7

補足表 2-2. (続き)

年	年齢別資源尾数 (百万尾)				年齢別漁獲係数				年齢別資源量 (千トン)			
	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	27,944.1	8,054.5	1,137.5	156.6	0.20	0.72	0.83	0.83	140.8	68.1	20.7	4.0
1979	31,264.1	8,396.6	1,439.1	100.1	0.39	0.36	0.58	0.58	158.1	113.2	28.5	2.4
1980	15,287.7	7,825.6	2,155.7	163.1	0.51	1.44	0.86	0.86	86.3	74.4	37.5	3.7
1981	24,188.4	3,371.9	681.5	183.6	0.60	1.28	1.73	1.73	103.4	35.1	14.4	5.1
1982	28,514.5	4,886.9	344.9	24.4	0.71	0.78	0.96	0.96	100.4	44.4	6.3	0.6
1983	43,953.4	5,147.7	821.0	26.7	0.33	1.20	0.60	0.60	186.2	48.0	13.1	0.6
1984	40,531.9	11,573.9	568.1	91.0	0.77	2.56	2.67	2.67	134.6	73.7	10.2	2.4
1985	37,782.4	6,935.3	330.8	7.9	0.42	1.58	1.35	1.35	165.0	52.3	5.1	0.1
1986	46,150.7	9,104.2	527.6	17.3	0.26	1.11	1.58	1.58	223.6	79.7	6.6	0.5
1987	36,116.4	13,075.8	1,104.1	21.9	0.19	0.70	0.56	0.56	215.6	120.6	15.8	0.5
1988	86,971.8	10,981.8	2,383.8	126.7	0.16	0.71	0.35	0.35	306.1	113.1	38.4	2.8
1989	134,088.1	27,201.4	1,987.4	338.9	0.08	0.24	0.65	0.65	768.3	326.0	40.3	9.5
1990	119,695.3	45,572.9	7,888.0	208.7	0.08	0.38	0.76	0.76	1,131.0	691.2	139.9	4.7
1991	81,951.1	40,829.4	11,504.8	743.7	0.11	0.34	0.77	0.77	557.6	628.9	230.0	17.1
1992	99,594.3	27,134.0	10,713.2	1,073.7	0.08	0.37	1.24	1.24	657.8	385.5	215.3	24.2
1993	90,090.6	33,916.4	6,860.6	623.3	0.10	0.20	0.51	0.51	477.3	445.6	128.2	14.1
1994	88,806.3	30,054.2	10,242.8	833.5	0.06	0.25	0.36	0.36	508.8	453.8	200.9	20.8
1995	66,906.6	30,631.5	8,581.1	1,446.3	0.08	0.28	0.67	0.67	428.4	489.6	188.8	39.4
1996	94,966.6	22,644.5	8,526.0	890.1	0.10	0.62	1.39	1.39	717.6	356.9	176.8	22.1
1997	141,706.8	31,574.4	4,480.2	430.5	0.05	0.20	1.33	1.33	1,299.2	518.3	98.6	10.9
1998	192,364.1	49,415.8	9,480.5	240.0	0.08	0.50	1.11	1.11	1,711.8	792.0	171.3	5.2
1999	132,124.8	65,437.0	11,058.3	628.7	0.10	0.44	1.17	1.17	1,083.7	899.0	213.2	15.0
2000	129,961.4	43,964.7	15,455.8	693.4	0.05	0.28	0.68	0.68	965.1	763.5	302.7	16.8
2001	201,010.5	45,413.9	12,209.7	1,581.2	0.02	0.28	0.81	0.81	1,449.0	702.9	263.4	39.9
2002	196,793.6	72,419.6	12,579.9	1,093.5	0.05	0.45	0.80	0.80	1,626.1	1,007.9	246.6	28.1
2003	163,324.6	69,032.5	16,985.7	1,141.5	0.05	0.48	1.32	1.32	1,389.2	1,080.3	323.8	27.2
2004	101,369.3	56,937.8	15,731.9	911.6	0.06	0.68	1.35	1.35	1,051.5	866.6	299.4	20.6
2005	136,626.2	35,063.2	10,662.2	820.4	0.05	0.44	1.76	1.76	878.1	583.0	215.5	19.5
2006	97,120.8	47,805.0	8,329.1	370.9	0.11	0.70	1.24	1.24	846.9	652.5	156.1	8.7
2007	102,716.3	32,073.3	8,757.7	487.7	0.07	0.74	1.26	1.26	611.5	506.5	170.6	11.1
2008	142,260.3	35,336.7	5,642.1	499.3	0.17	0.38	1.36	1.36	705.5	519.1	118.3	12.0
2009	91,686.2	44,068.3	8,933.7	291.3	0.07	0.56	0.87	0.87	730.6	640.9	165.8	6.4
2010	71,385.6	31,452.5	9,277.4	756.6	0.15	0.66	1.23	1.23	440.6	492.9	191.1	18.6
2011	66,052.7	22,542.9	5,998.7	548.1	0.10	0.63	1.11	1.11	489.0	326.1	120.7	13.3
2012	50,489.0	22,021.0	4,422.2	398.1	0.22	0.73	1.08	1.08	241.3	308.4	85.7	10.0
2013	48,727.5	14,847.7	3,893.6	303.9	0.34	1.14	1.39	1.39	258.5	196.4	80.9	7.3
2014	34,428.1	12,715.1	1,747.1	195.9	1.22	1.88	1.18	1.18	152.9	128.9	35.1	5.0
2015	38,841.8	3,732.6	712.5	108.2	0.74	1.47	2.24	2.24	133.6	37.0	15.0	2.8
2016	30,361.3	6,843.7	314.7	15.2	0.84	2.41	2.12	2.12	133.6	53.2	5.4	0.3
2017	20,556.5	4,817.9	226.6	7.6	1.01	2.30	2.55	2.55	83.7	37.6	3.5	0.2
2018	16,555.3	2,757.4	177.9	3.6	0.49	2.71	3.14	3.14	70.1	20.1	2.7	0.1
2019	28,069.8	3,722.6	67.4	1.6	0.96	2.22	1.56	1.56	80.5	25.6	0.9	0.0
2020	21,909.9	3,951.3	148.5	2.9	0.79	2.05	1.96	1.96	113.7	34.5	2.6	0.1
2021	44,322.0	3,645.8	187.2	4.2	0.32	1.33	1.21	1.21	174.2	26.8	3.6	0.1
2022	20,531.9	11,815.5	356.3	11.3	0.47	0.32	0.24	0.24	115.2	80.6	5.8	0.3
2023	30,017.9	4,713.7	3,159.6	56.5	0.23	1.16	0.06	0.06	164.0	46.8	50.6	1.0

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

モデル名	初期値 (3個の場合は0、1、2歳魚)	Mohn's ρ					Mohn's ρ 絶対値 の合計
		資源量	資源尾数	加入量	親魚量	漁獲係数	
チューニングVPA(λ=0)	0.5000	Inf	Inf	3.17E+12	Inf	6.818	Inf
リッジVPA(λ=0.01)	0.5000	Inf	Inf	2.27E+05	Inf	-0.018	Inf
リッジVPA(λ=0.02)	0.5000	Inf	Inf	1,683.988	Inf	-0.071	Inf
リッジVPA(λ=0.03)	0.5000	Inf	Inf	200.040	Inf	-0.094	Inf
リッジVPA(λ=0.04)	0.5000	0.041	0.022	0.017	0.151	0.040	0.270
リッジVPA(λ=0.05)	0.5000	Inf	Inf	Inf	0.138	-0.016	Inf
リッジVPA(λ=0.06)	0.5000	0.037	0.020	0.015	0.138	0.124	0.334
リッジVPA(λ=0.07)	0.5000	0.037	0.020	0.015	0.138	0.120	0.330
リッジVPA(λ=0.08)	0.5000	0.037	0.020	0.016	0.138	0.116	0.327
リッジVPA(λ=0.09)	0.5000	0.031	0.023	0.018	0.138	0.211	0.420
リッジVPA(λ=0.10)	0.5000	Inf	Inf	109.282	Inf	-0.034	Inf
リッジVPA(λ=0.11)	0.5000	0.037	0.021	0.016	0.137	0.109	0.319
リッジVPA(λ=0.12)	0.5000	0.037	0.021	0.016	0.136	0.107	0.317
リッジVPA(λ=0.13)	0.5000	0.037	0.020	0.016	0.136	0.106	0.315
リッジVPA(λ=0.14)	0.5000	Inf	Inf	786.797	Inf	-0.041	Inf
リッジVPA(λ=0.15)	0.5000	Inf	Inf	Inf	0.135	-0.042	Inf
リッジVPA(λ=0.16)	0.5000	0.037	0.020	0.016	0.134	0.102	0.309
リッジVPA(λ=0.17)	0.5000	0.037	0.020	0.016	0.133	0.102	0.307
リッジVPA(λ=0.18)	0.5000	0.037	0.020	0.016	0.132	0.101	0.305
リッジVPA(λ=0.19)	0.5000	Inf	Inf	Inf	0.131	-0.045	Inf
リッジVPA(λ=0.20)	0.5000	Inf	Inf	4.14E+10	Inf	-0.046	Inf
リッジVPA(λ=0.21)	0.5000	Inf	Inf	42.864	Inf	-0.046	Inf
リッジVPA(λ=0.22)	0.5000	Inf	Inf	152.784	Inf	-0.047	Inf
リッジVPA(λ=0.23)	0.5000	0.036	0.019	0.016	0.126	0.098	0.295
リッジVPA(λ=0.24)	0.5000	0.035	0.019	0.016	0.125	0.098	0.293
リッジVPA(λ=0.25)	0.5000	0.035	0.019	0.016	0.124	0.098	0.291
リッジVPA(λ=0.26)	0.2000	0.035	0.018	0.016	0.122	0.097	0.289
リッジVPA(λ=0.27)	0.2000	0.035	0.018	0.016	0.121	0.097	0.286
リッジVPA(λ=0.28)	0.2000	0.034	0.018	0.016	0.119	0.097	0.284
リッジVPA(λ=0.29)	0.2000	0.034	0.018	0.015	0.117	0.097	0.281
リッジVPA(λ=0.30)	0.2000	0.033	0.017	0.015	0.115	0.097	0.278
リッジVPA(λ=0.31)	0.2000	0.033	0.017	0.015	0.113	0.097	0.276
リッジVPA(λ=0.32)	0.2000	0.032	0.016	0.015	0.111	0.097	0.273
リッジVPA(λ=0.33)	0.2000	0.032	0.016	0.015	0.109	0.098	0.269
リッジVPA(λ=0.34)	0.2000	0.031	0.016	0.015	0.106	0.098	0.266
リッジVPA(λ=0.35)	0.2000	0.031	0.015	0.014	0.104	0.098	0.262
リッジVPA(λ=0.36)	0.2000	0.030	0.014	0.014	0.101	0.099	0.259
リッジVPA(λ=0.37)	0.2000	0.029	0.014	0.014	0.098	0.099	0.254
リッジVPA(λ=0.38)	0.2000	0.029	0.013	0.014	0.094	0.100	0.250
リッジVPA(λ=0.39)	0.2000	0.028	0.013	0.013	0.090	0.101	0.245
リッジVPA(λ=0.40)	0.2000	0.027	0.012	0.013	0.086	0.102	0.239
リッジVPA(λ=0.41)	0.2000	0.040	0.018	0.016	0.162	-0.098	0.333
リッジVPA(λ=0.42)	0.2000	0.041	0.018	0.016	0.166	-0.099	0.339
リッジVPA(λ=0.43)	0.2000	0.041	0.017	0.016	0.168	-0.100	0.343
リッジVPA(λ=0.44)	0.2000	0.041	0.017	0.016	0.170	-0.101	0.345
リッジVPA(λ=0.45)	0.2000	0.041	0.016	0.015	0.172	-0.102	0.346
リッジVPA(λ=0.46)	0.2000	0.041	0.016	0.015	0.173	-0.102	0.347
リッジVPA(λ=0.47)	0.2000	0.041	0.015	0.015	0.173	-0.102	0.346
リッジVPA(λ=0.48)	0.2000	0.041	0.015	0.014	0.173	-0.102	0.345
リッジVPA(λ=0.49)	0.2000	0.040	0.014	0.014	0.172	-0.101	0.342
リッジVPA(λ=0.50)	0.2000	0.039	0.013	0.014	0.170	-0.101	0.337

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

補足表 2-3. (続き)

モデル名	初期値 (3個の場合は0、1、2歳魚)	Mohn's ρ					Mohn's ρ
		資源量	資源尾数	加入量	親魚量	漁獲係数	絶対値 の合計
リッジVPA ($\lambda=0.51$)	0.2000	0.038	0.012	0.013	0.168	-0.099	0.330
リッジVPA ($\lambda=0.52$)	0.2000	0.037	0.010	0.012	0.163	-0.097	0.320
リッジVPA ($\lambda=0.53$)	0.2000	0.035	0.009	0.012	0.156	-0.094	0.306
リッジVPA ($\lambda=0.54$)	0.2000	0.033	0.007	0.011	0.148	-0.090	0.289
リッジVPA ($\lambda=0.55$)	0.2000	0.032	0.005	0.010	0.143	-0.086	0.275
リッジVPA ($\lambda=0.56$)	0.2000	0.031	0.004	0.009	0.140	-0.083	0.267
リッジVPA ($\lambda=0.57$)	0.2000	0.030	0.003	0.009	0.139	-0.081	0.261
リッジVPA ($\lambda=0.58$)	0.2000	0.029	0.002	0.008	0.140	-0.079	0.258
リッジVPA ($\lambda=0.59$)	0.2000	0.029	0.001	0.007	0.141	-0.078	0.256
リッジVPA ($\lambda=0.60$)	0.2000	0.029	0.000	0.007	0.144	-0.077	0.256
リッジVPA ($\lambda=0.61$)	0.2000	0.028	-0.001	0.006	0.147	-0.076	0.258
リッジVPA ($\lambda=0.62$)	0.2000	0.028	-0.001	0.005	0.151	-0.075	0.261
リッジVPA ($\lambda=0.63$)	0.2000	0.042	0.005	0.008	0.202	-0.253	0.510
リッジVPA ($\lambda=0.64$)	0.2000	0.044	0.005	0.008	0.214	-0.256	0.526
リッジVPA ($\lambda=0.65$)	0.2000	0.046	0.004	0.007	0.224	-0.257	0.538
リッジVPA ($\lambda=0.66$)	0.2000	0.047	0.004	0.007	0.234	-0.257	0.549
リッジVPA ($\lambda=0.67$)	0.2000	0.048	0.004	0.006	0.245	-0.258	0.561
リッジVPA ($\lambda=0.68$)	0.2000	0.050	0.003	0.006	0.256	-0.258	0.573
リッジVPA ($\lambda=0.69$)	0.2000	0.051	0.003	0.005	0.268	-0.258	0.585
リッジVPA ($\lambda=0.70$)	0.2000	0.052	0.002	0.004	0.281	-0.258	0.598
リッジVPA ($\lambda=0.71$)	0.2000	0.054	0.001	0.004	0.295	-0.258	0.611
リッジVPA ($\lambda=0.72$)	0.2000	0.055	0.000	0.003	0.309	-0.258	0.626
リッジVPA ($\lambda=0.73$)	0.2000	0.057	0.000	0.002	0.326	-0.258	0.642
リッジVPA ($\lambda=0.74$)	0.2000	0.058	-0.002	0.001	0.343	-0.257	0.661
リッジVPA ($\lambda=0.75$)	0.2000	0.086	0.013	0.009	0.440	-0.412	0.959
リッジVPA ($\lambda=0.76$)	0.2000	0.092	0.013	0.008	0.472	-0.413	0.999
リッジVPA ($\lambda=0.77$)	0.2000	0.096	0.013	0.008	0.505	-0.413	1.035
リッジVPA ($\lambda=0.78$)	0.2000	0.101	0.013	0.007	0.540	-0.412	1.073
リッジVPA ($\lambda=0.79$)	0.2000	0.106	0.012	0.006	0.579	-0.409	1.111
リッジVPA ($\lambda=0.80$)	0.2000	0.111	0.010	0.004	0.621	-0.402	1.149
リッジVPA ($\lambda=0.81$)	0.2000	0.117	0.008	0.002	0.670	-0.391	1.188
リッジVPA ($\lambda=0.82$)	0.2000	0.124	0.007	0.000	0.729	-0.379	1.239
リッジVPA ($\lambda=0.83$)	0.2000	0.135	0.008	-0.002	0.801	-0.370	1.316
リッジVPA ($\lambda=0.84$)	0.2000	0.149	0.010	-0.003	0.891	-0.364	1.417
リッジVPA ($\lambda=0.85$)	0.2961, 2.2046, 2.0394	0.072	0.083	0.094	-0.005	0.074	0.327
リッジVPA ($\lambda=0.86$)	0.3008, 2.2055, 2.0403	0.066	0.077	0.087	-0.005	0.074	0.309
リッジVPA ($\lambda=0.87$)	0.3065, 2.2064, 2.0411	0.060	0.070	0.079	-0.005	0.075	0.289
リッジVPA ($\lambda=0.88$)	0.3138, 2.2073, 2.0420	0.053	0.062	0.070	-0.005	0.076	0.265
リッジVPA ($\lambda=0.89$)	0.3234, 2.2082, 2.0429	0.044	0.052	0.059	-0.005	0.077	0.237
リッジVPA ($\lambda=0.90$)	0.9000	0.034	0.041	0.046	-0.005	0.078	0.204
リッジVPA ($\lambda=0.91$)	0.9000	0.022	0.028	0.030	-0.005	0.079	0.164
リッジVPA ($\lambda=0.92$)	0.9000	0.007	0.010	0.010	-0.005	0.081	0.113
リッジVPA ($\lambda=0.93$)	0.9000	-0.014	-0.012	-0.017	-0.005	0.084	0.131
リッジVPA ($\lambda=0.94$)	0.9000	-0.032	-0.033	-0.040	-0.005	0.086	0.197
リッジVPA ($\lambda=0.95$)	0.9000	-0.043	-0.045	-0.054	-0.005	0.088	0.235
リッジVPA ($\lambda=0.96$)	0.9000	-0.050	-0.052	-0.063	-0.005	0.089	0.259
リッジVPA ($\lambda=0.97$)	0.9000	-0.054	-0.057	-0.068	-0.005	0.090	0.274
リッジVPA ($\lambda=0.98$)	0.9000	-0.057	-0.060	-0.072	-0.005	0.091	0.285
リッジVPA ($\lambda=0.99$)	0.9000	-0.059	-0.062	-0.075	-0.005	0.091	0.292
リッジVPA ($\lambda=0.9999$)	0.9000	-0.060	-0.063	-0.076	-0.005	0.091	0.296

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

補足表 2-4. モデル別の対数尤度とターミナルFの一覧

モデル名	正の対数尤度	ターミナルF(0、1、2歳魚)
チューニングVPA($\lambda=0$)	-16.1965	0.2301、1.1360、0.0589
リッジVPA($\lambda=0.01$)	-16.0476	0.2301、1.1367、0.0588
リッジVPA($\lambda=0.02$)	-15.8987	0.2301、1.1374、0.0588
リッジVPA($\lambda=0.03$)	-15.7497	0.2301、1.1381、0.0587
リッジVPA($\lambda=0.04$)	-15.6008	0.2301、1.1388、0.0587
リッジVPA($\lambda=0.05$)	-15.4518	0.2302、1.1395、0.0586
リッジVPA($\lambda=0.06$)	-15.3028	0.2302、1.1402、0.0586
リッジVPA($\lambda=0.07$)	-15.1538	0.2302、1.1409、0.0585
リッジVPA($\lambda=0.08$)	-15.0048	0.2302、1.1417、0.0584
リッジVPA($\lambda=0.09$)	-14.8558	0.2302、1.1424、0.0584
リッジVPA($\lambda=0.10$)	-14.7068	0.2302、1.1431、0.0583
リッジVPA($\lambda=0.11$)	-14.5578	0.2302、1.1438、0.0583
リッジVPA($\lambda=0.12$)	-14.4088	0.2302、1.1445、0.0582
リッジVPA($\lambda=0.13$)	-14.2598	0.2302、1.1452、0.0581
リッジVPA($\lambda=0.14$)	-14.1107	0.2302、1.1459、0.0581
リッジVPA($\lambda=0.15$)	-13.9617	0.2303、1.1466、0.0580
リッジVPA($\lambda=0.16$)	-13.8126	0.2303、1.1473、0.0579
リッジVPA($\lambda=0.17$)	-13.6635	0.2303、1.1480、0.0579
リッジVPA($\lambda=0.18$)	-13.5144	0.2303、1.1487、0.0578
リッジVPA($\lambda=0.19$)	-13.3653	0.2303、1.1494、0.0577
リッジVPA($\lambda=0.20$)	-13.2162	0.2303、1.1501、0.0577
リッジVPA($\lambda=0.21$)	-13.0671	0.2303、1.1508、0.0576
リッジVPA($\lambda=0.22$)	-12.9179	0.2303、1.1514、0.0575
リッジVPA($\lambda=0.23$)	-12.7688	0.2303、1.1521、0.0574
リッジVPA($\lambda=0.24$)	-12.6196	0.2303、1.1528、0.0573
リッジVPA($\lambda=0.25$)	-12.4704	0.2304、1.1535、0.0573
リッジVPA($\lambda=0.26$)	-12.3213	0.2304、1.1541、0.0572
リッジVPA($\lambda=0.27$)	-12.1720	0.2304、1.1548、0.0571
リッジVPA($\lambda=0.28$)	-12.0228	0.2304、1.1554、0.0570
リッジVPA($\lambda=0.29$)	-11.8736	0.2304、1.1561、0.0569
リッジVPA($\lambda=0.30$)	-11.7243	0.2304、1.1567、0.0568
リッジVPA($\lambda=0.31$)	-11.5751	0.2304、1.1573、0.0567
リッジVPA($\lambda=0.32$)	-11.4258	0.2304、1.1579、0.0566
リッジVPA($\lambda=0.33$)	-11.2765	0.2305、1.1585、0.0565
リッジVPA($\lambda=0.34$)	-11.1271	0.2305、1.1591、0.0564
リッジVPA($\lambda=0.35$)	-10.9778	0.2305、1.1597、0.0563
リッジVPA($\lambda=0.36$)	-10.8284	0.2305、1.1603、0.0562
リッジVPA($\lambda=0.37$)	-10.6790	0.2305、1.1608、0.0561
リッジVPA($\lambda=0.38$)	-10.5296	0.2305、1.1614、0.0560
リッジVPA($\lambda=0.39$)	-10.3802	0.2305、1.1619、0.0559
リッジVPA($\lambda=0.40$)	-10.2307	0.2306、1.1624、0.0558
リッジVPA($\lambda=0.41$)	-10.0813	0.2306、1.1629、0.0557
リッジVPA($\lambda=0.42$)	-9.9318	0.2306、1.1634、0.0555
リッジVPA($\lambda=0.43$)	-9.7822	0.2306、1.1638、0.0554
リッジVPA($\lambda=0.44$)	-9.6327	0.2306、1.1642、0.0553
リッジVPA($\lambda=0.45$)	-9.4831	0.2306、1.1646、0.0551
リッジVPA($\lambda=0.46$)	-9.3335	0.2307、1.1650、0.0550
リッジVPA($\lambda=0.47$)	-9.1838	0.2307、1.1654、0.0549
リッジVPA($\lambda=0.48$)	-9.0341	0.2307、1.1657、0.0547
リッジVPA($\lambda=0.49$)	-8.8844	0.2307、1.1660、0.0546
リッジVPA($\lambda=0.50$)	-8.7346	0.2307、1.1662、0.0544

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

補足表 2-4. (続き)

モデル名	正の対数尤度	ターミナルF (0、1、2歳魚)
リッジVPA ($\lambda=0.51$)	-8.5848	0.2308、1.1664、0.0542
リッジVPA ($\lambda=0.52$)	-8.4350	0.2308、1.1666、0.0541
リッジVPA ($\lambda=0.53$)	-8.2851	0.2308、1.1668、0.0539
リッジVPA ($\lambda=0.54$)	-8.1352	0.2308、1.1669、0.0537
リッジVPA ($\lambda=0.55$)	-7.9852	0.2308、1.1670、0.0535
リッジVPA ($\lambda=0.56$)	-7.8352	0.2309、1.1670、0.0533
リッジVPA ($\lambda=0.57$)	-7.6851	0.2309、1.1669、0.0531
リッジVPA ($\lambda=0.58$)	-7.5349	0.2309、1.1668、0.0529
リッジVPA ($\lambda=0.59$)	-7.3847	0.2309、1.1667、0.0527
リッジVPA ($\lambda=0.60$)	-7.2344	0.2310、1.1665、0.0525
リッジVPA ($\lambda=0.61$)	-7.0841	0.2310、1.1662、0.0522
リッジVPA ($\lambda=0.62$)	-6.9337	0.2310、1.1659、0.0520
リッジVPA ($\lambda=0.63$)	-6.7831	0.2311、1.1654、0.0517
リッジVPA ($\lambda=0.64$)	-6.6325	0.2311、1.1649、0.0514
リッジVPA ($\lambda=0.65$)	-6.4818	0.2311、1.1643、0.0512
リッジVPA ($\lambda=0.66$)	-6.3310	0.2312、1.1636、0.0509
リッジVPA ($\lambda=0.67$)	-6.1801	0.2312、1.1628、0.0505
リッジVPA ($\lambda=0.68$)	-6.0291	0.2312、1.1619、0.0502
リッジVPA ($\lambda=0.69$)	-5.8779	0.2313、1.1608、0.0499
リッジVPA ($\lambda=0.70$)	-5.7266	0.2313、1.1596、0.0495
リッジVPA ($\lambda=0.71$)	-5.5751	0.2314、1.1582、0.0491
リッジVPA ($\lambda=0.72$)	-5.4235	0.2314、1.1567、0.0487
リッジVPA ($\lambda=0.73$)	-5.2716	0.2315、1.1550、0.0483
リッジVPA ($\lambda=0.74$)	-5.1196	0.2315、1.1531、0.0478
リッジVPA ($\lambda=0.75$)	-4.9672	0.2316、1.1509、0.0473
リッジVPA ($\lambda=0.76$)	-4.8147	0.2317、1.1485、0.0468
リッジVPA ($\lambda=0.77$)	-4.6618	0.2318、1.1457、0.0462
リッジVPA ($\lambda=0.78$)	-4.5086	0.2318、1.1427、0.0456
リッジVPA ($\lambda=0.79$)	-4.3550	0.2319、1.1392、0.0450
リッジVPA ($\lambda=0.80$)	-4.2009	0.2321、1.1353、0.0443
リッジVPA ($\lambda=0.81$)	-4.0463	0.2322、1.1308、0.0435
リッジVPA ($\lambda=0.82$)	-3.8912	0.2323、1.1257、0.0427
リッジVPA ($\lambda=0.83$)	-3.7353	0.2325、1.1199、0.0417
リッジVPA ($\lambda=0.84$)	-3.5786	0.2327、1.1131、0.0407
リッジVPA ($\lambda=0.85$)	-3.3764	0.2961、2.2046、2.0394
リッジVPA ($\lambda=0.86$)	-3.1655	0.3008、2.2055、2.0403
リッジVPA ($\lambda=0.87$)	-2.9543	0.3065、2.2064、2.0411
リッジVPA ($\lambda=0.88$)	-2.7427	0.3138、2.2073、2.0420
リッジVPA ($\lambda=0.89$)	-2.5304	0.3234、2.2082、2.0429
リッジVPA ($\lambda=0.90$)	-2.3172	0.3366、2.2093、2.0438
リッジVPA ($\lambda=0.91$)	-2.1027	0.3564、2.2105、2.0447
リッジVPA ($\lambda=0.92$)	-1.8858	0.3901、2.2120、2.0458
リッジVPA ($\lambda=0.93$)	-1.6645	0.4555、2.2141、2.0471
リッジVPA ($\lambda=0.94$)	-1.4364	0.5414、2.2164、2.0485
リッジVPA ($\lambda=0.95$)	-1.2027	0.6039、2.2178、2.0494
リッジVPA ($\lambda=0.96$)	-0.9656	0.6490、2.2188、2.0501
リッジVPA ($\lambda=0.97$)	-0.7263	0.6843、2.2195、2.0506
リッジVPA ($\lambda=0.98$)	-0.4854	0.7135、2.2201、2.0511
リッジVPA ($\lambda=0.99$)	-0.2432	0.7385、2.2206、2.0515
リッジVPA ($\lambda=0.9999$)	-0.0024	0.7603、2.2211、2.0519
チューニングなしVPA	NA	0.7605、2.2211、2.0519

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

補足資料 3 管理基準値案と禁漁水準案等

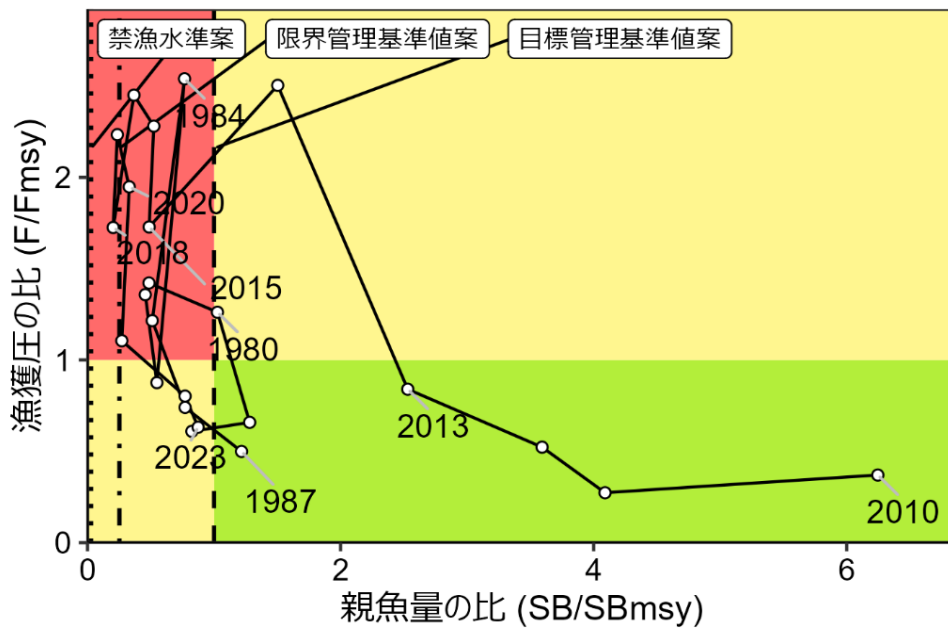
令和 3 年 9 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」により、目標管理基準値 (SBtarget) には MSY 水準における親魚量 (SBmsy : 112 千トン)、限界管理基準値 (SBlimit) には MSY の 60% が得られる親魚量 (SB0.6msy : 28 千トン)、禁漁水準 (SBban) には MSY の 10% が得られる親魚量 (SB0.1msy : 3 千トン) を用いることが提案されている (木下ほか 2021、補足表 6-2)。

SBmsy とこれを維持する漁獲圧 (Fmsy) を基準にした神戸プロットを補足図 3-1 に示す。コホート解析により得られた 2023 年の親魚量 (SB2023 : 98 千トン) は SBmsy を下回るが、SB0.6msy (限界管理基準値案) および SB0.1msy (禁漁水準案) は上回っている (補足表 6-2、6-3)。本系群における 2014~2021 年の漁獲圧は、SBmsy を維持する漁獲圧を上回っていたが、2022~2023 年は下回っていたと判断される。

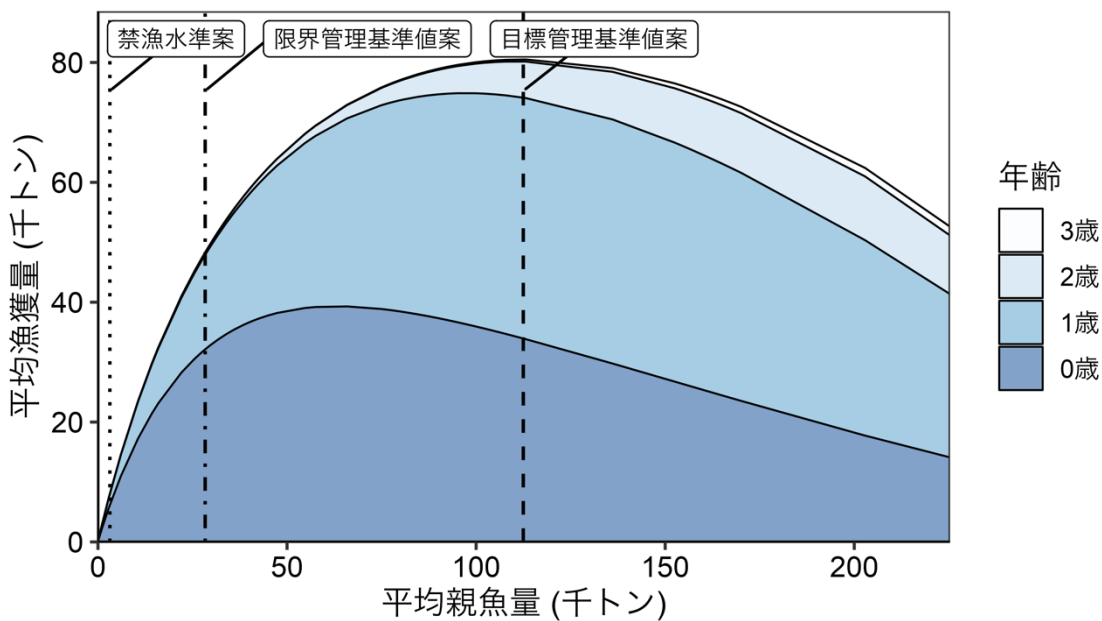
平衡状態における平均親魚量と年齢別平均漁獲量との関係を補足図 3-2 に示す。平均親魚量が限界管理基準値以下では 0 歳および 1 歳魚が殆どを占めているが、親魚量が増加するにつれて高齢魚の比率が高くなる傾向がみられる。

引用文献

木下順二・安田十也・渡邊千夏子・上村泰洋 (2021) 令和 3 (2021) 年度カタクチイワシ太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. FRA-SA2021-BRP03-1, 水産研究・教育機構, 横浜, 53pp. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20210906/FRA-SA2021-BRP03-1.pdf



補足図 3-1. 管理基準値案と親魚量・漁獲圧との関係 (神戸プロット)



補足図 3-2. 平衡状態における平均親魚量と年齢別平均漁獲量との関係 (漁獲量曲線)

補足資料 4 漁獲管理規則案に対応した将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した 2023 年の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2024～2055 年の将来予測計算を行った。この将来予測では加入量の不確実性を考慮した。再生産関係式を用いて各年に予測される親魚量から加入量を予測し、その予測値に対数正規分布に従う誤差を与えることで加入量の不確実性を考慮した。対数正規分布から無作為抽出した誤差を予測値に与える計算を 10,000 回行い、それらの平均値と 90% 予測区間を求めることにより、不確実性の程度を示した。

2024 年の漁獲圧は、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、2024 年の漁獲量が直近 5 年平均（2019～2023 年、45 千トン）と一致するような漁獲圧（F2024）を仮定した。2024 年の漁獲量は近年および直近の漁況を考慮した。2025 年の漁獲圧は、下記の漁獲管理規則案に従い、各年に予測される親魚量をもとに算出した。漁獲管理規則案以外の漁獲圧として、現状の漁獲圧（F2021-2023）は、管理基準値案を算出した時と同じ選択率や生物パラメータ（平均体重等）の条件下で、本年度評価における 2021～2023 年の漁獲圧に対応する %SPR を与える F 値とした。なお、将来予測の計算方法は補足資料 5 に示した。

(2) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則案は、目標管理基準値案以上に親魚量を維持・回復する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 の上限に調整係数 β を乗じた値を ABC 算定のための漁獲圧とするものを提示している。補足図 4-1 に本系群で提案されている漁獲管理規則を示す。親魚量が限界管理基準値案未満の場合の漁獲圧は、親魚量に応じた係数を乗じて $\gamma(SB_t) \times \beta F_{msy}$ として求める。この $\gamma(SB_t)$ は「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」における 1 系資源の管理規則に基づき、下式により計算される。

$$\gamma(SB_t) = \frac{SB_t - SB_{ban}}{SB_{limit} - SB_{ban}} \quad (11)$$

補足図 4-1 では例として F の上限を F_{msy} とし調整係数 β を 0.9 とした場合を示した。なお、管理基準値等に関する研究機関会議資料での提案では「F の上限を F_{msy} とした漁獲管理規則において、 β が 0.9 以下であれば、10 年後に SB_{msy} （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) 2025 年の予測値

2025 年に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも限界管理基準値案を上回り、平均 150 千トンと見込まれた。ここで F_{msy} を漁獲圧の上限とした漁獲管理規則案に基づ

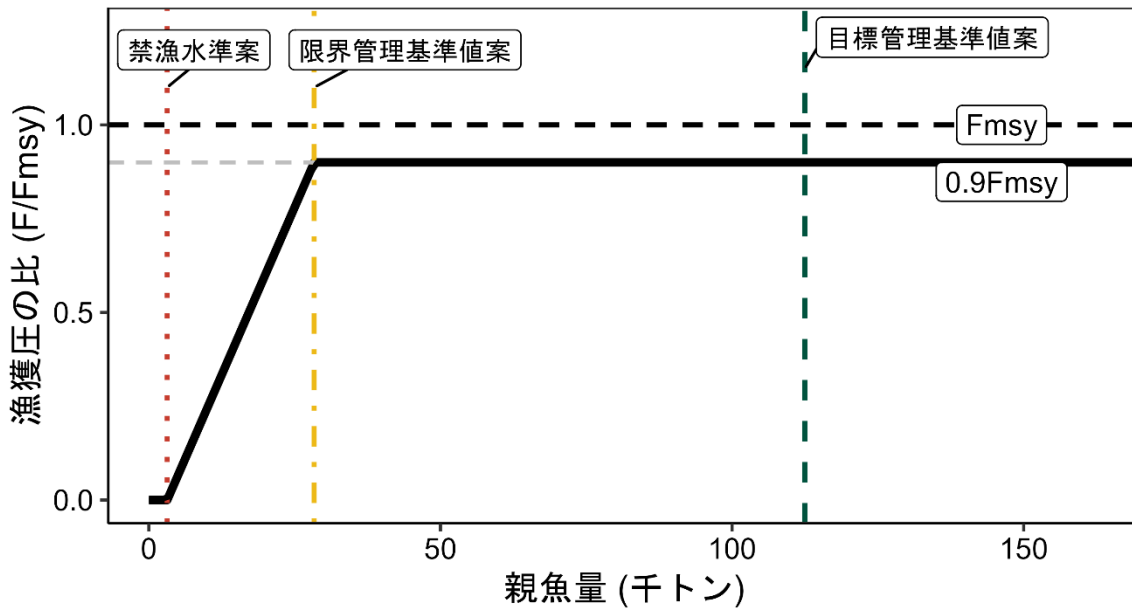
き試算された 2025 年の平均漁獲量は、 β を 0.9 とした場合には 92 千トン、 β を 1.0 とした場合には 99 千トンであった（補足表 6-4）。

(4) 2026 年以降の予測

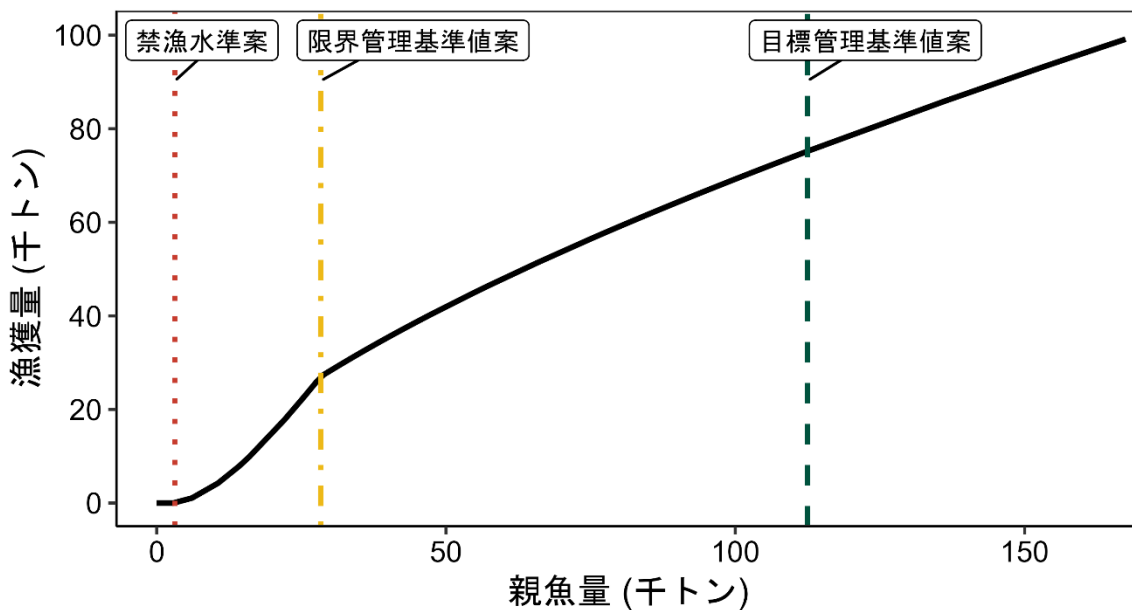
2026 年以降も含めた将来予測の結果を補足図 4-2 および補足表 4-1、4-2 に示す。

Fmsy を漁獲圧の上限とした漁獲管理規則案に基づく管理を 10 年間継続した場合、2035 年の親魚量の予測値は β を 0.9 とした場合には平均 124 千トン（90%予測区間は 78 千～184 千トン）であり、 β を 1.0 とした場合には平均 113 千トン（90%予測区間は 71 千～169 千トン）である（補足表 6-5）。2035 年の親魚量の予測値は β が 0.9 以下であれば 50%以上の確率で SBmsy を上回り、 β が 1.0 以下であれば 100%の確率で SB0.6msy を上回る。現状の漁獲圧 (F2021-2023) を継続した場合の 2035 年の親魚量の予測値は平均 128 千トン（90%予測区間は 81 千～189 千トン）であり、SBmsy を上回る確率は 64%、SB0.6msy を上回る確率は 100%である。

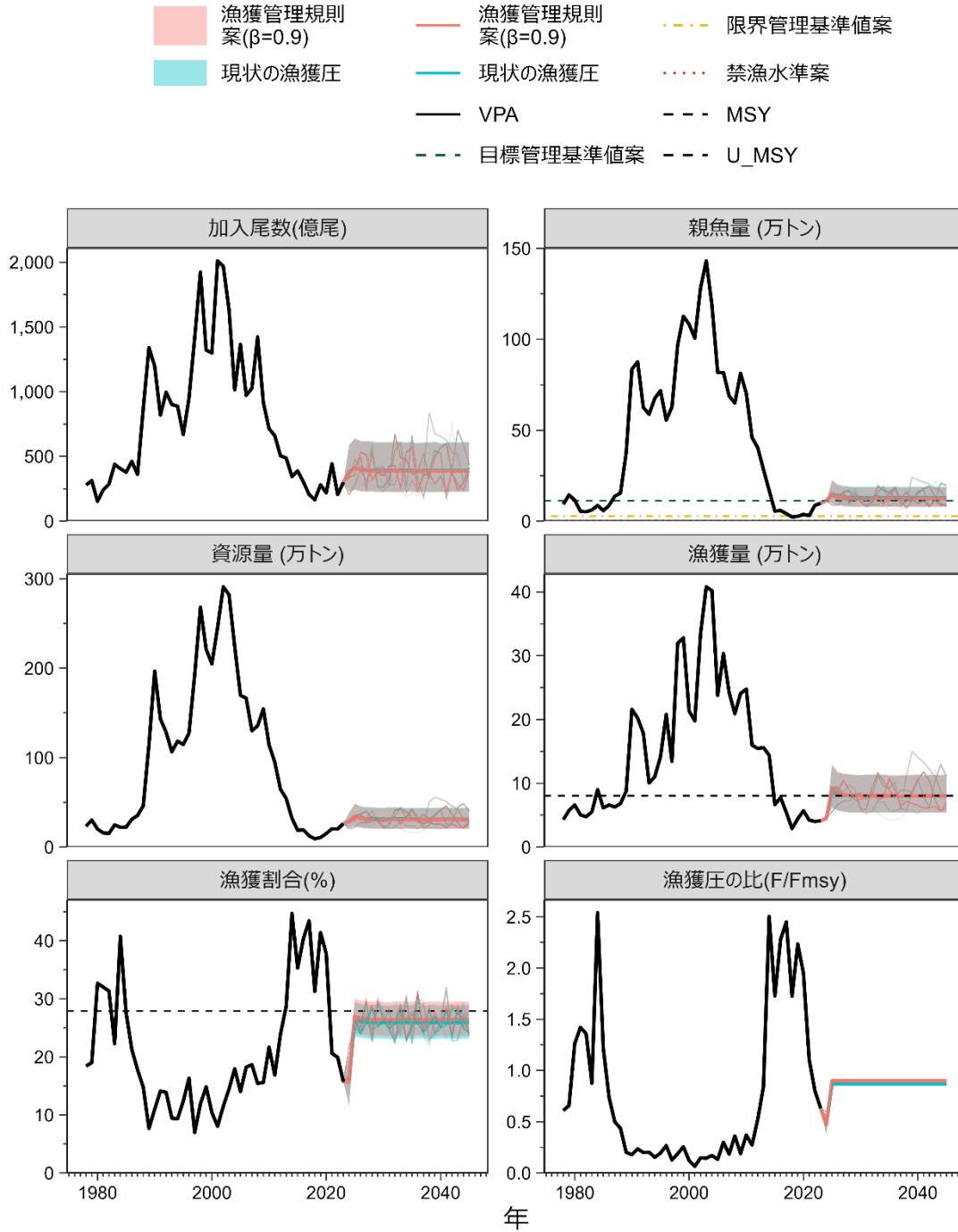
a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合



補足図 4-1. 漁獲管理規則案



補足図 4-2. 漁獲管理規則案に従って漁獲を続けた場合 (赤線) と現状の漁獲圧 (F2021-2023) で漁獲を続けた場合の将来予測 (青色)

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90% が含まれる予測区間、細線は 5 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は SBmsy、黄一点鎖線は SB0.6msy、赤点線は SB0.1msy を示す。漁獲量の図の黒破線は最大持続生産量 MSY を、漁獲割合の図の黒破線は SBmsy を維持する漁獲割合の水準 (Umsy) を示す。漁獲管理規則案での調整係数 β には 0.9 を用いた。2024 年の F は直近 5 年平均の漁獲量 (2019~2023 年、45 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) 漁獲圧の上限を F_{msy} とした漁獲管理規則案を用いた場合に SB_{msy} を上回る確率

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2045	2055		
1.0	0	84	64	53	48	47	45	45	45	46	46	46	44	46		
0.9			72	65	61	61	59	59	59	60	60	60	59	59		
0.8			79	76	73	73	72	73	73	74	73	73	73	74		
0.7			85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85		
0.6			90	92	92	93	93	93	93	93	93	93	93	93		
0.5			94	97	97	98	97	98	98	98	98	98	98	97		
0.4			97	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100	99		
0.3			98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
0.2			99	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		
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
現状の漁獲圧					74	69	64	64	63	63	63	65	64	64	63	64

b) 漁獲圧の上限を F_{msy} とした漁獲管理規則案を用いた場合に $SB_{0.6msy}$ を上回る確率

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2045	2055	
1.0	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	
0.8			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	
0.6			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	
0.4			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	
0.2			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	
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
現状の漁獲圧					100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年の漁獲量は直近 5 年平均 (2019~2023 年) の 45 千トンとし、2025 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2021-F2023、 $\beta = 0.87$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 4-2. 将来の平均親魚量 (千トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2045	2055	
1.0	111	150	127	119	115	114	113	113	113	114	113	113	113	113	
0.9			135	128	126	125	124	124	124	125	124	124	124	124	124
0.8			143	139	137	137	136	136	136	137	136	136	136	136	136
0.7			151	150	150	150	149	150	150	151	150	150	149	150	150
0.6			160	163	164	165	165	165	165	166	166	166	166	165	166
0.5			170	178	181	182	182	183	183	184	183	183	183	183	183
0.4			181	194	200	202	202	203	203	204	204	203	203	203	204
0.3			193	213	221	225	225	226	226	228	227	227	226	226	227
0.2			206	234	246	251	252	253	254	255	254	254	253	253	254
0.1			221	259	275	282	283	284	285	287	286	286	285	286	286
0.0			236	287	309	318	321	322	323	324	324	324	323	324	324
現状の漁獲圧			137	131	129	128	127	127	128	128	128	128	127	128	

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年の漁獲量は直近 5 年平均(2019~2023 年) の 45 千トンとし、2025 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2021-F2023、 $\beta = 0.87$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 4-3. 将来の平均漁獲量 (千トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2045	2055	
1.0	45	99	88	83	82	81	81	81	81	81	81	81	81	81	
0.9		92	85	82	81	81	80	80	81	81	80	80	80	80	80
0.8		85	82	80	80	79	79	79	79	80	79	79	79	79	79
0.7		78	78	77	77	77	77	77	77	78	77	77	77	77	77
0.6		70	72	73	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
0.5		61	66	68	69	69	69	69	70	70	70	69	69	69	69
0.4		51	58	61	62	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63
0.3		40	48	51	53	53	53	53	54	54	54	54	54	53	53
0.2		28	35	38	40	40	41	41	41	41	41	41	41	41	41
0.1		15	19	22	23	23	23	23	24	24	24	24	23	24	24
0.0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
現状の漁獲圧		90	84	82	81	80	80	80	80	80	80	80	80	80	

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年の漁獲量は直近 5 年平均(2019~2023 年) の 45 千トンとし、2025 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2021-F2023、 $\beta = 0.87$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足資料 5 将来予測の方法

将来予測における各種設定には補足表 5-1 の値を用いた。資源尾数や漁獲量の予測は、ABCWG (2024a) に基づき、統計ソフトウェア R (version 4.3.3) 用計算パッケージ frasyr (version 2.2.0) を用いて実施した。将来予測における加入量は、令和 3 年 9 月に公開された「管理基準値等に関する研究機関会議資料」において提案されたベバートン・ホルト型再生産関係 (木下ほか 2021) と年々推定される親魚量から求めた。

将来予測における漁獲係数 F は、「令和 6 (2024) 年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2024-ABCWG02-01)」における 1 系資源の管理規則に基づき算出される値を用いた。将来予測における選択率や漁獲物平均体重等の値には、上述の「管理基準値等に関する研究機関会議資料」に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り、漁獲物平均体重はこの計算結果における 1978~1987 年および 2010~2019 年の平均値である。

2024 年の漁獲圧 (F_{2024}) は、2024 年の漁獲量が直近 5 年平均 (2019~2023 年) の漁獲量である 45 千トンになるように仮定した。これは、2024 年の F に現状の漁獲圧 ($F_{2021-2023}$) を仮定した場合、同年の漁獲量は 72 千トンとなるが、2019~2023 年の漁獲量の範囲が 40 千~57 千トンであることを考慮すると、この値は大きすぎると考えられたためである。なお、2025 年以降の将来予測において漁獲管理規則案との比較として用いる現状の漁獲圧は $F_{2021-2023}$ とした。ただし、近年の生物パラメータと選択率は MSY 推定時の値とはやや異なってきていることには留意が必要である。

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法を用いた。

$$N_{a+1,t+1} = N_{a,t} \exp(-F_{a,t} - M_a) \quad (a = 0, 1, 2) \quad (12)$$

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

$$C_{a,t} = N_{a,t} \{1 - \exp(-F_{a,t})\} \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) \quad (a = 0, 1, 2, 3) \quad (13)$$

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, 水産研究・教育機構, 横浜, 53pp. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20210906/FRA-SA2021-BRP03-1.pdf
- ABCWG (2024a) 令和 6 (2024) 年度 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート. FRA-SA2024-ABCWG02-04. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-04.pdf
- ABCWG (2024b) 令和 6 (2024) 年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. F

RA-SA2024-ABCWG02-01. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-01.pdf

補足表 5-1. 将来予測のパラメータ

年齢	選択率 (注 1)	Fmsy (注 2)	F2024 (注 3)	F2021-2023 (注 4)	平均 体重 (g)	自然 死亡 係数	成熟 割合
0 歳	0.27	0.38	0.18	0.33	4.7	1.0	0.0
1 歳	0.89	1.23	0.58	1.07	10.0	1.0	1.0
2 歳	1.00	1.39	0.65	1.21	17.8	1.6	1.0
3 歳	1.00	1.39	0.65	1.21	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、2024 年の漁獲量が直近 5 年平均（2019～2023 年、45 千トン）になるように仮定した F。

注 4：上記の選択率の下で、今回の資源評価で推定された 2021～2023 年の年齢別の平均 F と同じ漁獲圧を与える F 値を %SPR 換算して算出した。この F 値は 2025 年以降の漁獲量の仮定に使用した。

補足資料 6 各種パラメータと評価結果の概要

補足表 6-1. 再生産関係式のパラメータ

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
ベバートン・ホルト型	最小二乗法	無	1.039	1.843×10^{-5}	0.288	-

a と b は各再生産関係式の推定パラメータ、S.D. は加入量の標準偏差、ρ は自己相関係数である。

補足表 6-2. 管理基準値案と MSY

項目	値	説明
SBmsy	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
SB0.6msy	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
SB0.1msy	3 千トン	禁漁水準案。MSY の 10% の漁獲量が得られる親魚量
Fmsy	SBmsy を維持する漁獲圧 (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳) = (0.38, 1.23, 1.39, 1.39)	
%SPR (Fmsy)	45%	Fmsy に対応する %SPR
MSY	81 千トン	最大持続生産量

補足表 6-3. 最新年の親魚量と漁獲圧

項目	値	説明
SB2023	98 千トン	2023 年の親魚量
F2023	2023 年の漁獲圧(漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳)=(0.23, 1.16, 0.06, 0.06)	
U2023	16%	2023 年の漁獲割合
%SPR (F2023)	56.4%	2023 年の%SPR
%SPR (F2021-2023)	48.6%	現状(2021~2023 年)の漁獲圧に対応する%SPR*
管理基準値案との比較		
SB2023/ SBmsy	0.87	最大持続生産量を実現する親魚量(SBmsy)に対する 2023 年の親魚量の比
F2023/ Fmsy	0.63	SBmsy を維持する漁獲圧(Fmsy)に対する 2023 年の 漁獲圧の比*
親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る	
漁獲圧の水準	SBmsy を維持する水準を下回る	
親魚量の動向	増加	

* 2023 年の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を%SPR 換算して求めた比率。

補足表 6-4. 予測漁獲量と予測親魚量

2025 年の親魚量(予測平均値):150 千トン			
項目	2025 年の 漁獲量(千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2021-2023)	2025 年の 漁獲割合(%)
管理基準値等に関する研究機関会議資料で提案された β (最高値)			
$\beta=0.9$	92	1.04	27
上記と異なる β を使用した場合			
$\beta=1.0$	99	1.15	29
$\beta=0.8$	85	0.92	25
$\beta=0.6$	70	0.69	20
$\beta=0.4$	51	0.46	15
$\beta=0.2$	28	0.23	8
$\beta=0.0$	0	0	0
F2021-2023	90	1.00	26

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					
項目	2035 年 の親魚量 (千トン)	90% 予測区間 (千トン)	2035 年に親魚量が以下の 管理基準値案を上回る確率(%)		
			SBmsy	SB0.6msy	SB0.1msy
管理基準値等に関する研究機関会議資料で提案された β (最高値)					
$\beta=0.9$	124	78 - 184	60	100	100
上記と異なる β を使用した場合					
$\beta=1.0$	113	71 - 169	46	100	100
$\beta=0.8$	136	87 - 201	73	100	100
$\beta=0.6$	166	108 - 239	93	100	100
$\beta=0.4$	203	137 - 288	100	100	100
$\beta=0.2$	254	175 - 352	100	100	100
$\beta=0.0$	324	229 - 440	100	100	100
F2021-2023	128	81 - 189	64	100	100

補足資料 7 調査結果の概要

(1) 資源量調査

北上期調査（西部北太平洋サンマ資源調査と北西太平洋北上期浮魚類資源調査を併せたもの）として、水産研究・教育機構が2001年以降5～7月の移行域～親潮域において中層トロール（網口30m、コッド目合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7-1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7-2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。

(2) 卵・稚仔、プランクトン調査と卵数法による親魚量

卵・稚仔、プランクトン調査として、沿岸では各都県試験研究機関が周年、沖合では水産研究・教育機構が2～3月（黒潮域）および5～6月（黒潮親潮移行域）を中心に、改良型ノルパックネット（口径45cm、円筒円錐形、目合0.335mm）の鉛直曳採集を実施し、得られたデータをプ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、産卵が認められた区画の海域面積で引き延ばして月毎の産卵量を計算した（森ほか1988、菊地・小西1990、石田・菊地1992、銭谷ほか1995、久保田ほか1999）。単位区画を30分とした海区別（太平洋側のI～IV区）の月別産卵量の経年変化を補足図7-3に示した。

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（渡部1983）を適用し、コホート解析とは独立して、親魚量の直接推定値を計算した。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（補足図7-4、補足表7-1、7-2）。月別・海区別水温は卵・稚仔、プランクトン調査時の海洋観測結果から卵数加重水温を求めて使用した。生殖腺重量指数は月別・海区別の精密測定結果から、体長8cm以上の雌個体について平均した値を用いた。月別親魚量は式(14)によって求めた。性比は1:1と仮定し、バッチ産卵数は雌1個体1回当たり産卵数を表す。月別親魚量の計算に用いる海区別の1g当りバッチ産卵数および産卵間隔を求める式(15)～(18)はTakasuka et al. (2005) に拠った。

$$\text{月別親魚量} = (\text{月別産卵量} - 1 \text{ g当りバッチ産卵数}) \times \text{産卵間隔} - \text{月の日数} - \text{雌割合} \quad (14)$$

沖合域 (I区 水温範囲: 8.0～20.2度) :

$$1 \text{ g当りバッチ産卵数} = -30.4 + 11.7 \times \text{水温} + 23.5 \times \text{生殖腺重量指数} \quad (15)$$

$$\text{産卵間隔} = 5.30 - 0.182 \times \text{水温} \quad (16)$$

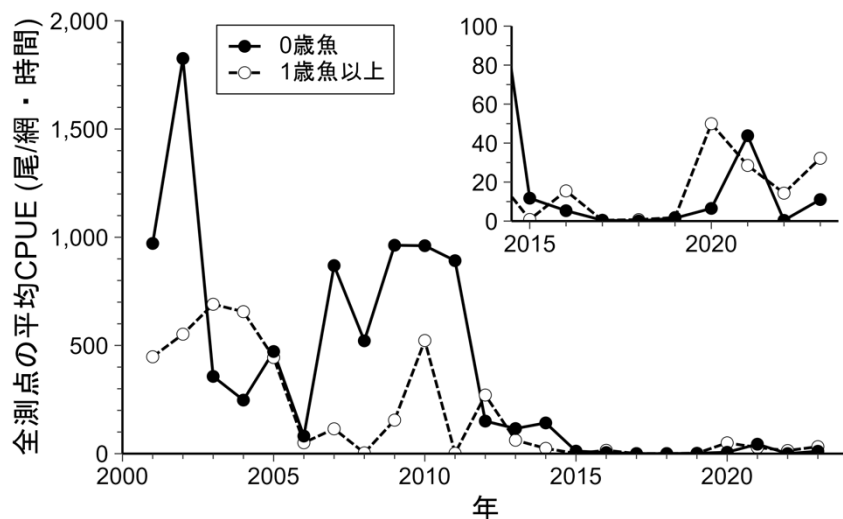
沿岸域 (II～IV区 水温範囲: 15.0～26.7度) :

$$1 \text{ g当りバッチ産卵数} = -338.7 + 27.4 \times \text{水温} + 87.3 \times \text{生殖腺重量指数} \quad (17)$$

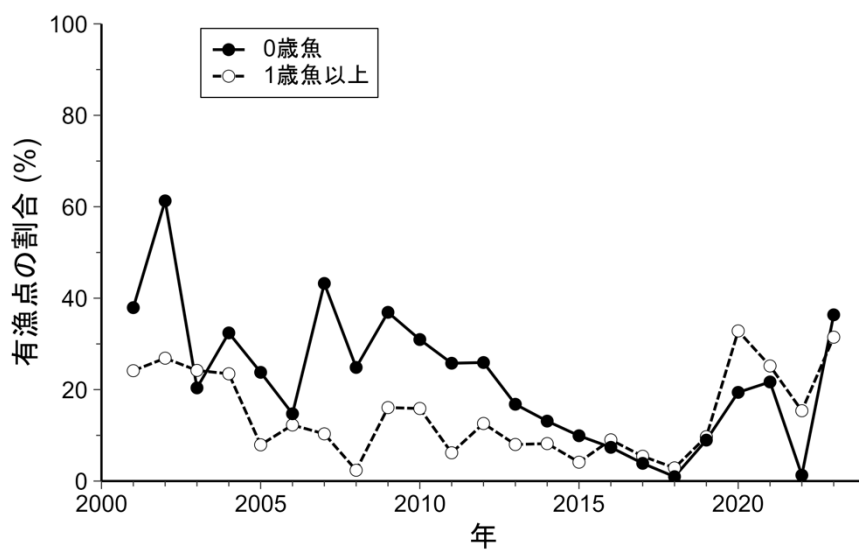
$$\text{産卵間隔} = 7.65 - 0.234 \times \text{水温} \quad (18)$$

引用文献

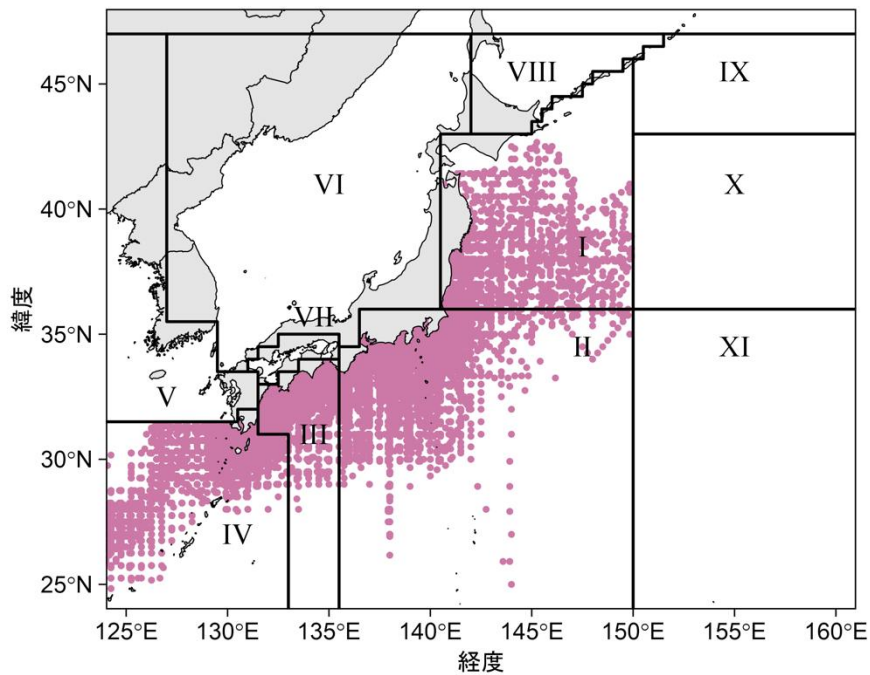
- 石田 実・菊地 弘 (1992) 日本の太平洋岸 (常磐～薩南海域) におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況:1989年1月～1990年12月. 南西海区水産研究所・中央水産研究所, 86 pp.
- 菊地 弘・小西芳信 (1990) 日本の太平洋岸 (常磐～薩南海域) におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況:1987年1月～1988年12月. 中央水産研究所 (旧東海区水産研究所) ・南西海区水産研究所, 72 pp.
- 久保田洋・大関芳沖・石田 実・小西芳信・後藤常夫・銭谷 弘・木村 量編 (1999) 日本周辺水域におけるマイワシ、カタクチイワシ、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.
- 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.
- 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.



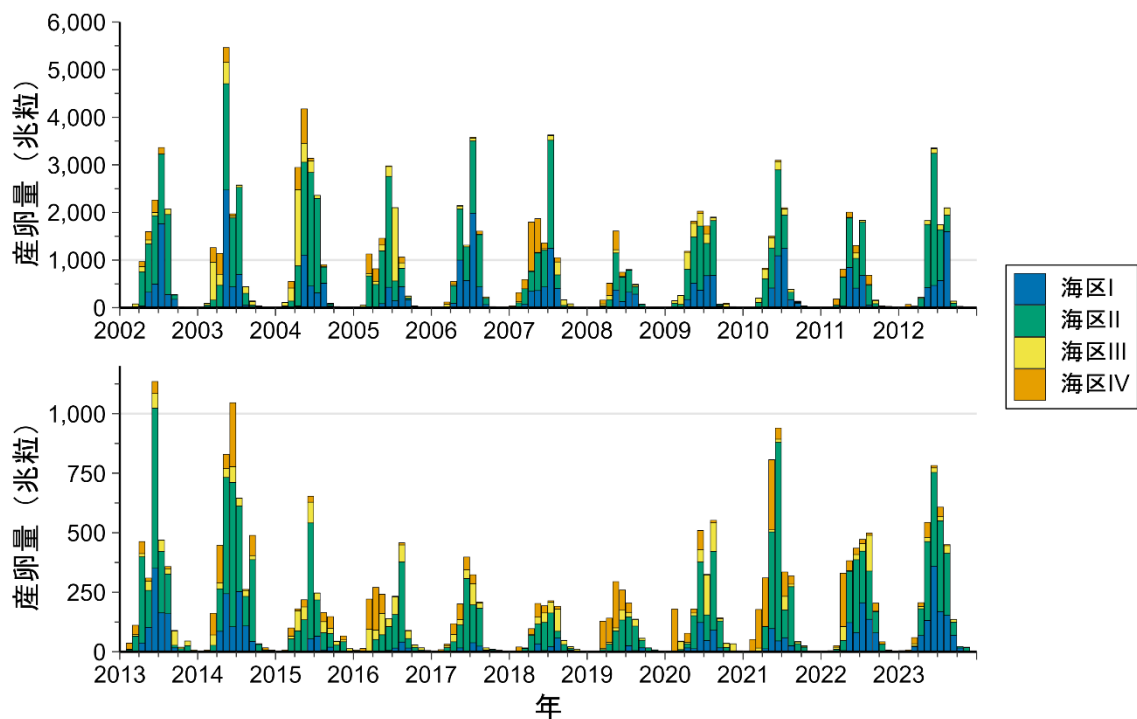
補足図 7-1. 北上期調査における0歳魚と1歳魚以上の全測点平均 CPUE



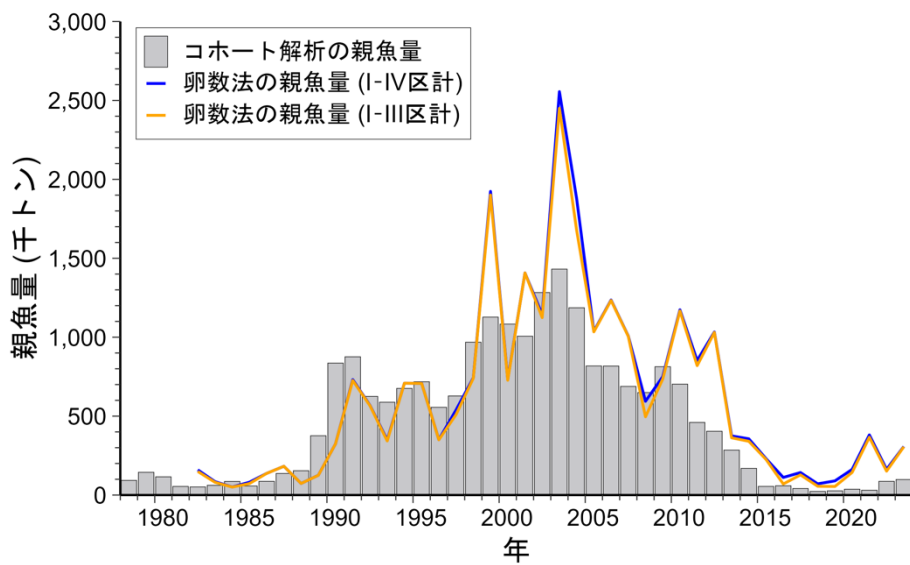
補足図 7-2. 北上期調査における0歳魚と1歳魚以上の有漁点の割合



補足図 7-3. 卵・稚仔、プランクトン調査における大海区の区分図
赤点は大海区 I~IV 内の調査点の分布を表す。



補足図 7-4. 2002 年以降のカタクチイワシの海区別月別産卵量 (30 分升目)



補足図 7-5. 卵数法による親魚量とコホート解析による親魚量

補足表 7-1. 北上期調査における CPUE の全測点平均値および卵・稚仔、プランクトン調査による卵数法による推定親魚量

年	北西太平洋北上期浮魚類資源調査 におけるCPUEの全測点平均値 (尾/網・時)		卵数法による推定親魚量(千トン)	
	0歳魚	1歳魚以上	I-IV区	I-III区
1982			159.6 [6月]	149.4 [6月]
1983			84.9 [6月]	80.6 [6月]
1984			51.1 [7月]	50.5 [7月]
1985			81.4 [7月]	72.5 [7月]
1986			137.3 [7月]	137.2 [7月]
1987			182.2 [8月]	182.2 [8月]
1988			73.4 [7月]	73.3 [7月]
1989			125.5 [6月]	125.2 [6月]
1990			324.9 [7月]	324.8 [7月]
1991			731.2 [7月]	726.0 [7月]
1992			567.9 [7月]	565.9 [7月]
1993			349.0 [5月]	342.7 [5月]
1994			708.6 [6月]	708.6 [6月]
1995			707.9 [6月]	707.2 [6月]
1996			350.9 [6月]	350.0 [6月]
1997			539.5 [6月]	510.0 [6月]
1998			742.5 [6月]	739.7 [6月]
1999			1,923.9 [5月]	1,901.1 [5月]
2000			732.2 [7月]	727.3 [7月]
2001	971.4	447.6	1,407.1 [6月]	1,407.1 [6月]
2002	1,826.0	552.1	1,142.7 [7月]	1,124.0 [7月]
2003	357.0	690.3	2,555.8 [5月]	2,449.6 [5月]
2004	247.5	656.0	1,878.5 [5月]	1,678.2 [5月]
2005	472.0	444.2	1,037.9 [6月]	1,033.8 [6月]
2006	81.3	50.3	1,235.8 [7月]	1,232.8 [7月]
2007	869.1	114.7	1,007.6 [7月]	1,005.4 [7月]
2008	521.4	3.6	594.0 [5月]	495.8 [5月]
2009	963.0	155.0	749.7 [6月]	734.9 [6月]
2010	960.8	522.7	1,173.5 [6月]	1,166.3 [6月]
2011	891.8	2.0	852.3 [5月]	819.9 [5月]
2012	150.4	270.8	1,033.0 [6月]	1,030.1 [6月]
2013	116.1	62.2	374.8 [6月]	362.6 [6月]
2014	142.0	24.3	356.2 [5月]	340.5 [5月]
2015	11.7	0.8	230.4 [6月]	225.4 [6月]
2016	5.3	15.5	111.4 [3月]	70.0 [8月]
2017	0.4	0.4	142.6 [6月]	127.7 [6月]
2018	0.1	0.7	71.1 [5月]	55.7 [5月]
2019	1.5	1.8	89.6 [5月]	54.3 [6月]
2020	6.5	49.9	162.5 [6月]	143.3 [6月]
2021	43.8	28.5	381.0 [6月]	366.1 [6月]
2022	0.4	14.3	162.9 [5月]	151.4 [5月]
2023	10.5	30.7	307.5 [6月]	305.5 [6月]

補足表 7-2. 海区別の卵数法による推定親魚量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の年間最高値			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1982	186.4	556.6	135.6	202.9	76.2 [6月]	69.0 [6月]	9.6 [10月]	16.8 [7月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1983	5.6	650.4	175.9	126.6	2.6 [6月]	69.1 [6月]	15.8 [5月]	23.5 [4月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1984	11.9	590.3	123.9	19.7	1.7 [10月]	47.8 [7月]	7.3 [10月]	3.0 [5月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1985	19.4	840.1	122.2	134.4	7.4 [7月]	61.6 [7月]	4.2 [9月]	8.8 [7月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1986	3.3	1,295.5	151.6	48.2	1.9 [7月]	125.6 [7月]	12.7 [6月]	5.2 [5月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1987	110.9	1,431.9	27.6	57.1	12.5 [8月]	169.3 [8月]	1.8 [7月]	10.0 [4月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1988	232.9	541.3	39.3	39.3	48.3 [6月]	61.4 [7月]	2.3 [7月]	3.5 [5月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1989	161.4	788.3	41.2	25.6	52.4 [7月]	119.2 [6月]	1.8 [5月]	5.5 [3月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1990	525.9	2,148.6	143.5	8.9	125.2 [7月]	190.5 [7月]	11.6 [6月]	1.1 [6月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1991	2,478.6	4,178.8	192.3	365.0	460.3 [7月]	258.0 [7月]	15.0 [6月]	80.0 [4月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1992	1,100.3	3,977.8	517.8	328.7	315.6 [7月]	313.1 [4月]	61.7 [4月]	45.1 [5月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1993	275.7	2,198.0	476.4	172.7	95.0 [6月]	315.3 [5月]	52.3 [6月]	51.0 [4月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1994	595.2	3,711.7	123.9	213.2	162.2 [5月]	567.1 [6月]	9.4 [5月]	56.0 [5月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1995	858.1	2,885.8	235.2	9.2	314.2 [6月]	386.0 [6月]	22.1 [5月]	1.0 [4月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1996	106.6	2,354.9	431.7	388.9	28.6 [4月]	315.4 [6月]	67.6 [5月]	96.2 [4月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1997	891.1	3,158.8	267.4	386.8	211.4 [6月]	285.6 [6月]	23.3 [4月]	58.8 [5月]	4.0	4.0	4.0	4.0
1998	1,232.2	4,185.0	288.8	91.1	241.7 [6月]	483.0 [6月]	28.3 [4月]	16.4 [4月]	4.3	4.7	4.7	4.7
1999	5,201.1	7,655.3	1,818.2	948.0	1,400.8 [5月]	644.9 [3月]	208.5 [4月]	106.4 [3月]	3.1	4.8	4.8	4.8
2000	2,825.3	6,029.8	1,382.6	344.2	525.2 [7月]	448.0 [4月]	100.6 [4月]	29.6 [6月]	5.5	5.9	5.9	5.9
2001	4,544.3	2,002.8	201.6	1.0	1,197.7 [6月]	207.4 [6月]	23.9 [4月]	0.1 [3月]	6.2	6.1	6.1	6.1
2002	3,074.0	6,423.7	458.9	685.9	787.3 [7月]	423.6 [6月]	43.0 [4月]	61.3 [6月]	6.9	4.5	4.5	4.5
2003	3,693.6	6,490.9	1,819.3	1,130.3	1,448.5 [5月]	848.3 [5月]	406.6 [3月]	207.9 [4月]	4.6	3.8	3.8	3.8
2004	2,459.1	7,757.0	2,665.9	1,431.1	816.3 [5月]	746.7 [5月]	578.0 [4月]	200.3 [5月]	4.8	4.5	4.5	4.5
2005	1,283.7	5,448.6	2,193.0	956.7	221.4 [6月]	760.9 [6月]	294.0 [7月]	174.7 [3月]	8.6	4.2	5.2	5.2
2006	4,151.4	4,936.3	283.9	207.8	699.9 [7月]	520.2 [7月]	43.5 [3月]	32.6 [3月]	6.0	5.0	5.0	5.0
2007	2,907.7	4,991.6	622.3	2,387.5	378.6 [7月]	605.3 [7月]	33.1 [8月]	348.2 [4月]	6.8	4.7	4.7	4.7
2008	1,149.6	2,159.6	272.4	845.5	199.5 [5月]	279.0 [5月]	31.6 [4月]	98.2 [5月]	7.3	5.2	5.2	5.2
2009	2,448.2	4,985.4	1,482.3	330.3	297.4 [7月]	479.7 [6月]	135.6 [3月]	32.2 [7月]	5.6	4.7	4.7	4.7
2010	3,014.0	4,262.6	891.1	128.9	469.2 [6月]	650.4 [6月]	69.3 [4月]	11.3 [4月]	5.6	5.0	5.0	5.0
2011	2,059.1	3,929.7	259.3	793.9	441.2 [5月]	375.1 [5月]	31.5 [6月]	70.5 [4月]	5.3	5.2	5.2	5.2
2012	3,076.6	5,827.8	521.3	92.4	455.2 [8月]	774.1 [6月]	26.8 [5月]	44.3 [2月]	4.7	4.3	4.3	4.3
2013	832.8	1,737.4	285.9	189.6	154.1 [6月]	194.7 [6月]	13.8 [6月]	23.2 [3月]	6.3	5.0	5.0	5.0
2014	841.8	2,162.9	262.5	681.4	136.7 [5月]	198.5 [6月]	21.3 [3月]	73.8 [6月]	5.2	4.9	4.9	4.9
2015	151.3	1,112.4	370.7	207.7	28.3 [6月]	171.5 [6月]	33.0 [4月]	21.1 [3月]	5.9	4.6	4.6	4.6
2016	79.4	768.0	465.3	412.3	10.6 [8月]	52.3 [8月]	48.5 [3月]	62.0 [3月]	6.0	4.9	4.9	4.9
2017	90.3	791.1	222.3	222.2	9.1 [7月]	115.3 [6月]	19.2 [7月]	22.0 [5月]	6.2	5.0	5.0	5.0
2018	133.2	482.3	245.5	153.2	17.2 [5月]	41.3 [6月]	10.9 [8月]	19.5 [2月]	4.9	5.4	5.4	5.4
2019	55.6	532.8	125.7	535.4	7.0 [7月]	42.2 [6月]	10.4 [6月]	52.5 [5月]	5.6	4.7	4.7	4.7
2020	312.8	986.5	448.8	333.8	49.2 [6月]	81.2 [6月]	37.0 [7月]	68.0 [2月]	5.4	4.3	4.3	4.3
2021	244.0	1,750.5	118.5	901.1	46.6 [5月]	340.0 [6月]	10.1 [7月]	79.1 [5月]	5.4	5.1	5.1	5.1
2022	630.4	1,120.5	279.8	374.3	72.2 [5月]	99.7 [6月]	29.1 [4月]	85.2 [4月]	5.1	4.2	4.2	4.2
2023	990.5	1,600.5	101.0	163.0	178.7 [6月]	121.9 [6月]	4.9 [6月]	18.3 [5月]	6.1	5.8	5.8	5.8

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。卵数法による親魚量の[大括弧]内の月は、親魚量の最大月を表す。

補足表 7-2. (続き)

年	体重1g当たりバッチ産卵数の 年平均値(粒)				産卵間隔の 年平均値(日)				卵数加重平均水温の 年平均値(°C)				GSIの 年平均値			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1982	264.2	553.1	589.5	612.4	3.7	3.1	2.7	3.8	17.5	19.6	21.1	22.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1983	259.7	565.0	588.1	590.8	4.5	3.3	2.7	3.9	16.8	20.3	21.1	21.3	4.0	4.0	4.0	4.0
1984	289.8	563.3	589.8	621.3	3.7	3.4	2.7	4.2	21.0	19.9	21.3	22.3	4.0	4.0	4.0	4.0
1985	285.7	570.0	605.5	620.3	4.4	3.3	3.0	3.3	20.1	20.4	21.8	22.4	4.0	4.0	4.0	4.0
1986	272.5	565.0	589.1	609.0	4.8	3.3	2.7	4.7	17.9	20.3	21.2	22.1	4.0	4.0	4.0	4.0
1987	287.4	563.9	583.9	570.8	3.8	3.3	2.8	5.3	19.8	20.2	21.0	20.5	4.0	4.0	4.0	4.0
1988	283.3	564.3	591.3	589.8	3.2	2.9	2.7	3.5	20.0	20.2	21.3	21.2	4.0	4.0	4.0	4.0
1989	279.3	544.8	603.3	574.1	3.0	3.1	2.6	4.1	18.9	19.5	21.7	20.6	4.0	4.0	4.0	4.0
1990	273.0	573.4	586.5	619.4	3.6	2.8	3.1	4.6	19.1	20.6	21.1	22.4	4.0	4.0	4.0	4.0
1991	282.3	556.3	591.8	593.4	2.9	3.5	2.7	3.5	19.6	19.6	21.3	21.4	4.0	4.0	4.0	4.0
1992	267.1	560.7	608.6	601.6	3.2	3.0	2.5	3.0	17.5	20.1	21.9	21.6	4.0	4.0	4.0	4.0
1993	262.7	540.6	593.1	562.9	3.7	3.1	2.7	4.1	17.2	19.4	21.3	20.2	4.0	4.0	4.0	4.0
1994	273.0	569.9	629.3	531.0	3.3	2.9	3.2	5.8	19.1	20.5	22.9	19.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1995	277.1	549.4	616.3	590.1	3.0	3.1	2.9	3.9	19.1	19.6	22.1	21.2	4.0	4.0	4.0	4.0
1996	262.9	545.0	596.4	605.0	3.5	3.5	2.6	3.0	17.5	19.5	21.5	21.8	4.0	4.0	4.0	4.0
1997	266.6	564.2	612.5	586.8	3.1	3.3	2.9	3.6	18.2	20.2	22.2	21.1	4.0	4.0	4.0	4.0
1998	218.2	520.7	572.6	560.3	2.9	3.1	2.3	3.4	18.0	21.1	23.0	22.1	2.4	3.3	3.3	3.3
1999	231.9	482.9	506.8	510.8	2.4	2.7	2.5	2.4	19.2	21.3	22.3	22.3	1.8	2.7	2.7	2.7
2000	240.4	528.0	548.2	601.5	2.6	2.8	2.6	3.2	17.7	20.9	21.7	22.6	2.7	3.4	3.4	3.4
2001	257.3	442.8	548.8	491.3	2.8	2.9	3.7	6.1	18.2	20.2	22.8	20.8	2.7	2.6	2.6	2.6
2002	264.7	527.6	562.9	578.8	3.3	3.6	2.9	3.7	19.0	20.7	22.2	22.9	2.7	3.2	3.2	3.2
2003	243.7	492.3	545.2	544.8	2.9	2.9	2.4	2.4	17.9	20.2	22.4	22.4	2.4	3.2	3.2	3.2
2004	242.0	498.2	529.6	554.3	3.3	2.8	2.5	3.7	18.6	20.8	22.0	22.5	1.9	3.1	3.1	3.1
2005	259.5	458.0	510.3	524.3	3.1	3.3	2.6	3.3	18.3	20.3	21.8	22.2	2.8	2.8	2.9	2.9
2006	251.0	483.8	523.9	531.3	3.3	3.4	2.5	4.2	19.3	20.0	22.1	22.6	2.0	3.0	3.0	3.0
2007	247.3	482.7	521.5	540.9	2.5	3.2	2.4	3.2	18.8	20.6	22.4	22.9	2.6	2.9	2.9	2.9
2008	260.7	444.5	494.8	521.3	2.8	3.4	2.4	3.3	19.0	19.8	22.4	22.6	2.9	2.6	2.6	2.6
2009	258.3	475.0	519.7	521.8	3.3	2.9	2.5	2.9	18.8	20.3	22.1	22.3	2.3	3.0	3.0	3.0
2010	268.4	472.5	535.2	576.4	3.0	3.0	2.4	3.7	19.2	20.1	22.7	22.6	3.0	3.0	3.0	3.0
2011	266.8	470.6	498.7	521.9	3.0	3.3	2.5	2.9	18.8	20.1	21.8	22.3	2.9	2.8	2.8	2.8
2012	241.8	505.1	516.0	539.7	2.8	3.2	2.5	3.3	18.6	20.8	21.9	22.5	2.3	3.0	3.0	3.0
2013	251.0	467.8	479.3	505.6	2.9	3.2	2.6	3.7	17.8	20.7	21.6	22.6	3.0	2.6	2.6	2.6
2014	251.9	441.1	480.5	515.7	2.7	3.4	2.6	2.8	19.1	19.8	21.7	22.8	2.4	2.6	2.6	2.6
2015	251.0	438.8	459.5	483.6	3.3	3.3	2.6	2.8	18.9	20.5	21.8	22.4	2.1	2.3	2.3	2.3
2016	262.7	482.8	520.1	559.1	3.1	3.1	2.4	4.0	20.7	21.1	22.7	23.4	2.6	2.8	2.8	2.8
2017	245.3	440.6	477.1	502.4	2.3	3.3	2.5	3.3	17.9	20.2	22.0	22.2	2.9	2.5	2.5	2.5
2018	261.4	528.9	499.3	520.1	2.6	3.5	2.7	2.9	20.3	21.3	21.4	22.4	2.5	2.9	2.9	2.9
2019	261.7	519.3	529.8	575.9	3.2	3.1	2.4	3.7	20.4	21.1	22.3	22.6	2.4	3.1	3.1	3.1
2020	252.2	506.0	498.3	523.3	2.8	3.5	2.5	2.8	18.9	21.5	22.0	22.7	2.5	2.7	2.7	2.7
2021	260.9	458.1	493.1	511.0	2.9	2.8	2.5	2.3	19.8	20.9	22.2	23.0	2.4	2.6	2.6	2.6
2022	254.9	463.6	489.4	498.6	2.8	3.1	2.9	2.7	20.5	21.4	22.5	23.0	2.0	2.4	2.4	2.4
2023	265.4	504.0	552.2	575.5	2.3	2.7	2.9	3.2	20.2	21.0	22.2	22.7	2.9	3.1	3.1	3.1

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。

補足資料 8 チューニング指数の標準化

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

(1) 北上期調査 0 歳魚 CPUE

北西太平洋北上期浮魚類資源調査による中層トロールの 0 歳魚 CPUE (尾/網・時) である北上期調査 0 歳魚 CPUE の標準化を行った。当該調査は 2001 年から開始されているが、解析にはおおその調査範囲が一致している 2002~2023 年の期間の全てのデータを使用した。また、標準化には空間解像度の高い解析を行える Vector-Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) モデル (Thorson and Barnett 2017) を使用した。シミュレーションにより、従来的一般化線形モデルや一般化加法モデルを含む CPUE 標準化手法を比較した研究では、VAST は総合的なパフォーマンスが最も高かったという報告が得られている (Grüss et al. 2019)。

パラメータの推定

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

$$p_1(i) = \beta_1(t_i) + \omega_1(s_i) + \varepsilon_1(s_i, t_i) + \sum_{k_1}^{n_{k_1}} \lambda_1(k_1) Q_i(i, k_1) \quad (19)$$

$$p_2(i) = \beta_2(t_i) + \omega_2(s_i) + \varepsilon_2(s_i, t_i) + \sum_{k_2}^{n_{k_2}} \lambda_2(k_2) Q_i(i, k_2) \quad (20)$$

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

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

$$\omega_1(\cdot, f) \sim MVN(0, R_1), \quad \omega_2(\cdot, f) \sim MVN(0, R_2) \quad (21)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$r_1(i) = \text{logit}^{-1} p_1(i) \quad (26)$$

$$r_2(i) = a_i \times \log^{-1} p_2(i) \quad (27)$$

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

$$\Pr(b_i = B) = \begin{cases} 1 - r_1(i) & \text{if } B = 0 \\ r_1(i) \times g\{B|r_2(i), \sigma_m^2(c)\} & \text{if } B > 0 \end{cases} \quad (28)$$

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

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

構造は二項分布の部分とガンマ分布の部分でほぼ独立と考えられるため、それぞれの確率分布に対して、R パッケージの MuMIn (Bartoń 2023) を使用し、AIC 基準で総当たりのモデル選択を行った。この際、変数選択をしない確率分布のモデルの共変量は使用しなかった。各解析の上位モデルを補足表 8-1 に示す。各分布について AICc 最小の変数を選択したモデルを使用し、資源量指標値を算出した。本年度評価では、二項分布モデルとガンマ分布ともに SST と SST² が共変量として選択された。VAST の資源量指標値は、各年における各位置の相対密度を $d^*(x, c, t) = r_1^*(x, c, t) \times r_2^*(x, c, t)$ で計算し (r^* は式 (19) (20) から第 4 項を除いたものから式 (26) (27) を用いて得られる)、各ノットの面積と密度を掛け合わせた値の総和を存在量として求められるが、今回の解析では密度は CPUE (尾/網・時) であるため、総和を面積の合計値で割った値を標準化 CPUE として算出した。

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

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

VAST で推定された各年の局所密度分布を補足図 8-1 に示す。高水準期 (2000 年代～2010 年代初頭) は黒潮続流～黒潮親潮移行域～親潮域に広く高密度に分布しており、分布重心は年によって東西の変動が大きいものの、南北は北緯 40 度付近で安定していた。資源の水準が低下した 2010 年代中盤以降は、全体的に密度が低下し、東経 170 度以東の海域ではほとんど認められなくなった。補足図 8-2 に、標準化した北上期調査 0 歳魚 CPUE とノミナル CPUE を重ねて示す。標準化した北上期調査 0 歳魚 CPUE は、ノミナルに比べて年々の変動幅が小さくなった。2016～2020 年および 2022～2023 年は標準化 CPUE の方が高かった。このことは、チューニング VPA の非線形係数 b の値が昨年度評価よりも大きく低下したことに寄与したと考えられる (補足資料 2、補足図 2-3)。QQ プロットと予測値の残差の関係から、モデルの仮定は妥当であると考えられる (補足図 8-3)。

(2) 産卵量

我が国太平洋岸では 1978 年以降、水産庁委託事業における国立研究開発法人水産研究・教育機構 (旧水産庁水産研究所、旧独立行政法人水産総合研究センター) と各都県水産研究機関との共同によって、主に小型浮魚類の再生産状況を把握するために卵・稚仔、プランクトン調査が周年にわたって実施されてきた (Oozeki et al. 2007、大関ほか 2013)。毎月の調査によって、太平洋岸全体で毎年 3,000～4,000 件のプランクトンネット (近年は改良型ノルパックネット) の鉛直曳網データが蓄積されており (Takasuka et al. 2008)、そのデータは水産資源研究所が開発してきた卵稚仔データベースにおいてグリッドデータ (ある区画単位で集約されたデータ) として利用可能である。

卵稚仔調査の調査海域や調査点数は年・月で一定ではなく、主たる産卵場の位置も年や季節により変動 (偏り) が生じることから、昨年度評価に引き続き、本年度評価において

も平均卵密度の標準化を行ってチューニング指数として使用した。標準化手法は昨年度評価と同様にウルメイワシ太平洋系群の令和4年度評価に倣ってVASTを使用し、5分升目の補正済み平均卵密度（卵数/m²）をインプットデータとして標準化を行なった。5分升目データを使用したのは、VASTの作者が生データの標準化を基本的には推奨しており（Thorson 2019）、高解像度なデータの方が生データ（各曳網のデータ）により近い値を得ることができると考えたためである。本報告では、カタクチイワシについて利用可能な1982～2023年のデータを使用した。

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

$$E_{t,m,i} = \left(\frac{1}{\bar{S}} \frac{D_{t,m}}{d_{t,m,i}} \right) \bar{X}_{t,m,i} \quad (30)$$

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

$$d_{t,m,i} = \frac{1}{24} \frac{1}{a} \exp\left(\frac{b}{\bar{T}_{t,m,i} + 273}\right) \quad (31)$$

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

カタクチイワシ太平洋系群の卵はほぼ周年観察されるが、12月～翌年1月に最小となる傾向が見られることから（補足図7-4）、産卵期（始月～終月）は1～12月とした。

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

$$p_1(i) = \beta_1(t_i) + \omega_1(s_i) + \varepsilon_1(s_i, t_i) + \eta_1(t_i, m_i) \quad (32)$$

$$p_2(i) = \beta_2(t_i) + \omega_2(s_i) + \varepsilon_2(s_i, t_i) + \eta_2(t_i, m_i) \quad (33)$$

式(32)(33)の右辺の第1項の $\beta(t_i)$ から第3項の $\varepsilon(s_i, t_i)$ までは式(19)(20)と同じ意味を表す。第4項の $\eta(t_i, m_i)$ は卵の採集効率（卵の採れやすさ）のランダム効果を表している。この項には通常は船の効果（ある船の漁獲効率と過分散を表す要因に対する船間のランダム効果）を当てはめるが、卵稚仔データベースから落手可能な卵密度データには船の情報がないため、代用的に年・月の組み合わせを船の効果とみなして、過分散を考慮した。ところで、VASTによる卵密度の標準化はゴマサバ太平洋系群でも行われており、マサバ卵との区別が困難なために生じると考えられる卵密度の誤差を解消でき、資源量推定

値の改善に貢献することが報告されている (Kanamori et al. 2021)。一方で、カタクチイワシ卵は俵型 (投影面が楕円型) であり、正確に同定できることから、ゴマサバ太平洋系群で考慮されたような他魚種卵による採集率への影響は本報告では考慮していない。

卵密度の標準化においてもノット数は 100 とした。パラメータの推定に関わる式 (21) ~ (28) までは北上期 CPUE と同様であるため説明は省略する。

推定されたパラメータから、各年における各位置の予測卵密度を

$$d^*(s, t) = r_1^*(s, t) \times r_2^*(s, t) \quad (34)$$

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

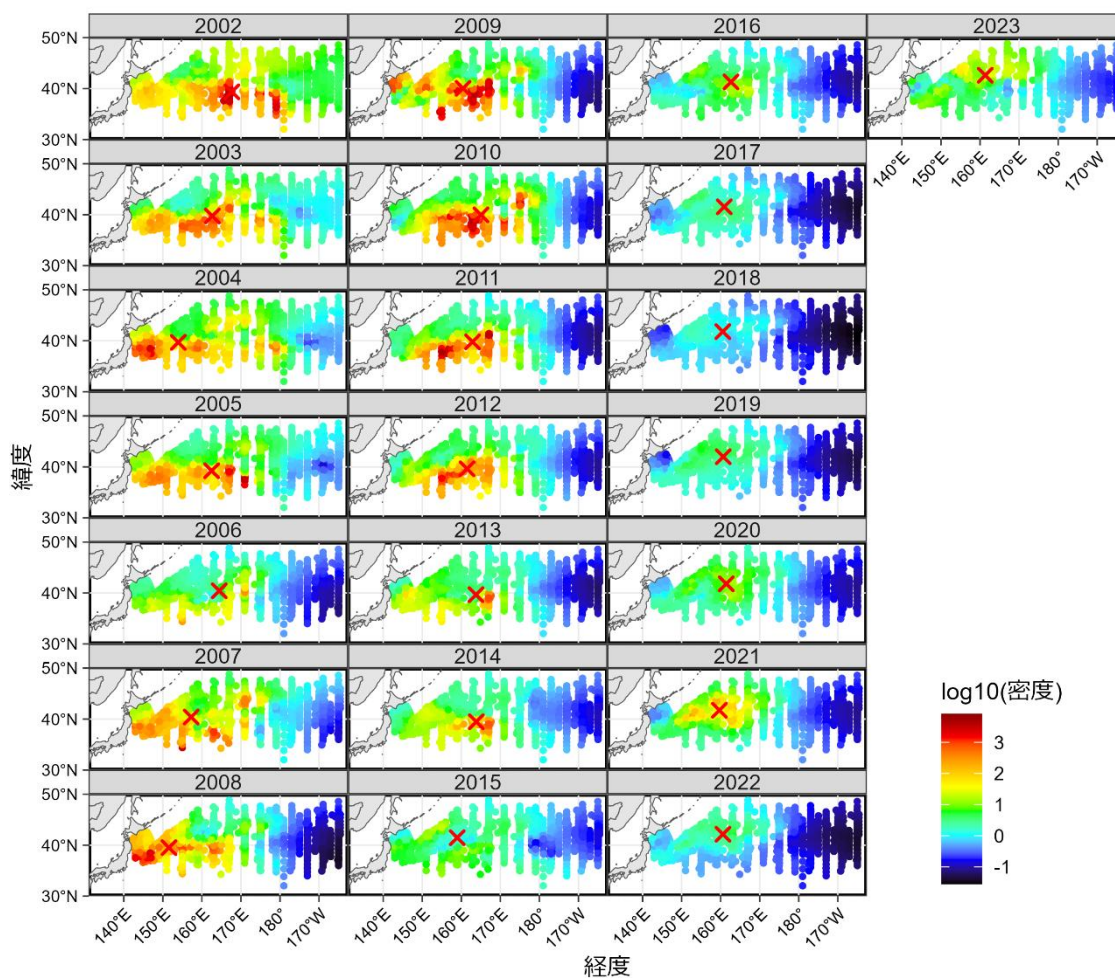
$$I(t) = \sum_{s=1}^{n_s} (a(s) \times d^*(s, t)) \quad (35)$$

この際、ランダム効果の平均補正を行った (Thorson and Kristensen 2016)。今年度評価では、各年の $I(t)$ を 1982~2023 年の平均値で除して規格化した値をチューニング指数として使用した。

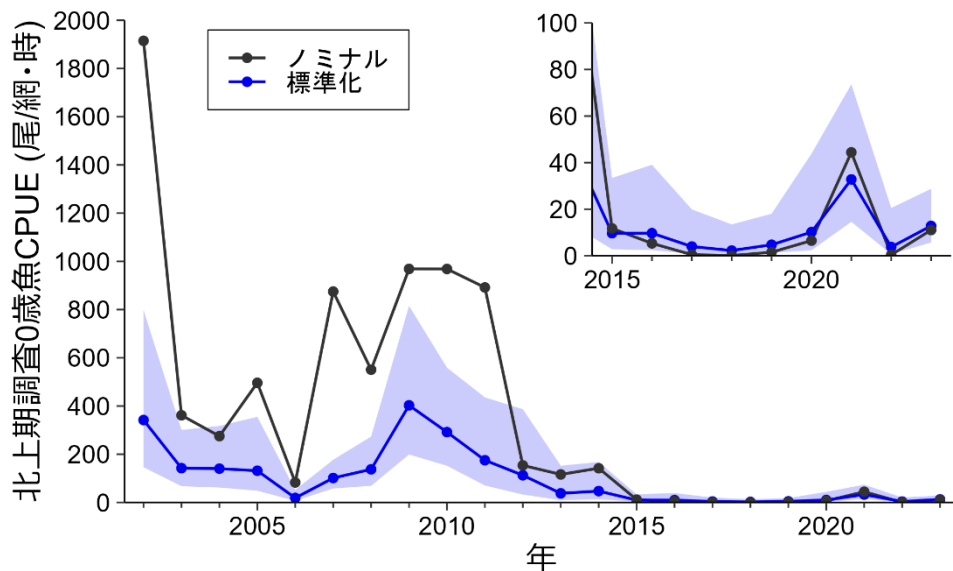
VAST で推定された各年の卵密度分布を補足図 8-4 と 8-5 に示す。資源の水準が高かった 1990 年代~2010 年代初頭にかけては、黒潮続流~黒潮親潮移行域~親潮域においても広く高密度に産卵していたが、資源が急減した 2014 年以降は産卵場の縮小と卵密度の低下が顕著であった。2020 年以降、再び黒潮続流~黒潮親潮移行域において卵密度の増加が見られている。資源量指標値の年変動について、ノミナルな産卵量 (卵稚仔データベースからの 5 分升目産卵量と 30 分升目産卵量) および標準化した産卵量を重ねて示す (補足図 8-6)。1983~1990 年は標準化産卵量がノミナルな 5 分升目産卵量よりも低く推移したが、1991~1992 年と 1997~2000 年は標準化産卵量の方が高くなっており、ウルメイワシ太平洋系群 (渡邊ほか 2023) 同様、標準化によって指標値の変動がより明瞭となった。このことは、ノミナルな産卵量では未調査の小区画では卵が存在しないと見なされるのに対し、VAST ではそうした空間的な欠損を補間できることに起因すると考えられる。ただし、チューニング VPA に使用した 2010 年以降の変動幅は標準化産卵量の方がノミナルな産卵量 (5 分升目と 30 分升目) よりも狭く、特に 2010~2012 年の標準化産卵量の値はノミナルよりも低くなった。このことは、産卵量の非線形係数 b が昨年度評価よりもさらに低下したことに寄与したと考えられる (補足資料 2、補足図 2-3)。VAST に備わっているモデル診断を行ったところ、QQ プロットは予測線上に乗っており、予測値と残差にも関係は見られなかった (補足図 8-7)。

引用文献

- Bartoń, K. (2023) MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.47.5., <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>.
- Grüss, A., J. F. Walter III, E. A. Babcock, F. C. Forrestal, J. T. Thorson, M. V. Laretta and M. J. Schirripac (2019) Evaluation of the impacts of different treatments of spatio-temporal variation in catch-per-unit-effort standardization models. *Fish. Res.*, **213**, 75-93.
- Kanamori, Y., S. Nishijima, H. Okamura, R. Yukami, M. Watai and A. Takasuka (2021) Spatio-temporal model reduces species misidentification bias of spawning eggs in stock assessment of spotted mackerel in the western North Pacific. *Fish. Res.*, **236**, 105825.
- Kristensen, K., A. Nielsen, C. E. Berg, H. Skaug and B. M. Bell (2016) TMB: automatic differentiation and Laplace approximation. *J. Stat. Softw.*, **70**, 1-21.
- 森慶一郎・黒田一紀・小西芳信 (1988) 日本の太平洋岸 (常磐～薩南海域) におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況:1978年1月～1986年12月. 東海区水産研究所, 321 pp.
- Oozeki, Y., A. Takasuka, H. Kubota and M. Barange (2007) Characterizing spawning habitats of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*), Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*), and Pacific round herring (*Etrumeus teres*) in the northwestern Pacific. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, **48**, 191-203.
- 大関芳沖・高須賀明典・坪井守夫・木立 孝・鈴木秀彌・服部茂昌 (2013) 産卵調査と資源変動研究—その研究を継続させた想い— 中井甚二郎 (1901～1984). *水産海洋研究*, **77** (創立 50 周年記念特別号), 6-12.
- Takasuka, A., H. Kubota and Y. Oozeki (2008) Spawning overlap of anchovy and sardine in the western North Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **366**, 231-244.
- Thorson, J. T. (2017) Three problems with the conventional delta-model for biomass sampling data, and computationally efficient alternative. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **75**, 1369-1382.
- Thorson, J. T. (2019) Guidance for decisions using the Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) package in stock, ecosystem, habitat and climate assessments. *Fish. Res.*, **210**, 143-161.
- Thorson, J. T. and LAK. Barnett (2017) Comparing estimates of abundance trends and distribution shifts using single- and multispecies models of fishes and biogenic habitat. *ICES J. Mar. Sci.*, **74**, 1311-1321.
- Thorson, J. T. and K. Kristensen (2016) Implementing a generic method for bias correction in statistical models using random effects, with spatial and population dynamics examples. *Fish. Res.*, **175**, 66-74.
- 渡部泰輔 (1983) 卵数法. *水産資源の解析と評価*. 石井丈夫編, 恒星社厚生閣. 東京, 9-22pp.
- 渡邊千夏子・安田十也・渡井幹雄・井元順一・木下順二・河野悌昌・高橋正知 (2023) 令和 4 (2022) 年度ウルメイワシ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 29pp. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2023/07/details_2022_21.pdf

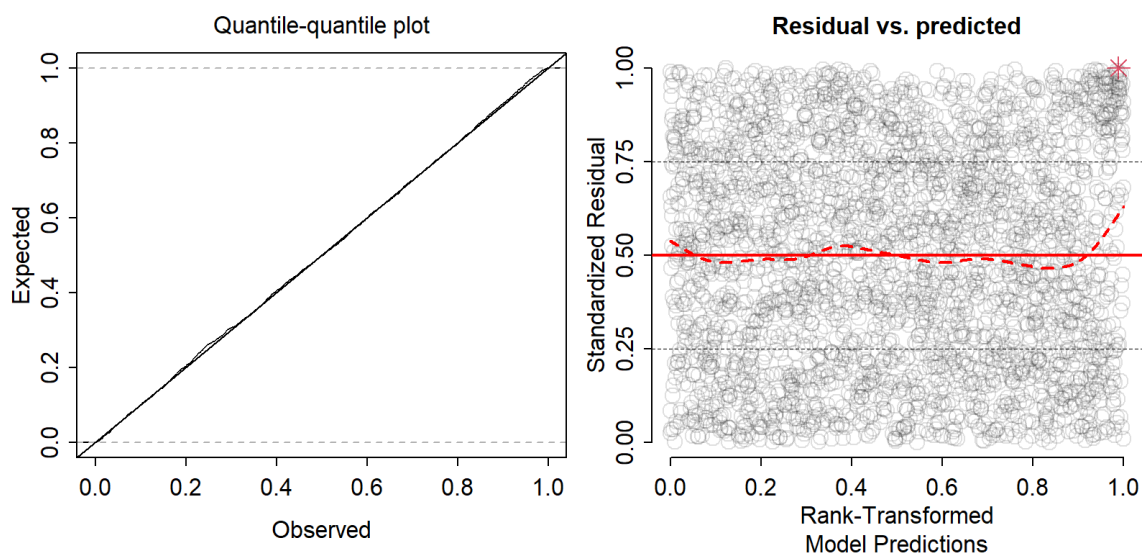


補足図 8-1. 北上期調査 0 歳魚 CPUE から推定された各年の 0 歳魚の相対密度
赤い×印は分布の重心を表す。

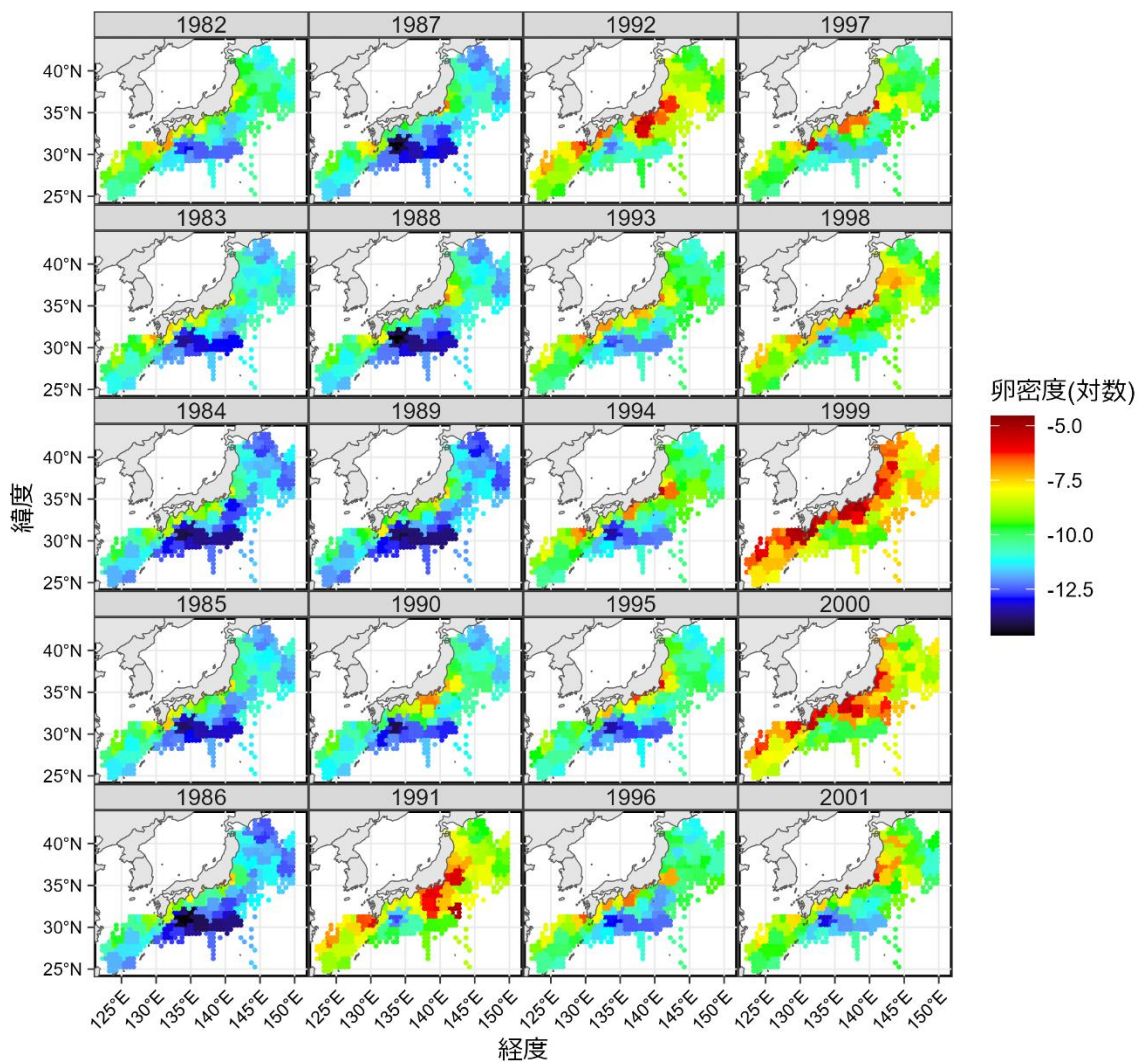


補足図 8-2. 北上期調査 0 歳魚 CPUE の経年変動

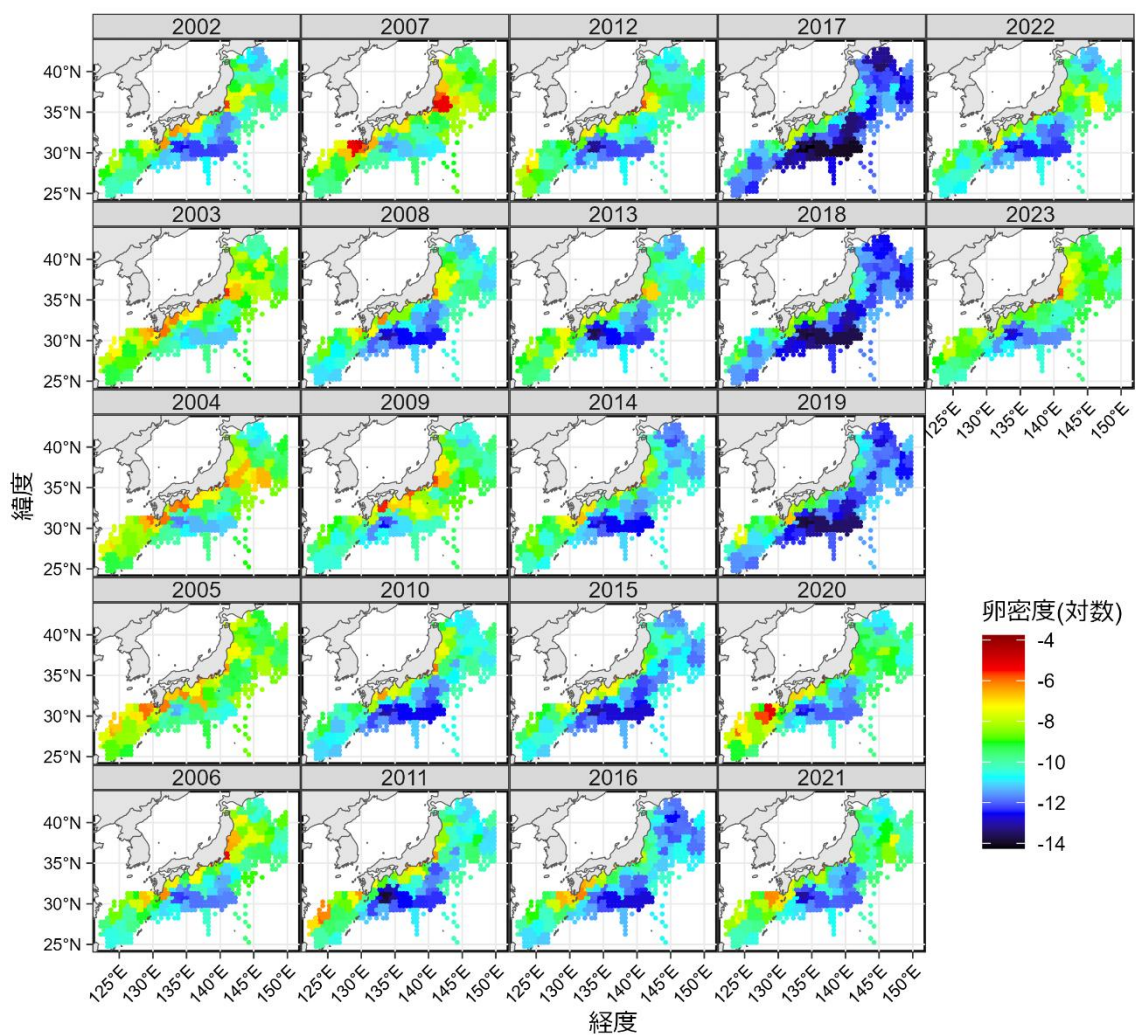
青実線は標準化した北上期調査 0 歳魚 CPUE、黒実線はノミナルな北上期調査 0 歳魚 CPUE、青影は 95%信頼区間を表す。



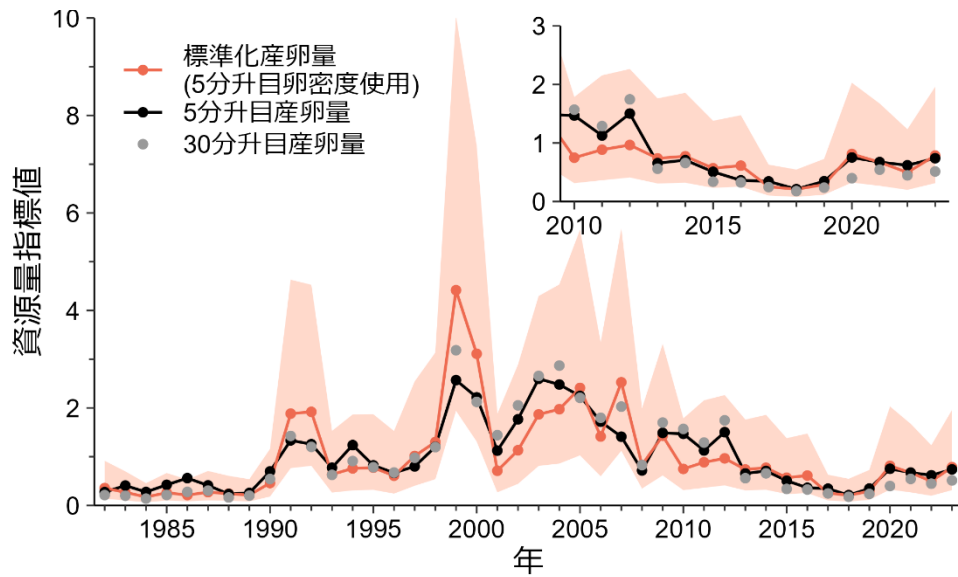
補足図 8-3. 予測された北上期調査 0 歳魚 CPUE の QQ プロット (左) と予測値に対する残差の分布 (右)



補足図 8-4. VAST により推定された各年の相対卵密度の空間分布 (1982~2001 年)
 カラーズケールは卵密度の濃淡を示す。

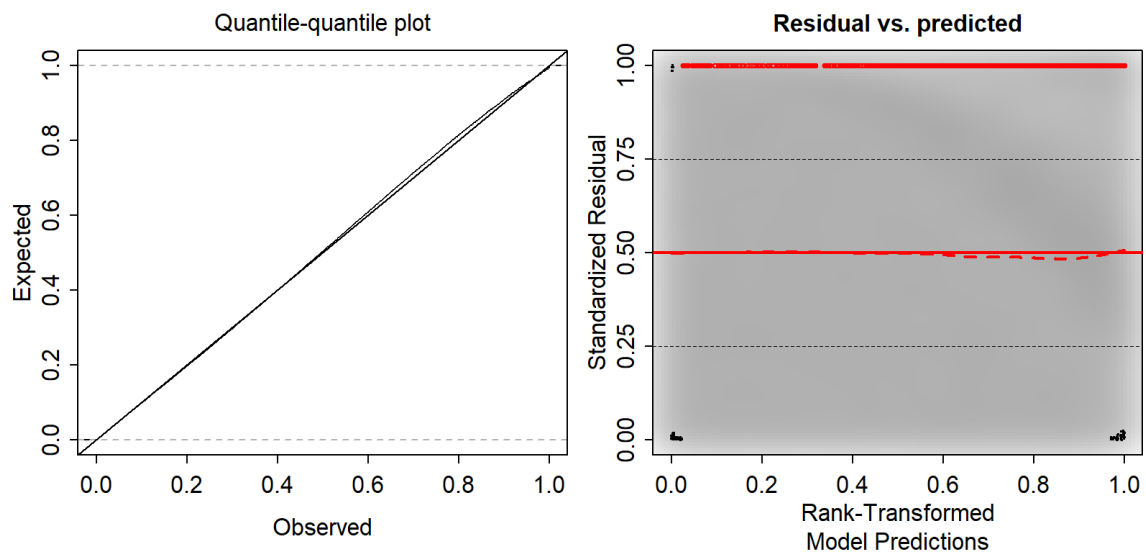


補足図 8-5. VAST により推定された各年の相対卵密度の空間分布 (2002~2023 年)
 カラーズケールは卵密度の濃淡を示す。



補足図 8-6. 産卵量の経年変動

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



補足図 8-7. 予測された産卵量の QQplot (左) と予測値に対する残差の分布 (右)

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

	順位	SST	SST ²	T50	T50 ²	SST:T50	ΔAIC
二項分布	1	+	+	-	-	-	0
	2	+	+	+	-	-	0.891
	3	+	+	+	-	+	2.832
	4	+	+	+	+	-	2.848
	5	+	+	+	+	+	4.628
ガンマ分布	1	+	+	-	-	-	0
	2	+	+	+	-	-	0.853
	3	+	+	+	+	-	1.080
	4	+	+	+	-	+	1.188
	5	+	-	-	-	-	1.588

SST は海表面水温、T50 は水深 50 m の水温を表す。+印は変数が選択されたことを、-印は変数が選択されなかったことを表す。最小 AICc のモデルを太字で示した。

補足資料 9 その他の資源量指標値

本系群は、2010年代に沖合域の分布量が大きく減少したが、調査船調査の結果によると2020年以降は増加の兆候が認められている（補足資料8）。しかし、分布量は依然として少ない状態にあることから、本系群の主な分布域は引き続き沿岸域となっている。

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）は、2013年以降大きく減少し、2015年には3.4トン/網となった後、2016年以降は操業なしまたは1~2網の操業にとどまっている。操業のあった2017年、2020年、および2023年のノミナル CPUE はそれぞれ20トン/網、23トン/網、および0.5トン/網であった（補足図9-1、補足表9-1）。

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。千葉県水産総合研究センターによる解析の結果、同調査における体長11.0cm未満の魚の CPUE（尾/網、曳網1時間あたりの値に換算）と冬春季に常磐・房総海域で漁獲される年明け1歳魚の漁獲量との間に相関関係があるとともに、体長11.0cm以上の魚の CPUE と年明け2歳魚の漁獲量の間にも正の相関関係があることが明らかにされている（長谷川・川端 2013）。体長11.0cm未満の魚の CPUE（ノミナル）は、2011年に5,205尾/網・時の高い値を示したが、2012年に急減し、2013~2018年は0.1~4.4尾/網・時の低い値で推移した。2019年以降に急増し、2019~2022年には1,280~5,909尾/網・時となったが、2023年には0.1尾/網・時に急減した（補足図9-2、補足表9-1）。体長11.0cm以上の魚の CPUE（ノミナル）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0.4尾/網・時の最小値を示した後、2021~2022年には163~338尾/網・時まで増加したが、2023年は0.4尾/網・時に減少した。

常磐・房総海域（福島県、茨城県、千葉県の沖）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2023年漁期は2022年11月~2023年6月）。本海域の主要港漁獲量のうち、体長12cm未満の魚の漁獲量は各漁期の前年（2023年漁期ならば2022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12cm以上の魚の漁獲量は各漁期と同年（2023年漁期ならば2023年）の親魚量と正の相関が強い。1999年以降の体長12cm未満および12cm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9-3、補足表9-2）。2023年漁期における体長12cm未満および体長12cm以上の魚の漁獲量は、それぞれ41百トン、4.5百トンであり、2022年漁期に比べて増加したものの依然として低い水準にある。

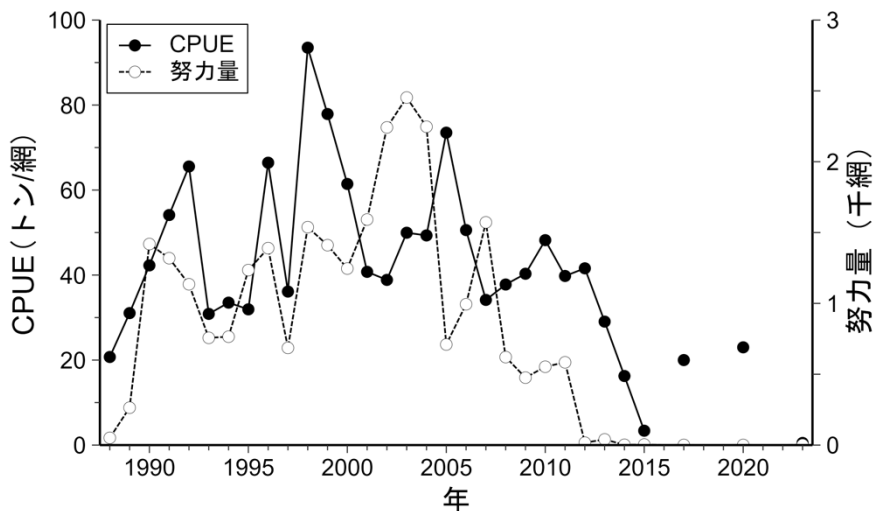
常磐・房総海域では、漁期前半（前年11月~当年2月）には2歳魚と1歳魚が混じるが、漁期後半（3~6月）には1歳魚が主体となる場合が多い。このため、北部太平洋大中型まき網漁業の主漁場の1つである同海域では、3~6月合計の資源量指数（JAFICより提供）が前年の0歳魚の資源量指標値になると考えられるが、本指数は2003年（1129）をピークに減少傾向にあり、2018~2022年は0となっていたが、2023年は微増して0.5となった（補足表9-1）。

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は、上述した通り2016年以降の操業がほとんどない。沿岸漁業の資源量指標値として令和元年度評価から掲

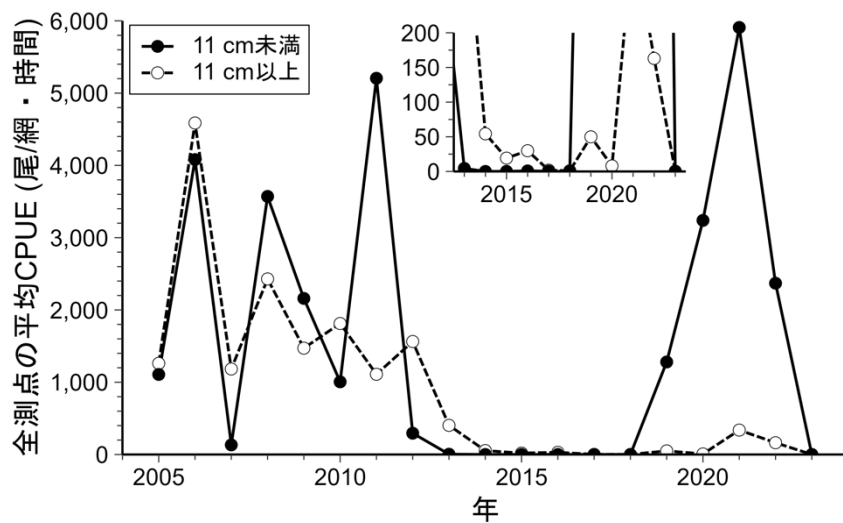
載している房総沿岸海域における大中型・中型 2 そうまき網船 3 隻の 2～6 月における親魚相当銘柄の平均 CPUE（有漁 1 投網当たり漁獲量）は、2008～2013 年には概ね 30～40 トン/網以上で推移していたが、その後急減し、2016 年以降は 11 トン/網未満で推移している。2023 年は 9.6 トン/網となり、過去最低値を示した 2022 年からは約 3 トン/網の増加となった（補足図 9-4、補足表 9-2）。なお、ここで示した親魚相当銘柄とは中セグロ、中ゴボウ、ゴボウおよび大ゴボウの 4 銘柄であり、これらを合算した漁獲量を CPUE の算出に用いた。

引用文献

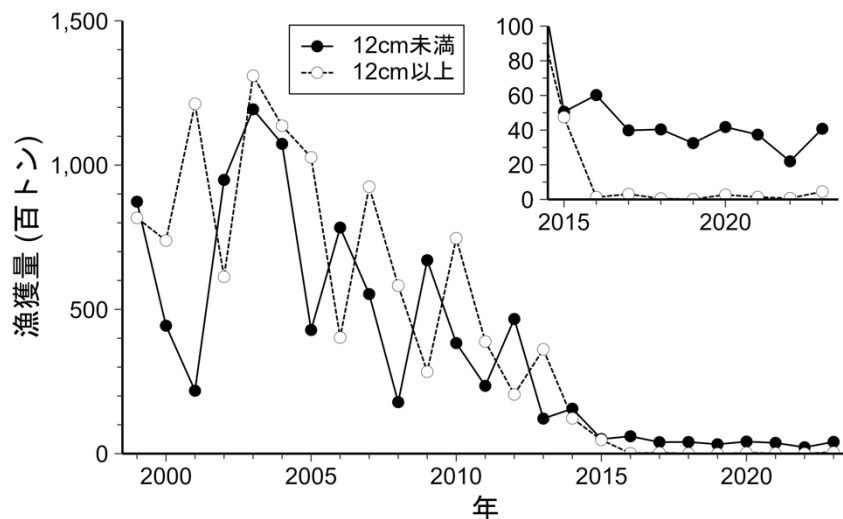
長谷川淳・川端 淳 (2013) 秋季北西太平洋浮魚資源調査結果と冬春季の房総周辺海域に
来遊するカタクチイワシの漁況との関係. 第 61 回サンマ等小型浮魚類資源研究会議
報告, 水産総合研究センター, 237-238.



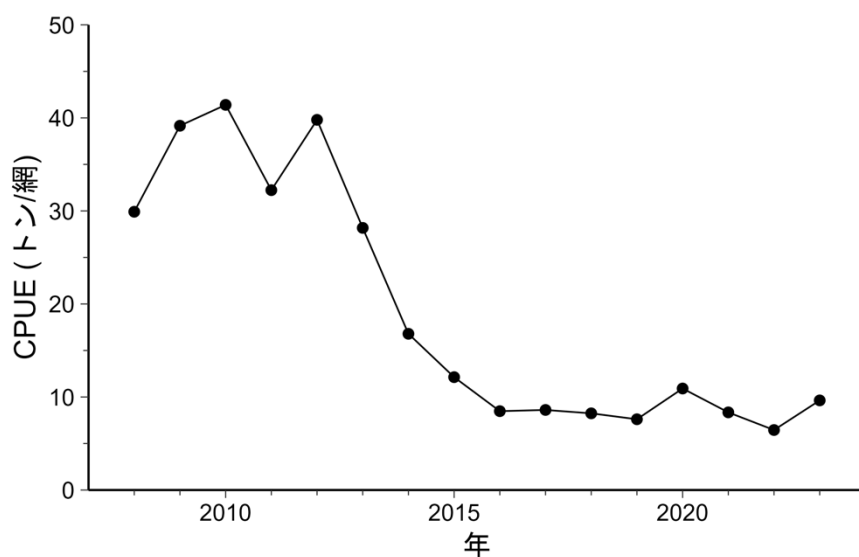
補足図 9-1. 北部太平洋大中型まき網の努力量と CPUE (トン/網) の推移



補足図 9-2. 北西太平洋秋季浮魚類調査 CPUE (尾/網) の推移



補足図 9-3. 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 9-4. 2～6 月の房総沿岸海域における千葉県の大中型・中型 2 そうまき網船 3 隻の親魚相当銘柄 (中セグロ、中ゴボウ、ゴボウおよび大ゴボウ) の平均 CPUE の推移

補足表 9-1. 北部太平洋海域における資源量指標値

年	北部太平洋大中型まき網の漁獲量、努力量、 CPUEおよび3～6月資源量指数計				北西太平洋秋季浮魚類資源調査 におけるCPUEの全測点平均値	
	漁獲量 (トン)	努力量 (網数)	CPUE (トン/網)	3月～6月 資源量指数計	体長11 cm未満 (尾/網・時)	体長11 cm以上 (尾/網・時)
1988	1,057.0	51.0	20.7	73.3		
1989	8,198.0	264.0	31.1	147.0		
1990	59,993.0	1,419.0	42.3	53.9		
1991	71,394.0	1,319.0	54.1	287.8		
1992	74,394.0	1,135.0	65.5	208.7		
1993	23,366.0	757.0	30.9	620.3		
1994	25,636.5	765.0	33.5	353.3		
1995	39,439.0	1,235.0	31.9	135.9		
1996	92,344.0	1,390.0	66.4	241.1		
1997	24,775.5	686.0	36.1	160.0		
1998	143,807.5	1,538.0	93.5	436.5		
1999	109,905.2	1,411.0	77.9	608.1		
2000	76,550.0	1,246.0	61.4	396.7		
2001	64,887.5	1,592.0	40.8	712.1		
2002	87,135.9	2,242.0	38.9	823.9		
2003	122,550.0	2,453.0	50.0	1,129.2		
2004	110,835.5	2,247.0	49.3	680.8		
2005	52,187.0	710.0	73.5	551.2	1,107.7	1,261.1
2006	50,277.0	994.0	50.6	853.1	4,080.7	4,586.9
2007	53,686.4	1,572.0	34.2	604.2	132.9	1,183.1
2008	23,459.5	621.0	37.8	418.4	3,571.0	2,429.1
2009	19,189.0	476.0	40.3	630.2	2,159.7	1,471.4
2010	26,662.0	553.0	48.2	577.6	1,005.4	1,812.3
2011	23,234.5	584.0	39.8	392.5	5,205.4	1,110.1
2012	707.0	17.0	41.6	302.7	294.5	1,563.4
2013	1,162.0	40.0	29.1	117.8	4.4	403.2
2014	32.5	2.0	16.3	16.3	0.1	54.3
2015	13.5	4.0	3.4	1.0	0.1	19.2
2016	0.0	0.0		0.0	0.8	29.9
2017	20.0	1.0	20.0	20.0	0.3	1.9
2018	0.0	0.0		0.0	0.6	0.4
2019	0.0	0.0		0.0	1,280.3	49.9
2020	23.0	1.0	23.0	0.0	3,239.3	8.0
2021	0.0	0.0		0.0	5,908.6	337.8
2022	0.0	0.0		0.0	2,369.7	163.0
2023	1.0	2.0	0.5	0.5	0.1	0.4

補足表 9-2. 常磐・房総海域における資源量指標値

年 (主要港合計)	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		千葉県大中型・中型2そうまき網船3隻の 2月～6月の親魚相当銘柄(中セグロ、 中ゴボウ、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)	
1999	873.3	817.2	
2000	443.5	738.4	
2001	218.1	1,212.3	
2002	948.7	612.9	
2003	1,193.3	1,309.6	
2004	1,073.6	1,136.3	
2005	428.5	1,026.9	
2006	783.5	402.6	
2007	553.1	925.0	
2008	178.5	582.5	29.9
2009	670.3	284.0	39.2
2010	383.2	746.3	41.4
2011	235.0	388.6	32.2
2012	466.7	205.1	39.8
2013	121.5	361.6	28.2
2014	155.9	122.5	16.8
2015	50.6	47.5	12.1
2016	60.2	1.3	8.5
2017	39.8	3.1	8.6
2018	40.4	0.5	8.2
2019	32.5	0.1	7.6
2020	41.8	2.7	10.9
2021	37.4	1.4	8.3
2022	22.0	0.7	6.5
2023	40.8	4.5	9.6

補足資料 10 異なる λ の下での資源評価結果との比較

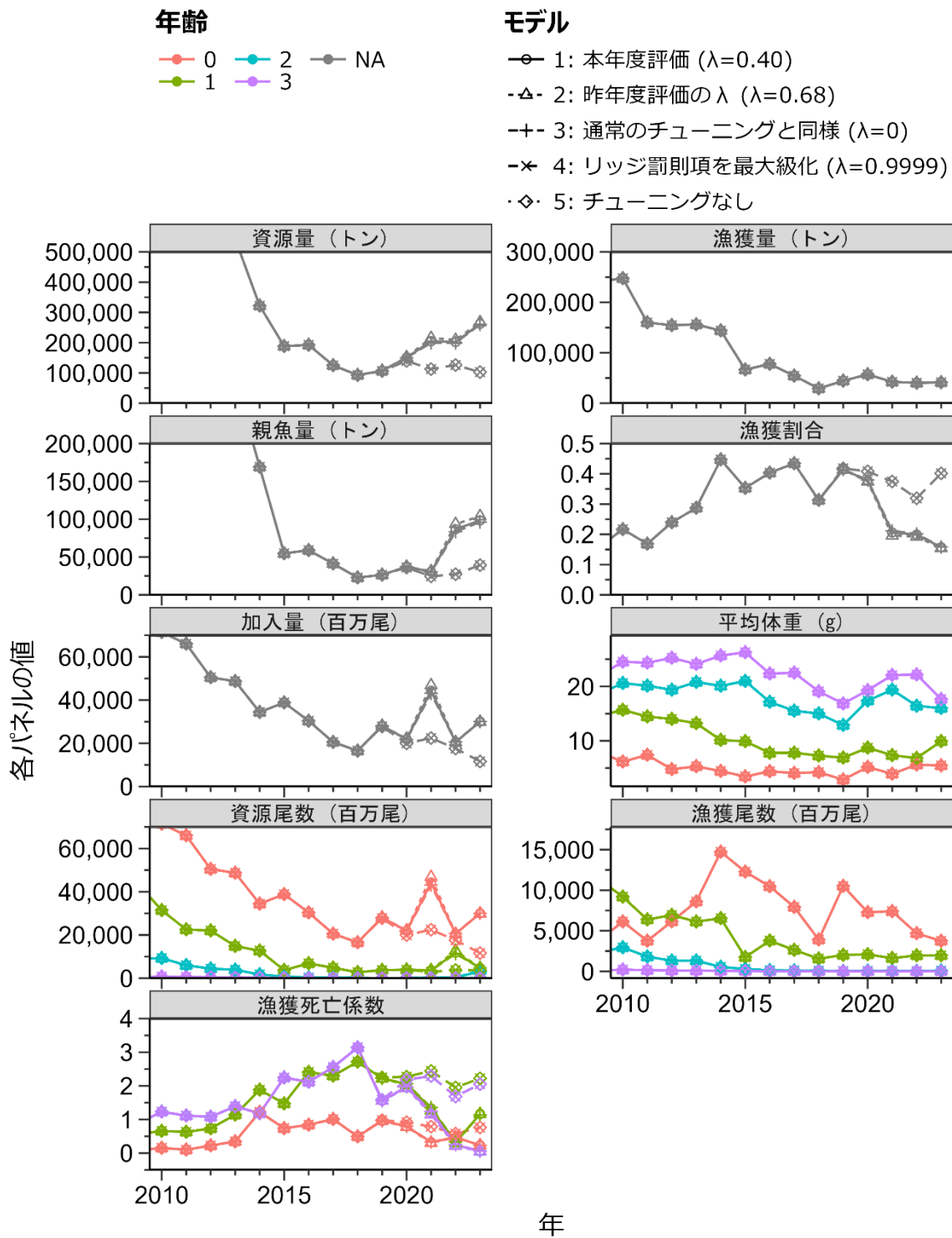
本年度評価において、リッジ VPA の罰則項を制御する係数 λ の値は 0.40 であるが、昨年度評価では λ は 0.68 であり、 λ の値が大きく変化した。係数 λ は罰則項を制御するための重要なパラメータであるため、 λ が変わることによって資源評価結果にどの程度の変化が生じるのかを示すことは有用であると考えられる。そこで、5 通りの λ の資源評価結果について比較を行った（補足図 10-1）。なお、それぞれのレトロスペクティブバイアス（Mohn's ρ ）の値については補足表 2-3 に示した。

比較の結果、各資源量推定値のトレンドは、モデル 1~3（本年度評価案の $\lambda=0.40$ 、昨年度評価と同じ λ 値の $\lambda=0.68$ 、リッジではない通常のチューニング VPA に相当する $\lambda=0$ ）ではほぼ同様の結果となった。補足図 10-1 には全てを示していないが、 λ が 0.84 以下のモデルについては、どのモデルも資源量や親魚量および加入量のトレンドが類似しており、その中の特徴として、 λ が大きいほど最近年の加入量が少なくなるとともに親魚量が多くなる傾向が見られた。例えば、 $\lambda=0$ の場合は 2023 年加入量が 301 億尾、2023 年親魚量が 96 千トンであるのに対し、 $\lambda=0.84$ の場合は 2023 年加入量が 298 億尾、2023 年親魚量が 118 千トンであった。

一方で、 $\lambda=0.9999$ とした罰則項の効果を最大級化したモデル 4 では、モデル 1~3 とは異なるトレンドが認められ、チューニングしない VPA（モデル 5、年齢別漁獲尾数のみに基づく）の結果と類似していた（補足図 10-1）。補足図 10-1 には示していないが、 λ が 0.85~0.99 の範囲では、どのモデルもチューニングしない VPA と類似したトレンドを示し、その中の特徴として、 λ が小さいほど最近年の加入量が多くなる傾向が認められた。チューニングしない VPA の場合は 2023 年加入量が 116 億尾であるのに対し、 $\lambda=0.9999$ の場合は 2023 年加入量が 118 億尾、 $\lambda=0.85$ の場合は 2023 年加入量が 241 億尾であった。なお、チューニングしない VPA におけるターミナル F の推定は令和 3（2021）年度評価と同様の手法とした（木下ら 2022）。

引用文献

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, 令和 3 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, 東京, 39pp. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2021/details_2021_24.pdf



補足図 10-1. 異なる λ の資源評価結果の比較

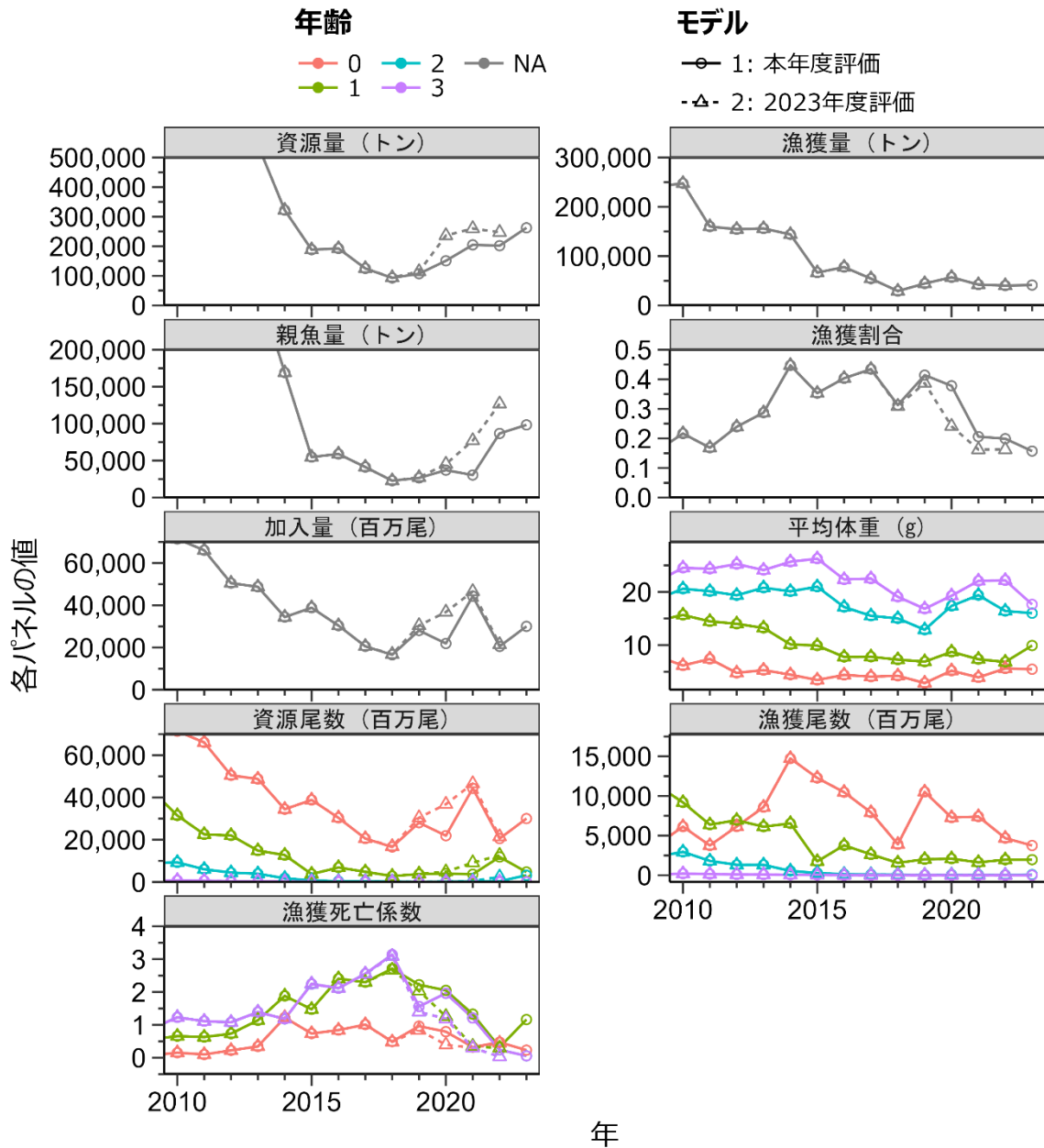
補足資料 11 過年度評価結果との比較

昨年度と本年度の資源評価結果を比べると、2019年以前の資源量、親魚量、加入量、および漁獲割合の推定値に大きな違いは見られない（補足図 11-1、補足表 11-1）。しかし、2020～2022年については、全年齢の漁獲係数が上方修正されたことによって、全年齢の資源尾数が下方修正され、それに伴って資源量と親魚量、および加入量が下方修正され、反対に漁獲割合は上方修正された。漁獲係数の上方修正については、0歳魚についてはチューニング指数（北上期調査0歳魚尾数）の hyper depletion の傾向が昨年度評価に比べて弱まったことにより資源尾数が下方修正されたことによると考えられる。1歳魚以上については、チューニング指数（産卵量）が増加傾向ではあるが hyper stability の傾向が強まったことに加え（補足図 2-3）、2022年の加入量が少なかったにも関わらず2023年の1歳魚の漁獲尾数が2022年とほぼ同数であった（補足表 2-2）ことが主因であると考えられる。

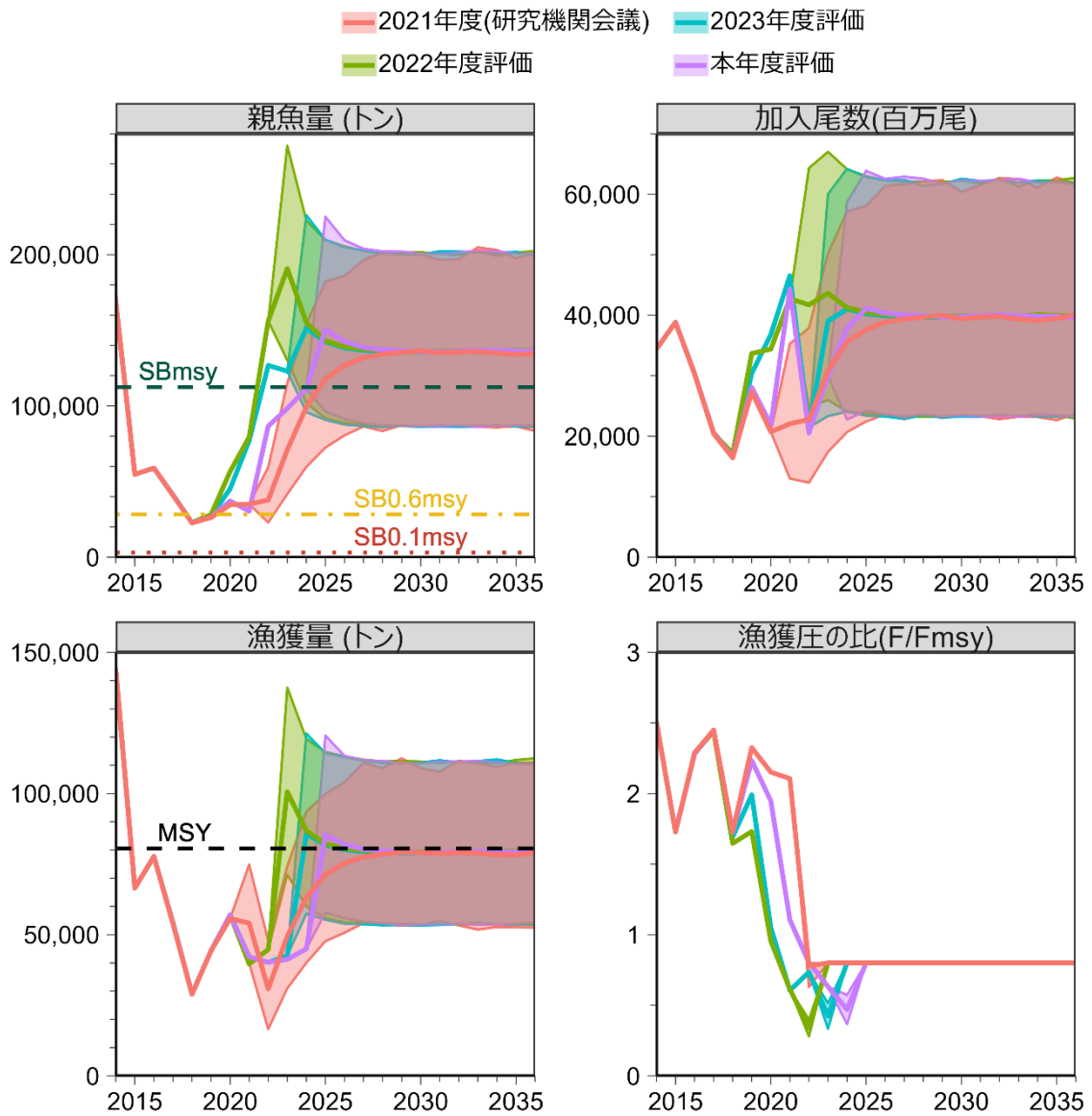
一方、2023年の加入量については、本年度評価における推定値が、昨年度評価における再生産関係式に基づく予測値の90億尾減（23%減）となった（補足図 11-2、補足表 11-1）。2023年の親魚量は、昨年度評価における予測値から2.5万トン減（20%減）であり、加入量と同程度の下方修正率であった。また、2023年の加入量の下方修正に伴って、2024年の親魚量の予測値は、昨年度評価から4万トン程度低い値となった。しかし、どちらも昨年度評価の90%予測区間内には含まれていた。

2024年の漁獲量については、本年度評価においては仮定値（2019～2023年の漁獲量の平均、4.5万トン）を用いているため、昨年度評価における予測値の平均よりも4万トン程度低い値となっている。なお、本年度評価において、仮に2024年の漁獲量を $\beta=0.8$ とした漁獲管理規則案に基づいて予測した場合、漁獲量は7.2万トンになる。

漁獲管理規則案に基づく管理を開始してから10年後に親魚量の予測値が目標管理基準値案（SBmsy）を上回る確率は、一昨年度（2022年度）評価、昨年度（2023年度）評価、および本年度評価のいずれにおいても β が0.9以下であれば50%を上回る。



補足図 11-1. 昨年度（2023 年度）と本年度の資源評価結果の比較



補足図 11-2. 評価年度別の親魚量、加入量、漁獲量、および漁獲圧の比較

予測部分については β を 0.8 とした漁獲管理規則を適用した場合の結果である。網掛け部分は 90% 予測区間を示す。

補足表 11-1. 評価年度別の各年の親魚量、加入量、および漁獲量

(a) 親魚量 (千トン)

評価年度	年				
	2021	2022	2023	2024	2025
2021	35	38	71	99	118
2022	79	156	191	155	143
2023	77	127	123	151	143
2024	31	87	98	111	150

(b) 加入量 (百万尾)

評価年度	年				
	2021	2022	2023	2024	2025
2021	22,062	22,760	30,874	35,621	37,612
2022	42,736	41,717	43,636	41,244	40,506
2023	46,551	21,459	39,011	41,035	40,237
2024	44,322	20,532	30,018	37,858	41,154

(c) 漁獲量 (千トン)

評価年度	年				
	2021	2022	2023	2024	2025
2021	54	31	49	63	71
2022	40	45	101	87	82
2023	42	40	43	86	82
2024	42	40	41	45	85

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

補足資料 12 サバ類の捕食を考慮したチューニング VPA の試算結果

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

1. 材料と方法

田中（2022）の方法に従って、サバ類捕食 VPA による資源量などの試算を行った。その際、本系群の年齢別漁獲尾数や年齢別体重などのデータについては、本年度評価と同じデータ（1978～2022 年）を用いるとともに、チューニング年は田中（2022）に従い 1995 年以降とした。一方、マサバ太平洋系群およびゴマサバ太平洋系群の資源量については、令和 5 年度の評価結果（由上ほか 2024、上村ほか 2024）と将来予測結果を用いた。また、田中（2022）ではベースケース（S0）の他に 12 個のシナリオを感度解析的に実施しているが、本補足資料ではベースケースシナリオ（S0）に加え、高齢魚への捕食圧が高いシナリオ（S7）と若齢魚への捕食圧が高いシナリオ（S8）について、データ使用年を拡張する形での試算を行った。なお、これらの試算においては R version 4.3.3（R core team 2024）で実装したプログラムを用いた。

サバ類捕食 VPA の数式などの詳細については田中（2022）に示されているため、ここではその主要な仮定についてのみ示す。まず、サバ類捕食 VPA では、 M_t （ t 年の M ）をサバ類の捕食による $M2_t$ （1/年）とそれ以外の $M1$ （1/年）に分けて扱っている。 $M1$ と $M2$ の比は、後述するパラメータ $F_{2,T}$ 、 θ 、および α との兼ね合いによって決まる。

$$M_t = M1 + M2_t \quad (36)$$

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。

$$M2_t = \sum_{i=1}^2 m_{i,t} \quad (37)$$

$$m_{i,t} = \alpha \bar{P}_{i,t} \quad (38)$$

$$M_\mu = M1 + \bar{M2} \quad (39)$$

$$\bar{M2} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T M2_t \quad (40)$$

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

$$\bar{P}_{i,t} = \bar{N}_{t,a} w_{t,a} \quad (41)$$

$$\bar{N}_{t,a} = \frac{N_{t,a}(1 - e^{-F_{t,a} - M_{t,a}})}{F_{t,a} + M_{t,a}} \quad (42)$$

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

$$B_t = \sum_{a=0}^A r_a w_{t,a} N_{t,a} \quad (43)$$

$$\ln(B_t) = \ln(\hat{B}_t) + \varepsilon_t \quad (44)$$

$$\varepsilon_t \sim N\left(-\frac{\sigma^2}{2}, \sigma^2\right) \quad (45)$$

ここで、 r_a は年齢別成熟率、 B_t は卵数法による直接推定の親魚量 (補足図 7-3、補足表 7-1 の I-IV 区)、 \hat{B}_t はサバ類捕食 VPA によって推定した親魚量を表す。また、残差 ε_t が対数正規分布に従うと仮定して、未知パラメータの α 、 θ (最高齢の F と最高齢-1 歳魚の F の比)、およびターミナル F ($F_{2,T}$ 、資源評価最終年かつ最高齢-1 歳魚の F) を最尤法で探索的に求めた。以上の設定から、最小化する負の対数尤度関数は下式となる。

$$-\ln L(F_{2,T}, \theta, \alpha) = \frac{n}{2} \ln \left(2\pi\sigma^2 + \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left\{ \ln(B_t) - \ln(\hat{B}_t(F_{2,T}, \theta, \alpha)) \right\} + \frac{\sigma^2}{2} \right) + \frac{n}{2} \quad (46)$$

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

$$M_{t,a} = M1 + M2_{t,a} \quad (47)$$

$$M2_{t,a} = \sum_{i=1}^2 \beta_a m_{i,t} \quad (a = 0, 1, 2, 3) \quad (48)$$

$$M_\mu = M1 + \frac{1}{(3+1)T} \sum_{a=0}^3 \sum_{t=1}^T M2_{t,a} \quad (49)$$

$$\beta_a = \begin{cases} 0.8^{3-a} \\ 0.8^a \end{cases} \quad (a = 0, 1, 2, 3) \quad (50)$$

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

2. サバ類捕食 VPA の試算結果

サバ類捕食 VPA の各シナリオに基づくパラメータの推定値を補足表 12-1 に示す。正の対数尤度や c-AIC についてはシナリオ間の違いは小さく、田中 (2022) の結果と同様に、捕食圧の年齢勾配の考慮による尤度の大きな改善は認められなかった。ターミナル F ($F_{2023,2}$) については S7 が最小で、S0、S8 の順に大きくなったのに対し、 θ および M1 についてはターミナル F とは逆順の関係を示した。また、 α は S0 で最も低く、S7、S8 の順で大きくなった。サバ類捕食 VPA の指標値 (卵数法による親魚量) への当てはまり結果 (残差プロット) を補足図 12-3 に示す。いずれのシナリオにおいても残差の 1 次の自己相関は有意ではなかった。

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

自然死亡係数 (M) については、0 歳魚と 1 歳魚については、サバ類捕食 VPA による試算結果の方が、本年度評価結果やチューニングなし VPA による推定結果よりも全ての年・全てのモデル (S0、S7、S8) において高い値を示したが、2 歳魚の全てのモデル (S0、S7、S8) および 3 歳魚の S7 については、2013 年以降で高い値、もしくは類似した値となった

(補足図 12-2)。

漁獲係数と漁獲割合については、どの年齢でもサバ類捕食 VPA による試算結果の方が、本年度評価結果やチューニングなし VPA による推定結果よりも低い値となっているとともに、2000 年代中盤以降はその差が特に顕著となっている。

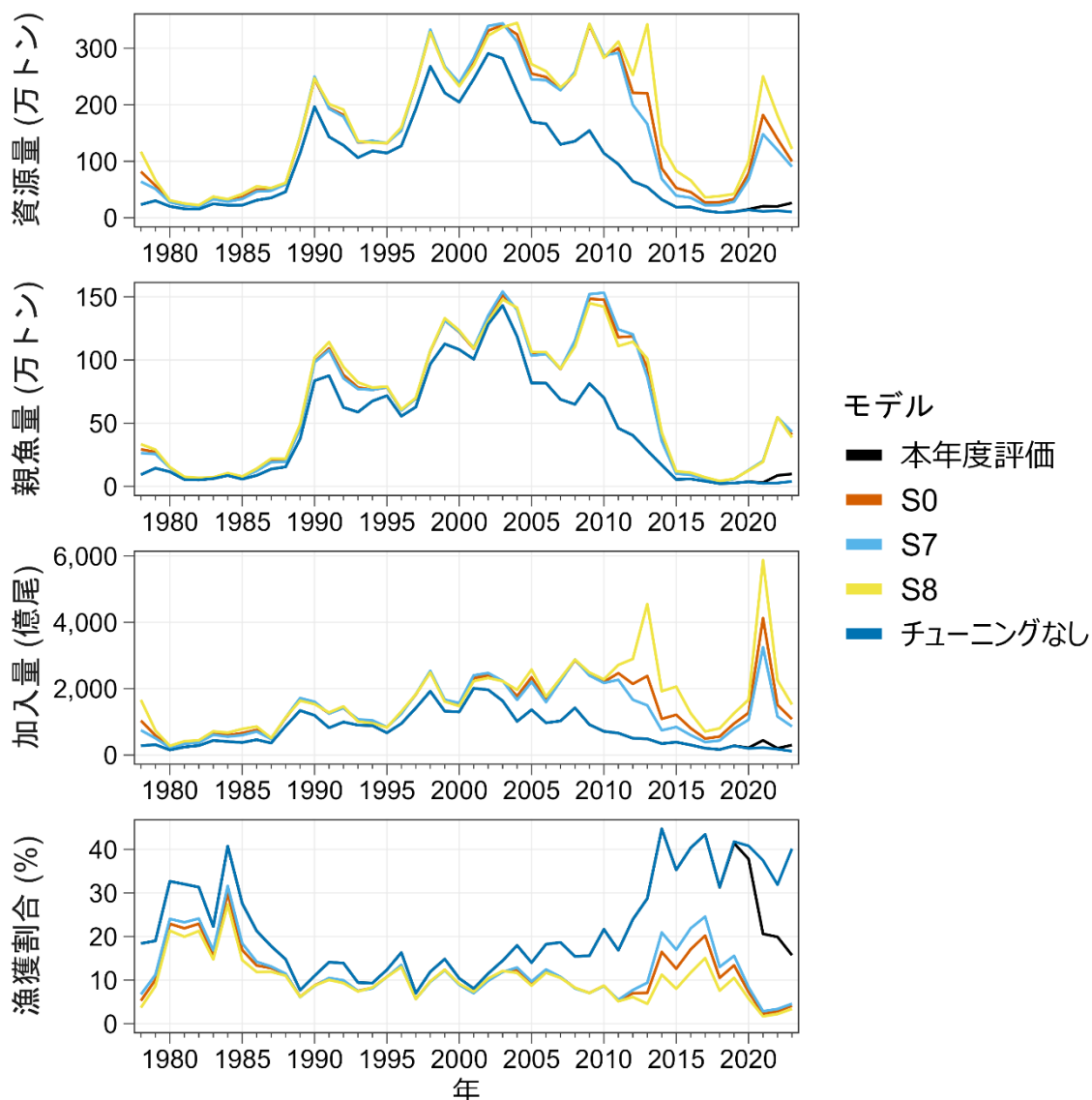
なお、サバ類による捕食量は、2023 年においては、S0 で漁獲量の 7.98 倍、S7 で 5.48 倍、S8 で 12.84 倍と試算された。

3. その他

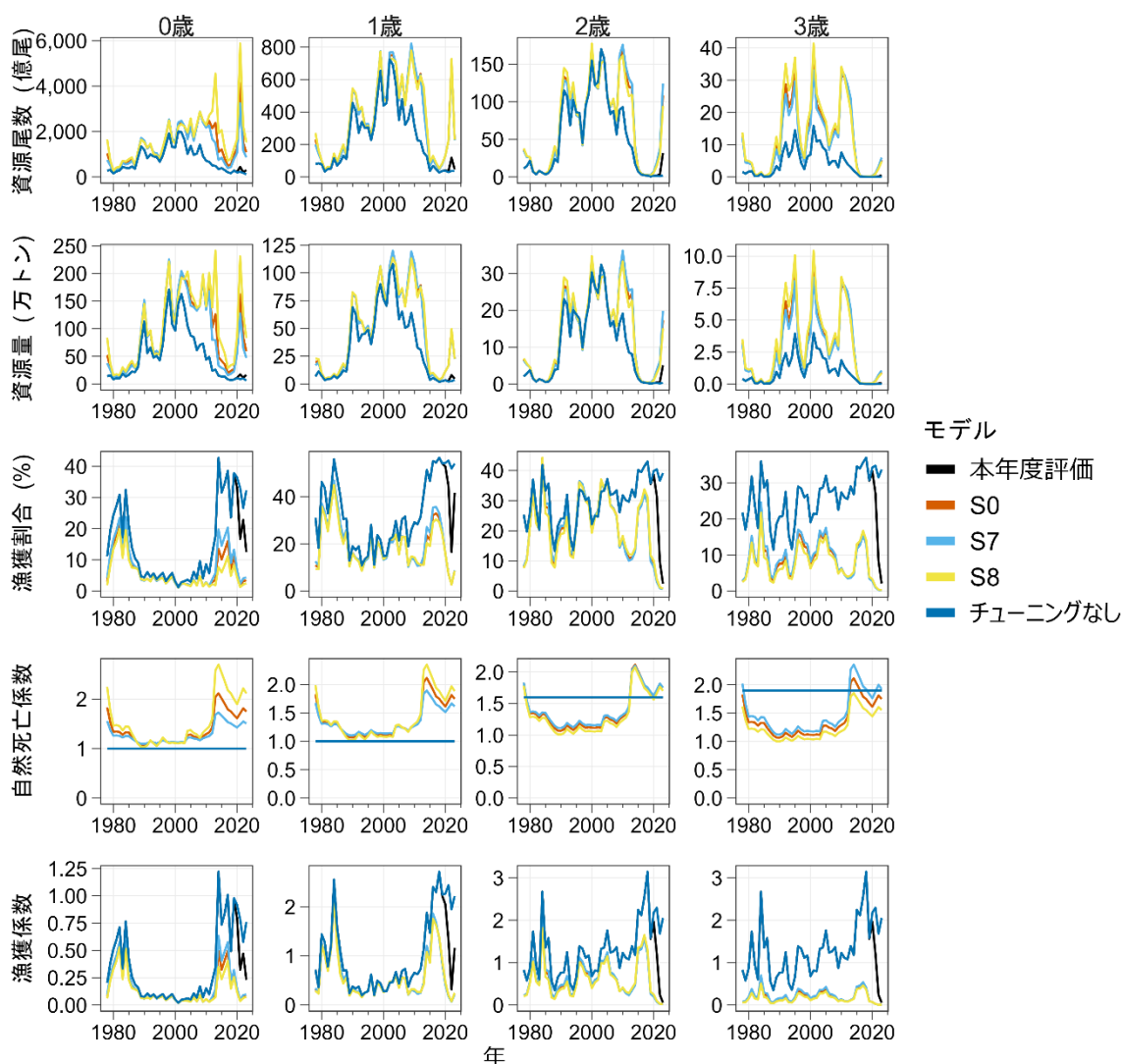
サバ類捕食 VPA による試算結果を示したが、当該 VPA における本系群の M が太平洋海域のサバ類資源量に比例するという仮定などの妥当性を判断するためには、引き続きサバ類の捕食に関する生物学的な知見などの収集が必要である。

引用文献

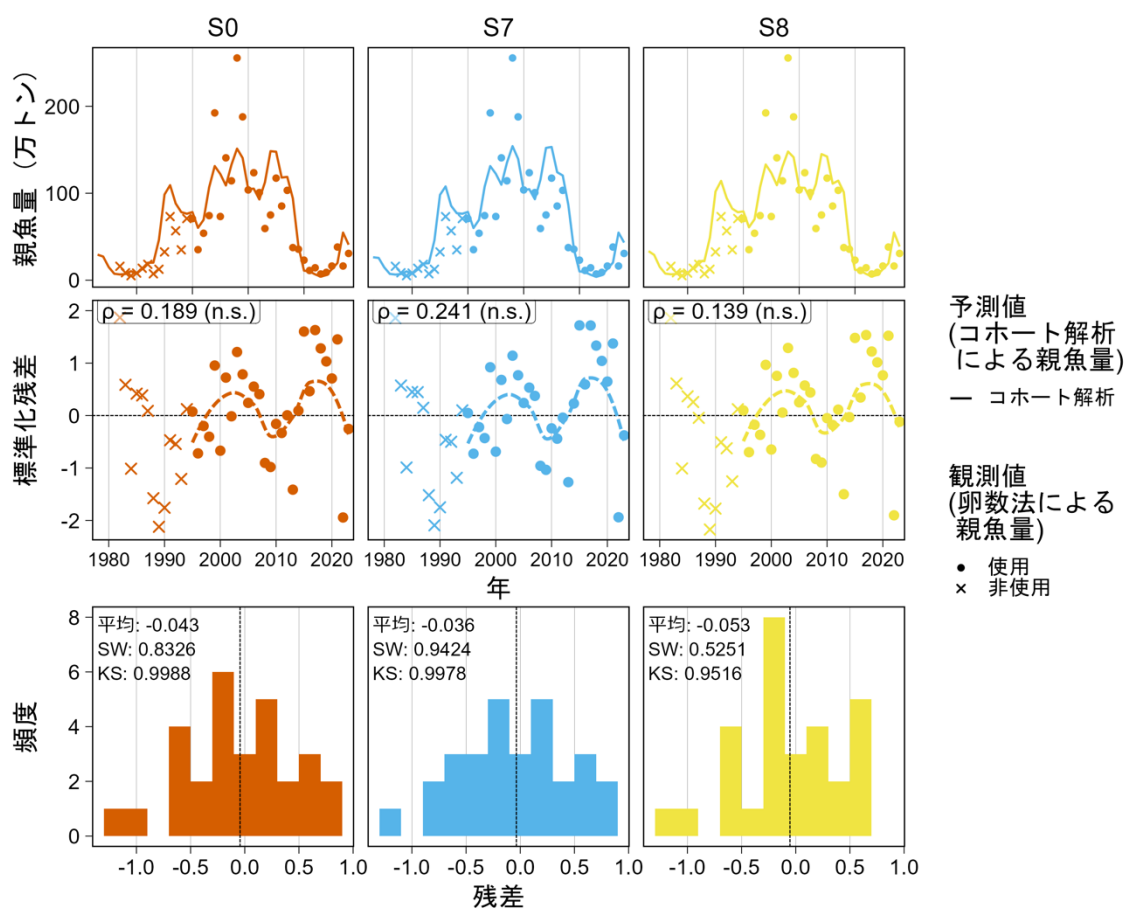
- R Core Team (2024) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 田中栄次 (2022) サバ類資源によるカタクチイワシ太平洋系群の捕食死亡率の推定. 日水誌, **88**, p.2-11. <https://doi.org/10.2331/suisan.20-00067>
- 水産資源研究所 (2022) カタクチイワシ太平洋系群に関して第 2 回資源管理手法検討部会において指摘された事項への対応について. FRA-SA2022-BRP01, 27pp. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20220302/FRA-SA2022-BRP01.pdf
- 由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・井須小羊子・古市 生・渡部亮介・東口胤成・齋藤 類・石川和雄 (2024) 令和 5 (2023) 年度マサバ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2024-AC005, 令和 5 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, 東京, 71pp. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2024/03/details_2023_05.pdf
- 上村泰洋・由上龍嗣・西嶋翔太・古市 生・井須小羊子・渡部亮介・東口胤成 (2024) 令和 5 (2023) 年度ゴマサバ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2024-AC007, 令和 5 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, 東京, 60pp. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2024/03/details_2023_07.pdf



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



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



補足図 12-3. サバ類捕食 VPA の残差プロット

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

補足表 12-1. サバ類捕食 VPA について推定されたパラメータ

シナリオ	正の 対数尤度	c-AIC	F _{2023,2}	θ	α ($\times 10^{-6}$ /トン・年)	M1 (/年)
S0	-20.6783	50.3322	0.0172	0.3167	0.2502	1.0255
S7	-21.4801	51.9358	0.0151	0.3453	0.2948	1.0711
S8	-20.0245	49.0246	0.0193	0.2797	0.3970	0.9658

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

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

年	年齢別資源尾数(百万尾)				年齢別漁獲係数				M2(サバ類による捕食死亡係数)			
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚
1978	103,745.1	23,090.5	3,638.1	1,264.7	0.08	0.32	0.22	0.07	0.81	0.81	0.81	0.81
1979	58,981.4	15,361.9	2,690.4	466.9	0.25	0.24	0.26	0.08	0.51	0.51	0.51	0.51
1980	24,420.5	9,934.4	2,605.9	449.8	0.35	1.25	0.54	0.17	0.31	0.31	0.31	0.31
1981	36,835.8	4,500.5	749.3	396.4	0.43	1.03	1.08	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32
1982	40,201.1	6,213.0	418.1	66.5	0.56	0.70	0.59	0.19	0.31	0.31	0.31	0.31
1983	64,947.2	6,075.8	811.0	61.2	0.25	1.15	0.49	0.16	0.25	0.25	0.25	0.25
1984	59,711.4	14,083.5	538.3	138.0	0.56	2.24	1.95	0.62	0.30	0.30	0.30	0.30
1985	66,121.3	9,031.7	395.4	20.2	0.26	1.26	0.78	0.25	0.30	0.30	0.30	0.30
1986	75,694.4	13,519.4	682.4	48.4	0.17	0.71	0.72	0.23	0.21	0.21	0.21	0.21
1987	48,886.6	18,461.3	1,923.5	96.3	0.15	0.49	0.22	0.07	0.14	0.14	0.14	0.14
1988	111,743.2	13,078.4	3,508.3	478.6	0.13	0.60	0.17	0.05	0.08	0.08	0.08	0.08
1989	166,288.8	32,461.8	2,384.1	979.6	0.07	0.20	0.37	0.12	0.04	0.04	0.04	0.04
1990	156,038.7	53,488.4	9,102.6	567.7	0.06	0.32	0.44	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04
1991	125,148.3	50,614.7	13,323.9	2,025.1	0.07	0.28	0.45	0.14	0.06	0.06	0.06	0.06
1992	142,029.6	39,265.5	12,925.7	2,874.1	0.06	0.27	0.64	0.20	0.13	0.13	0.13	0.13
1993	104,019.1	42,349.6	9,512.7	2,157.6	0.09	0.16	0.26	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09
1994	100,394.0	31,267.6	11,806.6	2,422.6	0.06	0.25	0.22	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05
1995	83,560.6	32,183.0	8,253.9	3,208.4	0.07	0.28	0.51	0.16	0.10	0.10	0.10	0.10
1996	126,360.6	25,293.4	7,877.0	1,612.7	0.08	0.61	1.08	0.34	0.16	0.16	0.16	0.16
1997	182,384.7	35,407.7	4,197.2	812.7	0.04	0.19	0.98	0.31	0.12	0.12	0.12	0.12
1998	249,746.2	55,560.1	9,290.2	502.1	0.06	0.46	0.77	0.24	0.09	0.09	0.09	0.09
1999	163,259.7	76,931.5	11,508.9	1,410.2	0.09	0.39	0.74	0.23	0.10	0.10	0.10	0.10
2000	151,967.4	48,733.3	16,918.3	1,789.5	0.05	0.27	0.44	0.14	0.09	0.09	0.09	0.09
2001	231,771.4	47,516.0	12,222.2	3,581.0	0.02	0.29	0.57	0.18	0.09	0.09	0.09	0.09
2002	240,261.1	74,721.2	11,714.3	2,266.6	0.04	0.47	0.63	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10
2003	223,323.2	75,016.6	15,232.7	2,036.5	0.04	0.46	1.03	0.33	0.09	0.09	0.09	0.09
2004	177,503.4	70,326.5	15,493.6	1,789.4	0.04	0.61	1.02	0.32	0.25	0.25	0.25	0.25
2005	234,205.9	47,745.1	10,715.8	1,563.2	0.03	0.36	1.21	0.38	0.26	0.26	0.26	0.26
2006	165,071.6	62,818.5	9,273.2	883.5	0.07	0.57	0.76	0.24	0.22	0.22	0.22	0.22
2007	223,943.0	44,312.9	10,282.1	1,245.0	0.03	0.55	0.71	0.22	0.20	0.20	0.20	0.20
2008	286,121.9	63,526.4	7,504.5	1,487.5	0.09	0.21	0.61	0.19	0.16	0.16	0.16	0.16
2009	241,649.8	80,046.0	15,737.5	1,253.3	0.03	0.31	0.32	0.10	0.23	0.23	0.23	0.23
2010	220,504.0	67,116.8	16,782.6	3,255.4	0.05	0.30	0.41	0.13	0.27	0.27	0.27	0.27
2011	246,699.2	57,444.6	13,645.2	3,070.2	0.03	0.24	0.30	0.09	0.30	0.30	0.30	0.30
2012	214,426.8	63,466.3	11,942.7	2,685.8	0.06	0.25	0.25	0.08	0.40	0.40	0.40	0.40
2013	238,179.3	48,461.5	11,835.9	2,224.6	0.11	0.43	0.37	0.12	1.02	1.02	1.02	1.02
2014	109,074.6	27,731.3	4,067.8	1,059.2	0.49	1.14	0.49	0.15	1.09	1.09	1.09	1.09
2015	121,337.1	8,027.9	1,071.7	301.2	0.32	0.90	1.31	0.42	0.99	0.99	0.99	0.99
2016	80,816.9	11,732.5	435.1	38.6	0.41	1.80	1.35	0.43	0.88	0.88	0.88	0.88
2017	49,480.4	7,974.1	287.5	16.7	0.50	1.65	1.61	0.51	0.77	0.77	0.77	0.77
2018	55,717.2	5,013.1	255.8	9.6	0.18	1.37	1.26	0.40	0.72	0.72	0.72	0.72
2019	94,993.1	8,057.4	220.4	12.6	0.30	0.86	0.29	0.09	0.65	0.65	0.65	0.65
2020	127,230.9	13,208.4	635.5	30.9	0.14	0.44	0.23	0.07	0.59	0.59	0.59	0.59
2021	412,586.5	22,091.4	1,698.8	101.0	0.04	0.19	0.09	0.03	0.69	0.69	0.69	0.69
2022	151,084.1	71,358.8	3,299.2	281.7	0.08	0.07	0.03	0.01	0.79	0.79	0.79	0.79
2023	108,220.5	22,712.9	10,830.0	523.4	0.09	0.23	0.02	0.01	0.72	0.72	0.72	0.72

補足表 12-2. (続き)

年	年齢別資源量(千トン)				資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	資源量 (千トン)	漁獲割合 (%)
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚				
1978	522.6	195.1	66.3	32.2	816.2	293.7	43.0	5.3
1979	298.3	207.1	53.3	11.2	569.9	271.7	57.4	10.1
1980	137.9	94.4	45.3	10.2	287.8	149.9	66.0	22.9
1981	157.5	46.9	15.9	10.9	231.2	73.7	50.6	21.9
1982	141.5	56.4	7.7	1.7	207.3	65.8	47.5	22.9
1983	275.2	56.6	13.0	1.3	346.0	70.9	55.2	16.0
1984	198.3	89.6	9.7	3.6	301.2	102.9	90.0	29.9
1985	288.8	68.2	6.1	0.4	363.3	74.6	61.4	16.9
1986	366.7	118.3	8.5	1.3	494.9	128.2	66.1	13.3
1987	291.8	170.3	27.5	2.3	491.9	200.1	62.7	12.8
1988	393.3	134.7	56.5	10.4	595.0	201.6	68.1	11.4
1989	952.8	389.0	48.3	27.6	1,417.7	464.9	87.8	6.2
1990	1,474.4	811.3	161.5	12.8	2,459.9	985.5	215.9	8.8
1991	851.4	779.6	266.3	46.6	1,944.0	1,092.6	202.3	10.4
1992	938.0	557.8	259.8	64.8	1,820.4	882.3	178.3	9.8
1993	551.1	556.4	177.8	48.7	1,333.9	782.9	100.5	7.5
1994	575.2	472.1	231.5	60.4	1,339.3	764.1	110.4	8.2
1995	535.0	514.4	181.6	87.3	1,318.3	783.3	141.7	10.7
1996	954.9	398.6	163.3	40.0	1,556.8	601.9	207.9	13.4
1997	1,672.1	581.2	92.3	20.6	2,366.3	694.2	134.5	5.7
1998	2,222.4	890.4	167.8	10.8	3,291.5	1,069.1	319.4	9.7
1999	1,339.0	1,056.9	221.9	33.6	2,651.5	1,312.4	328.0	12.4
2000	1,128.5	846.3	331.3	43.3	2,349.3	1,220.9	213.1	9.1
2001	1,670.8	735.5	263.7	90.4	2,760.4	1,089.6	197.9	7.2
2002	1,985.3	1,040.0	229.6	58.3	3,313.2	1,327.9	334.4	10.1
2003	1,899.6	1,173.9	290.4	48.6	3,412.5	1,512.9	408.0	12.0
2004	1,841.2	1,070.4	294.9	40.4	3,246.9	1,405.7	401.9	12.4
2005	1,505.2	793.9	216.6	37.1	2,552.7	1,047.6	237.7	9.3
2006	1,439.5	857.4	173.8	20.7	2,491.4	1,051.9	303.4	12.2
2007	1,333.2	699.8	200.3	28.4	2,261.7	928.5	242.5	10.7
2008	1,419.0	933.2	157.4	35.7	2,545.2	1,126.3	209.1	8.2
2009	1,925.7	1,164.2	292.1	27.4	3,409.5	1,483.8	240.9	7.1
2010	1,361.1	1,051.9	345.6	79.8	2,838.5	1,477.4	247.6	8.7
2011	1,826.4	830.9	274.5	74.7	3,006.5	1,180.1	160.0	5.3
2012	1,024.8	888.8	231.3	67.8	2,212.7	1,187.9	154.5	7.0
2013	1,263.4	641.1	246.1	53.6	2,204.2	940.8	156.0	7.1
2014	484.4	281.2	81.8	27.2	874.6	390.2	144.0	16.5
2015	417.3	79.6	22.5	7.9	527.3	110.0	66.5	12.6
2016	355.6	91.2	7.5	0.9	455.2	99.5	77.7	17.1
2017	201.4	62.2	4.5	0.4	268.5	67.1	54.3	20.2
2018	235.8	36.5	3.8	0.2	276.3	40.5	29.1	10.5
2019	272.5	55.5	2.8	0.2	331.1	58.6	44.3	13.4
2020	660.2	115.3	11.0	0.6	787.1	126.9	57.0	7.2
2021	1,621.9	162.4	32.9	2.2	1,819.4	197.5	42.2	2.3
2022	847.6	487.0	54.2	6.2	1,395.1	547.4	40.2	2.9
2023	591.3	225.4	173.3	9.2	999.3	408.0	41.2	4.1

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

年	年齢別資源尾数(百万尾)				年齢別漁獲係数				M2(サバ類による捕食死亡係数)			
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚
1978	74,701.8	19,946.2	3,502.0	1,228.1	0.09	0.34	0.23	0.08	0.49	0.61	0.76	0.95
1979	50,625.6	14,307.6	2,634.6	445.5	0.27	0.25	0.27	0.09	0.31	0.38	0.48	0.60
1980	22,459.7	9,737.7	2,603.0	429.5	0.37	1.26	0.56	0.19	0.19	0.24	0.30	0.37
1981	33,995.9	4,392.4	749.9	381.0	0.46	1.04	1.10	0.38	0.19	0.24	0.30	0.38
1982	37,649.5	6,085.4	416.0	63.1	0.58	0.71	0.60	0.21	0.19	0.23	0.29	0.36
1983	60,918.9	6,015.7	813.8	58.3	0.26	1.15	0.50	0.17	0.15	0.19	0.24	0.30
1984	55,287.1	13,807.0	540.0	133.2	0.59	2.29	2.02	0.70	0.18	0.23	0.29	0.36
1985	59,788.7	8,743.7	381.6	18.4	0.28	1.31	0.84	0.29	0.18	0.22	0.28	0.35
1986	70,776.4	12,883.0	647.2	42.6	0.18	0.76	0.80	0.28	0.13	0.16	0.20	0.25
1987	48,100.1	17,786.8	1,758.2	81.6	0.15	0.52	0.25	0.09	0.09	0.11	0.13	0.17
1988	113,158.4	12,988.7	3,252.7	409.3	0.13	0.61	0.19	0.07	0.05	0.06	0.07	0.09
1989	171,704.0	32,438.4	2,268.9	855.3	0.06	0.21	0.40	0.14	0.03	0.03	0.04	0.05
1990	160,620.7	53,741.7	8,746.7	500.6	0.06	0.33	0.47	0.16	0.02	0.03	0.04	0.05
1991	125,164.6	50,636.0	12,854.5	1,798.7	0.07	0.28	0.48	0.17	0.04	0.05	0.06	0.07
1992	141,624.1	38,436.4	12,487.5	2,571.4	0.06	0.27	0.69	0.24	0.08	0.10	0.12	0.15
1993	107,498.3	42,424.4	9,097.3	1,907.4	0.09	0.17	0.27	0.09	0.05	0.07	0.08	0.10
1994	104,567.0	32,040.2	11,523.6	2,181.2	0.06	0.25	0.24	0.08	0.03	0.04	0.05	0.06
1995	84,158.1	32,762.7	8,205.8	2,965.8	0.07	0.28	0.53	0.18	0.06	0.07	0.09	0.12
1996	124,645.4	25,319.8	7,868.4	1,513.8	0.08	0.61	1.12	0.39	0.10	0.12	0.15	0.19
1997	183,868.3	35,599.0	4,173.7	753.4	0.04	0.19	1.02	0.35	0.07	0.09	0.11	0.14
1998	253,612.6	56,116.8	9,182.6	460.1	0.06	0.46	0.81	0.28	0.05	0.07	0.08	0.10
1999	166,708.6	77,361.2	11,337.6	1,288.1	0.08	0.39	0.78	0.27	0.06	0.07	0.09	0.12
2000	156,807.8	49,499.7	16,607.6	1,627.8	0.05	0.27	0.46	0.16	0.05	0.07	0.09	0.11
2001	240,244.6	48,618.0	12,142.6	3,302.9	0.02	0.28	0.59	0.20	0.05	0.07	0.08	0.10
2002	247,344.1	76,652.3	11,742.2	2,116.8	0.04	0.46	0.64	0.22	0.06	0.07	0.09	0.11
2003	223,476.6	76,766.8	15,423.3	1,930.8	0.04	0.46	1.04	0.36	0.05	0.07	0.08	0.10
2004	166,073.9	69,628.0	15,582.7	1,715.3	0.04	0.61	1.04	0.36	0.15	0.19	0.23	0.29
2005	220,549.9	47,007.7	10,752.0	1,496.5	0.03	0.36	1.24	0.43	0.16	0.19	0.24	0.30
2006	159,423.0	62,517.5	9,265.2	835.0	0.07	0.57	0.78	0.27	0.13	0.17	0.21	0.26
2007	222,824.9	44,556.2	10,312.8	1,179.4	0.03	0.54	0.72	0.25	0.12	0.15	0.19	0.24
2008	287,985.0	65,419.4	7,614.3	1,421.0	0.09	0.21	0.61	0.21	0.10	0.12	0.15	0.19
2009	239,616.1	82,079.2	16,195.9	1,222.2	0.03	0.30	0.32	0.11	0.14	0.17	0.21	0.27
2010	217,394.1	69,579.5	17,569.3	3,257.9	0.05	0.29	0.39	0.14	0.16	0.20	0.25	0.31
2011	226,578.2	60,163.2	14,654.1	3,165.3	0.03	0.23	0.28	0.10	0.18	0.23	0.28	0.36
2012	166,613.9	62,689.7	13,080.3	2,858.1	0.07	0.25	0.23	0.08	0.24	0.30	0.38	0.47
2013	149,626.9	41,623.0	12,379.1	2,434.9	0.14	0.46	0.35	0.12	0.61	0.77	0.96	1.20
2014	74,549.3	24,023.1	4,171.3	1,147.3	0.63	1.21	0.47	0.16	0.66	0.82	1.03	1.29
2015	84,596.6	7,024.0	1,079.7	320.7	0.41	0.96	1.28	0.44	0.60	0.74	0.93	1.16
2016	59,913.1	10,647.7	439.4	40.7	0.49	1.86	1.32	0.46	0.53	0.66	0.83	1.04
2017	38,937.2	7,367.2	291.5	17.6	0.58	1.68	1.56	0.54	0.46	0.58	0.72	0.90
2018	43,578.0	4,723.4	263.8	10.2	0.21	1.35	1.19	0.41	0.44	0.55	0.68	0.85
2019	79,307.7	7,809.8	241.8	13.9	0.32	0.83	0.26	0.09	0.39	0.49	0.61	0.77
2020	106,403.1	13,285.0	715.3	34.5	0.15	0.41	0.20	0.07	0.35	0.44	0.55	0.69
2021	324,763.3	22,000.4	1,942.3	115.3	0.05	0.18	0.07	0.03	0.41	0.52	0.65	0.81
2022	116,102.3	70,039.2	3,759.6	323.6	0.09	0.07	0.02	0.01	0.48	0.60	0.74	0.93
2023	86,238.3	22,548.3	12,381.5	598.2	0.10	0.22	0.02	0.01	0.44	0.55	0.68	0.85

補足表 12-3. (続き)

年	年齢別資源量(千トン)				資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	資源量 (千トン)	漁獲割合 (%)
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚				
1978	376.3	168.5	63.8	31.3	640.0	263.7	43.0	6.7
1979	256.0	192.9	52.2	10.7	511.8	255.8	57.4	11.2
1980	126.8	92.5	45.3	9.7	274.3	147.5	66.0	24.0
1981	145.3	45.8	15.9	10.5	217.5	72.2	50.6	23.3
1982	132.5	55.3	7.7	1.6	197.1	64.5	47.5	24.1
1983	258.1	56.0	13.0	1.2	328.4	70.3	55.2	16.8
1984	183.6	87.9	9.7	3.5	284.7	101.1	90.0	31.6
1985	261.1	66.0	5.9	0.3	333.3	72.2	61.4	18.4
1986	342.9	112.7	8.1	1.2	464.9	122.0	66.1	14.2
1987	287.1	164.1	25.1	1.9	478.2	191.1	62.7	13.1
1988	398.3	133.8	52.4	8.9	593.4	195.1	68.1	11.5
1989	983.8	388.8	46.0	24.1	1,442.6	458.8	87.8	6.1
1990	1,517.7	815.1	155.1	11.3	2,499.2	981.5	215.9	8.6
1991	851.6	780.0	256.9	41.4	1,929.9	1,078.3	202.3	10.5
1992	935.4	546.0	251.0	57.9	1,790.3	854.9	178.3	10.0
1993	569.5	557.4	170.0	43.0	1,339.9	770.4	100.5	7.5
1994	599.1	483.8	226.0	54.4	1,363.3	764.2	110.4	8.1
1995	538.8	523.6	180.6	80.7	1,323.8	784.9	141.7	10.7
1996	941.9	399.0	163.1	37.6	1,541.6	599.7	207.9	13.5
1997	1,685.7	584.4	91.8	19.1	2,381.0	695.3	134.5	5.6
1998	2,256.8	899.4	165.9	9.9	3,332.0	1,075.2	319.4	9.6
1999	1,367.3	1,062.8	218.6	30.7	2,679.4	1,312.1	328.0	12.2
2000	1,164.4	859.6	325.2	39.4	2,388.6	1,224.2	213.1	8.9
2001	1,731.9	752.5	262.0	83.4	2,829.8	1,097.9	197.9	7.0
2002	2,043.8	1,066.8	230.2	54.5	3,395.3	1,351.5	334.4	9.8
2003	1,900.9	1,201.3	294.1	46.1	3,442.3	1,541.4	408.0	11.9
2004	1,722.6	1,059.8	296.5	38.7	3,117.7	1,395.1	401.9	12.9
2005	1,417.4	781.7	217.3	35.5	2,451.9	1,034.5	237.7	9.7
2006	1,390.2	853.3	173.7	19.6	2,436.8	1,046.5	303.4	12.5
2007	1,326.5	703.7	200.9	26.9	2,258.0	931.5	242.5	10.7
2008	1,428.2	961.0	159.7	34.1	2,583.0	1,154.8	209.1	8.1
2009	1,909.5	1,193.8	300.7	26.7	3,430.7	1,521.2	240.9	7.0
2010	1,341.9	1,090.5	361.8	79.9	2,874.1	1,532.2	247.6	8.6
2011	1,677.4	870.2	294.8	77.1	2,919.5	1,242.0	160.0	5.5
2012	796.3	877.9	253.4	72.1	1,999.7	1,203.4	154.5	7.7
2013	793.7	550.6	257.3	58.7	1,660.4	866.7	156.0	9.4
2014	331.1	243.6	83.8	29.5	688.0	356.9	144.0	20.9
2015	290.9	69.7	22.7	8.4	391.7	100.7	66.5	17.0
2016	263.6	82.8	7.5	0.9	354.9	91.2	77.7	21.9
2017	158.5	57.5	4.5	0.4	220.9	62.4	54.3	24.6
2018	184.4	34.4	4.0	0.2	222.9	38.5	29.1	13.0
2019	227.5	53.8	3.1	0.2	284.7	57.1	44.3	15.6
2020	552.1	116.0	12.4	0.7	681.2	129.1	57.0	8.4
2021	1,276.6	161.7	37.7	2.5	1,478.5	201.9	42.2	2.9
2022	651.4	478.0	61.7	7.2	1,198.3	546.9	40.2	3.4
2023	471.2	223.8	198.2	10.6	903.7	432.5	41.2	4.6

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

年	年齢別資源尾数(百万尾)				年齢別漁獲係数				M2(サバ類による捕食死亡係数)			
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚
1978	166,119.5	27,116.3	3,798.2	1,379.7	0.06	0.29	0.20	0.06	1.28	1.02	0.82	0.66
1979	73,879.6	16,573.2	2,778.5	519.2	0.22	0.23	0.24	0.07	0.80	0.64	0.51	0.41
1980	27,633.1	10,099.2	2,630.8	497.4	0.33	1.24	0.52	0.14	0.50	0.40	0.32	0.25
1981	41,571.6	4,611.6	750.8	433.8	0.40	1.01	1.02	0.29	0.51	0.41	0.33	0.26
1982	44,349.4	6,352.4	425.5	74.3	0.53	0.69	0.55	0.15	0.49	0.39	0.31	0.25
1983	71,455.6	6,104.2	818.9	68.1	0.24	1.14	0.47	0.13	0.40	0.32	0.26	0.21
1984	67,405.9	14,378.8	536.7	150.8	0.52	2.17	1.82	0.51	0.48	0.39	0.31	0.25
1985	78,469.3	9,459.7	426.7	24.4	0.23	1.17	0.67	0.19	0.47	0.38	0.30	0.24
1986	85,999.6	14,761.6	762.7	61.5	0.16	0.63	0.59	0.17	0.34	0.27	0.22	0.17
1987	51,391.5	19,976.1	2,290.5	129.5	0.14	0.44	0.18	0.05	0.23	0.18	0.15	0.12
1988	113,549.4	13,501.7	4,088.7	631.3	0.13	0.56	0.14	0.04	0.13	0.10	0.08	0.06
1989	163,698.5	33,524.7	2,661.3	1,247.9	0.07	0.19	0.31	0.09	0.07	0.05	0.04	0.04
1990	153,399.0	54,503.7	9,985.2	710.9	0.06	0.31	0.38	0.11	0.06	0.05	0.04	0.03
1991	128,178.1	51,568.8	14,484.0	2,504.8	0.07	0.26	0.39	0.11	0.10	0.08	0.06	0.05
1992	146,693.3	41,251.7	13,917.4	3,511.9	0.06	0.25	0.55	0.16	0.20	0.16	0.13	0.10
1993	101,290.4	43,168.8	10,440.8	2,676.0	0.09	0.16	0.22	0.06	0.14	0.11	0.09	0.07
1994	95,700.6	30,643.4	12,560.4	2,913.0	0.06	0.25	0.20	0.06	0.08	0.07	0.05	0.04
1995	83,382.2	31,502.3	8,471.2	3,699.8	0.07	0.28	0.47	0.13	0.16	0.13	0.10	0.08
1996	131,201.4	25,279.3	7,957.0	1,816.6	0.08	0.60	1.01	0.28	0.26	0.21	0.17	0.13
1997	183,330.7	35,508.4	4,286.4	933.7	0.04	0.19	0.90	0.25	0.19	0.15	0.12	0.10
1998	248,631.7	55,298.0	9,612.7	587.4	0.06	0.45	0.70	0.20	0.14	0.11	0.09	0.07
1999	161,113.7	77,177.4	11,963.4	1,657.1	0.09	0.38	0.67	0.19	0.16	0.12	0.10	0.08
2000	147,541.3	48,155.3	17,714.3	2,112.8	0.05	0.27	0.40	0.11	0.14	0.12	0.09	0.07
2001	222,773.8	46,376.4	12,533.1	4,132.1	0.02	0.29	0.53	0.15	0.14	0.11	0.09	0.07
2002	232,446.8	72,380.8	11,830.2	2,564.5	0.04	0.48	0.59	0.17	0.15	0.12	0.10	0.08
2003	222,666.1	72,672.8	15,120.7	2,252.6	0.04	0.47	0.99	0.28	0.14	0.11	0.09	0.07
2004	196,285.1	70,667.1	15,429.9	1,955.8	0.04	0.61	0.98	0.27	0.39	0.31	0.25	0.20
2005	257,611.3	48,577.5	10,704.8	1,715.0	0.03	0.35	1.15	0.32	0.41	0.33	0.26	0.21
2006	175,845.2	63,186.0	9,395.5	991.7	0.07	0.56	0.72	0.20	0.35	0.28	0.22	0.18
2007	231,034.3	44,156.4	10,398.1	1,396.4	0.03	0.55	0.67	0.19	0.32	0.25	0.20	0.16
2008	287,770.7	61,853.9	7,517.0	1,655.4	0.09	0.22	0.58	0.16	0.25	0.20	0.16	0.13
2009	248,788.9	77,803.2	15,520.1	1,362.5	0.03	0.32	0.32	0.09	0.36	0.29	0.23	0.18
2010	227,984.1	64,227.6	16,118.8	3,414.4	0.06	0.32	0.41	0.12	0.42	0.34	0.27	0.22
2011	271,553.5	53,923.3	12,673.5	3,097.6	0.03	0.26	0.31	0.09	0.48	0.38	0.31	0.25
2012	289,660.1	62,184.6	10,738.7	2,592.4	0.05	0.27	0.28	0.08	0.64	0.51	0.41	0.33
2013	454,895.1	55,567.9	10,904.7	2,060.0	0.07	0.42	0.40	0.11	1.62	1.29	1.03	0.83
2014	192,416.2	32,008.1	3,822.5	991.7	0.35	1.08	0.51	0.14	1.73	1.38	1.11	0.89
2015	206,185.0	9,152.2	1,033.0	287.7	0.24	0.86	1.35	0.38	1.57	1.25	1.00	0.80
2016	125,865.2	12,940.6	420.1	37.4	0.32	1.76	1.39	0.39	1.40	1.12	0.89	0.72
2017	70,884.2	8,633.1	278.0	16.3	0.40	1.62	1.65	0.46	1.22	0.97	0.78	0.62
2018	80,496.6	5,340.4	245.3	9.3	0.15	1.39	1.31	0.37	1.15	0.92	0.74	0.59
2019	125,908.3	8,356.9	202.5	12.1	0.26	0.89	0.31	0.09	1.03	0.83	0.66	0.53
2020	166,855.2	13,175.1	569.7	29.2	0.12	0.47	0.25	0.07	0.93	0.75	0.60	0.48
2021	587,200.8	22,168.0	1,490.6	93.1	0.04	0.20	0.10	0.03	1.09	0.87	0.70	0.56
2022	225,089.7	72,621.3	2,884.5	257.1	0.07	0.07	0.03	0.01	1.25	1.00	0.80	0.64
2023	152,221.8	22,943.3	9,417.9	478.4	0.07	0.25	0.02	0.01	1.15	0.92	0.74	0.59

補足表 12-4. (続き)

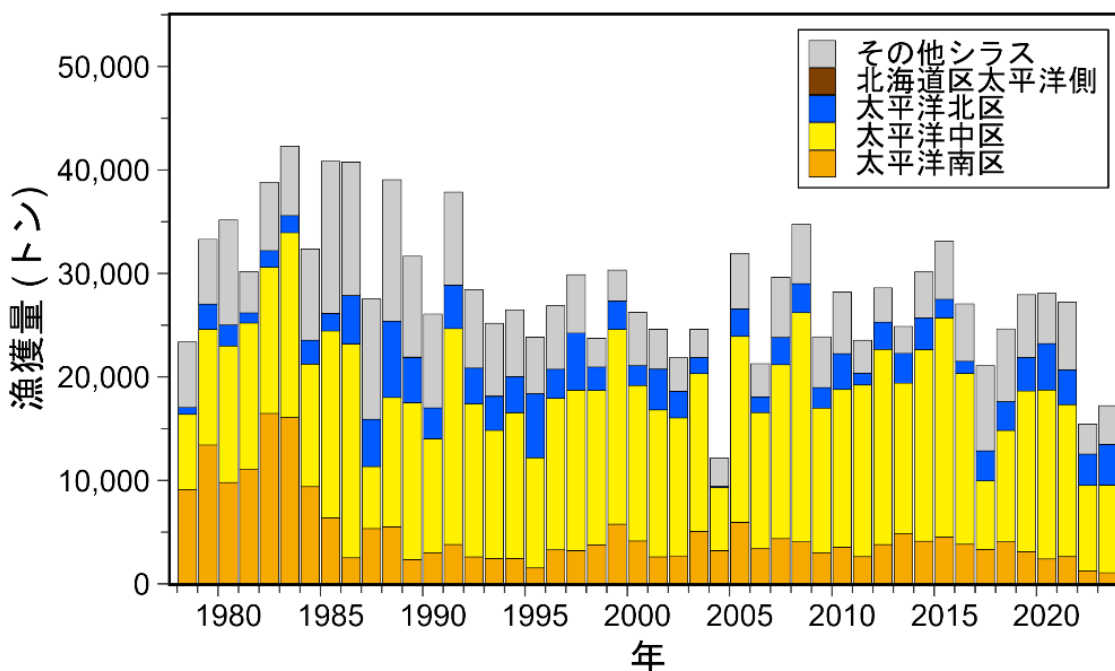
年	年齢別資源量(千トン)				資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	資源量 (千トン)	漁獲割合 (%)
	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚				
1978	836.8	229.1	69.2	35.2	1,170.3	333.5	43.0	3.7
1979	373.6	223.5	55.1	12.4	664.6	291.0	57.4	8.6
1980	156.1	96.0	45.7	11.3	309.0	153.0	66.0	21.3
1981	177.7	48.1	15.9	12.0	253.6	75.9	50.6	20.0
1982	156.1	57.7	7.8	1.8	223.5	67.4	47.5	21.3
1983	302.7	56.9	13.1	1.4	374.2	71.4	55.2	14.8
1984	223.9	91.5	9.7	3.9	329.0	105.1	90.0	27.4
1985	342.7	71.4	6.5	0.4	421.1	78.4	61.4	14.6
1986	416.7	129.2	9.6	1.7	557.1	140.4	66.1	11.9
1987	306.7	184.3	32.8	3.0	526.8	220.1	62.7	11.9
1988	399.7	139.0	65.9	13.8	618.3	218.7	68.1	11.0
1989	937.9	401.8	54.0	35.1	1,428.8	490.9	87.8	6.1
1990	1,449.4	826.7	177.1	16.0	2,469.3	1,019.8	215.9	8.7
1991	872.1	794.3	289.5	57.7	2,013.6	1,141.5	202.3	10.0
1992	968.9	586.0	279.7	79.1	1,913.7	944.8	178.3	9.3
1993	536.6	567.2	195.1	60.4	1,359.3	822.7	100.5	7.4
1994	548.3	462.7	246.3	72.7	1,330.0	781.7	110.4	8.3
1995	533.9	503.5	186.4	100.7	1,324.5	790.6	141.7	10.7
1996	991.4	398.4	165.0	45.1	1,599.8	608.4	207.9	13.0
1997	1,680.8	582.9	94.3	23.7	2,381.7	700.9	134.5	5.6
1998	2,212.5	886.2	173.7	12.7	3,285.1	1,072.5	319.4	9.7
1999	1,321.4	1,060.3	230.7	39.4	2,651.9	1,330.4	328.0	12.4
2000	1,095.6	836.2	346.9	51.1	2,329.8	1,234.2	213.1	9.1
2001	1,605.9	717.8	270.4	104.3	2,698.5	1,092.6	197.9	7.3
2002	1,920.7	1,007.4	231.9	66.0	3,226.0	1,305.3	334.4	10.4
2003	1,894.0	1,137.2	288.3	53.7	3,373.2	1,479.2	408.0	12.1
2004	2,036.0	1,075.6	293.6	44.2	3,449.4	1,413.4	401.9	11.7
2005	1,655.6	807.8	216.4	40.7	2,720.4	1,064.8	237.7	8.7
2006	1,533.4	862.5	176.1	23.2	2,595.2	1,061.8	303.4	11.7
2007	1,375.4	697.4	202.6	31.8	2,307.2	931.7	242.5	10.5
2008	1,427.2	908.6	157.6	39.8	2,533.1	1,106.0	209.1	8.3
2009	1,982.6	1,131.6	288.1	29.8	3,432.1	1,449.5	240.9	7.0
2010	1,407.3	1,006.6	332.0	83.7	2,829.6	1,422.3	247.6	8.8
2011	2,010.4	779.9	255.0	75.4	3,120.7	1,110.3	160.0	5.1
2012	1,384.3	870.9	208.0	65.4	2,528.6	1,144.3	154.5	6.1
2013	2,413.0	735.1	226.7	49.7	3,424.4	1,011.4	156.0	4.6
2014	854.5	324.6	76.8	25.5	1,281.4	426.9	144.0	11.2
2015	709.1	90.8	21.7	7.6	829.1	120.0	66.5	8.0
2016	553.8	100.6	7.2	0.8	662.5	108.7	77.7	11.7
2017	288.6	67.4	4.3	0.4	360.6	72.0	54.3	15.1
2018	340.6	38.9	3.7	0.2	383.4	42.7	29.1	7.6
2019	361.2	57.6	2.6	0.2	421.6	60.4	44.3	10.5
2020	865.8	115.0	9.9	0.6	991.3	125.5	57.0	5.8
2021	2,308.3	162.9	28.9	2.1	2,502.2	193.9	42.2	1.7
2022	1,262.9	495.6	47.3	5.7	1,811.5	548.7	40.2	2.2
2023	831.7	227.7	150.7	8.4	1,218.6	386.9	41.2	3.4

補足資料 13 シラス漁獲量

カタクチイワシは未成魚と成魚が漁業対象となっているばかりでなく、仔魚期にはシラスとして沿岸漁業における重要な漁獲対象となっている。1978年以降の太平洋におけるシラス漁獲量（漁業・養殖業生産統計年報）は1.2万～4.2万トンの範囲で比較的安定して推移している（補足図 13-1、補足表 13-1）。その中で年間漁獲量が2万トンを下回った年は2004年および2022～2023年の3年間であり、直近2年は連続して漁獲量が少ない傾向にあった。

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・月別に主要港におけるシラス漁獲量とカタクチイワシシラスの混獲率データを収集・集計し、そこから年間のカタクチイワシシラス漁獲量と混獲率を海区別に求めた。主要港における海区別混獲率を漁業・養殖業生産統計年報における太平洋側の海区別シラス漁獲量に適用して、太平洋におけるカタクチイワシシラス漁獲量を推定した。

推定された本系群のシラス漁獲量についても0.94万～3.6万トンの範囲で比較的安定して推移している中で、2023年の漁獲量は1.3万トンと過去4番目に低い値であった（補足図 13-1、補足表 13-1）。シラス漁場は本系群の産卵場や分布域全体から見ればごく一部の海域であることから、基本的にはシラス漁業が太平洋系群の資源に与える影響は限定的であると考えられるが、一方で近年は沖合域における本系群の分布量は低調であることから、沿岸域の成育場および産卵場の重要度が高まっているとも考えられるため、引き続きシラスの動向を注視する必要がある。



補足図 13-1. 海区別のカタクチイワシシラス漁獲量とその他シラス漁獲量の経年変化

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)		割合 (%)
	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	39,061	26,228	25,399	65	
1989	10,322	16,344	4,953	43	31,662	25,025	21,915	69	
1990	9,889	13,054	3,138	1	26,082	24,526	17,016	65	
1991	11,628	21,929	4,303	1	37,861	35,500	28,865	76	
1992	9,977	14,921	3,548	2	28,448	25,022	20,859	73	
1993	8,255	13,553	3,332	37	25,177	23,119	18,146	72	
1994	8,414	14,498	3,571	8	26,491	24,239	20,025	76	
1995	6,176	10,833	6,828	1	23,838	23,099	18,384	77	
1996	8,747	14,974	3,156	0	26,877	24,559	20,737	77	
1997	7,808	15,679	6,388	0	29,875	26,104	24,225	81	
1998	6,320	14,960	2,463	1	23,744	20,126	20,957	88	
1999	8,395	18,877	3,050	2	30,324	29,440	27,357	90	
2000	8,312	15,243	2,685	1	26,241	24,824	21,078	80	
2001	4,496	14,570	5,528	14	24,608	23,546	20,762	84	
2002	4,214	13,654	3,970	7	21,845	19,660	18,601	85	
2003	7,214	15,507	1,876	3	24,600	24,594	21,882	89	
2004	5,808	6,161	176	7	12,152	11,987	9,419	78	
2005	9,142	18,067	4,725	4	31,938	26,429	26,585	83	
2006	5,409	13,211	2,660	1	21,281	19,583	18,068	85	
2007	7,397	17,008	5,218	6	29,629	27,640	23,808	80	
2008	6,422	22,972	5,345	2	34,741	29,731	29,012	84	
2009	5,538	14,268	4,062	3	23,871	21,648	18,981	80	
2010	6,890	15,462	5,854	4	28,210	24,631	22,248	79	
2011	5,064	17,335	1,136	3	23,538	21,216	20,359	86	
2012	6,768	19,177	2,647	5	28,597	24,821	25,309	89	
2013	7,059	14,928	2,895	1	24,883	21,255	22,264	89	
2014	6,751	20,064	3,322	4	30,141	25,402	25,714	85	
2015	7,315	23,606	2,190	3	33,114	27,314	27,497	83	
2016	6,807	18,842	1,402	2	27,053	23,497	21,504	79	
2017	6,009	10,891	4,173	3	21,076	17,767	12,851	61	
2018	6,784	13,783	4,070	1	24,638	20,346	17,612	71	
2019	6,395	17,634	3,920	1	27,950	21,985	21,889	78	
2020	5,425	16,894	5,754	0	28,073	23,395	23,220	83	
2021	6,442	16,672	4,123	1	27,238	23,072	20,691	76	
2022	2,785	8,737	3,931	1	15,454	13,110	12,548	81	
2023	2,829	8,943	5,443	1	17,216	15,319	13,495	78	