

令和 4（2022）年度マサバ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

水産技術研究所 養殖部門

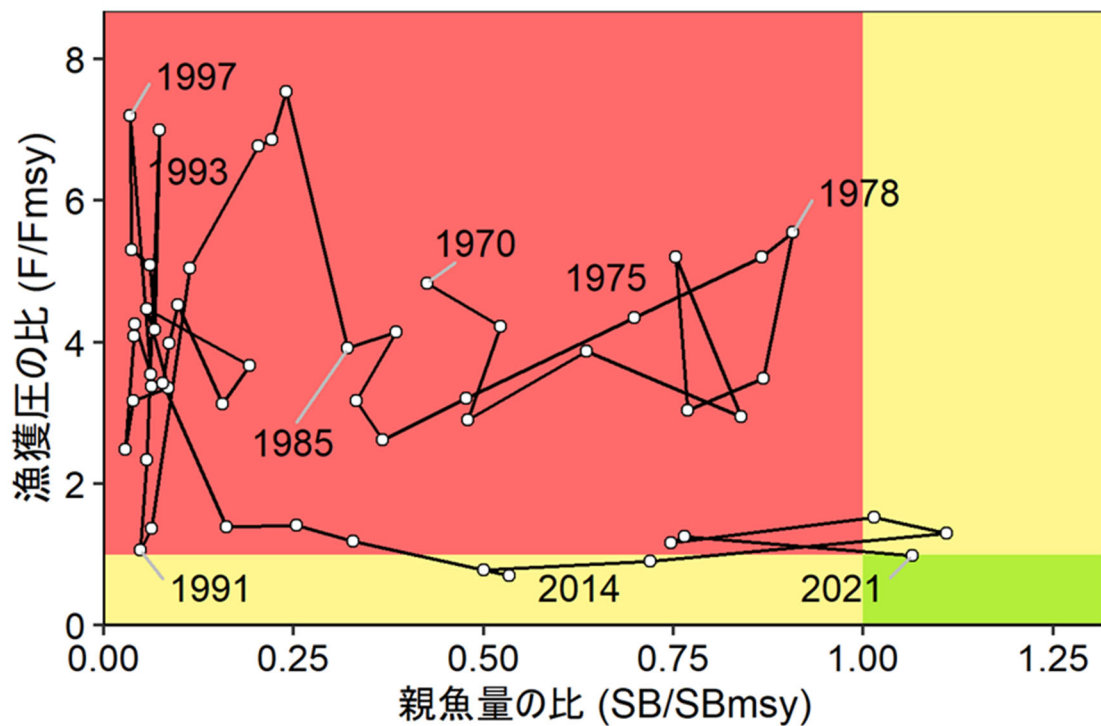
参画機関：北海道立総合研究機構釧路水産試験場・函館水産試験場、地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産海洋研究センター、茨城県水産試験場、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター、静岡県水産・海洋技術研究所、愛知県水産試験場漁業生産研究所、三重県水産研究所、和歌山県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課、高知県水産試験場、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、宮崎県水産試験場、漁業情報サービスセンター、海洋生物環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

要 約

本系群の資源量について、資源量指標値を考慮したコホート解析により推定した。資源量は、1970年代は300万トン以上の高い水準にあったが、1980年代に200万トン以下に、1990年代に100万トン以下にさらに減少し、2001年漁期には15.3万トンまで落ち込んだ。2004年漁期の高い加入量によって資源量は70万トンを超え、その後も比較的高い加入量と漁獲圧の低下によって、2000年代初めの最低水準を脱して増加し、2013年漁期の極めて高い加入量によって、2013年漁期は503万トンに急増した。その後も比較的高い加入量が継続したため、資源量は高い値で横ばい傾向を示し、2021年漁期は488万トンと推定された。親魚量は、1990年代後半から2000年代初めまで10万トンを下回る極めて低い水準で推移したが、2013年漁期の極めて高い加入量により2016年漁期以降に急激に増加し、2021年漁期は164万トンと推定された。漁獲圧（年齢別漁獲係数の平均）は、2000年漁期以降では2009、2010年漁期に高い値を示したが、2011年漁期以降は低い値を示している。

令和2年2月に開催された「資源管理方針に関する検討会」および令和2年5月に開催された「水産政策審議会」を経て、本系群の目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準、および漁獲管理規則が定められた。目標管理基準値は最大持続生産量MSYを実現する親魚量（154.5万トン）であり、本系群の2021年漁期の親魚量はこれをわずかに上回る。また、本系群の2021年漁期の漁獲圧は、MSYを実現する水準の漁獲圧（ F_{msy} ）をわずかに下回る。親魚量の動向は近年5年間（2017～2021年漁期）の推移から「横ばい」と判断される。2023年漁期の親魚量および資源量の予測値と、漁獲管理規則に基づき算出された2023年漁期のABCは50.0万トンである。

要 約 図 表



MSY、親魚量の水準と動向、および ABC	
MSY を実現する水準の親魚量	154.5 万トン
2021 年漁期の親魚量の水準	MSY を実現する水準を上回る
2021 年漁期の漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る
2021 年漁期の親魚量の動向	横ばい
最大持続生産量(MSY)	37.2 万トン
2023 年漁期の ABC	50.0 万トン
コメント: ・ABC の算定には、令和 2 年 2 月に開催された「資源管理方針に関する検討会」で取り纏められ、「水産政策審議会」を経て定められた漁獲シナリオでの漁獲管理規則を用いた。 ・調整計数 β は、0.9 が用いられる。 ・ABC は外国船による漁獲も合わせた値。	

近年の資源量、漁獲量、漁獲圧、および漁獲割合					
漁期年	資源量 (万トン)	親魚量 (万トン)	漁獲量 (万トン)	F/F _{msy}	漁獲割合 (%)
2017	478.4	171.4	53.9	1.30	11.3
2018	517.8	156.7	52.9	1.53	10.2
2019	490.8	115.3	41.7	1.16	8.5
2020	444.8	118.2	44.2	1.25	9.9
2021	487.6	164.4	37.9	0.98	7.8
2022	506.9	186.1	48.5	0.94	9.6
2023	501.4	159.8	50.0	0.90	10.0
・2022 年漁期、2023 年の値漁期は将来予測に基づく平均値である。 ・2023 年の漁獲には ABC の値を用いた。 ・2022 年に仮定した漁獲係数 F は、令和元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の下で、2019～2021 年の年齢別の平均 F と同じ漁獲圧を与える F を %SPR 換算して算出した。					

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・漁期年別 漁獲尾数	主要港水揚量(北海道～宮崎(17)道県、JAFIC、北部まき網組合) 月別体長組成(水研、北海道～宮崎(17)道県、JAFIC):市場測定 月別体長・体重・年齢・成熟データ(水研、北海道～宮崎(17)道県、JAFIC):市場測定、漁獲試験 月別漁業種別マサバ・ゴマサバ混獲比率(水研、北海道～宮崎(17)道県):水揚げ情報、標本港混獲率、市場測定標本混獲率、漁獲試験 NPFC 漁獲統計
資源量指数 ・加入量指標値	冬春季常磐海域まき網漁況に基づく未成魚越冬群指数(茨城県) 道東～三陸海域流し網調査 CPUE(北海道):流し網 移行域幼稚魚調査(5、6月、水研):中層トロール 北西太平洋北上期浮魚類資源調査(5～7月、水研):中層トロール* 三陸道東沖加入量把握調査(7月、水研):中層トロール* 北西太平洋秋季浮魚類資源調査(9、10月、水研):中層トロール*
・親魚量指標値	伊豆諸島海域たもすくい漁業 CPUE(神奈川県、静岡県)*
・産卵量	卵稚仔調査(水研、青森～宮崎(18)都府県):ノルパックネット*
自然死亡係数 (M)	年当たり 0.4 を仮定(Mと寿命の統計的関係(田中 1960)による)

*はコホート解析におけるチューニング指数である。各調査の概要は補足資料 5 を参照。

2. 生態

(1) 分布・回遊

マサバ太平洋系群は、我が国太平洋南部沿岸から千島列島沖合に分布する(図 2-1)。資源高水準期には、ロシア漁船の操業や調査船調査結果などから、幼魚、成魚とも東経 170 度を超えて分布したと考えられている。1990～2000 年代の低水準の資源では、稚魚は黒潮続流による移送によって東経 170 度付近まで分布するが(西田ほか 2001)、成魚は索餌回遊範囲が縮小して、加入量水準の高い年級群以外は東経 150 度以東ではほとんど見られない。最近では資源の増加に伴って成魚の索餌回遊範囲が北東へ拡大しており、2018 年以降の夏秋季の成魚の分布は、調査船調査結果から千島列島東方沖の北緯 47 度、東経 166 度付近まで達している。

成魚は主に春季(3～6 月)に伊豆諸島海域などで産卵したのち北上し、夏～秋季には三陸～北海道沖へ索餌回遊する(目黒ほか 2002、図 2-1)。稚魚は春季に本邦太平洋南岸から黒潮続流域、黒潮－親潮移行域に広く分布し、黒潮続流域～移行域のものは夏季には千島列島沖の亜寒帯域に北上し、秋冬季には未成魚となって北海道～三陸海域の沿岸あるいは沖合を南下し、主に房総～常磐海域、一部は三陸海域で越冬する(川崎 1968、飯塚 1974、西田ほか 2001、川端ほか 2006)。未成魚と成魚の一部は紀伊水道や豊後水道および瀬戸内海へ回遊する。主産卵場である伊豆諸島海域には明らかに黒潮上流に由来する稚魚が出現する

こと(小泉 1992)、産卵場は本邦太平洋南岸から東北海域まで連続していること(黒田 1992)などから、我が国太平洋側に分布するマサバは同一系群と考えられる。

(2) 年齢・成長

マサバの成長は、加入量水準および海洋環境の影響を受けて変化することが知られている(Watanabe and Yatsu 2004)。成長に雌雄差は見られない。寿命は、漁獲物の年齢構成からみて7、8歳程度と推定され、最大11歳の記録がある(飯塚 2002)。2020年漁期漁獲物の年齢別平均体長(尾叉長)、平均体重を、成長の遅れが見られていなかった2011～2014年漁期のそれぞれの平均値と併せて図2-2に示す。2021年漁期の年齢別平均体重は、2011～2014年漁期の平均値と比べて著しく低く、図2-2に併せて示した1970年代の資源高水準期と比較しても低い値を示している。近年見られている年齢別平均体重の低下は、マサバ・マイワシの資源量の増加に伴う種内・種間密度の増加による餌料競合が主要因と考えられる(Kamimura et al. 2021)。

(3) 成熟・産卵

1尾の雌は産卵期間に数回の産卵を行い、1回の産卵数は5万～9万粒である(加藤・渡邊 2002)。年齢別成熟割合は成長の変化の影響を強く受けて変化することが知られている(Watanabe and Yatsu 2006)。産卵場は伊豆諸島海域を中心に、紀南、室戸岬、足摺崎周辺など本邦太平洋南岸沿岸各地に形成され、東北海域でも産卵がみられる。産卵期は1～6月である。主産卵場である伊豆諸島海域における産卵盛期は3、4月であるが、2000年代は産卵期が遅い傾向にある若齢親魚の割合が高いために、5、6月の産卵も相対的に高くなっていた(渡邊 2010)。近年は産卵量の分布から、3、4月が産卵盛期とみられる。年代別の年齢別成熟割合は図2-3の通り。2013年級群の漁獲加入以降、成長の遅れに伴い成熟開始年齢の高齢化が見られている(Isu et al. in prep.)。このため、2015年漁期以降の年齢別成熟割合を2020年度評価において変更し、今年度評価においても同じ年齢別成熟割合を用いた(図2-3、補足表2-3)。

(4) 被捕食関係

仔魚期にはカイアシ類の卵とノープリウス、稚魚期には小型カイアシ類、夜光虫、尾虫類、サルパなどの小型動物プランクトンを捕食する(加藤・渡邊 2002)。幼魚と成魚の食性は海域や生活年周期により異なるが、甲殻類(オキアミ類、カイアシ類など)、魚類(カタクチイワシ、ハダカイワシ類など)、サルパ類が中心である。三陸海域ではツノナシオキアミ、カタクチイワシが主要な餌生物である。

資源水準が高かった1980年代までは、ネズミザメ、ヨシキリザメ、シマガツオ、ビンナガ、およびカツオなどの大型魚類(川崎 1965、長沢 1999)やミンククジラによる被食が見られた(Kasamatsu and Tanaka 1992)。資源が低水準となった1990年代ではミンククジラによる被食は確認されなかったが(Tamura et al. 1998)、2000～2015年の北西太平洋におけるヒゲクジラ類の餌生物調査によると、2012年以降は胃内容物におけるカタクチイワシの出現が減少する一方、さば類及びマイワシの出現が増加しており、特にイワシクジラでは主要餌が2000年代前半のカタクチイワシから2000年代後半にはさば類及びマイワシへと

切り替わり (Tamura et al. 2016)、2010 年以降もさば類が主要な餌の一つとなっている (Konishi et al. 2016)。北西太平洋におけるさば類の分布量がヒゲクジラ類の捕食対象となるまで増加したと考えられる。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

主要漁業は、まき網、定置網、たもすくいおよび棒受網である。大中型まき網は、主に常磐～三陸北部海域で 9 月～翌年 2 月を中心にほぼ周年操業する。資源水準が高かった 1980 年代以前に主要漁場となっていた道東海域では、資源の減少した 1990～2000 年代は漁場がほとんど形成されなかったが、2012 年以降は漁場が形成されている。中型まき網は千葉県以西の太平洋沿岸各地で周年操業する。定置網は、太平洋沿岸各地で行われ、三陸沿岸での漁獲が多い。たもすくいおよび棒受網(火光利用さば漁業)は、伊豆諸島海域を主漁場とし、1～6 月に越冬、産卵で集群する親魚群(2 歳以上)を主な対象とする。その他、各地で釣りなどでも漁獲される。近年では、中国やロシアの漁船によっても漁獲されている。

(2) 漁獲量の推移

本評価は 7 月～翌年 6 月の漁期年単位で行い、漁獲量等は漁期年で集計した値、資源量等は漁期年当初(7 月)の値を用いる。漁獲統計では多くの場合、マサバはゴマサバと合わせてさば類として集計されることから、以下の方法でマサバの漁獲量を推定した。生物情報収集調査により得られた北海道～宮崎県太平洋側(東京都および徳島県、愛媛県、大分県の瀬戸内海側を除く)の標本港におけるサバ類の漁獲量を道県別・月別・漁業種別に集計した。漁業種の内訳はほとんどの道県でまき網、定置網、その他(底曳網・たもすくい・棒受網・釣りなど)である。混獲率(サバ類のマサバとゴマサバの割合)については、道県別・月別・漁業種別に収集した。マサバとゴマサバの魚種別漁獲量が得られる標本港・漁業種についてはその値をそのまま使用し、それ以外の標本港・漁業種については抽出標本から混獲率を月別・漁業種別に推定した。混獲率が欠測した道県・月・漁業種については、担当者の判断で尤もらしいデータ(他漁業種、前後の月、隣県など)を参照した。以上の手法により道県別・月別・漁業種別に得られたサバ類の漁獲量と混獲率から、マサバの漁獲量を推定した。

本系群の我が国の漁獲は、1951 年に津軽・八戸沖漁場が釣りにより開発され、1954 年に本格化した(宮沢 1994)。その後 1958 年に伊豆諸島海域の銭洲漁場などが開発され、1975 年には同海域でたもすくい漁業が開始された。1964 年にまき網漁業が参入したことによって漁獲量は急激に増加し、1964 年漁期の 22.7 万トンから 1978 年漁期には 120.7 万トンに達した(図 3-1、表 3-1)。1979 年漁期以降、漁獲量は減少し、1990、1991 年漁期は 3 万トン程度まで落ち込んだ。1992～2003 年漁期は 4.7 万～39.8 万トンで変動が大きかったが、2004～2008 年漁期は、2004 年漁期の高い加入量によって 17.6 万～24.5 万トンと比較的安定して推移した。その後、2009～2012 年漁期は漁獲努力量の低下やゴマサバの混獲割合の上昇、漁場形成の変化などによって 10.2 万～13.0 万トンとやや減少したが、2013 年漁期の高い加入量によって 2014 年漁期は 28.2 万トンに増加し、2015～2018 年漁期は 30.1 万～33.2 万トンで推移した。2019 年漁期以降は減少し、2021 年漁期は 18.6 万トンであった。ロシアは 1966～1988 年にかけて本系群を漁獲し、1972～1979 年漁期のピーク時の漁獲量は 12.3 万～

24.0 万トンであった（図 3-1、表 3-1）。近年、中国およびロシアが北西太平洋公海域およびロシア 200 海里水域内でさば類を漁獲しており、北太平洋漁業委員会（NPFC）に 2014 年以降の漁獲量の報告がある（水産庁水産政策審議会第 82 回資源管理分科会配付資料（2017 年 4 月）：<http://www.jfa.maff.go.jp/j/council/seisaku/kanri/attach/pdf/170406-8.pdf>、および NPFC 漁獲統計：<https://www.npfc.int/summary-footprint-chub-mackerel-fisheries>）。この漁獲量にはマサバとゴマサバが含まれているため、それぞれの比率は、北部太平洋まき網漁業のそれぞれの年の 7～12 月の漁獲物のマサバとゴマサバの比率に等しいと仮定し、中国およびロシアのマサバの漁獲量を推定した（図 3-1、表 3-1）。その結果、マサバの割合は 2014 年が 79.0%、2015 年が 90.8%、2016 年が 98.5%、2017 年が 98.9%、2018 年が 99.5%、2019 年が 99.2%、2020 年が 93.9%、2021 年が 98.6%と推定された。なお、NPFC への報告は暦年集計であるが、漁船の動向から主漁期は 7 月～10 月と考えられるため（補足資料 6）、暦年の値をそのまま漁期年としても問題ないと判断した。

年齢別漁獲尾数は以下のように推定した。北海道～宮崎県太平洋側における主要港における体長測定データを道県別・月別・漁業種別に集計し、道県別・年別に集計した精密測定データから求めた体長・体重関係を用いて、道県別・月別・漁業種別漁獲量に一致するように引き延ばした。体長測定データが欠測した道県・月・漁業種については、担当者の判断で尤もらしいデータ（他漁業種、前後の月、隣県など）を参照した。一方で、年齢査定結果を静岡県以北と愛知県以西の 2 海域に分けて、4 半期別に集計して Age-Length-Key を作成し、先に求めた道県別・月別・漁業種別体長組成データに充てて年齢別漁獲尾数を求めた。年齢査定結果が欠測した海域・4 半期については、近年の平均的な値を充てた。以上の手法により推定した漁獲物の年齢組成を図 3-2 に示す。資源量が極めて低い水準となった 1990～2004 年漁期は未成魚（0・1 歳魚）が漁獲の主体であり、漁獲物に占める 2 歳以上の割合は低かったが、加入量が高い 2004 年級群の漁獲加入後は 2 歳以上の割合も高くなっている（図 3-2、補足表 2-1）。3-（3）の通り、2004 年漁期以降、若齢魚への漁獲圧が低下して加入後の生残が良くなっているためと考えられる。極めて高い加入量である 2013 年級群の漁獲加入により、2014～2019 年漁期は 2013 年級群が占める割合が高くなっていた。2021 年漁期は 3 歳魚（2018 年級群）の割合が最も高かった。

（3）漁獲努力量

主要漁業である北部太平洋まき網漁業（北部まき網）の有効努力量は、加入量の高い年級群が主対象となると増加する特徴がみられ、1992 年漁期以降、1992、1996 年漁期の高い加入量による増加とその後の減少を繰り返しつつ減少傾向となり、2004 年漁期の高い加入量により再び増加したが、その後は減少傾向となった（図 3-3）。2003 年から開始された資源回復計画に基づく操業管理により、2004 年級群加入時の漁獲圧の増加は一定程度、抑えられたと推定されている（Ichinokawa et al. 2015、市野川ほか 2016）。この操業管理は現在も継続して実施されており、それにより 2000 年代後半以降も引き続き、1990 年代のような漁獲圧の過度な増大が抑えられていると考えられる。さらに、2011 年 3 月の東日本大震災の影響による常磐海域における操業自粛海域の設定や水揚げ港の受け入れ処理能力および関係産業の需要量の低下、また、経営の改善などを目的とした船団構成への変更や、従来の安価でも大量漁獲から良価で適量漁獲へという漁業者の意識の変化も、漁獲努力量の過度な増加

の抑制に貢献していると考えられる。東日本大震災の影響が緩和された 2012～2015 年漁期の有効努力量はやや高い値を示したが、2016～2019 年漁期以降は低い値を示した。2020 年漁期以降の有効漁獲努力量の値は再び増加した。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

1970～2021 年漁期の年齢別資源量を、7 月～翌年 6 月を漁期とし、Pope (1972) の近似式を用いたチューニング VPA (コホート解析) により推定した (表 4-1、補足資料 1、2、4)。自然死亡係数 (M) は年当たり 0.4 とした (本間ほか 1987)。チューニング指数として親魚量、加入量および 1 歳魚資源尾数の変化を反映すると考えられる 5 系列の指標値を用い、最近年 (2021 年漁期) の漁獲係数 (ターミナル F) を探索的に求めた (補足表 2-2)。

(2) 資源量指標値の推移

太平洋側のサバ属産卵量 (海区 I～III) は、1960 年代と 1970 年代中期にピークがみられ 1 千兆粒に達し、1980 年代後半以降は低い水準で推移していたが、最近では親魚量の増加に伴い増加している (図 4-1、卵稚仔データベース、Oozeki et al. 2007)。2005 年よりゴマサバと区別して推定されるようになったマサバ産卵量は、2005 年の 39 兆粒から 2007 年には 322 兆粒と大きく増加した。その後は増減を繰り返していたが、2017 年は 347 兆粒に増加し、2018 年は 583 兆粒、2019 年は 553 兆粒と、1970 年代に見られた水準にまで増加した。2020 年以降は減少傾向を示し、2022 年 1～6 月は 294 兆粒であった。これまで親魚量を指標するチューニング指数の 1 つとして産卵量 (海区 I～IV) を使用してきたが、近年、マサバの産卵場の時空間的分布が変化してきていることから、昨年度の資源計算より標準化産卵量を使用している (補足表 2-2、補足資料 4)。図 4-2 に示す各種調査から得られる加入量の指標値は、2004、2007、2009、2013、2016、2018 年に高い値がみられるなど加入量水準を反映しており、2018 年は多くの指標値で最も高い値を示した。図 4-3 に示す主要漁業である北部まき網の CPUE と資源量指数は、資源動向を反映し、1992、1996 年漁期といった卓越年級群が発生した年とその翌年に高くなっていた。その後、加入量が高い 2004 年級群が漁獲加入した 2005 年漁期以降、CPUE は高い水準を維持し、加入量が極めて高い 2013 年級群が漁獲加入した 2013 年漁期以降はさらに増加傾向を示し、2017 年漁期はかなり高い値となった。2018 年漁期、2019 年漁期の CPUE は高い水準を維持したが、2020・2021 年漁期の値は減少しており、2020 年漁期以降の北部まき網の不漁を反映している。

(3) 資源量と漁獲圧の推移

資源量は 1970～1979 年漁期は 300 万～500 万トン程度の高い水準にあったが、1979、1980 年漁期の低い再生産成功率 (RPS) による加入量の減少と高い漁獲圧によって 1980 年漁期に 193 万トンに減少した (図 4-4、4-6、表 4-1、補足表 2-1)。1981～1986 年漁期は 145 万～182 万トンとおおむね横ばいで推移したが、1987 年漁期以降、低い RPS による加入量の減少と高い漁獲圧によってさらに減少し、1990 年漁期には 21.5 万トンとなった。1992、1996 年漁期の高い加入量による資源量の増加と、高い漁獲圧による減少を繰り返し、2001 年漁期に過去最低の 15.3 万トンに落ち込んだ。2004 年漁期以降は 2004 年漁期の高い加入量と

漁獲圧の低下により 2000 年代初めの最低水準を脱して増加し、2013 年漁期の極めて高い加入量によってさらに急増し、2013 年漁期は 503 万トンとなった。その後も比較的高い加入量が継続したため資源量は横ばい傾向を示し、2021 年漁期は 488 万トンと推定された。

親魚量は 1970～1980 年漁期は 66 万～140 万トンと高い水準であったが、1979～1980 年漁期の加入量の減少と高い漁獲圧によって 1981 年漁期に 74 万トン、1982 年漁期に 57 万トンに減少した（図 4-5、4-6、表 4-1、補足表 2-1）。1985 年漁期までは 45 万トン以上で推移したが、1986 年漁期以降、加入量の減少と高い漁獲圧によって減少し、1990 年漁期に 9.7 万トンまで落ち込んだ。その後、おおむね 10 万トン以下の著しく低い水準で推移し、2002 年漁期には過去最低の 4.4 万トンとなった。2004 年漁期の高い加入量のため 2006 年漁期に 30 万トンに増加し、その後は 2010 年漁期にかけて減少したものの、2013 年漁期の極めて高い加入量により 2017 年漁期に 171 万トンに増加し、2021 年漁期は 164 万トンと推定された。2013 年漁期以降は、ふ化仔魚の生残率を高める一因となる 4 歳以上の経産高齢親魚（米田ほか 2013）の量も増加している（図 4-5）。

親魚量が 45 万トン以上であった 1970～1985 年漁期および 2013～2021 年漁期では、RPS は比較的安定しており、加入量は年変動があるもののほぼ 30 億尾以上の高い水準であった（図 4-5、4-6、表 4-1）。親魚量が 45 万トンを下回った 1986～2014 年漁期では、RPS が著しく低い年（1987～1989、1998、2006 年漁期）が見られる一方で、著しく高い年（1992、1996、2004、2013 年漁期）も見られるなど、年々の変動幅が大きく、かつ親魚量が少ないために加入量の水準が大きく低下していた。このような低水準の加入を避け、再生産に好適な環境の年により良好な加入が得られるように、親魚量を十分増大させることが資源回復を図る上で重要である。

自然死亡係数 M に対する感度解析として、本評価での設定値（0.4）に対して 0.3 と 0.5 にして直近（2021）年漁期の資源量、親魚量、加入量を推定した（図 4-7）。資源量はそれぞれ 85%および 126%、親魚量は 97%および 107%、加入量は 68%および 155%となり、 M の値が大きくなると、いずれの値も大きくなった。

全年齢平均 F （年齢別 F の単純平均）は 0.11～1.34 の範囲で大きく変化していたが、2011 年漁期以降は低い値を示している（図 4-8、補足表 2-1）。若齢魚（0～2 歳魚）の F は 1992、1996 年級群が漁獲主対象となった年に特に高かったが、2010 年漁期以降は低くなっている。

漁獲割合は 1986、1988 および 1989 年漁期に 40%以上と高く、資源量を大きく減少させた（図 4-9、表 4-1、補足表 2-1）。その後、1993 年漁期に 56%と極めて高くなり、2001 年漁期までは 33～51%の高い水準で推移し、2001 年漁期の過去最低の資源量をもたらした。2002～2010 年漁期までは 17～36%と比較的低い水準で推移し、2011 年 3 月の震災の影響の見られた 2011 年漁期以降は 4～11%と低い水準で推移している。

平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（西嶋ほか 2019）、2019 年度評価（由上ほか 2020）、2020 年度評価（由上ほか 2021）および 2021 年度評価（由上ほか 2022）における各種推定値との比較を補足資料 7 にまとめた。

（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 4-10 に年ごとに漁獲が無かったと仮定した場合の SPR に対する、漁獲があった場合の SPR の割合 (%SPR) の推移を示す。%SPR は漁獲圧が低いほど大きい値をとる。%SPR の値は 1993～1997 年漁期に極めて小さな値を示し、この期間に未成魚への漁獲圧が高かった様子が見てとれる。2011 年漁期以降は 40～60% の比較的高い値で推移しており、未成魚への漁獲圧は高くないと判断される。

現状の漁獲圧に対する YPR と %SPR の関係を図 4-11 に示す。このとき、F の選択率としては、平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」にて提案された MSY を実現する F (Fmsy) の推定に用いた値を用いた。Fmsy は %SPR に換算すると 54% に相当する。現状の漁獲圧 (F2019-2021) は Fmsy と同程度で、F0.1 および F30%SPR を下回っている。

(5) 再生産関係

親魚量 (重量) と加入量 (尾数) の関係 (再生産関係) を図 4-12 に示す。上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」により、本系群の再生産関係式にはホッカー・スティック型再生産関係を用いることが提案されている (西嶋ほか 2019)。再生産関係式のパラメータ推定に使用するデータは、平成 30 (2018) 年度の資源評価に基づく親魚量・加入量とし、最適化方法には最小二乗法を用いている。加入量の残差の自己相関を考慮している。再生産関係式の各パラメータを補足表 3-1 に示す。

(6) 現在の環境下において MSY を実現する水準および管理基準値等

上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」(西嶋ほか 2019) で推定された現在 (1970 年漁期以降) 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 MSY を実現する F (Fmsy) を補足表 3-2 に示す。令和 2 年 2 月に開催された「資源管理方針に関する検討会」および令和 2 年 5 月に開催された「水産政策審議会」を経て、この MSY (37.2 万トン) を実現する親魚量 (SBmsy : 154.5 万トン) を目標管理基準値とする資源管理目標が定められた。また、MSY の 60% の漁獲量が得られる親魚量 (56.2 万トン) が限界管理基準値、MSY の 10% の漁獲量が得られる親魚量が禁漁水準 (6.7 万トン) とされた (補足表 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を図 4-13 に示す。平均親魚量が増加するにつれて高齢魚の比率が高くなる傾向がみられる。

(7) 資源の水準・動向および漁獲圧の水準

MSY を実現する親魚量と漁獲圧を基準にした神戸プロットを図 4-14 に示す。また、2021 年の親魚量と漁獲圧、それらの値と管理基準値との比較結果を補足表 3-3 に示す。本系群における 2021 年漁期の親魚量 (164 万トン) は MSY を実現する親魚量 (SBmsy すなわち目標管理基準値) をわずかに上回り、MSY の 60% の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy すなわち限界管理基準値) を上回る。2021 年漁期の親魚量は SBmsy の 1.06 倍である。また、2021 年漁期の漁獲圧は MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) をわずかに下回っており、2021 年漁期の漁獲圧は Fmsy の 0.98 倍である。なお、神戸プロットに示した漁獲圧の比 (F/Fmsy) とは、各年の F の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して求めた値と、各

年の F 値との比である。親魚量の動向は、近年 5 年間（2017～2021 年漁期）の推移から横ばいと判断される。本系群の親魚量は 2017、2018 年漁期を除くすべての期間において SBmsy を下回っていたが、2021 年漁期の親魚量は SBmsy をわずかに上回っていると判断される。また、漁獲圧は 1970～2010 年漁期まで MSY を与える水準（Fmsy）を上回って推移していたが、それ以降は Fmsy に近い値で推移し、2014～2016 年漁期は Fmsy をわずかに下回っていた。その後の漁獲圧はやや高くなり、2017～2020 年漁期は Fmsy を上回っていたが、2021 年漁期の漁獲圧は減少し、Fmsy をわずかに下回っている。

5. 将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した 2021 年漁期の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2022～2051 年漁期までの将来予測計算を行った（補足資料 2）。将来予測における加入量は、各年漁期の親魚量から予測される値を再生産関係式から与えた。加入量の不確実性として、対数正規分布に従う誤差を仮定し、10,000 回の繰り返し計算を行った。2022 年漁期の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2019-2021）から仮定した。2023 年漁期以降の漁獲圧には、(2) の漁獲管理規則を適用した。

(2) 漁獲管理規則

資源管理基本方針で定められた本系群の漁獲シナリオに則った漁獲管理規則を図 5-1 に示す。この漁獲管理規則は、親魚量が限界管理基準値以上にある場合には Fmsy に調整係数 β を乗じた漁獲圧とし、限界管理基準値を下回った場合には禁漁水準まで直線的に漁獲圧を削減する規則である。本系群の調整係数 β は 0.9 が用いられる。

(3) 2023 年漁期の予測値と ABC の算定

本系群の漁獲管理規則から算定される予測漁獲量である 50.0 万トンと ABC として提示する。2023 年漁期に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも目標管理基準値を上回り、平均 159.8 万トンと見込まれた。

(4) 2024 年漁期以降の予測

2024 年漁期以降も含めた将来予測の結果を図 5-2 および表 5-1、5-2 に示す。漁獲管理規則に基づく管理を継続した場合、2030 年漁期の親魚量の予測値は 194.6 万トン（90%予測区間は 73.6 万～410.6 万トン）であり、予測値が目標管理基準値を上回る確率は 55%、限界管理基準値を上回る確率は 99%である（補足表 3-5）。

参考情報として、異なる β を使用した場合、および現状の漁獲圧（F2019-2021）を継続した場合の将来予測結果についても示す。2030 年漁期の親魚量の予測値は、 β を 1.0 とした場合は平均 185.0 万トン（90%予測区間は 68.6 万～393.5 万トン）であり、目標管理基準値を上回る確率は 51%、限界管理基準値を上回る確率は 98%である。 β を 0.8 とした場合は平均 205.1 万トン（90%予測区間は 79.5 万～429.4 万トン）であり、目標管理基準値を上回る確率は 59%、限界管理基準値を上回る確率は 99%である。一方、現状の漁獲圧を継続した場合の親魚量の予測値は 191.1 万トン（90%予測区間は 71.8 万～404.1 万トン）であり目標管

理基準値を上回る確率は 53%、限界管理基準値を上回る確率は 99%である。

2021 年漁期の親魚量が目標管理基準値を上回っており、漁獲管理規則に基づく管理を継続した場合、中長期的にも親魚量は目標管理基準値を下回らないことから、50%以上の確率で親魚量が目標管理基準値を上回るのは 2021 年漁期となる（補足表 3-5）。

6. 資源評価のまとめ

本系群の資源量は、1970 年代は 300 万トン以上の高い水準にあったが、1980 年代に 200 万トン以下に、1990 年代に 100 万トン以下にさらに減少し、2001 年漁期には 15.3 万トンまで落ち込んだ。2004 年漁期の高い加入量によって資源量は 70 万トンを超え、その後も比較的高い加入量と漁獲圧の低下によって、2000 年代初めの最低水準を脱して増加し、2013 年漁期の極めて高い加入量によって、2013 年漁期は 503 万トンとなった。その後も比較的高い加入量が継続したため資源量は横ばい傾向を示し、2021 年漁期は 488 万トンと推定された。親魚量は、2000 年代初めまでの 10 万トンを下回る最低水準を脱して、2013 年漁期の極めて高い加入量により 2016 年漁期以降に急激に増加し、2021 年漁期は 164 万トンと推定された。

1970 年漁期以降、2017、2018 年漁期を除くすべての期間において親魚量は MSY を実現する水準（SBmsy）を下回っていたが、2021 年漁期の親魚量は SBmsy をわずかに上回っている。また、漁獲圧は 1970 年漁期以降では 2014～2016 年漁期を除いて MSY を与える水準（Fmsy）を上回っていたが、2021 年漁期の漁獲圧は Fmsy をわずかに下回っている。親魚量の動向は近年 5 年間（2017～2021 年漁期）の推移から「横ばい」と判断される。

7. その他

北太平洋漁業委員会（NPFC）に中国およびロシアから北西太平洋公海域およびロシア 200 海里水域におけるさば類漁獲量が報告されたことをうけて、これらの漁獲量を考慮した資源評価を行ったが、中国およびロシアの漁獲物の内容について十分な情報が得られていないため、様々な仮定を置いた上での資源評価となっている。資源評価の精度向上のために、漁獲量の値のみならず年齢組成等の情報が必要であり、これらについても報告されるように働きかける必要がある。

また、NPFC のマサバ資源評価技術作業部会において本系群の国際的な資源評価が進められている。現在、シミュレーションを用いて、参加国が候補として提案する様々な資源評価モデルの推定性能を評価し、比較している段階である（Technical Working Group on Chub Mackerel Stock Assessment 2022）。日本からはチューニング VPA のほか、状態空間資源評価モデル（SAM）を候補モデルとして提案している。補足資料 8 に SAM による試算結果を示す。

一方、北西太平洋における外国漁船による漁獲努力量を調査することを目的に、平成 26 年度から人工衛星夜間可視データを用いて外国漁船の動向を把握する取り組みを開始している（補足資料 5）。この人工衛星夜間可視データ等から IUU を含めた外国漁船の漁獲量を推定する報告もあるが（Oozeki et al. 2018）、資源計算に取り入れるには精度の高い漁獲量の値が必要であるため、現時点では IUU の漁獲量は考慮していない。引き続きこれらの漁獲量の情報収集に取り組む必要がある。

Kawai et al. (2002) は、1970 年代の高水準期には未成魚への漁獲圧は低く、同じような漁獲をしていれば 1990 年代に資源は回復したと論じた。平成 17 年度までの本報告書において、1993 年以降、若齢魚 (0、1 歳魚) の F が顕著に高くなったため (図 4-8)、未成魚段階での多獲は不合理であることを指摘し、生物学的にみた本系群の最適な漁獲開始年齢を検討し、全個体が成熟を開始する 3.5 歳が最適であるとの結論を得ている。渡邊ほか (2012) は、本系群の資源動態モデルを構築して漁期・漁場別の漁獲方策による資源管理効果を検討し、越冬場周辺における若齢魚の漁獲規制の効果が高いことを指摘している。近年は若齢魚への F が低くなっている (図 4-8)。資源の持続的利用のために、引き続き若齢魚に対する F の低減が望ましい。

最近の複数の研究によって、加入量の多寡は主に卵～稚仔魚期の生残率によって決まることがわかってきており、産卵親魚の状態 (産卵経験、栄養状態、産卵前経験水温) による卵質の違いによる生残率の違い (米田ほか 2010、2013) や、稚仔魚期の経験環境による成長率の違いとそれによる生残率の違い (高橋ほか 2010、米田ほか 2013) が大きく影響していると考えられている。北上期幼魚の成長率と加入量とに高い相関がみられ、加入量の多い年は産卵盛期である 4 月ふ化個体の割合が高く、少ない年は低いという特性が見られ、主に 4 月ふ化個体の生残率によって加入量が決定すると考えられる (Kamimura et al. 2015)。4 月の産卵は後述のように 5～6 月に比べて親魚の組成や経験水温からみて良質卵となり、摂餌開始期がブルーミング時期と一致するなど仔稚魚の生残に有利であるが、その一方で、初期生残率に大きく影響するふ化後の経験環境の年変化は大きく、経験水温が産卵場水温と同様の 18℃程度では成長率が低くなって変態が遅れ生残率は低くなり、速やかに黒潮付近の 20℃程度の水温で移送されると成長率が高くなり、加入量も高くなることが示唆されている (高橋ほか 2010、Takahashi et al. 2012、米田ほか 2013)。今後、このような環境と生物の特性とそれらの関係の統合的な解析によって、精度の高い加入量の見積もりが可能となることが期待される。

また、産卵経験のある (複数回目の産卵期の) 親魚 (経産魚) の産む卵の方が、初回産卵 (初めての産卵期) のものよりも卵質が良く、ふ化仔魚の生残率が高いことが飼育実験の結果などからわかってきた (米田ほか 2013)。加えて、高齢経産魚の方が産卵場への南下回遊が早く (渡邊 2010)、産卵期には成熟 (産卵準備) が早く進み、早期 (3～4 月) に産卵する傾向が強い。4 月は高水準期の本系群が集中的に産卵する時期であり (渡邊 2010)、人為的影響の無い状態での系群本来の産卵盛期と言え、餌生物が多くなるブルーミング時期と一致し、カツオなどの暖水性捕食者の来遊もまだ少ない時期であることから稚仔魚の生育に適していると考えられる。高齢経産魚による好適期の良質の産卵は、年々の加入の環境変化への耐性を高める効果を持つと考えられ、加入量の増加と一定水準以上の維持を図るためには、この産卵を増加、維持させることが重要である。そのためには親魚の年齢 (未産・経産魚) 構成を考慮した資源評価、管理を行い、産卵経験のある高齢親魚量を確保する必要がある。

8. 引用文献

本間 操・佐藤祐二・宇佐美修造 (1987) コホート解析によるマサバ太平洋系群の資源量推定. 東海水研報, 121, 1-11.

- Ichinokawa, M., H. Okamura, C. Watanabe, A. Kawabata and Y. Oozeki (2015) Effective time closures: Quantifying the conservation benefits of input control for the Pacific chub mackerel fishery. *Ecol. Appl.*, **25**, 1566-1584.
- 市野川桃子・岡村 寛 (2016) 一般化状態空間モデルで漁業動態を記述する—マサバ努力量管理効果の定量評価. *統計数理*, **64**, 59-75.
- 飯塚景記 (1974) 東北海区におけるマサバ未成魚の生態—III. 八戸沖で越冬すると推定される魚群について. *東北水研研報*, **33**, 37-49.
- 飯塚景記 (2002) 1960～70年代におけるマサバ資源と漁場. *月刊海洋*, **34**, 273-279.
- Kamimura, Y., M. Taga, R. Yukami, C. Watanabe and S. Furuichi (2021) Intra- and inter specific density dependence of body condition, growth, and habitat temperature in chub mackerel (*Scomber japonicus*). *ICES J. Mar. Sci.*, **78**, 3254-3264.
- Kamimura, Y., M. Takahashi, N. Yamashita, C. Watanabe and A. Kawabata (2015) Larval and juvenile growth of chub mackerel *Scomber japonicus* in relation to recruitment in the western North Pacific. *Fish. Sci.*, **81**, 505-513.
- Kasamatsu, F. and S. Tanaka (1992) Annual changes in prey species of minke whales taken off Japan 1948-87. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54**, 637-651.
- 加藤充宏・渡邊千夏子 (2002) マサバとゴマサバの成熟・産卵および食性. *月刊海洋*, **34**, 266-272.
- Kawai, H., A. Yatsu, C. Watanabe, T. Mitani, T. Katsukawa and H. Matsuda (2002) Recovery policy for chub mackerel stock using recruitment-per-spawning. *Fish. Sci.*, **68**, 963-971.
- 川端 淳・中神正康・巢山 哲・谷津明彦・高木香織・建田夕帆 (2006) 近年の広域名調査船調査から推定されるサバ、イワシ類の季節的分布回遊. 2006 年度水産海洋学会講演要旨集, 94.
- 川崎 健 (1965) カツオの生態と資源 (I). *水産研究叢書*, **8**, 148.
- 川崎 健 (1968) マサバ太平洋系群未成魚の生態について. *東海水研報*, **55**, 59-113.
- 小泉正行 (1992) 伊豆諸島海域で採集したサバ卵・仔稚魚・幼魚の一考察. *水産海洋研究*, **56**, 57-64.
- Konishi, K. T. Isoda and T. Tamura (2016) Decadal change of feeding ecology in sei, Bryde's and common minke whales in the offshore of the Western North Pacific. Paper SC/F16/JR23 submitted to the JARPNII Review Workshop, Tokyo, February 2016, 19pp.
- 黒田一紀 (1992) 日本の太平洋沿岸域におけるさば属魚類の産卵期、産卵場及び産卵量水準の動向. *水産海洋研究*, **56**, 65-72.
- 目黒清美・梨田一也・三谷卓美・西田 宏・川端 淳 (2002) マサバとゴマサバの分布と回遊—成魚. *月刊海洋*, **34**, 256-260.
- 宮沢公雄 (1994) マサバ資源の変動とさば漁業の変遷. *水産海洋研究*, **58**, 48-49.
- 長沢和也 (1999) 黒潮・親潮移行域における魚食性魚類の分布と生態. *月刊海洋*, **346**, 245-250.
- 西田 宏・川端 淳・目黒清美・梨田一也・三谷卓美 (2001) マサバとゴマサバの分布と回遊—幼魚. *水産海洋研究*, **65**, 201.
- 西嶋翔太・由上龍嗣・井須小羊子・上村泰洋・古市 生 (2019) 平成 31 (2019) 年度マサバ

- 太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書. http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_masaba_p.pdf (last accessed 30 October 2019)
- Oozeki, Y., D. Inagake, T. Saito, M. Okazaki, I. Fusejima, M. Hotai, T. Watanabe, H. Sugisaki and M. Miyahara (2018) Reliable estimation of IUU fishing catch amounts in the northwestern Pacific adjacent to the Japanese EEZ: Potential for usage of satellite remote sensing images. *Marine Policy*, **88**, 64-74.
- 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. *CalCOFI Reports*, **48**, 191-203.
- Pope, J. G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Int. Com. Northw. Atl. Fish. Bull.*, **9**, 65-74.
- Takahashi, M., A. Kawabata, C. Watanabe, M. Yoneda, D. Ambe and T. Okunishi (2012) Migratory behavior and recruitment process of the Pacific stock of chub mackerel *Scomber japonicus*. *PICES-2012 Program and Abstracts*, 111.
- 高橋正知・渡邊千夏子・川端 淳・西田 宏・安倍大介・奥西 武・山下紀生・森 賢・橋本 浩・池上直也・森 訓由・岡部 久・斉藤真美 (2010) 粒子追跡を用いたマサバ太平洋系群当歳魚の産卵場からの輸送過程とその成長 (2004～2007 年). 2010 年度水産海洋学会大会講演要旨集, 71.
- Tamura, T., Y. Fujise and K. Shimazaki (1998) Diet of minke whales *Balaenoptera auctorostrata* in the Northwestern part of the North Pacific in summer, 1994 and 1995. *Fish. Sci.*, **64**, 71-76.
- Tamura, T., K. Konishi and T. Isoda (2016) Updated estimation of prey consumption by common minke, Bryde's and sei whales in the western North Pacific. Paper SC/F16/JR15 submitted to the JARPNII Review Workshop, Tokyo, February 2016, 58pp.
- Technical Working Group on Chub Mackerel Stock Assessment (2022) 6th Meeting Report. NPFC2022-TWG CMSA06-Final Report. 20 pp. (Available at www.npfc.int)
- 渡邊千夏子 (2010) マサバ太平洋系群の繁殖特性の変化とその個体群動態への影響. *水産海洋研究*, **74**, 46-50.
- 渡邊千夏子・須田真木・赤嶺達郎・川端 淳・西田 宏 (2012) 許容漁獲量の時空間的配分がマサバ太平洋系群の資源動態に与える影響. *日水誌*, **78**, 15-26.
- Watanabe, C. and A. Yatsu (2004) Effects of density-dependence and sea surface temperature on inter-annual variation in length-at-age of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Kuroshio-Oyashio area during 1970–1997. *Fish. Bull.*, **102**, 196-206.
- Watanabe, C. and A. Yatsu (2006) Long-term changes in maturity at age of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in relation to population declines in the waters off northeastern Japan. *Fish. Res.*, **78**, 323-332.
- 米田道夫・北野 載・松山倫也・高橋正知・川端 淳・清水昭男 (2013) マサバの加入機構に関する実験アプローチ：初期生態に及ぼす母性効果と水温影響. 2012 年度春季水産海洋シンポジウム (魚種交替のシンテシスー気候変動による海洋生態系・浮魚資源変動機構およびその科学的理解に基づく社会への貢献) 要旨集, 10.
- 米田道夫・北野 載・S. Selvaraj・入路光雄・川村耕平・松山倫也・清水昭男 (2010) マサバ

2 歳魚の卵サイズの変化が仔魚の成長と生残に及ぼす影響. 2010 年度水産海洋学会大会講演要旨集, 47.

由上龍嗣・西嶋翔太・井須小羊子・上村泰洋・古市 生・渡部亮介 (2020) 令和元 (2019) 年度マサバ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, 48pp, <http://abchan.fra.go.jp/>.

由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・古市 生・井須小羊子・渡部亮介 (2021) 令和 2 (2020) 年度マサバ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, 53pp, <http://abchan.fra.go.jp/>.

由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・古市 生・渡部亮介 (2022) 令和 3 (2021) 年度マサバ太平洋系群の資源評価. 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, 56pp, <http://abchan.fra.go.jp/>.

(執筆者：由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・古市 生・渡部亮介)

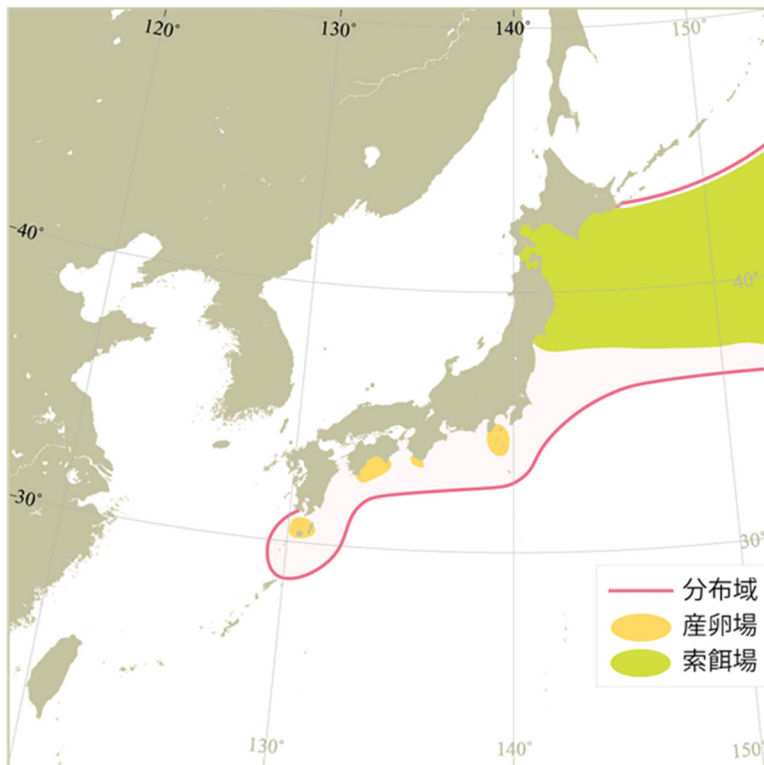


図 2-1. マサバ太平洋系群の分布・回遊図

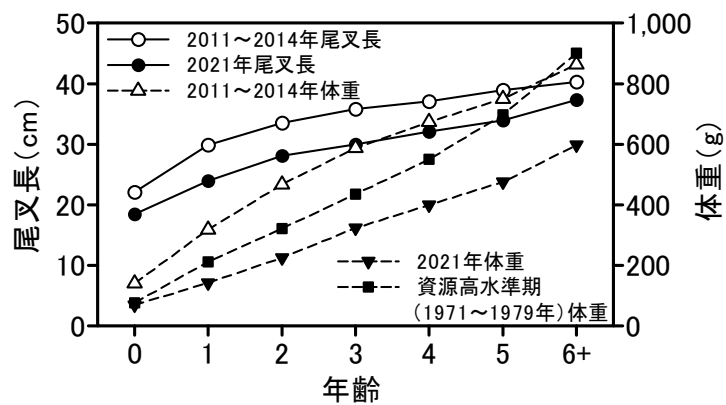


図 2-2. 年齢と成長（漁獲物の平均）

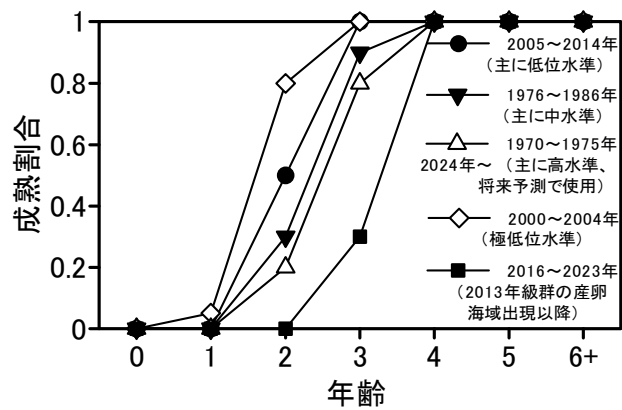


図 2-3. 年齢と成熟割合

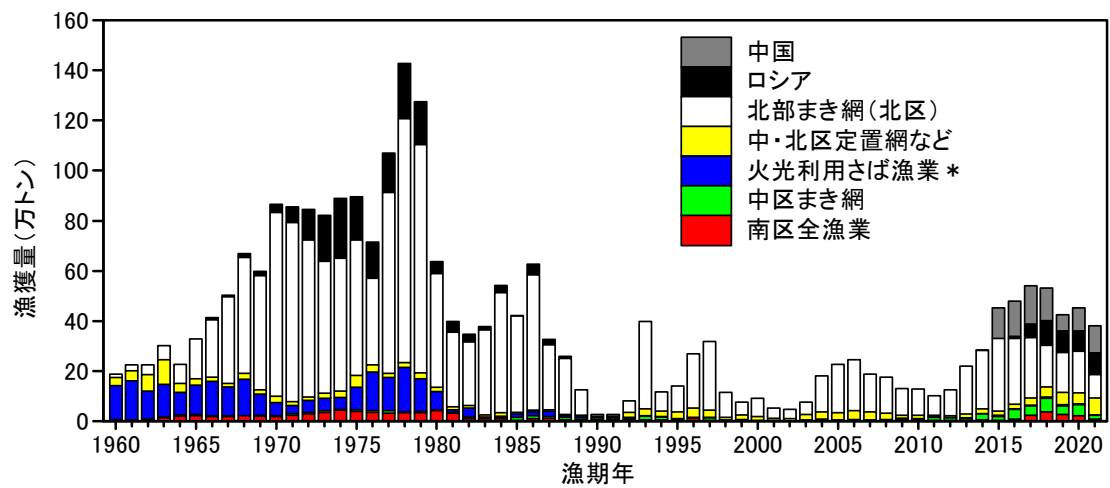


図 3-1. 漁業種類別漁獲量の推移

*火光利用サバ漁業：たもすくい、棒受網。2014 年漁期以降の中国およびロシアの漁獲量は推定値。

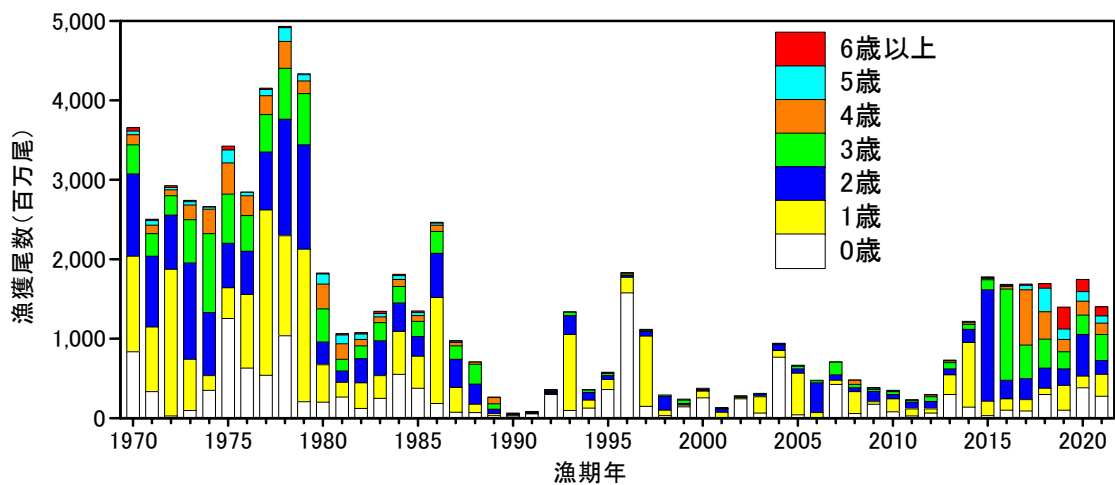


図 3-2. 年齢別漁獲尾数

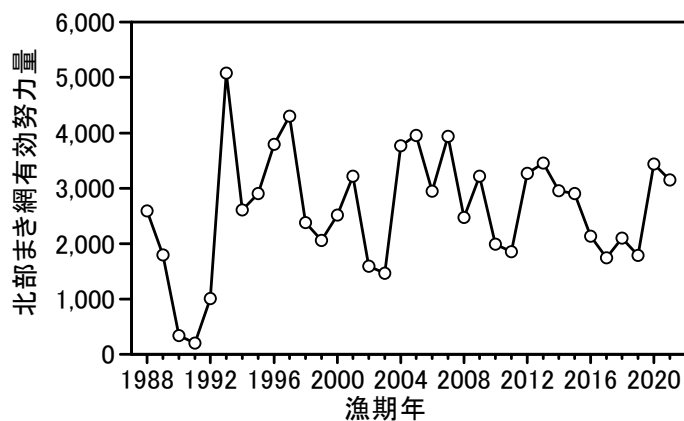


図 3-3. 北部まき網漁業のさば類に対する有効努力量（JAFIC 資料。補足資料 5）

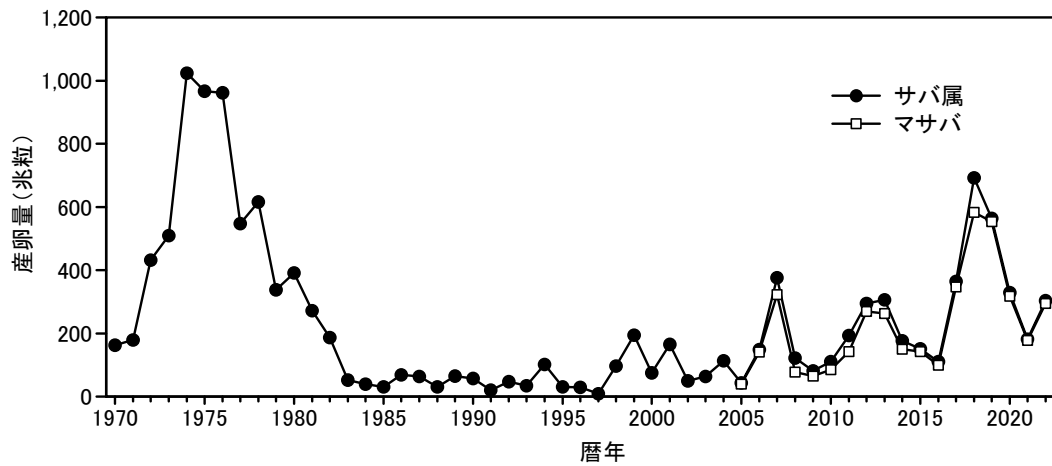


図 4-1. 本邦太平洋側におけるサバ属の産卵量

2005 年以降はマサバを分けて示した。2022 年は 1～6 月までの値。

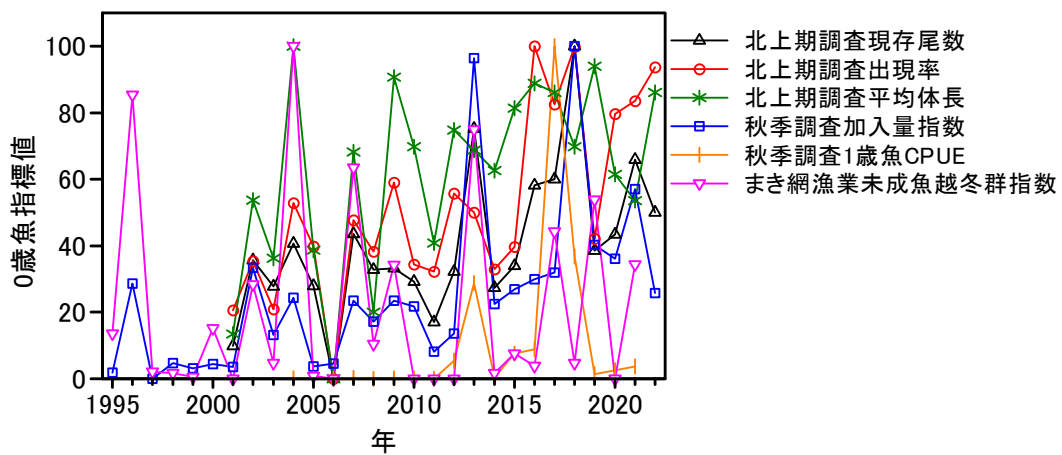


図 4-2. 各種調査（補足資料 5）による加入量の指標値の推移

指標値の最大値を 100、最小値を 0 とした場合の相対値。秋季調査 1 歳魚 CPUE は前年の加入量と対応するので 1 年ずらして表示。

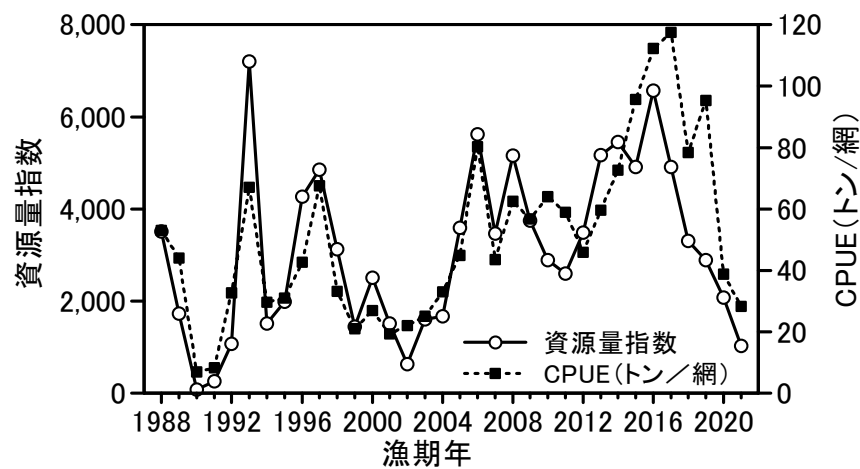


図 4-3. 北部太平洋まき網漁業のさば類 CPUE と資源量指数の推移（JAFIC 資料。補足資料 5）

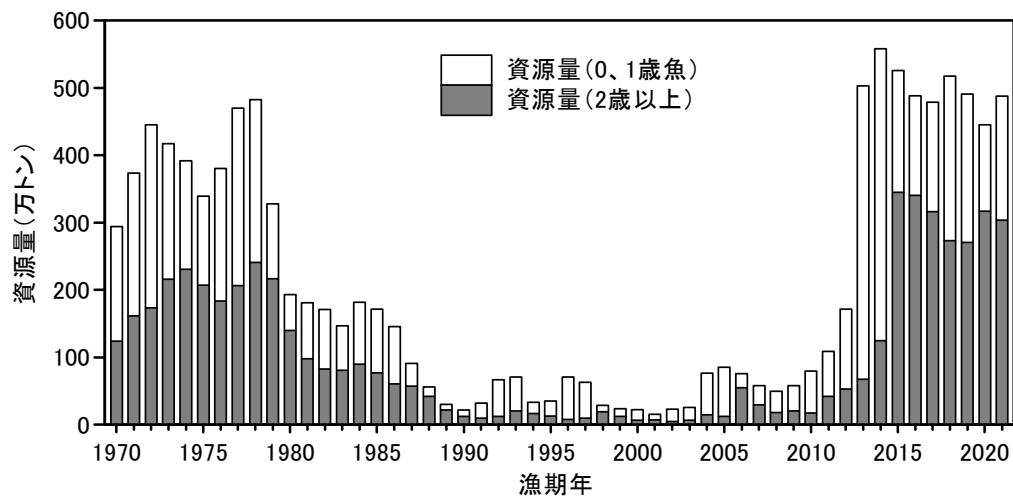


図 4-4. 資源量の推移

資源量の棒グラフは0、1歳魚と2歳以上に分けて図示。

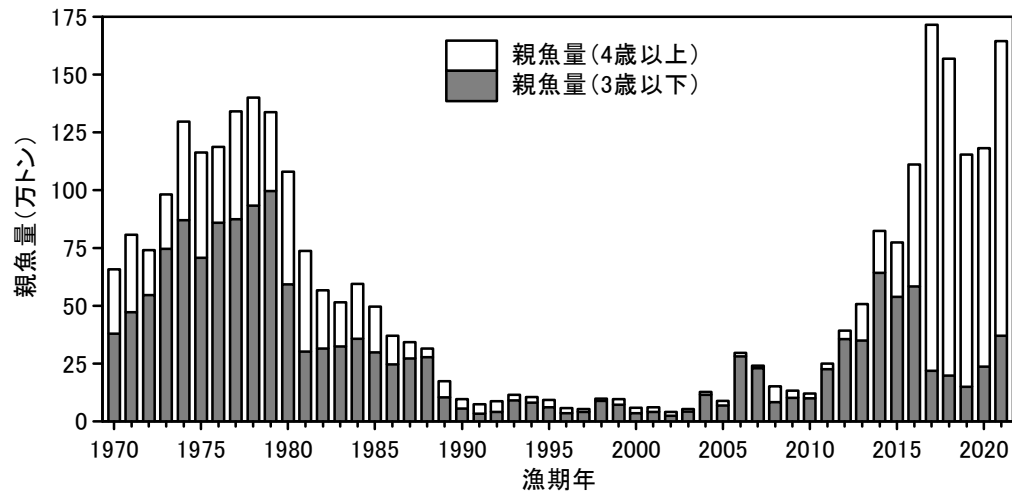


図 4-5. 親魚量の推移

親魚量の棒グラフは3歳以下と4歳以上に分けて図示。

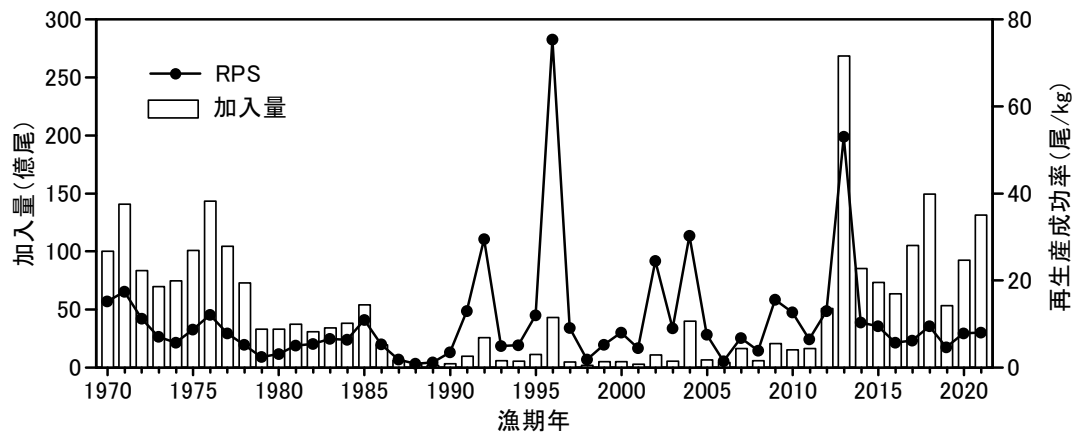


図 4-6. 加入量と再生産成功率 (RPS) の推移

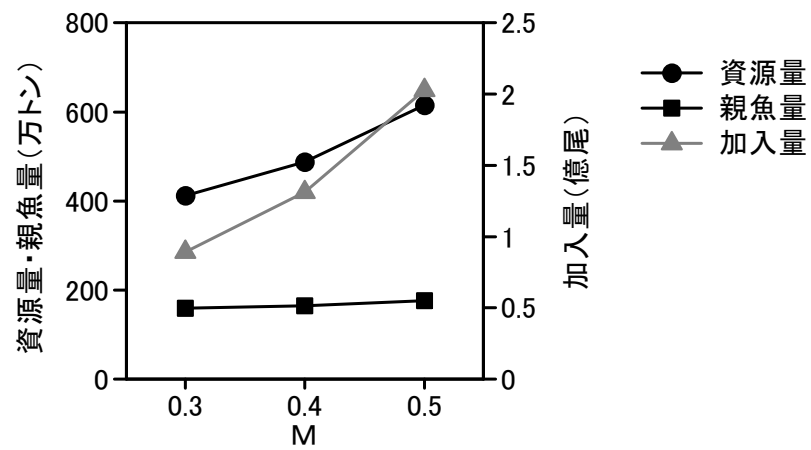


図 4-7. 自然死亡係数 (M) の違いによる 2021 年漁期の資源量、親魚量および加入量

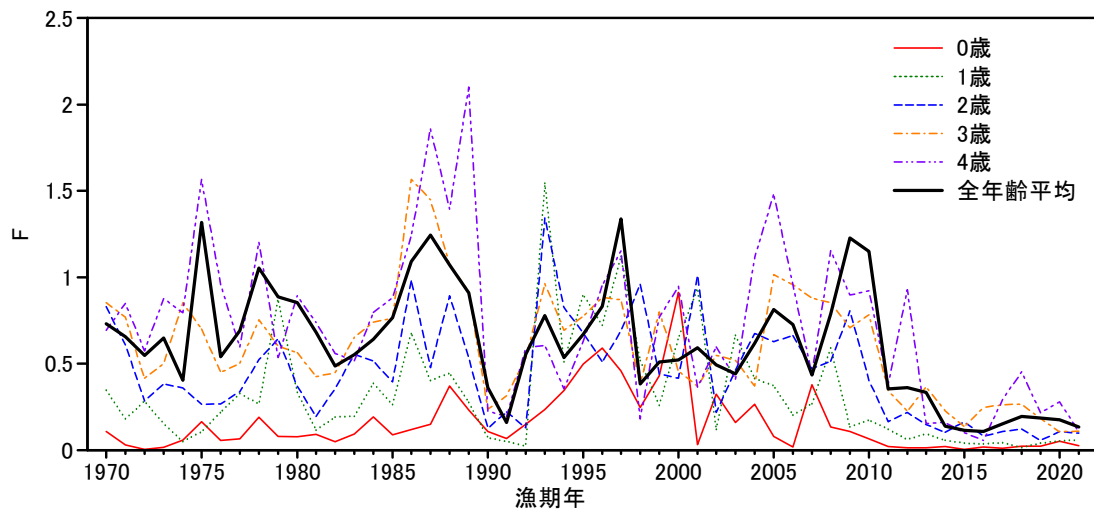


図 4-8. 年齢別漁獲係数 F の推移

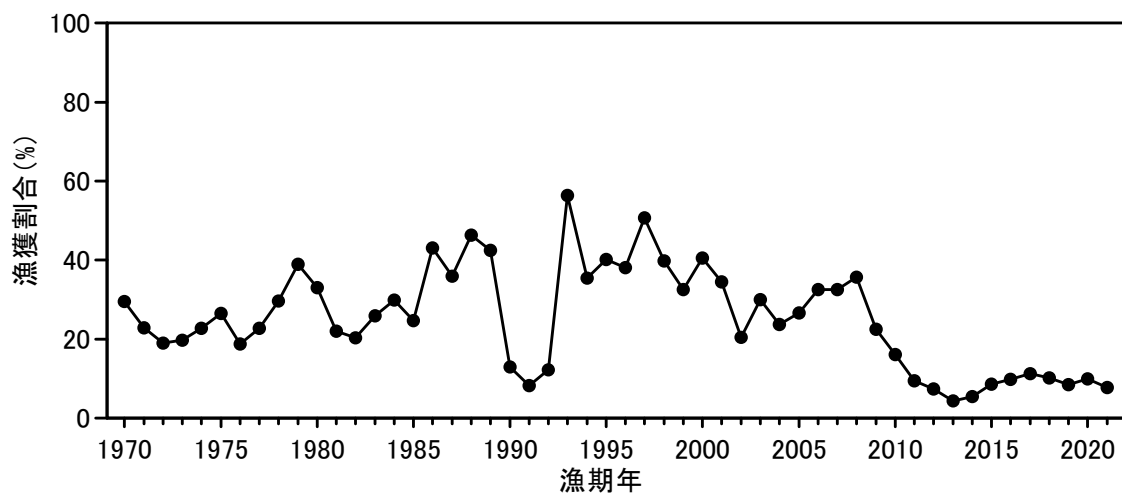


図 4-9. 漁獲割合の推移

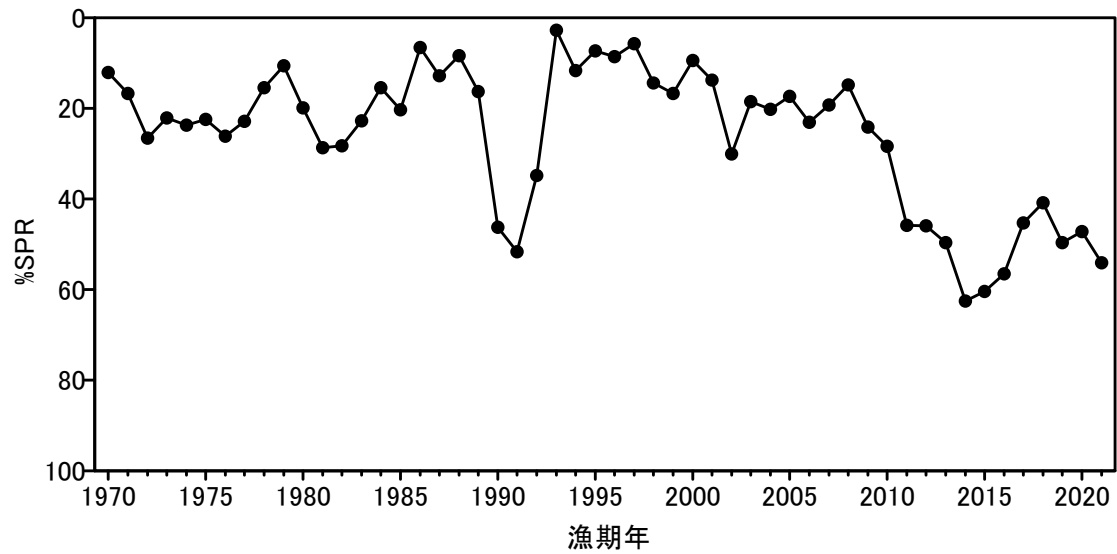


図 4-10. 各漁期年における%SPR 値の経年推移

%SPR は漁獲がないときの親魚量に対する漁獲があるときの親魚量の割合を示し、F が高い（低い）と%SPR は小さく（大きく）なる。

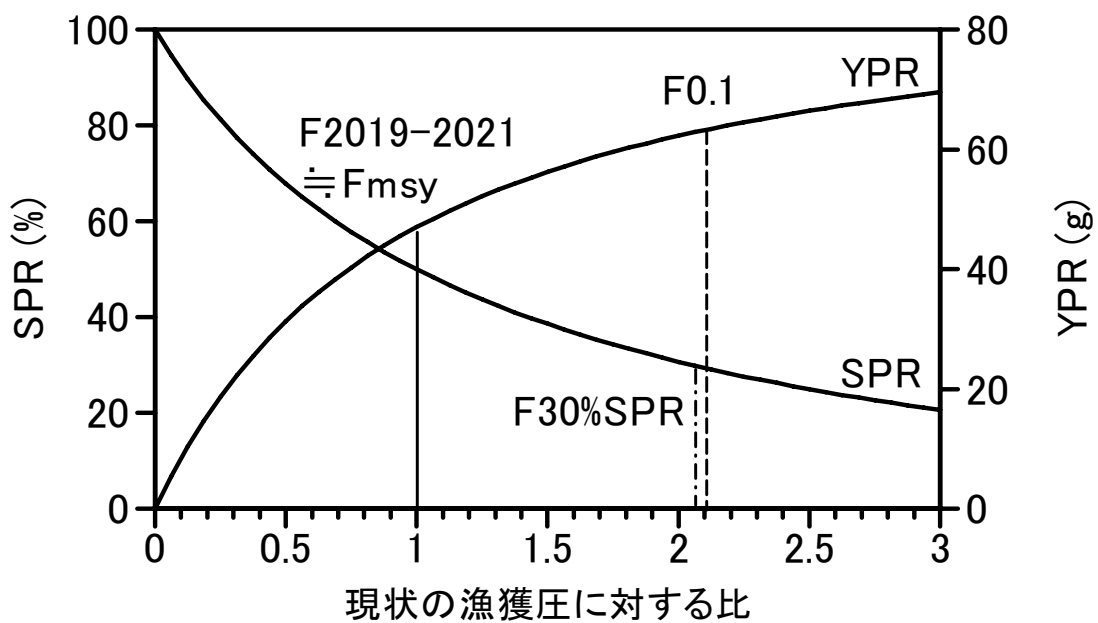
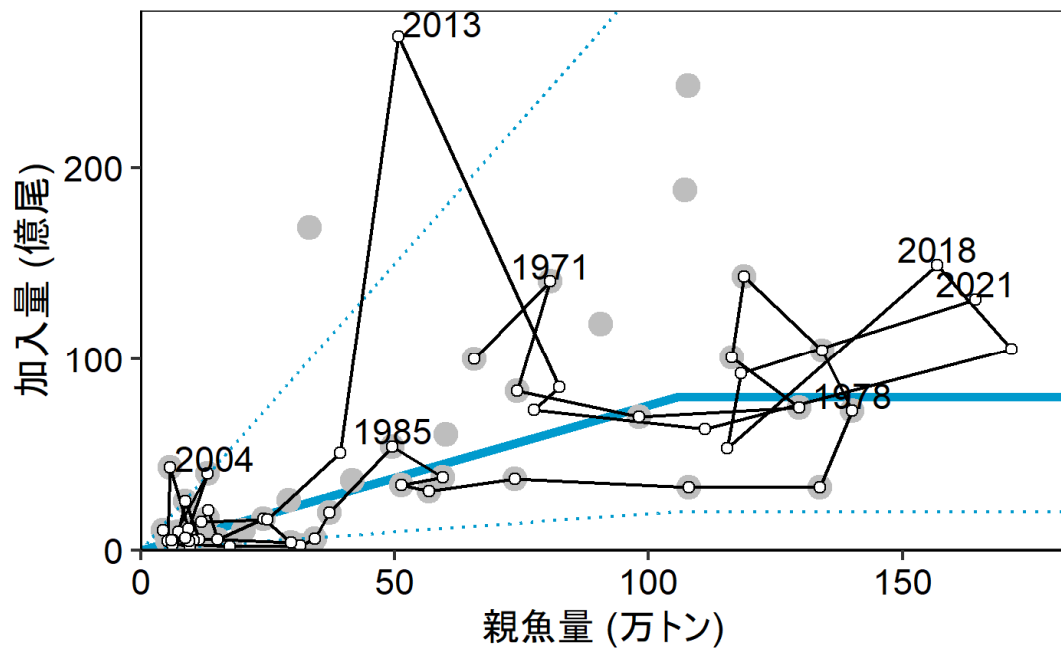


図 4-11. 現状の漁獲圧（F2019-2021）に対する YPR と%SPR の関係



関数形: HS, 自己相関: 1, 最適化法L2, AICc: 125.98

図 4-12. 親魚量と加入量の関係（再生産関係）

平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（西嶋ほか、2019）で提案された再生産関係式と再生産関係のプロット（灰色の丸印）。図中の再生産関係式（青線）の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。実線と白抜き丸印で示したのは今年度の資源評価で得られた再生産関係のプロット。

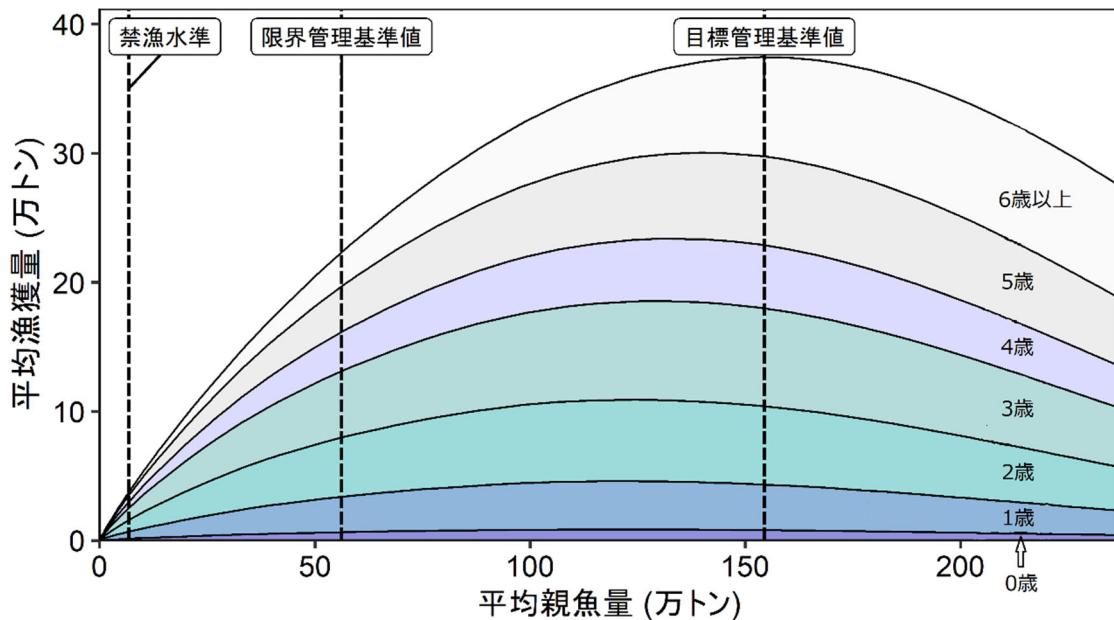


図 4-13. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線

平衡状態での、親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値と、それぞれの管理基準値の位置関係を示す。

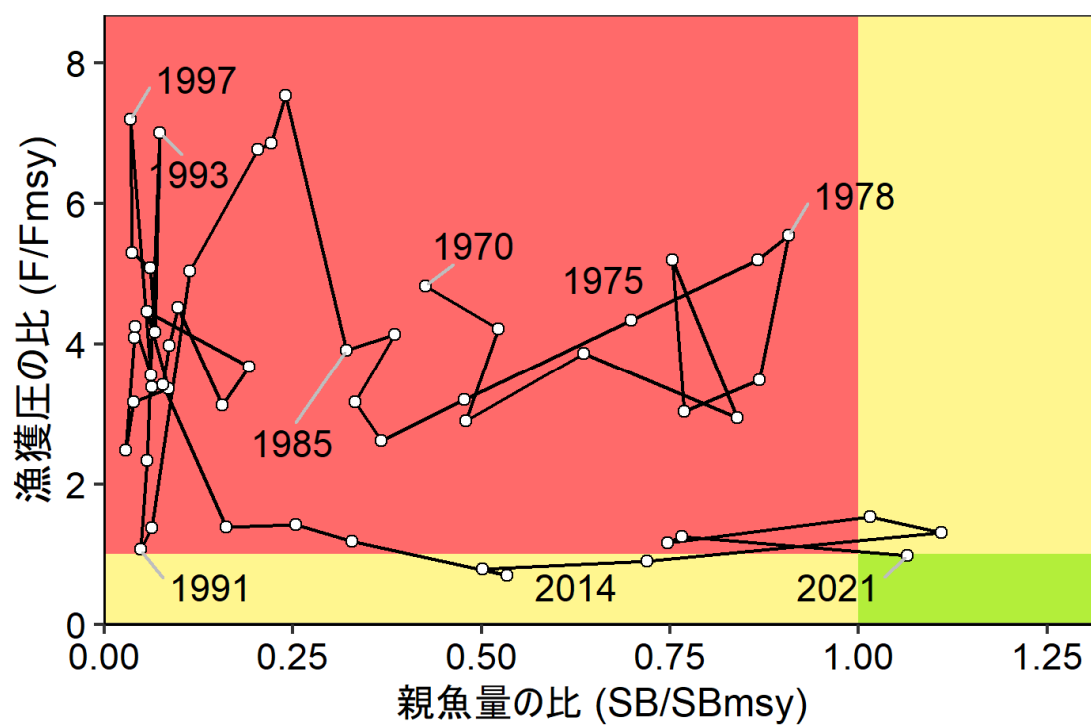
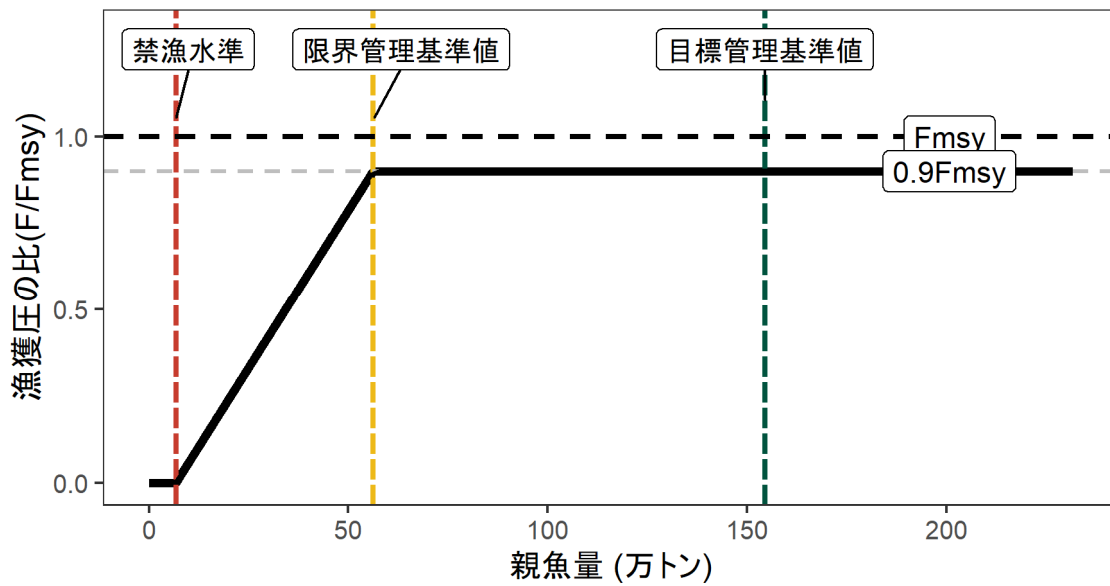
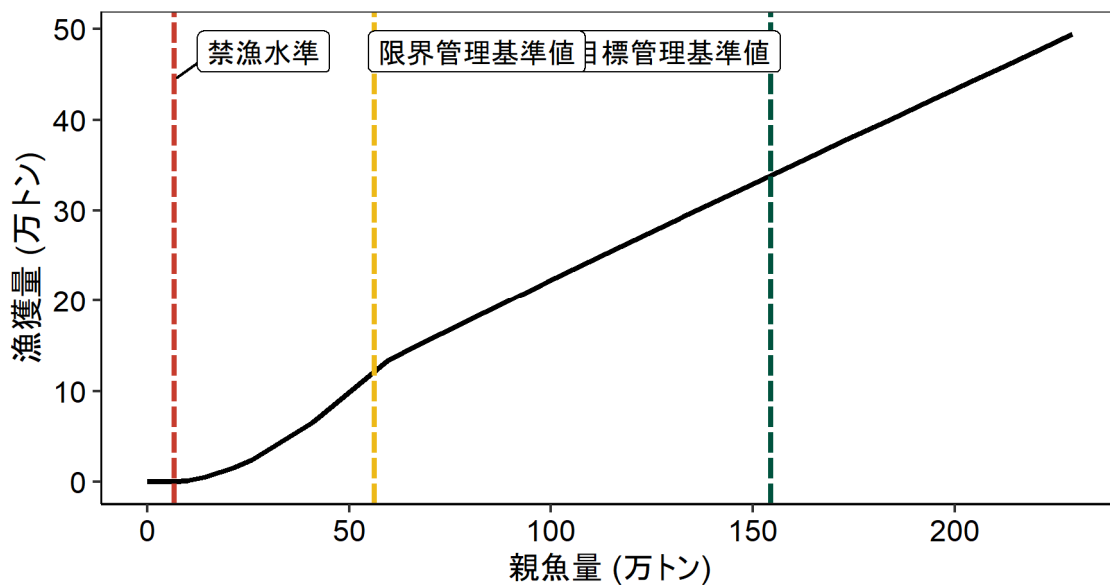


図 4-14. 最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SB_{msy}) と MSY を実現する漁獲圧 (F_{msy}) に対する、過去の親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

図 5-1. 漁獲管理規則 ($\beta=0.9$ の場合)

目標管理基準値 (SBtarget) は HS 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値 (SBlimit) および禁漁水準 (SBban) にそれぞれ標準値を用いている。ここでは調整係数 β には 0.9 を用いた。黒破線 : F_{msy} 、灰色破線 : $0.9F_{msy}$ 、黒太線 : HCR、赤破線 : 禁漁水準、黄色破線 : 限界管理基準値、緑色破線 : 目標管理基準値を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。

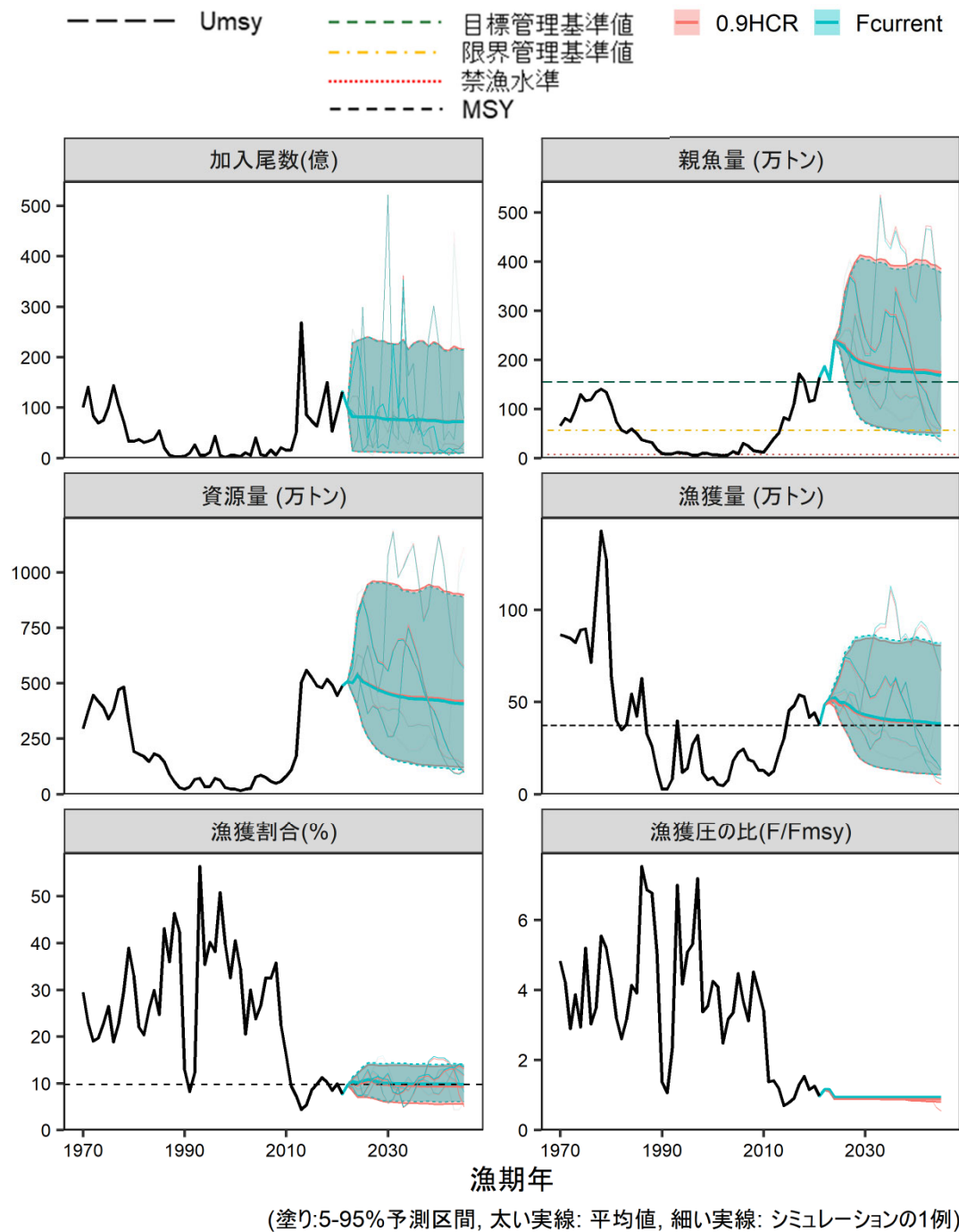


図 5-2. 管理基準値に基づく漁獲管理規則を用いた将来予測(赤色)と現状の漁獲圧(F2019-2021)で漁獲を続けた場合の将来予測(緑色)

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値、黄点線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準を示す。漁獲量の図の破線は MSY、漁獲割合の図の破線は Umsy を示す。2022 年漁期の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧(F2019-2021)により仮定した。

表 3-1. 漁業種類・海区别漁獲量（トン）

漁期年 7月～ 翌年6月	合計	日本 合計	ロシア	中国	太平洋北・中区				南区 全漁業
					北区 まき網	定置網 等	火光利用 サバ漁業*	中区 まき網	
1970	865,471	833,471	32,000	-	733,494	25,319	52,415	4,072	18,171
1971	855,109	793,109	62,000	-	715,905	14,115	31,986	7,253	23,849
1972	845,177	722,572	122,604	-	626,753	12,463	47,507	7,414	28,435
1973	821,531	638,536	182,996	-	527,106	20,188	49,180	7,308	34,753
1974	889,406	649,406	240,000	-	529,706	24,345	47,244	4,535	43,577
1975	896,611	722,805	173,806	-	540,113	46,915	89,945	6,370	39,461
1976	715,078	570,435	144,643	-	345,519	29,261	154,132	5,468	36,055
1977	1,070,984	912,950	158,034	-	722,035	15,933	133,046	9,250	32,686
1978	1,427,837	1,207,487	220,350	-	974,295	17,734	177,393	3,942	34,123
1979	1,275,041	1,104,013	171,028	-	911,006	23,234	130,929	4,347	34,497
1980	637,015	589,399	47,616	-	454,159	15,900	73,075	3,342	42,924
1981	398,394	356,046	42,348	-	298,344	11,811	9,855	4,036	32,001
1982	347,229	317,275	29,954	-	254,320	10,854	35,196	6,325	10,580
1983	378,130	364,628	13,502	-	338,760	8,299	915	6,147	10,506
1984	542,636	513,119	29,517	-	479,173	13,738	4,723	5,473	10,011
1985	422,432	419,724	2,708	-	384,355	5,959	14,196	11,457	3,758
1986	626,925	585,023	41,902	-	540,716	6,263	16,253	12,343	9,448
1987	326,549	305,635	20,914	-	259,765	5,214	21,442	7,658	11,555
1988	258,616	250,914	7,703	-	223,576	5,053	7,095	9,851	5,338
1989	125,291	125,291	-	-	101,051	1,747	8,420	7,610	6,463
1990	27,767	27,767	-	-	7,886	3,615	2,088	6,784	7,395
1991	26,385	26,385	-	-	5,321	1,958	4,924	5,129	9,052
1992	81,493	81,493	-	-	46,727	20,165	2,505	4,766	7,329
1993	397,959	397,959	-	-	348,663	27,732	1,596	15,202	4,766
1994	117,336	117,336	-	-	76,263	23,039	1,757	12,011	4,267
1995	140,569	140,569	-	-	104,151	25,503	1,591	4,862	4,461
1996	269,122	269,122	-	-	217,419	35,861	43	3,655	12,145
1997	318,407	318,407	-	-	275,169	27,874	1,661	9,579	4,124
1998	114,796	114,796	-	-	99,789	10,079	436	3,052	1,440
1999	76,512	76,512	-	-	51,193	18,581	43	3,515	3,181
2000	91,192	91,192	-	-	72,102	15,236	0	2,275	1,579
2001	52,896	52,896	-	-	40,432	8,616	0	1,390	2,458
2002	46,745	46,745	-	-	35,753	8,492	44	1,476	979
2003	75,559	75,559	-	-	48,429	21,822	84	920	4,304
2004	181,144	181,144	-	-	143,135	29,665	189	6,257	1,898
2005	226,256	226,256	-	-	193,026	27,596	388	1,769	3,477
2006	245,091	245,091	-	-	202,515	35,291	2,950	2,492	1,842
2007	188,373	188,373	-	-	151,563	31,996	721	1,690	2,402
2008	176,360	176,360	-	-	144,864	25,159	1,065	2,701	2,571
2009	130,228	130,228	-	-	106,561	12,442	939	5,792	4,494
2010	127,877	127,877	-	-	103,747	14,642	2,540	4,127	2,821
2011	102,020	102,020	-	-	78,163	5,369	2,772	13,048	2,668
2012	125,645	125,645	-	-	102,865	7,611	2,105	9,020	4,044
2013	220,671	220,671	-	-	191,576	7,730	2,766	16,018	2,581
2014	301,802	282,318	36	19,449	233,560	23,936	2,939	17,620	4,263
2015	452,584	329,777	423	122,384	289,416	15,689	4,506	17,294	2,872
2016	479,957	330,043	9,101	140,812	262,463	39,720	1,605	18,122	8,133
2017	538,876	331,886	53,135	153,854	240,934	37,531	2,910	26,739	23,771
2018	529,014	300,773	98,373	129,868	165,742	54,727	3,805	39,197	37,302
2019	416,686	266,835	85,912	63,940	158,584	33,724	4,313	42,369	27,844
2020	442,188	279,005	76,395	86,788	164,757	43,120	3,287	45,043	22,797
2021	378,700	185,712	86,197	106,791	92,650	14,850	1,378	68,422	8,413

2014 年漁期以降のロシアおよび中国の漁獲量は推定値。

*火光利用さば漁業：棒受網、たもすくい。

表 4-1. コホート計算結果

漁期年	漁獲量 (万トン)	資源量 (万トン)	親魚量 (万トン)	加入量 (億尾)	再生産成功率 (尾/kg)	漁獲割合 (%)	%SPR	F/Fmsy
1970	86.5	293.8	65.7	99.98	15.2	29.5	12.09	4.83
1971	85.5	373.7	80.7	140.84	17.5	22.9	16.77	4.22
1972	84.5	445.4	74.1	83.45	11.3	19.0	26.59	2.90
1973	82.2	417.1	98.1	69.58	7.1	19.7	22.11	3.87
1974	88.9	391.7	129.6	74.62	5.8	22.7	23.66	2.95
1975	89.7	339.1	116.4	100.95	8.7	26.4	22.42	5.21
1976	71.5	380.3	118.8	143.44	12.1	18.8	26.13	3.04
1977	107.1	469.9	134.1	104.60	7.8	22.8	22.86	3.49
1978	142.8	482.6	140.1	72.83	5.2	29.6	15.46	5.55
1979	127.5	327.6	133.7	32.91	2.5	38.9	10.53	5.20
1980	63.7	193.2	107.9	33.02	3.1	33.0	19.92	4.35
1981	39.8	181.0	73.7	37.25	5.1	22.0	28.67	3.20
1982	34.7	170.6	56.7	30.84	5.4	20.4	28.22	2.61
1983	37.8	146.4	51.4	33.97	6.6	25.8	22.71	3.17
1984	54.3	181.6	59.5	38.05	6.4	29.9	15.41	4.14
1985	42.2	171.3	49.6	54.10	10.9	24.7	20.35	3.92
1986	62.7	145.5	37.1	19.62	5.3	43.1	6.54	7.54
1987	32.7	90.9	34.3	6.30	1.8	35.9	12.79	6.86
1988	25.9	55.8	31.4	2.63	0.8	46.4	8.32	6.77
1989	12.5	29.5	17.5	1.99	1.1	42.4	16.27	5.04
1990	2.8	21.5	9.7	3.42	3.5	12.9	46.24	1.37
1991	2.6	32.0	7.4	9.65	13.0	8.2	51.66	1.06
1992	8.1	66.5	8.7	25.81	29.5	12.3	34.84	2.33
1993	39.8	70.5	11.4	5.65	4.9	56.4	2.80	7.00
1994	11.7	33.2	10.5	5.36	5.1	35.4	11.66	4.18
1995	14.1	35.0	9.4	11.26	12.0	40.2	7.28	5.09
1996	26.9	70.5	5.7	43.21	75.4	38.2	8.62	5.31
1997	31.8	62.8	5.4	4.89	9.1	50.7	5.71	7.20
1998	11.5	28.8	9.8	1.76	1.8	39.8	14.44	3.38
1999	7.7	23.5	9.6	5.04	5.3	32.6	16.74	3.55
2000	9.1	22.5	0.0	5.14	8.1	40.5	9.44	4.26
2001	5.3	15.3	6.3	2.76	4.4	34.5	13.79	4.09
2002	4.7	22.8	4.4	10.71	24.5	20.5	30.07	2.48
2003	7.6	25.2	6.0	5.45	9.0	30.0	18.53	3.17
2004	18.1	76.3	13.2	40.01	30.2	23.7	20.17	3.36
2005	22.6	84.9	8.9	6.66	7.5	26.6	17.36	4.47
2006	24.5	75.3	29.6	4.20	1.4	32.6	23.08	3.67
2007	18.8	58.0	24.1	16.44	6.8	32.5	19.25	3.12
2008	17.6	49.4	15.1	5.79	3.8	35.7	14.78	4.52
2009	13.0	58.0	13.3	20.76	15.6	22.4	24.15	3.99
2010	12.8	79.6	12.0	15.12	12.6	16.1	28.38	3.42
2011	10.2	108.7	24.9	16.22	6.5	9.4	45.83	1.39
2012	12.6	171.4	39.2	50.72	12.9	7.3	45.90	1.42
2013	22.1	502.8	50.7	268.48	53.0	4.4	49.66	1.19
2014	30.2	557.9	82.4	85.37	10.4	5.4	62.58	0.70
2015	45.3	525.5	77.4	73.18	9.5	8.6	60.41	0.78
2016	48.0	488.4	111.1	63.47	5.7	9.8	56.50	0.91
2017	53.9	478.4	171.4	105.52	6.2	11.3	45.24	1.30
2018	52.9	517.8	156.7	149.47	9.5	10.2	40.83	1.53
2019	41.7	490.8	115.3	53.22	4.6	8.5	49.64	1.16
2020	44.2	444.8	118.2	92.17	7.8	9.9	47.14	1.25
2021	37.9	487.6	164.4	131.23	8.0	7.8	54.07	0.98

表 5-1. 将来の親魚量が目標管理基準値 (a)、限界管理基準値 (b) を上回る確率

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2022 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2019-2021) から予測される 48.5 万トンとし、2023 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2019-2021) で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則に基づく管理開始から 10 年目となる目標年の値を示す。

a) 親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2041	2051
1.0	100	100	100	100	100	71	57	52	51	49	48	44	41
0.9	100	100	100	100	100	78	63	57	55	54	53	48	46
0.8	100	100	100	100	100	86	68	62	59	58	57	53	51
0.7	100	100	100	100	100	92	75	67	64	63	62	58	56
0.6	100	100	100	100	100	97	81	72	69	68	67	63	62
0.5	100	100	100	100	100	100	87	78	74	73	72	69	67
0.4	100	100	100	100	100	100	93	84	79	78	76	74	73
0.3	100	100	100	100	100	100	97	89	84	83	81	79	78
0.2	100	100	100	100	100	100	99	93	89	87	86	84	84
0.1	100	100	100	100	100	100	100	97	93	92	90	89	88
0.0	100	100	100	100	100	100	100	99	97	95	94	93	92
F2019-2021	100	100	100	100	100	76	61	55	53	52	51	46	44

b) 親魚量が限界管理基準値を上回る確率 (%)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2041	2051
1.0	100	100	100	100	100	100	100	99	98	97	96	92	90
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	97	94	92
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98	96	95
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	97	96
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	97
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2019-2021	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	97	93	90

表 5-2. 将来の親魚量 (a) および漁獲量 (b) の平均値の推移

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2022 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2019-2021) から予測される 48.5 万トンとし、2023 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2019-2021) で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則に基づく管理開始から 10 年目となる目標年の値を示す。

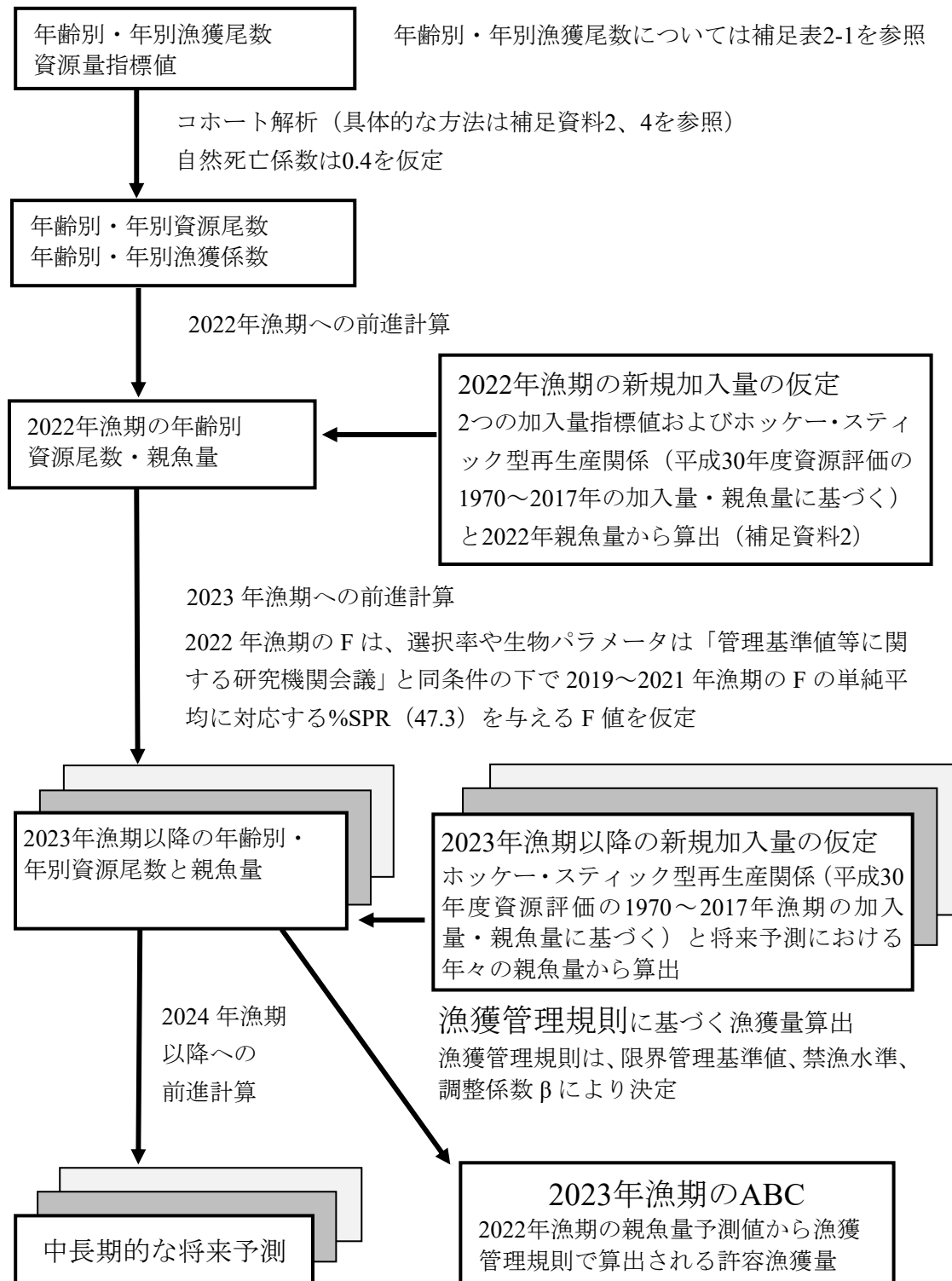
a) 親魚量の平均値の推移 (万トン)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2041	2051
1.0	186.1	159.8	235.8	228.0	217.3	204.9	194.1	188.4	185.0	182.1	178.8	167.3	161.1
0.9	186.1	159.8	240.2	235.3	226.4	214.8	204.0	198.2	194.6	191.9	188.8	178.7	172.9
0.8	186.1	159.8	244.7	242.8	236.0	225.5	214.8	208.8	205.1	202.5	199.6	190.9	185.6
0.7	186.1	159.8	249.3	250.6	246.1	236.9	226.6	220.4	216.6	214.0	211.4	204.0	199.0
0.6	186.1	159.8	254.1	258.8	256.9	249.3	239.5	233.3	229.3	226.7	224.2	218.1	213.3
0.5	186.1	159.8	258.9	267.4	268.4	262.6	253.5	247.4	243.4	240.7	238.3	233.4	228.8
0.4	186.1	159.8	263.9	276.4	280.5	277.0	268.9	263.1	259.2	256.4	254.1	250.1	245.6
0.3	186.1	159.8	269.1	285.8	293.5	292.6	285.8	280.5	276.8	274.1	271.8	268.5	264.1
0.2	186.1	159.8	274.3	295.6	307.3	309.5	304.4	299.9	296.6	294.0	291.8	289.2	284.7
0.1	186.1	159.8	279.7	305.8	322.0	327.9	324.9	321.6	318.9	316.7	314.7	312.7	308.0
0.0	186.1	159.8	285.2	316.6	337.7	347.8	347.6	346.0	344.2	342.7	341.0	339.8	334.8
F2019-2021	186.1	159.8	238.6	232.6	223.1	211.2	200.4	194.6	191.1	188.3	185.1	173.7	166.6

b) 漁獲量の平均値の推移 (万トン)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2041	2051
1.0	48.5	54.9	55.0	51.7	51.4	49.4	46.8	45.3	44.3	43.5	42.8	40.1	38.6
0.9	48.5	50.0	50.9	48.4	48.6	47.0	44.6	43.2	42.3	41.6	41.0	38.9	37.6
0.8	48.5	44.9	46.5	44.8	45.4	44.2	42.1	40.8	39.9	39.4	38.9	37.2	36.2
0.7	48.5	39.8	41.8	40.8	41.8	41.0	39.2	38.0	37.3	36.8	36.4	35.1	34.3
0.6	48.5	34.5	36.9	36.5	37.8	37.3	35.8	34.8	34.1	33.7	33.4	32.5	31.8
0.5	48.5	29.1	31.6	31.7	33.2	33.1	31.9	31.1	30.5	30.2	29.9	29.3	28.7
0.4	48.5	23.5	26.1	26.5	28.1	28.2	27.4	26.7	26.3	26.0	25.8	25.4	24.9
0.3	48.5	17.8	20.1	20.7	22.3	22.6	22.1	21.6	21.3	21.1	20.9	20.7	20.3
0.2	48.5	12.0	13.8	14.5	15.7	16.1	15.9	15.6	15.4	15.3	15.2	15.0	14.8
0.1	48.5	6.1	7.1	7.6	8.3	8.7	8.6	8.5	8.4	8.3	8.3	8.2	8.1
0.0	48.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F2019-2021	48.5	51.8	52.4	49.6	49.6	47.9	45.5	44.0	43.0	42.4	41.8	39.4	37.8

補足資料 1 資源評価の流れ



補足資料 2 計算方法

(1) 資源計算方法

Pope (1972) の近似式を用いたコホート解析により年齢別資源尾数・重量、漁獲係数、漁獲量を推定した（補足表 2-1）。7 月～翌年 6 月の漁期年単位とし、親魚は 6 月に産卵、子は 7 月に漁獲加入し、漁期の中央（12 月）に漁獲されると仮定した。自然死亡係数（ M ）は本間ほか（1987）に基づき 0.4/年とした。年齢別漁獲尾数は、宮崎県～北海道太平洋側における主要漁業および外国による漁獲物について求めた。2014 年以降の中国およびロシアの漁獲物の年齢組成は、中国およびロシア漁船が操業している海域に最も近い海域で操業している、太平洋北部まき網の 7～12 月の漁獲物の年齢組成と同じと仮定した。6 歳以上はまとめて 6+歳（プラスグループ）とした。プラスグループの計算については平松（1999）の方法を用いた。

年齢別年別資源尾数を（1～3）式により計算した。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \exp(M) + C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad \text{※} a \leq 4 \text{ の場合} \quad (1)$$

$$N_{5,y} = \frac{C_{5,y}}{C_{5,y} + C_{6+,y}} N_{6+,y} \exp(M) + C_{5,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (2)$$

$$N_{6+,y} = \frac{C_{6+,y}}{C_{5,y} + C_{6+,y}} N_{6+,y} \exp(M) + C_{6+,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (3)$$

ここで $N_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は y 年 a 歳魚の漁獲尾数である。最近年（2021 年）の年齢別資源尾数は最近年の漁獲係数 $F_{a,2021}$ （ターミナル F ）を用いて（4）式より計算した。

$$N_{a,2021} = \frac{C_{a,2021} \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{1 - \exp(-F_{a,2021})} \quad (4)$$

ターミナル F 以外の漁獲係数 F は（5）式によった。

$$F_{a,y} = -\ln\left\{1 - \frac{C_{a,y}}{N_{a,y}} \exp\left(\frac{M}{2}\right)\right\} \quad (5)$$

$F_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の漁獲係数である。プラスグループの F は全ての年で最高齢-1 歳の F と等しいとした（平松 1999、（6）式）。

$$F_{6+,y} = F_{5,y} \quad (6)$$

最近年の 0～5 歳の F ($F_{0,2021} \sim F_{5,2021}$) をチューニングによって探索的に求めた。昨年度まではチューニングに加入量と親魚量の指標を計 4 系列使用していたが、今年度は 1 歳魚資源尾数の指標値として北西太平洋秋季浮魚類資源調査の中層トロール 1 歳魚標準化 CPUE

(以下、秋季 1 歳魚標準化 CPUE) も使用した (補足表 2-2)。近年、漁獲物に占める 1 歳魚の割合は小さく、最近年の 1 歳魚の推定値は前年の加入量指標値によってほとんど決まっている状況に近かった。そのため、各年級の加入量の推定値が 2、3 年後に大きく修正されることがあり、1 歳魚の指標を利用することでより頑健な加入量の推定が可能になると考えた。

ターミナル F の推定値を安定化させるために、リッジ VPA (Okamura et al. 2017) をコホート解析に適用した。これは (7) 式で表されるように負の対数尤度にペナルティ項を加えた関数を最小化することでターミナル F を求める手法である。

$$\text{最小} \quad (1 - \lambda) \sum_{k=1}^4 \sum_y \left[\frac{\ln(2\pi\sigma_k^2)}{2} + \frac{\{\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})\}^2}{2\sigma_k^2} \right] + \lambda \sum_{a=0}^5 F_{a,2021}^2 \quad (7)$$

λ はリッジ回帰におけるペナルティの大きさを表し、0 から 1 の間の値をとる。 σ_k^2 は指標 k の分散を、 $I_{k,y}$ は指標 k の y 年の値をそれぞれ表す。 q_k は指標 k の比例定数であり、 $X_{k,y}$ はコホート解析から計算される y 年における指標 k の対象 (加入量、親魚量) の値であり、 b_k は指標値と VPA の推定値の関係における非線形性を表す係数である。加入量の指標である、北西太平洋北上期浮魚類資源調査の中層トロール 0 歳魚標準化 CPUE (以下、北上期標準化 CPUE) ($k=1$) と北西太平洋秋季浮魚類資源調査の中層トロール 0 歳魚標準化 CPUE (秋季標準化 CPUE) ($k=2$)、秋季 1 歳魚標準化 CPUE ($k=3$) については、非線形性 ($b_k \neq 1$) と観察誤差が等しいこと ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$) を仮定し、 q_k および σ_k^2 はそれぞれ以下の (8~9) 式で推定した。

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

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{\sum_{k=1}^3 n_k} \sum_{k=1}^3 \sum_y \{\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})\}^2 \quad k = 1, 2, 3 \quad (9)$$

ここで、 n_k は指標 k でチューニングに使用した年数を表す。たもすくい標準化 CPUE ($k=4$) と標準化産卵量 ($k=5$) については $b_k=1$ に固定し、 q_k は式 (8) で、 σ_k^2 は以下の式で推定した：

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{n_k} \sum_y \{\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})\}^2 \quad k = 4, 5 \quad (10)$$

北上期標準化 CPUE、秋季 0 歳魚標準化 CPUE および秋季 1 歳魚標準化 CPUE における非線形性を表す係数 b_k ($k=1, 2, 3$) をこれまでの資源評価で使用してきた 1.8 で固定した。8 年間の親魚量のレトロスペクティブ・バイアス (Mohn's ρ , Mohn 1999) が最小となる λ の値を 0.005 刻みで探索した結果、 $\lambda=0.975$ となった。標準化手法の変更 (補足資料 4 参照)、秋季 1 歳魚標準化 CPUE を加えたことの影響およびレトロスペクティブ解析や残差プロッ

トの結果は補足資料 4 に示す。

(2) 将来予測方法

得られた資源量をもとに漁獲管理規則に基づく将来予測を行った。評価当年（2022 年漁期）の加入量の予測については加入量指標値が得られているため、再生産関係からの予測値をベイズの定理を利用し、指標値の結果で更新した値を以下のように求めた。まず、ホッケ－・スティック型の再生産関係から、2022 年漁期の加入量（ R_{2022} ）の事前分布を設定した。なお、再生産関係のパラメータは、「管理基準値等に関する研究機関会議」の値を使用し、最適化方法には最小二乗法を用い、加入の残差の自己相関を考慮している（詳細は西嶋ほか（2019）を参照）。2021 年漁期の加入量（131.2 億尾）と、2021 年漁期親魚量（164.4 万トン）と再生産関係からの予測値との残差は

$$\varepsilon_{2021} = \ln R_{2021} - \ln[f(a, b, SSB_{2021})] = 0.49 \quad (11)$$

と計算される。ただし、

$$f(a, b, SSB) = \begin{cases} a \times SSB & \text{if } SSB < b \\ a \times b & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

で、 $a=7.578$ [千尾/トン]、 $b=1,056$ [千トン] である（西嶋ほか 2019）。これらと、2022 年漁期の親魚量（186.1 万トン）から、再生産関係からの 2022 年漁期加入量の予測値は

$$\hat{R}_{2022,0} = f(a, b, SSB_{2022}) \times \exp(\rho \times \varepsilon_{2021}) \quad (13)$$

から 96.4 尾と予測される。ただし、 ρ は加入の残差の自己相関係数で、0.376 である。この予測値と、加入変動 $\hat{\sigma}_0^2 = 0.837^2$ から、2022 年漁期加入量の事前分布は

$$\ln(R_{2022}) \sim \text{Normal}(\ln(\hat{R}_{2022,0}), \hat{\sigma}_0^2) \quad (14)$$

となる。

次に、チューニング指数として用いている 2 つの加入量指標（北上期標準化 CPUE、秋季標準化 CPUE）の 2022 年の指標値の尤度は以下の式で与えられる：

$$\ln(I_{k,2022}) \sim \text{Normal}(\ln(\hat{q}_k R_{2022}^{b_k}), \hat{\sigma}_k^2) \quad k = 1, 2 \quad (15)$$

この式の値は補足表 2-2 の通りである。このとき、事後確率を最大にする 2022 漁期の加入量予測値は、以下の式の重みづけ平均で与えられる（Gelman et al. 1995）。

$$\ln(\hat{R}_{2022}) = \frac{\hat{w}_0 \ln(\hat{R}_{2022,0}) + \hat{w}_1 \ln(\hat{R}_{2022,1}) + \hat{w}_2 \ln(\hat{R}_{2022,2})}{\hat{w}_0 + \hat{w}_1 + \hat{w}_2} \quad (16)$$

ただし、 $\hat{w}_k$ は事前分布 ($k=0$)と各データの重み ($k=1,2$)を表しており、 $\hat{w}_k = 1/\hat{\sigma}_k^2$ である ($\hat{w}_0 = 1.43$, $\hat{w}_1 = \hat{w}_2 = 0.79$)。 $\hat{R}_{2022,k}$ ($k=1,2$)は各指標値から求められる2022年漁期加入量の予測値であり、 $\hat{R}_k = (I_{k,2022}/\hat{q})^{\frac{1}{b_k}}$ で与えられる(北上期標準化 CPUE では91.4億尾、秋季標準化 CPUE では122.0億尾)。式(16)から、重みづけ幾何平均 $\hat{R}_{2022} = 101.1$ 億尾を求め、2022年漁期の加入量の予測値とした。

2023年漁期以降の加入量の予測については、上記の自己相関を考慮したホッケー・スティック型の再生産関係式を用い、加入変動による不確実性を考慮したシミュレーションを行った。詳細は「再生産関係の推定・将来予測シミュレーション・管理基準値計算の手順(平成31年度研究機関会議版)」を参照されたい。

将来予測における漁獲係数 F 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算出される値を用いた。将来予測に用いたパラメータを補足表2-3に示す。年齢別平均体重および年齢別成熟割合の値は、短期的には直近の成長・成熟の遅れが継続する可能性が高いと判断されることから、ABC算定年である2023年漁期までは2021年漁期と等しい値を使用し、2023年漁期以降の年齢別平均体重および年齢別成熟割合は、令和元年度に開催された資源管理方針に関する検討会において提案された各種管理基準値の推定に用いた値を用いた。これらは再生産関係と同じく平成30(2018)年度の資源評価に基づく値であり、選択率および漁獲物平均体重はこの評価における将来予測で設定した値である。現状の漁獲圧 ($F_{2019-2021}$) は、 F_{msy} と等しい選択率において推定される%SPRが2019~2021年漁期の平均 F 値から推定される%SPRと等しくなる値とした。なお、この%SPRを算出する際には、年齢別平均体重および成熟割合の値は2021年漁期の値を使用した。2022年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 ($F_{2019-2021}$) から予測される48.5万トンとした。

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法(式(17))を用いた。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad \text{※} a \leq 4 \text{ の場合} \quad (17a)$$

$$N_{6+,y+1} = (N_5 + N_{6+}) \exp(-F_{5,y} - M) \quad (17b)$$

漁獲尾数は上記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(18)式により求めた。

$$C_{a,y} = N_{a,y} (1 - \exp(-F_{a,y})) \exp(-\frac{M}{2}) \quad (18)$$

引用文献

Gelman, A., J. B. Carlin, H. S. Stern and D. B. Rubin (1995) Bayesian Data Analysis, Chapman & Hall/CRC.

平松一彦 (1999) VPA の入門と実際. 水産資源管理談話会報, 20, 9-28.

- 本間 操・佐藤祐二・宇佐美修造 (1987) コホート解析によるマサバ太平洋系群の資源量推定. 東海水研報, **121**, 1-11.
- 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.
- 西嶋翔太・由上龍嗣・井須小羊子・上村泰洋・古市 生 (2019) 平成 31 (2019) 年度マサバ太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書. http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_masaba_p.pdf (last accessed 30 October 2019)
- 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.
- Pope, J. G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Res. Bull. int. comm. Northw. Atlant. Fish., **9**, 65-74.

補足表 2-1. コホート解析結果の詳細

年齢別漁獲尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
0歳	834	334	29	93	351	1,254	632	539	1,039	208	199	266	123
1歳	1,202	815	1,847	647	182	388	923	2,083	1,256	1,919	472	184	324
2歳	1,037	888	681	1,211	794	560	548	727	1,468	1,312	286	142	301
3歳	365	288	242	548	994	618	446	472	641	645	419	149	160
4歳	127	104	73	183	310	391	251	236	338	158	310	194	81
5歳	49	56	35	46	26	165	42	82	173	80	126	115	70
6歳以上	41	19	18	12	4	46	4	16	17	13	11	13	13
計	3,656	2,504	2,924	2,740	2,662	3,421	2,845	4,154	4,932	4,335	1,824	1,063	1,072
年齢別漁獲重量 (万トン)													
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
0歳	6.3	2.1	0.2	0.9	2.5	5.7	4.8	4.8	10.1	1.5	1.2	2.8	1.4
1歳	22.6	16.5	41.7	15.2	4.3	7.1	14.2	38.8	32.8	42.0	7.7	3.9	7.5
2歳	29.9	34.2	23.1	34.6	26.2	18.6	15.9	22.2	45.2	41.6	9.5	4.6	8.3
3歳	14.7	15.9	11.1	19.4	38.7	26.5	20.2	21.3	25.5	27.8	18.8	6.5	7.0
4歳	6.8	8.4	4.3	8.1	15.0	18.9	13.3	13.3	17.4	8.5	16.9	12.2	4.7
5歳	3.2	6.0	2.6	2.8	1.8	9.3	2.8	5.5	10.4	5.2	8.5	8.4	4.8
6歳以上	3.0	2.3	1.5	1.1	0.4	3.5	0.3	1.3	1.5	0.9	1.1	1.4	1.0
計	86.5	85.5	84.5	82.2	88.9	89.7	71.5	107.1	142.8	127.5	63.7	39.8	34.7
漁獲割合	29.5%	22.9%	19.0%	19.7%	22.7%	26.4%	18.8%	22.8%	29.6%	38.9%	33.0%	22.0%	20.4%
年齢別漁獲係数 (F)、Fmsyに対する各年のFの比および%SPR													
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
0歳	0.11	0.03	0.00	0.02	0.06	0.16	0.06	0.07	0.19	0.08	0.08	0.09	0.05
1歳	0.35	0.18	0.28	0.15	0.05	0.11	0.22	0.33	0.27	0.87	0.33	0.12	0.19
2歳	0.83	0.61	0.28	0.38	0.36	0.27	0.27	0.34	0.52	0.64	0.37	0.20	0.36
3歳	0.85	0.77	0.42	0.50	0.85	0.70	0.45	0.50	0.75	0.60	0.56	0.43	0.45
4歳	0.69	0.85	0.57	0.88	0.79	1.57	0.96	0.60	1.20	0.54	0.89	0.74	0.56
5歳	1.14	1.08	1.14	1.31	0.36	3.21	0.92	1.51	2.21	1.74	1.87	1.60	0.90
6歳以上	1.14	1.08	1.14	1.31	0.36	3.21	0.92	1.51	2.21	1.74	1.87	1.60	0.90
平均 (Fbar)	0.73	0.66	0.55	0.65	0.40	1.32	0.54	0.69	1.05	0.89	0.85	0.68	0.49
F/Fmsy	4.83	4.22	2.90	3.87	2.95	5.21	3.04	3.49	5.55	5.20	4.35	3.20	2.61
%SPR	12.09	16.77	26.59	22.11	23.66	22.42	26.13	22.86	15.46	10.53	19.92	28.67	28.22
年齢別資源尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
0歳	9,998	14,084	8,345	6,958	7,462	10,095	14,344	10,460	7,283	3,291	3,302	3,725	3,084
1歳	5,015	6,019	9,167	5,570	4,588	4,714	5,740	9,098	6,570	4,032	2,036	2,051	2,279
2歳	2,248	2,378	3,368	4,633	3,204	2,926	2,843	3,092	4,393	3,376	1,132	978	1,224
3歳	776	657	867	1,700	2,115	1,498	1,503	1,457	1,478	1,742	1,189	524	539
4歳	311	221	204	383	691	604	498	642	590	466	640	454	230
5歳	88	104	63	77	107	209	84	128	237	119	183	175	145
6歳以上	74	35	32	20	18	58	7	25	23	19	16	20	26
計	18,509	23,499	22,047	19,342	18,184	20,105	25,019	24,902	20,574	13,045	8,497	7,927	7,527
年齢別資源量 (万トン)、親魚量 (万トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)													
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
0歳	75.5	90.3	64.9	70.0	52.7	45.9	108.9	93.9	70.5	23.1	20.4	39.7	34.8
1歳	94.4	122.2	207.1	131.1	108.3	86.2	88.2	169.3	171.4	88.3	33.3	43.3	53.1
2歳	64.8	91.5	114.1	132.3	105.7	97.2	82.4	94.3	135.3	107.1	37.6	31.5	33.8
3歳	31.3	36.2	39.8	60.1	82.4	64.2	68.0	65.6	58.7	75.0	53.2	23.0	23.7
4歳	16.6	18.0	12.1	17.0	33.4	29.2	26.4	36.1	30.4	25.0	34.8	28.5	13.4
5歳	5.7	11.1	4.7	4.7	7.5	11.9	5.8	8.6	14.2	7.7	12.3	12.8	9.9
6歳以上	5.4	4.3	2.7	1.9	1.7	4.5	0.7	2.1	2.0	1.4	1.6	2.2	2.0
計	293.8	373.7	445.4	417.1	391.7	339.1	380.3	469.9	482.6	327.6	193.2	181.0	170.6
親魚量	65.7	80.7	74.1	98.1	129.6	116.4	118.8	134.1	140.1	133.7	107.9	73.7	56.7
RPS(尾/kg)	15.2	17.5	11.3	7.1	5.8	8.7	12.1	7.8	5.2	2.5	3.1	5.1	5.4
年齢別体重 (g)													
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
0歳	76	64	78	101	71	45	76	90	97	70	62	107	113
1歳	188	203	226	235	236	183	154	186	261	219	164	211	233
2歳	288	385	339	286	330	332	290	305	308	317	332	322	276
3歳	404	551	459	354	390	429	453	450	397	431	448	439	439
4歳	532	811	592	443	484	484	530	563	515	536	544	628	583
5歳	655	1,066	737	611	699	567	683	668	601	648	675	732	681
6歳以上	731	1,242	843	908	946	768	917	847	893	738	954	1,067	758

補足表 2-1. コホート解析結果の詳細 (つづき)

年齢別漁獲尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	250	549	378	183	72	67	34	29	53	297	96	128	362
1歳	284	544	398	1,336	316	106	24	6	8	11	957	98	123
2歳	440	358	253	555	352	253	53	6	11	13	240	98	49
3歳	225	208	190	276	170	253	71	11	8	12	39	28	28
4歳	76	90	75	79	41	26	77	6	5	7	5	5	9
5歳	44	46	38	28	19	4	4	4	2	10	2	2	3
6歳以上	23	18	21	9	6	2	1	1	0	8	2	2	2
計	1,343	1,812	1,352	2,465	976	711	263	63	87	357	1,341	361	576
年齢別漁獲重量 (万トン)													
年齢\漁期年	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	1.9	6.6	3.1	1.8	0.6	1.1	0.7	0.5	0.9	4.3	1.4	1.9	3.8
1歳	5.7	12.2	9.6	26.6	7.7	2.7	0.8	0.2	0.2	0.3	27.2	2.9	5.0
2歳	13.5	13.0	9.5	15.6	11.8	8.6	2.3	0.3	0.5	0.6	8.8	4.7	2.3
3歳	9.1	11.4	9.3	11.2	7.6	11.1	3.8	0.7	0.5	0.6	1.7	1.6	1.7
4歳	3.6	5.9	5.5	4.5	2.7	1.7	4.6	0.5	0.3	0.5	0.4	0.3	0.7
5歳	2.5	3.5	3.3	2.1	1.6	0.4	0.3	0.4	0.2	1.0	0.2	0.1	0.3
6歳以上	1.5	1.8	2.0	0.9	0.7	0.2	0.1	0.1	0.0	0.9	0.2	0.2	0.2
計	37.8	54.3	42.2	62.7	32.7	25.9	12.5	2.8	2.6	8.1	39.8	11.7	14.1
漁獲割合	25.8%	29.9%	24.7%	43.1%	35.9%	46.4%	42.4%	12.9%	8.2%	12.3%	56.4%	35.4%	40.2%
年齢別漁獲係数 (F)、Fmsyに対する各年のFの比および%SPR													
年齢\漁期年	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	0.09	0.19	0.09	0.12	0.15	0.37	0.23	0.11	0.07	0.15	0.23	0.34	0.50
1歳	0.19	0.39	0.26	0.68	0.40	0.44	0.27	0.07	0.05	0.02	1.54	0.51	0.90
2歳	0.55	0.52	0.40	0.98	0.48	0.89	0.53	0.13	0.22	0.13	1.34	0.82	0.68
3歳	0.65	0.74	0.76	1.57	1.45	1.07	0.92	0.24	0.32	0.53	0.96	0.69	0.77
4歳	0.52	0.80	0.88	1.24	1.86	1.39	2.10	0.22	0.20	0.59	0.61	0.36	0.63
5歳	0.93	0.93	1.49	1.53	2.19	1.66	1.16	0.88	0.14	1.23	0.38	0.51	0.61
6歳以上	0.93	0.93	1.49	1.53	2.19	1.66	1.16	0.88	0.14	1.23	0.38	0.51	0.61
平均 (Fbar)	0.55	0.64	0.77	1.09	1.25	1.07	0.91	0.36	0.16	0.55	0.78	0.54	0.67
F/Fmsy	3.17	4.14	3.92	7.54	6.86	6.77	5.04	1.37	1.06	2.33	7.00	4.18	5.09
%SPR	22.71	15.41	20.35	6.54	12.79	8.32	16.27	46.24	51.66	34.84	2.80	11.66	7.28
年齢別資源尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	3,397	3,805	5,410	1,962	630	263	199	342	965	2,581	565	536	1,126
1歳	1,967	2,072	2,102	3,317	1,165	363	122	106	206	604	1,487	299	254
2歳	1,263	1,086	944	1,083	1,130	523	156	62	66	131	396	213	120
3歳	573	486	434	426	272	469	143	61	37	35	77	69	63
4歳	231	200	155	136	60	43	107	38	32	18	14	20	23
5歳	88	92	60	43	26	6	7	9	21	18	7	5	9
6歳以上	47	36	34	14	8	3	1	2	3	14	6	6	4
計	7,566	7,777	9,140	6,981	3,291	1,670	736	620	1,329	3,401	2,552	1,148	1,601
年齢別資源量 (万トン)、親魚量 (万トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)													
年齢\漁期年	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	26.2	45.7	44.1	19.2	5.4	4.4	4.1	5.8	16.3	37.0	8.1	7.8	11.9
1歳	39.3	46.3	50.7	66.1	28.4	9.2	4.0	3.9	6.3	17.4	42.3	8.8	10.3
2歳	38.8	39.3	35.5	30.4	37.9	17.8	6.6	3.6	3.2	5.6	14.6	10.1	5.7
3歳	23.0	26.6	21.2	17.3	12.1	20.6	7.7	4.1	2.1	1.9	3.3	4.0	3.9
4歳	11.0	13.1	11.5	7.8	3.8	2.8	6.4	3.2	2.1	1.3	1.0	1.3	1.9
5歳	5.1	7.1	5.2	3.3	2.2	0.6	0.6	0.8	1.6	1.8	0.6	0.5	0.8
6歳以上	3.0	3.5	3.2	1.3	0.9	0.3	0.1	0.2	0.3	1.5	0.7	0.7	0.4
計	146.4	181.6	171.3	145.5	90.9	55.8	29.5	21.5	32.0	66.5	70.5	33.2	35.0
親魚量	51.4	59.5	49.6	37.1	34.3	31.4	17.5	9.7	7.4	8.7	11.4	10.5	9.4
RPS(尾/kg)	6.6	6.4	10.9	5.3	1.8	0.8	1.1	3.5	13.0	29.5	4.9	5.1	12.0
年齢別体重 (g)													
年齢\漁期年	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	77	120	82	98	86	168	207	170	169	143	143	146	106
1歳	200	223	241	199	244	255	325	365	305	288	284	294	406
2歳	307	362	376	281	336	341	426	582	488	424	368	476	474
3歳	402	547	489	407	446	440	537	661	585	529	430	578	626
4歳	475	656	741	572	644	654	599	828	654	749	705	661	809
5歳	576	768	855	755	838	886	814	954	790	990	943	896	908
6歳以上	645	993	943	947	1,112	1,066	1,034	1,101	957	1,114	1,115	1,116	973

補足表 2-1. コホート解析結果の詳細 (つづき)

年齢別漁獲尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0歳	1,578	147	32	145	252	7	244	66	767	42	6	425	60
1歳	193	885	69	17	86	69	17	206	87	523	62	53	275
2歳	23	61	177	24	13	40	6	32	72	53	376	70	47
3歳	20	13	13	41	11	5	6	7	11	32	25	157	44
4歳	10	6	1	10	14	4	4	2	4	13	8	4	51
5歳	4	4	0	1	1	3	3	1	1	1	2	1	3
6歳以上	3	2	0	0	0	2	2	1	1	1	0	0	1
計	1,830	1,118	292	238	376	131	281	314	944	664	479	709	481
年齢別漁獲重量 (万トン)													
年齢\漁期年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0歳	18.6	2.2	0.5	2.4	4.0	0.1	2.7	0.8	10.1	0.5	0.1	5.1	0.8
1歳	5.0	25.4	2.2	0.5	3.1	2.4	0.6	4.8	2.4	16.5	2.2	1.7	8.6
2歳	1.0	2.6	7.9	1.2	0.6	1.8	0.3	1.2	4.1	2.5	19.9	3.3	1.8
3歳	1.1	0.7	0.7	2.5	0.6	0.3	0.4	0.3	0.8	1.8	1.6	8.4	2.6
4歳	0.6	0.4	0.1	0.8	0.8	0.2	0.2	0.2	0.4	1.0	0.5	0.3	3.4
5歳	0.3	0.3	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2
6歳以上	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
計	26.9	31.8	11.5	7.7	9.1	5.3	4.7	7.6	18.1	22.6	24.5	18.8	17.6
漁獲割合	38.2%	50.7%	39.8%	32.6%	40.5%	34.5%	20.5%	30.0%	23.7%	26.6%	32.6%	32.5%	35.7%
年齢別漁獲係数 (F)、Fmsyに対する各年のFの比および%SPR													
年齢\漁期年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0歳	0.59	0.46	0.25	0.43	0.91	0.03	0.33	0.16	0.27	0.08	0.02	0.38	0.13
1歳	0.72	1.12	0.52	0.26	0.65	0.93	0.12	0.66	0.41	0.37	0.20	0.27	0.59
2歳	0.51	0.69	0.96	0.44	0.42	1.01	0.22	0.46	0.67	0.63	0.66	0.47	0.52
3歳	0.89	0.87	0.39	0.80	0.46	0.37	0.55	0.52	0.37	1.01	0.96	0.88	0.85
4歳	0.95	1.15	0.18	0.77	0.95	0.37	0.60	0.41	1.11	1.48	0.96	0.44	1.16
5歳	1.08	2.54	0.19	0.44	0.14	0.72	0.82	0.44	0.74	1.06	1.15	0.30	1.14
6歳以上	1.08	2.54	0.19	0.44	0.14	0.72	0.82	0.44	0.74	1.06	1.15	0.30	1.14
平均 (Fbar)	0.83	1.34	0.38	0.51	0.52	0.59	0.49	0.44	0.62	0.81	0.73	0.44	0.79
F/Fmsy	5.31	7.20	3.38	3.55	4.26	4.09	2.48	3.17	3.36	4.47	3.67	3.12	4.52
%SPR	8.62	5.71	14.44	16.74	9.44	13.79	30.07	18.53	20.17	17.36	23.08	19.25	14.78
年齢別資源尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0歳	4,321	489	176	504	514	276	1,071	545	4,001	666	420	1,644	579
1歳	459	1,604	207	92	219	138	179	518	312	2,054	412	276	754
2歳	69	149	351	83	48	77	36	107	179	138	949	226	142
3歳	41	28	50	90	36	21	19	20	45	61	49	328	95
4歳	19	11	8	23	27	15	10	7	8	21	15	13	91
5歳	8	5	2	4	7	7	7	4	3	2	3	4	6
6歳以上	5	3	0	2	3	6	4	3	3	2	1	1	2
計	4,922	2,290	796	798	854	541	1,327	1,204	4,551	2,944	1,849	2,491	1,668
年齢別資源量 (万トン)、親魚量 (万トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)													
年齢\漁期年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0歳	51.0	7.4	2.9	8.5	8.1	3.8	12.1	6.8	52.7	7.8	5.7	19.9	8.0
1歳	11.9	46.1	6.7	2.8	8.0	4.8	6.3	12.2	8.7	64.9	14.9	8.7	23.5
2歳	3.1	6.4	15.7	4.3	2.0	3.4	1.7	4.0	10.2	6.6	50.1	10.6	5.4
3歳	2.2	1.5	2.6	5.5	1.8	1.3	1.1	1.0	3.3	3.5	3.1	17.6	5.6
4歳	1.2	0.7	0.6	1.8	1.6	0.9	0.6	0.6	0.7	1.6	1.1	0.9	6.1
5歳	0.6	0.3	0.2	0.4	0.6	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4
6歳以上	0.4	0.3	0.0	0.2	0.3	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2
計	70.5	62.8	28.8	23.5	22.5	15.3	22.8	25.2	76.3	84.9	75.3	58.0	49.4
親魚量	5.7	5.4	9.8	9.6	6.4	6.3	4.4	6.0	13.2	8.9	29.6	24.1	15.1
RPS(尾/kg)	75.4	9.1	1.8	5.3	8.1	4.4	24.5	9.0	30.2	7.5	1.4	6.8	3.8
年齢別体重 (g)													
年齢\漁期年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0歳	118	152	165	169	158	137	113	124	132	118	136	121	138
1歳	260	287	325	308	366	350	354	236	280	316	362	314	312
2歳	451	428	446	515	421	440	455	374	569	477	528	469	385
3歳	545	535	523	606	517	599	576	530	742	578	631	537	589
4歳	633	642	787	803	593	626	643	756	835	787	726	683	672
5歳	743	699	879	950	895	689	780	788	1,011	1,002	1,013	745	806
6歳以上	819	840	970	1,099	1,031	1,078	1,126	1,078	1,087	1,089	1,122	921	995

補足表 2-1. コホート解析結果の詳細 (つづき)

年齢別漁獲尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
0歳	174	80	28	63	297	140	33	100	92	295	103	383	273
1歳	35	163	88	52	248	812	177	141	140	82	308	144	279
2歳	127	54	87	90	75	165	1,401	236	265	253	206	527	171
3歳	24	37	21	66	77	65	128	1,147	423	364	219	241	328
4歳	13	9	7	21	25	17	16	32	695	343	155	178	148
5歳	15	6	2	4	5	18	11	15	60	298	130	118	87
6歳以上	1	1	0	1	2	1	10	10	16	58	277	156	115
計	388	349	234	297	729	1,219	1,777	1,681	1,690	1,693	1,398	1,747	1,400
年齢別漁獲重量 (万トン)													
年齢\漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
0歳	2.1	1.0	0.5	1.0	3.7	1.5	0.3	0.8	0.6	2.0	1.0	3.1	2.0
1歳	1.3	5.7	3.5	1.9	7.8	15.7	3.5	2.8	3.0	1.7	5.3	2.2	4.1
2歳	6.4	2.6	4.3	4.3	3.7	6.8	33.4	6.0	7.8	6.6	5.4	12.0	4.1
3歳	1.3	2.3	1.3	3.7	4.7	3.7	5.6	34.9	13.8	12.7	6.9	6.5	10.7
4歳	0.8	0.7	0.5	1.3	1.7	1.2	1.0	1.7	24.3	13.7	5.2	6.5	5.8
5歳	1.0	0.5	0.2	0.3	0.4	1.2	0.7	1.0	3.2	12.4	4.9	5.5	4.1
6歳以上	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.7	0.7	1.1	3.9	13.0	8.5	7.0
計	13.0	12.8	10.2	12.6	22.1	30.2	45.3	48.0	53.9	52.9	41.7	44.2	37.9
漁獲割合	22.4%	16.1%	9.4%	7.3%	4.4%	5.4%	8.6%	9.8%	11.3%	10.2%	8.5%	9.9%	7.8%
年齢別漁獲係数 (F)、Fmsyに対する各年のFの比および%SPR													
年齢\漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
0歳	0.11	0.07	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.05	0.03
1歳	0.13	0.17	0.12	0.06	0.09	0.06	0.04	0.04	0.04	0.01	0.04	0.05	0.06
2歳	0.81	0.40	0.16	0.22	0.15	0.10	0.17	0.08	0.11	0.12	0.06	0.11	0.10
3歳	0.71	0.78	0.35	0.23	0.37	0.23	0.14	0.25	0.26	0.27	0.18	0.11	0.11
4歳	0.90	0.92	0.38	0.93	0.15	0.16	0.10	0.06	0.29	0.45	0.22	0.28	0.11
5歳	2.97	2.85	0.72	0.54	0.78	0.20	0.18	0.16	0.18	0.25	0.39	0.32	0.27
6歳以上	2.97	2.85	0.72	0.54	0.78	0.20	0.18	0.16	0.18	0.25	0.39	0.32	0.27
平均 (Fbar)	1.23	1.15	0.35	0.36	0.33	0.14	0.12	0.11	0.15	0.20	0.19	0.18	0.13
F/Fmsy	3.99	3.42	1.39	1.42	1.19	0.70	0.78	0.91	1.30	1.53	1.16	1.25	0.98
%SPR	24.15	28.38	45.83	45.90	49.66	62.58	60.41	56.50	45.24	40.83	49.64	47.14	54.07
年齢別資源尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
0歳	2,076	1,512	1,622	5,072	26,848	8,537	7,318	6,347	10,552	14,947	5,322	9,217	13,123
1歳	339	1,249	948	1,064	3,349	17,754	5,608	4,878	4,173	6,998	9,778	3,483	5,865
2歳	280	199	704	563	671	2,042	11,236	3,614	3,154	2,683	4,624	6,302	2,217
3歳	57	84	89	400	304	388	1,233	6,384	2,230	1,898	1,591	2,931	3,793
4歳	27	19	26	42	214	141	207	722	3,341	1,149	974	887	1,767
5歳	19	7	5	12	11	123	80	125	458	1,670	489	526	449
6歳以上	2	1	0	2	5	5	70	84	120	325	1,046	696	594
計	2,800	3,071	3,395	7,156	31,402	28,990	25,753	22,155	24,027	29,669	23,823	24,042	27,808
年齢別資源量 (万トン)、親魚量 (万トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)													
年齢\漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
0歳	24.9	19.0	29.4	78.9	330.7	89.5	68.8	51.4	72.4	101.1	53.5	75.8	96.9
1歳	12.8	43.8	37.3	39.7	105.1	344.0	111.8	97.1	90.1	143.8	166.8	52.3	87.1
2歳	14.1	9.7	34.4	27.0	32.8	83.8	267.4	92.7	93.4	69.8	120.0	143.2	52.8
3歳	3.2	5.1	5.5	22.0	18.6	22.3	53.8	194.5	73.1	66.2	50.1	79.0	123.3
4歳	1.6	1.4	1.8	2.7	14.4	9.8	13.2	39.0	116.6	45.8	32.8	32.3	70.0
5歳	1.3	0.6	0.4	0.9	0.8	8.1	5.0	7.9	24.2	69.4	18.6	24.5	21.3
6歳以上	0.1	0.1	0.0	0.1	0.5	0.4	5.3	5.8	8.7	21.7	48.9	37.6	36.2
計	58.0	79.6	108.7	171.4	502.8	557.9	525.5	488.4	478.4	517.8	490.8	444.8	487.6
親魚量	13.3	12.0	24.9	39.2	50.7	82.4	77.4	111.1	171.4	156.7	115.3	118.2	164.4
RPS(尾/kg)	15.6	12.6	6.5	12.9	53.0	10.4	9.5	5.7	6.2	9.5	4.6	7.8	8.0
年齢別体重 (g)													
年齢\漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
0歳	120	126	181	156	123	105	94	81	69	68	100	82	74
1歳	377	351	393	373	314	194	199	199	216	205	171	150	149
2歳	503	490	488	480	489	410	238	256	296	260	260	227	238
3歳	557	606	614	550	612	574	436	305	328	349	315	269	325
4歳	599	729	701	627	672	693	637	540	349	399	336	364	396
5歳	694	796	842	751	747	656	624	629	529	416	382	467	474
6歳以上	838	940	909	868	886	793	761	697	724	668	467	541	609

補足表 2-2. チューニングに用いた指標値とパラメータ推定値

指標値	①	①'	②	②'	③	③'	④	④'	⑤	⑤'
対象	N ₀		N ₀		N ₁		SSB		SSB	
2002	2.9	6.7								
2003	26.2	6.4					5.5	3.8		
2004	132.1	59.1					4.5	5.9		
2005	15.3	7.8	23.2	38.4	1.9	8.1	3.3	2.5	43.8	79.9
2006	0.2	0.3	0.8	1.9	0.0	1.7	25.5	12.6	160.9	195.3
2007	236.6	48.1	10.0	23.0	0.0	1.8	86.6	40.8	408.2	284.2
2008	37.7	5.7	9.5	13.5	3.7	8.3	45.5	17.0	132.9	100.0
2009	33.3	11.8	60.8	52.4	0.6	4.4	56.5	23.5	112.6	111.0
2010	20.0	10.8	16.6	34.9	1.1	11.3	54.5	23.3	191.5	173.2
2011	3.7	1.7	3.5	7.3	2.3	10.0	116.2	44.2	200.5	161.0
2012	36.0	25.4	18.2	52.9	0.3	24.4	120.5	45.4	302.3	277.5
2013	1443.4	625.2	1287.6	3051.2	65.2	215.3	131.9	56.8	311.6	287.1
2014	14.0	6.3	117.4	161.5	341.6	238.6	110.9	45.9	180.4	205.2
2015	36.0	76.0	166.3	271.0	4.8	91.5	120.3	44.0	157.3	188.5
2016	663.4	631.7	1303.3	2159.3	90.1	179.5	172.5	74.6	121.6	162.1
2017	543.7	834.2	685.4	834.4	105.5	105.0	81.5	38.1	391.4	432.0
2018	2382.3	2067.4	5765.0	7325.5	1186.4	814.6	142.9	66.0	717.8	662.9
2019	74.6	143.3	165.9	193.6	436.8	265.2	142.4	49.6	811.5	764.9
2020	443.3	399.8	684.1	1500.3	17.4	53.7	167.3	50.2	343.8	431.3
2021	2069.7	2590.6	646.4	1077.3	30.2	54.3	115.2	46.3	207.2	277.5
2022	455.2	274.1	471.6	1211.9	43.7	95.3	63.2	19.9	345.7	392.0
q	2.03E-05		5.35E-05		3.05E-05		0.0612		0.4684	
b	1.80*		1.80*		1.80*		1.00**		1.00**	
σ	1.123		1.123		1.123		0.765		0.662	

① 北西太平洋北上期浮魚類資源調査による中層トロール 0 歳魚 CPUE (尾/網/60 分)

② 北西太平洋秋季浮魚類資源調査による中層トロール 0 歳魚 CPUE (尾/網/60 分)

③ 北西太平洋秋季浮魚類資源調査による中層トロール 1 歳魚 CPUE (尾/網/60 分)

④ 伊豆諸島海域たもすくい漁業 CPUE (kg/人/時)

⑤ 海区 I ～IV (太平洋全域) の産卵量 (兆粒)

①～⑤は標準化(補足資料 4)を行い、標準化後の値(①' ②' ③' ④' ⑤')をチューニング指数に用いた。

* b = 1.8 に固定

** b = 1 に固定

補足表 2-3. 将来予測計算に用いたパラメータ

	選択率 (注 1)	F _{msy} (注 2)	F2019- 2021 (注 3)	平均体重 (g)		自然 死亡 係数	成熟割合	
				2022-2023 年漁期	2024 年 漁期以降		2022-2023 年漁期	2024 年 漁期以降
0 歳	0.04	0.02	0.01	74	94	0.40	0.00	0.00
1 歳	0.14	0.05	0.05	149	202	0.40	0.00	0.00
2 歳	0.29	0.10	0.09	238	264	0.40	0.00	0.20
3 歳	0.53	0.19	0.17	325	316	0.40	0.30	0.80
4 歳	0.55	0.19	0.18	396	349	0.40	1.00	1.00
5 歳	1.00	0.35	0.32	474	529	0.40	1.00	1.00
6 歳以上	1.00	0.35	0.32	609	645	0.40	1.00	1.00

注 1： 平成 31 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、平成 30 年度資源評価での F_{current} の選択率）。

注 2： 平成 31 年度研究機関会議で推定された F_{msy}（すなわち、平成 30 年度資源評価での F_{current} に F_{msy}/F_{current} を掛けたもの）。

注 3： 上記の選択率の下で、今回の資源評価で推定された 2019～2021 年漁期の年齢別の平均 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 2022 年漁期の漁獲量の仮定に使用した。

補足資料 3 各種パラメータと評価結果の概要

補足表 3-1. 再生産関係式のパラメータ

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
ホッケー・スティック型	最小二乗法	有	0.00758	1,056,000	0.837	0.375

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

補足表 3-2. 管理基準値と MSY

項目	値	説明
SBtarget	154.5 万トン	目標管理基準値。最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy)。
SBlimit	56.2 万トン	限界管理基準値。MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy)。
SBban	6.7 万トン	禁漁水準。MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.1msy)。
Fmsy	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧(漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳以上)=(0.02, 0.05, 0.10, 0.18, 0.19, 0.35, 0.35)	
%SPR (Fmsy)	53.5%	Fmsy に対応する%SPR
MSY	37.2 万トン	最大持続生産量 MSY

補足表 3-3. 最新年の親魚量と漁獲圧

項目	値	説明
SB2021	164.4 万トン	2021 年の親魚量
F2021	2021 年漁期の漁獲圧(漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳以上)=(0.03, 0.06, 0.10, 0.11, 0.11, 0.27, 0.27)	
U2021	7.8%	2021 年の漁獲割合
%SPR (F2021)	54.1%	2021 年の%SPR
%SPR (F2019-2021)	50.0%	現状(2019～2021 年)の漁獲圧に対応する%SPR*
管理基準値との比較		
SB2021/ SBmsy (SBtarget)	1.06	最大持続生産量を実現する親魚量(目標管理基準値)に対する 2021 年の親魚量の比
F2021/ Fmsy	0.98	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2021 年の漁獲圧の比*
親魚量の水準	MSY を実現する水準を上回る	
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る	
親魚量の動向	横ばい	

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

補足表 3-4. ABC と予測親魚量

2023 年漁期の ABC (万トン)	2023 年漁期の親魚量 予測平均値 (万トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2019-2021)	2023 年漁期の 漁獲割合 (%)
50.0	159.8	0.96	10.0
コメント: ・ ABC の算定には、令和 2 年 2 月に開催された「資源管理方針に関する検討会」にて取り纏められ、「水産政策審議会」を経て定められた漁獲シナリオでの漁獲管理規則を用いた。 ・ 本系群では漁獲管理規則で調整係数 $\beta=0.9$ を用いることが定められている。 ・ ABC は外国船による漁獲も合わせた値。			

補足表 3-5. 異なる β を用いた将来予測結果

考慮している不確実性： 加入量					
項目	2030 年漁期 の親魚量 (万トン)	90% 予測区間 (万トン)	2030 年漁期に親魚量が以下の 管理基準値を上回る確率(%)		
			SBtarget	SBlimit	SBban
漁獲管理規則で使用する β					
$\beta=0.9$	194.6	73.6 – 410.6	55	99	100
その他の方策（漁獲管理規則とは異なる β を使用した場合等）					
$\beta=1.0$	185.0	68.6 – 393.5	51	98	100
$\beta=0.8$	205.1	79.5 – 429.4	59	99	100
$\beta=0.6$	229.3	93.2 – 469.8	69	100	100
$\beta=0.4$	259.2	110.3 – 518.9	79	100	100
$\beta=0.2$	296.6	133.0 – 581.4	89	100	100
$\beta=0$	344.2	163.8 – 656.9	97	100	100
F2019-2021	191.1	71.8 – 404.1	53	99	100

補足表 3-5. 異なる β を用いた将来予測結果（つづき）

考慮している不確実性: 加入量			
	親魚量が管理基準値を 50%以上の確率で上回る年		
	SBtarget	SBlimit	SBban
漁獲管理規則で使用する β			
$\beta=0.9$	2021 年漁期	2021 年漁期	2021 年漁期
その他の方策（漁獲管理規則とは異なる β を使用した場合等）			
$\beta=1.0$	2021 年漁期	2021 年漁期	2021 年漁期
$\beta=0.8$	2021 年漁期	2021 年漁期	2021 年漁期
$\beta=0.6$	2021 年漁期	2021 年漁期	2021 年漁期
$\beta=0.4$	2021 年漁期	2021 年漁期	2021 年漁期
$\beta=0.2$	2021 年漁期	2021 年漁期	2021 年漁期
$\beta=0$	2021 年漁期	2021 年漁期	2021 年漁期
F2019-2021	2021 年漁期	2021 年漁期	2021 年漁期

補足表 3-6. 漁獲シナリオに対応する将来予測の年齢別詳細情報

年齢別漁獲係数 (F 値)

年齢\年	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	0.026	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.013	0.013	0.013
1歳	0.060	0.046	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044
2歳	0.099	0.095	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.090	0.090
3歳	0.112	0.170	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.163	0.163	0.163
4歳	0.108	0.179	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.171	0.171	0.171
5歳	0.270	0.323	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.310	0.310	0.309	0.309
6歳以上	0.270	0.323	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.310	0.310	0.309	0.309
平均	0.135	0.164	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.157	0.157	0.157

年齢別平均資源尾数 (百万尾) ※

年齢\年	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	13,123	10,111	8,149	8,163	8,090	8,215	8,116	8,014	7,810	7,684	7,711	7,606	7,679
1歳	5,865	8,573	6,683	5,389	5,398	5,350	5,433	5,367	5,300	5,165	5,082	5,100	5,030
2歳	2,217	3,703	5,491	4,287	3,458	3,463	3,433	3,486	3,443	3,400	3,314	3,260	3,272
3歳	3,793	1,346	2,258	3,361	2,624	2,116	2,120	2,101	2,133	2,108	2,081	2,028	1,996
4歳	1,767	2,274	761	1,285	1,912	1,493	1,204	1,206	1,195	1,214	1,199	1,184	1,154
5歳	449	1,064	1,275	430	725	1,079	843	680	681	675	685	677	669
6歳以上	594	534	775	1,007	705	703	875	844	748	702	676	669	661
計	27,808	27,605	25,392	23,921	22,913	22,420	22,023	21,697	21,311	20,947	20,748	20,524	20,461

年齢別平均資源量 (万トン) ※

年齢\年	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	96.9	74.7	60.2	77.0	76.3	77.5	76.5	75.6	73.7	72.5	72.7	71.7	72.4
1歳	87.1	127.3	99.2	108.9	109.1	108.1	109.8	108.4	107.1	104.3	102.7	103.0	101.6
2歳	52.8	88.2	130.8	113.0	91.1	91.3	90.5	91.8	90.7	89.6	87.3	85.9	86.2
3歳	123.3	43.8	73.4	106.3	83.0	66.9	67.0	66.4	67.5	66.6	65.8	64.1	63.1
4歳	70.0	90.1	30.1	44.8	66.7	52.1	42.0	42.1	41.7	42.4	41.8	41.3	40.3
5歳	21.3	50.4	60.4	22.7	38.4	57.1	44.6	36.0	36.0	35.7	36.3	35.8	35.4
6歳以上	36.2	32.5	47.2	65.0	45.5	45.4	56.5	54.5	48.3	45.3	43.7	43.2	42.7
計	487.6	506.9	501.4	537.7	510.1	498.3	486.9	474.8	465.0	456.4	450.3	445.2	441.7

年齢別平均漁獲尾数 (百万尾) ※

年齢\年	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	273	116	90	90	89	90	89	88	86	84	85	83	84
1歳	279	313	235	189	189	188	191	188	186	181	178	178	175
2歳	171	274	391	305	246	246	244	248	245	242	235	231	231
3歳	328	173	280	416	325	262	262	260	264	261	257	250	246
4歳	148	305	98	166	247	193	156	156	154	157	155	152	148
5歳	87	241	279	94	159	236	184	149	149	147	149	147	145
6歳以上	115	121	170	220	154	154	192	185	164	153	148	146	144
計	1,400	1,541	1,542	1,481	1,410	1,370	1,318	1,274	1,248	1,225	1,206	1,188	1,174

※10,000 回の繰り返し計算を行った平均値

補足表 3-7. 現状の漁獲圧 (F2019-2021) に対応する将来予測の年齢別詳細情報

年齢別漁獲係数 (F 値)

年齢\年	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	0.026	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
1歳	0.060	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046
2歳	0.099	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095
3歳	0.112	0.170	0.170	0.170	0.170	0.170	0.170	0.170	0.170	0.170	0.170	0.170	0.170
4歳	0.108	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179	0.179
5歳	0.270	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323
6歳以上	0.270	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323	0.323
平均	0.135	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164

年齢別平均資源尾数 (百万尾) ※

年齢\年	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	13,123	10,111	8,149	8,163	8,090	8,215	8,116	8,001	7,785	7,656	7,678	7,569	7,636
1歳	5,865	8,573	6,683	5,386	5,395	5,347	5,430	5,364	5,288	5,146	5,060	5,075	5,003
2歳	2,217	3,703	5,491	4,280	3,450	3,455	3,425	3,478	3,435	3,387	3,296	3,241	3,250
3歳	3,793	1,346	2,258	3,349	2,610	2,104	2,107	2,089	2,121	2,095	2,065	2,010	1,976
4歳	1,767	2,274	761	1,276	1,893	1,475	1,189	1,191	1,181	1,199	1,184	1,167	1,136
5歳	449	1,064	1,275	427	716	1,061	827	667	668	662	672	664	654
6歳以上	594	534	775	994	689	682	845	811	717	672	647	640	632
計	27,808	27,605	25,392	23,875	22,843	22,340	21,939	21,600	21,195	20,816	20,603	20,366	20,288

年齢別平均資源量 (万トン) ※

年齢\年	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	96.9	74.7	60.2	77.0	76.3	77.5	76.5	75.5	73.4	72.2	72.4	71.4	72.0
1歳	87.1	127.3	99.2	108.8	109.0	108.0	109.7	108.4	106.8	104.0	102.2	102.5	101.1
2歳	52.8	88.2	130.8	112.8	90.9	91.1	90.2	91.6	90.5	89.2	86.8	85.4	85.7
3歳	123.3	43.8	73.4	105.9	82.5	66.5	66.6	66.0	67.1	66.2	65.3	63.5	62.5
4歳	70.0	90.1	30.1	44.5	66.1	51.5	41.5	41.6	41.2	41.8	41.3	40.7	39.6
5歳	21.3	50.4	60.4	22.6	37.9	56.2	43.8	35.3	35.3	35.0	35.6	35.1	34.6
6歳以上	36.2	32.5	47.2	64.2	44.5	44.0	54.6	52.4	46.3	43.4	41.8	41.3	40.8
計	487.6	506.9	501.4	535.8	507.2	494.7	483.0	470.7	460.7	451.9	445.5	440.0	436.3

年齢別平均漁獲尾数 (百万尾) ※

年齢\年	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
0歳	273	116	93	93	93	94	93	92	89	88	88	87	87
1歳	279	313	244	196	197	195	198	196	193	188	185	185	182
2歳	171	274	406	316	255	255	253	257	254	250	243	239	240
3歳	328	173	290	430	335	270	270	268	272	269	265	258	254
4歳	148	305	102	171	254	198	159	160	158	161	159	156	152
5歳	87	241	288	96	162	240	187	151	151	150	152	150	148
6歳以上	115	121	175	225	156	154	191	184	162	152	146	145	143
計	1,400	1,541	1,598	1,528	1,451	1,406	1,352	1,306	1,279	1,257	1,238	1,220	1,207

※10,000 回の繰り返し計算を行った平均値

補足資料 4 資源量指標値標準化の手法

昨年度まで行ってきた北西太平洋北上期浮魚類資源調査による 中層トロール 0 歳魚 CPUE (以下、北上期 CPUE)、北西太平洋秋季浮魚類調査による中層トロール 0 歳魚 CPUE (以下、秋季 0 歳 CPUE)、伊豆諸島海域たもすくい漁業 CPUE (以下、たもすくい CPUE)、産卵量の標準化に加え、北西太平洋秋季浮魚類調査による中層トロール 1 歳魚 CPUE (以下、秋季 1 歳魚 CPUE) の標準化を行った。秋季浮魚類調査の CPUE はこれまで体長組成のモードにより 0 歳魚と 1 歳魚以上に分けられていたため、年齢別 CPUE としては 0 歳魚のみが利用可能であったが、耳石による年齢査定を行ったことにより、1 歳以上の年齢別 CPUE が利用可能になった。一方、トロール漁獲物の体長組成および年齢組成から判断して、2 歳以上はトロール網からの逃避により定量的に採集されていない可能性があるため、秋季浮魚類調査の 1 歳魚 CPUE を使用する。北上期 CPUE と秋季 0 歳魚 CPUE は加入量 (0 歳魚資源尾数) の指標値、秋季 1 歳魚 CPUE は 1 歳魚資源尾数、たもすくい CPUE と産卵量は親魚量の指標値である。以下では、(1) 北上期 CPUE、秋季 0 歳魚 CPUE および秋季 1 歳魚 CPUE の標準化、(2) たもすくい CPUE の標準化、(3) 産卵量の標準化の 3 つに分けて説明し、最後に標準化手法の変更や秋季 1 歳魚標準化 CPUE を加えたことの影響について説明する。

(1) 北上期 CPUE、秋季 0 歳魚 CPUE および秋季 1 歳魚 CPUE の標準化

北太平洋北上期浮魚類資源調査における中層トロール 0 歳魚 CPUE (尾/網/時) および北太平洋秋季浮魚類資源調査における中層トロール 0 歳魚 CPUE と 1 歳魚 CPUE (尾/網/時) のデータを用いた CPUE の標準化を行った。両調査はともに 2001 年から開始されているが、解析にはおおよその調査範囲が一致している 2002~2022 年 (北上期 CPUE) および 2005~2022 年 (秋季 0 歳魚 CPUE、秋季 1 歳魚 CPUE) の期間を使用した。北上期 CPUE と秋季 0 歳魚 CPUE については、昨年度までは delta-GLM-tree と呼ばれる、情報量規準に基づいて海区分けを実行する手法 (Hashimoto et al. 2019) を使用してきたが、より空間解像度の解析を行える Vector-Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) モデル (Thorson and Barnett 2017) を検討した。シミュレーションにより、従来の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)。本資源においても、昨年度までと同様の手法で変数選択を行った delta-GLM-tree と、同じ変数を用いた VAST を比較したところ、北上期 CPUE と秋季 0 歳魚 CPUE の両方で VAST の方が delta-GLM-tree よりも AIC が低かった (北上期 CPUE : $\Delta AIC=143.69$ 、秋季 0 歳魚 CPUE : $\Delta AIC=40.36$)。そのため、北上期 CPUE と秋季 0 歳魚 CPUE の標準化手法を VAST モデルに変更し、今年度から新たに導入した秋季 1 歳魚 CPUE も VAST モデルにより標準化を行った。

VAST の解析では、上記の調査期間のすべてのデータを使用した。VAST では調査 CPUE (尾/網/時) を、サンプル i の遭遇確率 ($p_1(i)$) と、遭遇時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。

$$p_1(i) = \beta_1(t_i) + \omega_1(s_i) + \varepsilon_1(s_i, t_i) + \sum_{k_1}^{n_{k1}} \lambda_1(k_1) Q_i(i, k_1) \quad (11)$$

$$p_2(i) = \beta_2(t_i) + \omega_2(s_i) + \varepsilon_2(s_i, t_i) + \sum_{k_2}^{n_{k2}} \lambda_2(k_2) Q_i(i, k_2) \quad (12)$$

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 以上とすることを推奨されているので (Thorson 2019)、これに倣い、今回はノット数を 100 とした。空間効果の確率密度関数は多変量正規分布 (MVN) を使って、

$$\omega_1(\cdot, f) \sim MVN(0, \mathbf{R}_1), \quad \omega_2(\cdot, f) \sim MVN(0, \mathbf{R}_2) \quad (13)$$

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

$$\mathbf{R}_1(s_n, s_m) = \frac{1}{2^{\varphi-1}\Gamma(\varphi)} \times (\kappa_1 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|)^{\varphi} \times K_{\nu}(\kappa_1 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|), \quad (14)$$

$$\mathbf{R}_2(s_n, s_m) = \frac{1}{2^{\varphi-1}\Gamma(\varphi)} \times (\kappa_2 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|)^{\varphi} \times K_{\nu}(\kappa_2 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|) \quad (15)$$

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、 $\mathbf{H}$ は地理的な異方差 (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、時空間効果の確率密度関数は

$$\varepsilon_1(\cdot, f, t) \sim \begin{cases} MVN(0, \mathbf{R}_1) & \text{if } t = 1 \\ MVN(\rho_{\varepsilon 1} \varepsilon_1(\cdot, f, t-1), \mathbf{R}_1) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (16)$$

$$\varepsilon_2(\cdot, f, t) \sim \begin{cases} MVN(0, \mathbf{R}_2) & \text{if } t = 1 \\ MVN(\rho_{\varepsilon 2} \varepsilon_2(\cdot, f, t-1), \mathbf{R}_2) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (17)$$

で与えられる。北上期 CPUE では、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。秋季 0 歳魚 CPUE では同様に、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したが、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。秋季 1 歳魚 CPUE では、2006 年と 2007 年では 1 歳魚が採集されたデータが存在せず、これらの年でも正の標準化 CPUE の値を算出するため、調査年の効果をランダム効果で推定した。

$$\beta_1(t) \sim \begin{cases} \text{Normal}(0, \sigma_{\beta_1}^2) & \text{if } t = 1 \\ \text{Normal}(\rho_{\beta_1}\beta_1(t-1), \sigma_{\beta_1}^2) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (18)$$

$$\beta_2(t) \sim \begin{cases} \text{Normal}(0, \sigma_{\beta_2}^2) & \text{if } t = 1 \\ \text{Normal}(\rho_{\beta_2}\beta_2(t-1), \sigma_{\beta_2}^2) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (19)$$

この式を用いて 1 次の自己相関を仮定してパラメータ推定したうえで、 ρ_{β_1} については 1 をやや超える値が推定されたため、 $\rho_{\beta_1} = 1$ と固定したランダムウォークを仮定し、 ρ_{β_2} については負の値が推定されたため、 $\rho_{\beta_2} = 0$ と固定し各年を独立と仮定し、各年の効果 (β) を推定した。時空間効果 (ε) については、自己相関係数が 0 から 1 の間の値に推定されたため ($\rho_{\varepsilon_1} = 0.94$, $\rho_{\varepsilon_2} = 0.46$)、1 次の自己相関を仮定して推定した。また、地理的な異方性を表す行列 H は収束しなかったため、等方性を仮定した。

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

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

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

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

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

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

漁具能率に影響する共変量 Q として、北上期 CPUE では表面海水温、表面海水温の二乗項、水深 50m 水温、水深 50m 水温の二乗項、表面水温と水深 50m 水温の交互作用を使用し、秋季 0 歳魚 CPUE および秋季 1 歳魚 CPUE では表面海水温、表面海水温の二乗項、水深 50m 水温、水深 50m 水温の二乗項、表面水温と水深 50m 水温の交互作用を使用した。表面海水温や水深 50m 水温、水深 30m 水温の変数は平均と標準偏差で規準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変数について 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は補足表 4-1 に示す。各分布について AIC 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。VAST の資源量指標値は各年における各位置の相対卵密度を $d(x, c, t) = r_1^*(x, c, t) \times r_2^*(x, c, t)$ で計算し (r^* は式 11、12 から第 4 項を除いたもの

から式 20、21 を用いて得られる)、各ノットの面積と密度を掛け合わせた値の総和を存在量として求められるが、今回の解析では密度は CPUE (尾/網/60 分) であるため、総和を面積の合計値で割った値を標準化 CPUE (尾/網/60 分) として算出した。

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

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

VAST で推定された各年の局所密度の分布を補足図 4-1 から 4-3 に示す。秋季調査から推定された 1 歳魚の分布の変化が顕著に見られており、2018 年以前は北緯 41 度・東経 145 度付近にあった重心が、2019 年以降急激に北東方向に移動していることが明らかになった (補足図 4-3)。北上期標準化 CPUE は、ノミナル CPUE や昨年度の手法を踏襲した場合の CPUE に比べて 2013 年は低く、2021 年は高く推定され、2022 年は前年と比べて大きく減少した (補足図 4-4 左上)。秋季 0 歳魚標準化 CPUE は昨年度の手法を踏襲した場合の CPUE とあまり変わらず、2022 年の値は前年と同程度であった (補足図 4-4 中央上)。秋季 1 歳魚標準化 CPUE は、ノミナル CPUE の変動を平滑化したようなパターンを示し、2022 年の値は前年よりもやや高かった (補足図 4-4 右上)。R パッケージの DHARMa (Hartig 2022) を使用しモデル診断を行ったところ、いずれの解析においても Q-Q プロットは理論上の予測線の上に観測値が載っており、コルモゴロフ-スミルノフ検定において有意差は検出されなかった (補足図 4-5 上段)。

(2) たもすくい CPUE の標準化

神奈川県のともすくい漁業のデータ (2003～2020 年) および静岡県 of データ (2014～2022 年) のデータを使用した。たもすくい CPUE (kg/時間/人) のデータも 0 以上の連続値であるため、delta-GLM (Lo et al. 1992) を適用した。上と同様に、誤差分布には二項分布 (logit リンク) とガンマ分布 (log リンク) を使用した。本系群の産卵期である 1～6 月のデータを使用した。

CPUE を予測する説明変数として、年 (カテゴリーカル変数)・海区 (カテゴリーカル変数)・操業時の表面海水温 (連続変数)・表面海水温の二乗項・月 (カテゴリーカル変数)・船 (カテゴリーカル変数)・県 (カテゴリーカル変数) を使用した。海区はデータに記録されているカテゴリーと緯度経度情報に基づき 7 区に分けたものを使用した。2007～2009 年と 2013 年は、すべてのデータで漁獲があったため、二項分布モデルで正確な年効果の推定ができず、これらの年の有漁確率を 1 に固定しないと信頼区間が非常に大きくなるという問題があった (補足図 4-4 左下、昨年度踏襲)。そこで本年度は、二項分布モデルの年効果を 1 次の自己相関に基づくランダム効果で推定した。また、R パッケージの glmmTMB (Brooks et al. 2017) を使用し、二項分布モデルとガンマ分布モデルを同時に扱い、パラメータ推定と変数選択を一括して行った。R パッケージの MuMIn (Barton 2022) を使用し、AICc 規準で総当たりの変

数選択を行った。

変数選択の結果、AICc が最小となったモデルの二項分布については県以外のすべての変数が選択され、ガンマ分布については県と船以外の変数が選択された。このモデルを使用し、各変数のすべての組み合わせにおいて予測 CPUE を算出し、年ごとに予測 CPUE を平均した値を標準化した資源量指標値とした。連続変数である表面海水温に関しては、最小値と最大値を細かく分割し、そのときの予測値を求めた。標準化 CPUE は、ノミナル CPUE や昨年度までの手法を踏襲した場合と似た傾向を示し、2022 年の値は前年よりも減少した（補足図 4-4 左下）。また、昨年度までの手法を踏襲した場合よりも有漁データのみ年の年における信頼区間が狭くなった。Q-Q プロットでは、理論上の予測線から観測値がやや外れており、コルモゴロフ-スミルノフ検定において有意差が検出された（補足図 4-5 左下）。

(3) 産卵量の標準化

産卵量については、昨年度に VAST モデルによる標準化を導入したが、今年度は以下の三点を変更した。まず、使用したデータを観測された卵密度から、平均孵化日数や生残率で補正した月平均の卵密度に変更した。昨年度までは観測された卵密度データを使用しており、産卵量の相対的なトレンドを求めることは可能であったが、産卵量の絶対量を推定することはできなかった。水産資源研究所が開発してきた卵稚仔データベースでは年間を通じた産卵量を、平均孵化日数や平均残存率で補正した各月の平均卵密度から推定しており、本年度ではそのデータを用いることでマサバの産卵量の絶対量を推定した。なお、補正済みの月平均卵密度のデータはすでにウルメイワシ太平洋系群で使用されている（渡邊ら 2022）。補正の式は以下で表される：

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

$E_{y,m,i}$ は年 y 月 m 区画 i における月平均卵密度、 $\bar{S}$ は卵の平均生残率、 $D_{y,m}$ は y 年 m 月の日数、 $d_{y,m,i}$ は年 y 月 m 区画 i における平均孵化日数である。平均孵化日数は卵採集時の水温や卵の発生ステージおよび卵発生速度（Uehara and Mitani 2009）を用いて算出される（渡部 1983）。二つ目の変更点は、昨年度は 1 月から 6 月のデータを使用していたが、少量ではあるが 7 月にもマサバ卵が見つかるため、解析期間を 1 月から 7 月とした点である。最後に、空間分布の年変化だけではなく季節変化も推定する「季節モデル」（Thorson et al. 2020）を使用した。昨年度までは各月の効果は過分散要因として考慮していたが、マサバ卵分布は月ごとに変化し、さらにその季節変化が経年的に変化するため（Kanamori et al. 2019）、月ごとの分布を推定する方が良いと考えられる。実際に、昨年までのモデルを今年度のデータに使用した場合には AIC が 99668.25 であったのに対し、季節モデルを適用した場合の AIC は 98803.07 であり、大幅に予測力が上昇した。

モデルの構造は北上期 CPUE と秋季 0 歳 CPUE、秋季 1 歳 CPUE で使用したものとおおよそ同じであるが、季節モデルでは年効果は

$$\beta(t) = \mu_\beta + \beta_m(m_t) + \beta_y(y_t) + \beta_t(t) \quad (25)$$

で表される。ここで、 μ_β はすべての年と月を通じた平均を表す切片、 $\beta_m(m_t)$ は月 m の効果、 $\beta_y(y)$ は年 y の効果、 $\beta_t(t)$ は年と月の交互作用を表す。右辺の第 3 項までは固定効果で推定し、第 4 項は隣り合う月が相関を持つと考え、一次の自己回帰モデルを用いて推定した。

$$\beta_t(t) \sim \begin{cases} N(0, \sigma_\beta^2), & \text{if } t = 1 \\ N(\rho_\beta \beta_t(t-1), \sigma_\beta^2), & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (26)$$

時空間効果については式 16、17 における ρ_ε を推定し、ある場所の隣り合う月における局所密度が相関すると仮定した。産卵量の標準化には漁具能率に影響する共変量を使用しなかった。パラメータ推定には、卵稚仔調査で得られた海区 I～IV における 2005～2022 年 1～7 月の 30 分升目ごとのマサバの補正済みの産卵量データを使用した。空間の解像度を表すノット数は 100 とした。産卵量の絶対量を以下の式を各ノットにおける卵密度 ($d(s, t)$) とノットの面積 $A(s)$ の積の総和から算出し、標準化された資源量指標値とした。

$$I(t) = \sum_{s=1}^{n_s} (A(s) \times d(s, t)) \quad (27)$$

解析の結果、マサバの卵密度は毎年 3～5 月の間に高く、産卵時期が遅くなるに連れて卵密度の重心は北東方向に移動していることが明らかになった（補足図 4-6）。標準化産卵量はノミナル産卵量と近い値が推定されたが（補足表 2-2）、昨年度の手法と比べて 2018 年および 2019 年の値が高くなった（補足図 4-4 中央下）。2022 年は昨年よりやや上昇した。また、昨年度までの手法を踏襲した場合と比べて信頼区間の幅が大きく減少した。Q-Q プロットでは、理論上の予測線の上に観測値が載っており、コルモゴロフ-スミルノフ検定において有意差は検出なかった（補足図 4-5 右下）。

(4) 指標値の違いが資源評価に与える影響

標準化の手法の変更および秋季 1 歳魚標準化 CPUE を加えたことの影響の評価を行った。昨年度から使用してきた 4 系列の指標値（北上期 CPUE、秋季 0 歳魚 CPUE、たもすくい CPUE、産卵量）の標準化手法の変更が資源評価結果に与える影響は小さく、昨年度評価に比べて 2016 年漁期および 2018 年漁期の加入量が下方修正、2021 年漁期の加入量（昨年度資源評価結果では将来予測値）が上方修正された（補足図 4-7）。秋季 1 歳魚標準化 CPUE を加えると、2020 年漁期および 2021 年漁期の加入量が減少した。これは、秋季 1 歳魚標準化 CPUE の 2021 年および 2022 年の値が比較的低く、北上期 CPUE と秋季 0 歳魚 CPUE から期待されるよりも、これらの年の加入量が低く推定されるからである。レトロスペクティブ解析を行った結果、1 歳魚の指標値を使わない場合は加入量と資源量に若干の過大バイアスが見られており、これは 2016 年漁期および 2018 年漁期の加入量が下方修正されたことに

起因していた（補足図 4-8 左、中央）。しかし、秋季 1 歳魚標準化 CPUE を使うことにより、2016 年漁期や 2018 年漁期の加入量の下方修正の程度が軽減され、資源量や加入量のレトロスペクティブ・バイアスは減少した（補足図 4-8 右）。秋季 1 歳魚標準化 CPUE を使うことにより、北上期標準化 CPUE の近年の残差が正となる傾向が強まっており、北上期標準化 CPUE によって近年の加入量が高く推定される影響が、秋季 1 歳魚標準化 CPUE によって抑えられることが明らかになった（補足図 4-9）。また、親魚量の指標値であるたもすくい標準化 CPUE と標準化産卵量はいずれも近年負の残差が出る傾向が見られた。加入量推定のバイアスや不確実性が減少すると考えられたため、新たに秋季 1 歳魚標準化 CPUE を使用した結果を本年度の資源評価として採用した。

引用文献

- Bartoń, K. (2022) MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.46.0., <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>.
- Brooks, M. E., K. Kristensen, K. J. van Benthem, A. Magnusson, C. W. Berg, A. Nielsen, H. J. Skaug, M. Maechler and B. M. Bolker (2017) glmmTMB: Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal*, **9**, 378-400.
- 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.
- Hashimoto, M., S. Nishijima, R. Yukami, C. Watanabe, Y. Kamimura, S. Furuichi, M. Ichinokawa and H. Okamura (2019) Spatiotemporal dynamics of the Pacific chub mackerel revealed by standardized abundance indices. *Fish. Res.*, **219**, 105315.
- Hartig, F. (2022) DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level/Mixed) Regression Models. R package version 0.4.5. <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>.
- Kanamori, Y., A. Takasuka, S. Nishijima and H. Okamura (2019). Climate change shifts the spawning ground northward and extends the spawning period of chub mackerel in the western North Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **624**, 155-166.
- 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.
- Lo, N. C. H., L. D. Jacobson and J. L. Squire (1992) Indices of relative abundance from fish spotter data based on delta-lognormal models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**, 2515-2526.
- Thorson, J. T. (2017) Three problems with the conventional delta-model for biomass sampling data, and a 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.

Thorson, J. T., C. F. Adams, E. N. Brooks, L. B. Eisner, D. G. Kimmel, C. M. Legault, L. A. Rogers and E. M. Yasumiishi (2020) Seasonal and interannual variation in spatio-temporal models for index standardization and phenology studies. *ICES J. Mar. Sci.*, **77**, 1879-1892.

Uehara, S. and T. Mitani (2009) Effect of temperature on the development of eggs and the daily pattern of spawning of round herring *Etrumeus teres*. *Fish. Sci.*, **75**, 159-165.

渡部奏輔 (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・宇田川美穂・井元順一・木下順二 (2022) 令和3 (2021) 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, 28pp, <https://abchan.fra.go.jp/>.

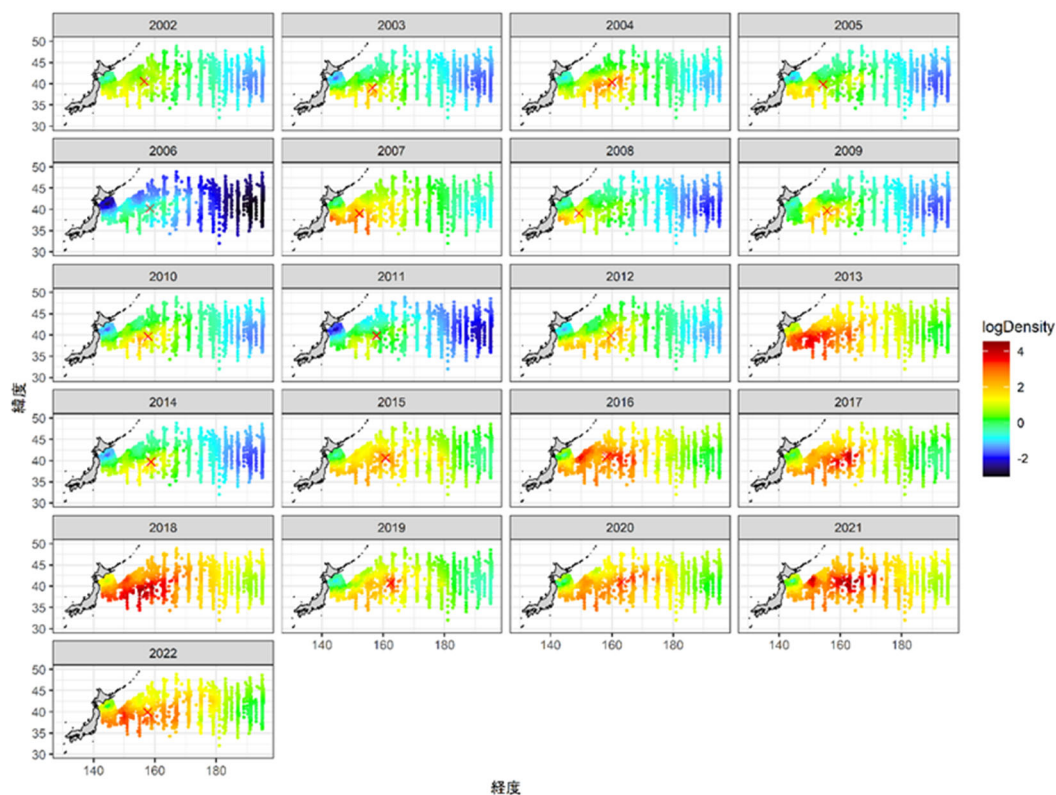
由上龍嗣・井須小羊子・渡邊千夏子・上村泰洋・古市 生・渡部亮介・金森由妃 (2020) 令和元 (2019) 年度ゴマサバ太平洋系群の資源評価. 令和元年度我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 40pp, <http://abchan.fra.go.jp/>.

補足図 4-1. 北上期 CPUE、秋季 0 歳魚 CPUE、秋季 1 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.

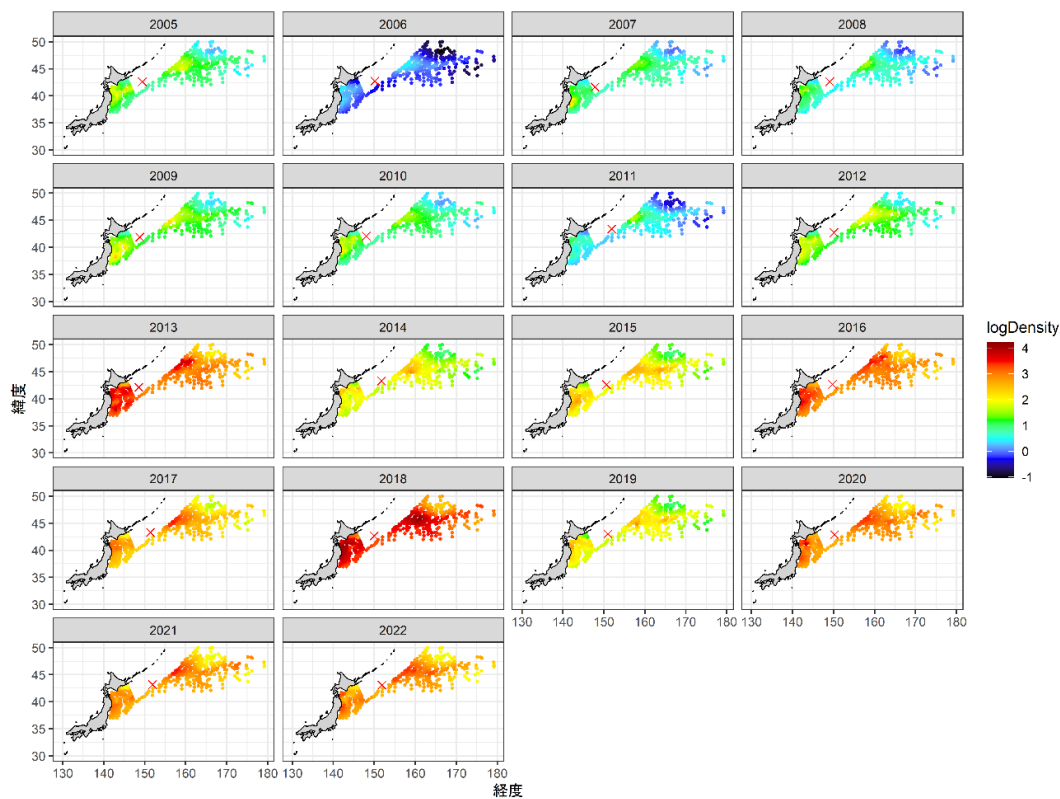
	順位	SST	SST ²	T50 or T30	T50 ² or T30 ²	SST:T50 or SST:T30	ΔAIC
<u>北上期</u>							
二項分布	1	+	+	+	+	-	0.00
	2	+	+	-	-	-	0.04
	3	+	+	+	-	+	0.55
	4	+	+	+	+	+	1.16
	5	+	+	+	-	-	1.80
ガンマ分布	1	+	-	-	-	-	0.00
	2	+	+	-	-	-	1.39
	3	+	-	+	-	-	1.52
	4	+	-	+	-	+	2.75
	5	+	+	+	-	-	2.95
<u>秋季 0 歳魚</u>							
二項分布	1	+	-	+	+	+	0.00
	2	+	+	+	+	+	1.06
	3	-	-	+	+	-	1.11
	4	+	-	+	+	-	1.91
	5	+	+	+	+	-	3.50
ガンマ分布	1	+	+	-	-	-	0.00
	2	+	+	+	+	-	0.61
	3	+	+	+	-	-	0.70
	4	+	+	+	+	+	1.31
	5	+	+	+	-	+	2.51
<u>秋季 1 歳魚</u>							
二項分布	1	+	-	+	+	+	0.00
	2	+	+	+	+	+	1.06
	3	-	-	+	+	-	1.11
	4	+	-	+	+	-	1.91
	5	+	+	+	+	-	3.50
ガンマ分布	1	+	+	-	-	-	0.00
	2	+	+	+	+	-	0.61
	3	+	+	+	-	-	0.70
	4	+	+	+	+	+	1.31
	5	+	+	+	-	+	2.51

SST は表面海水温、T50 と T30 はそれぞれ水深 50m と水深 30m の水温を表す。

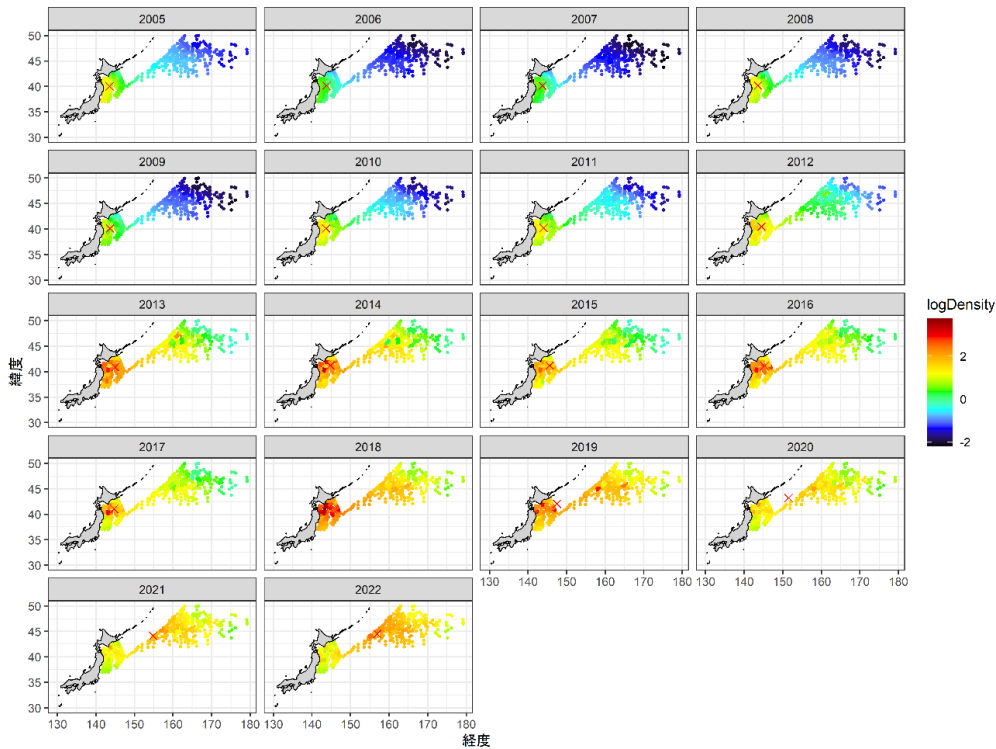
“+”は変数が選択されたことを、“-”は変数が選択されなかったことを表す。



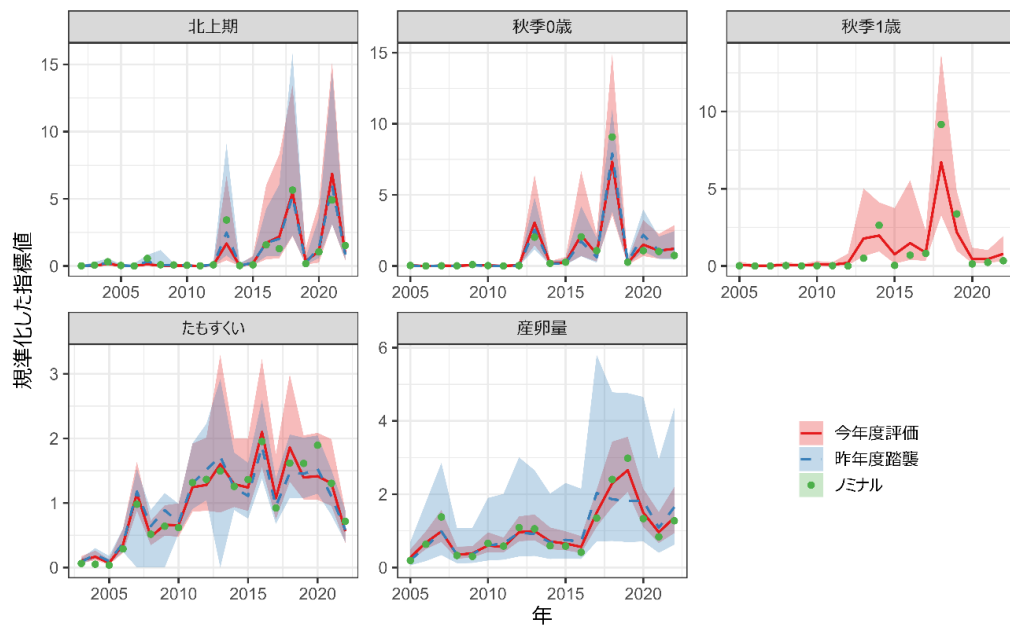
補足図 4-1. 北上期調査データから推定された各年の 0 歳魚の相対密度
赤い×印は分布の重心を表す。



補足図 4-2. 秋季調査データ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。

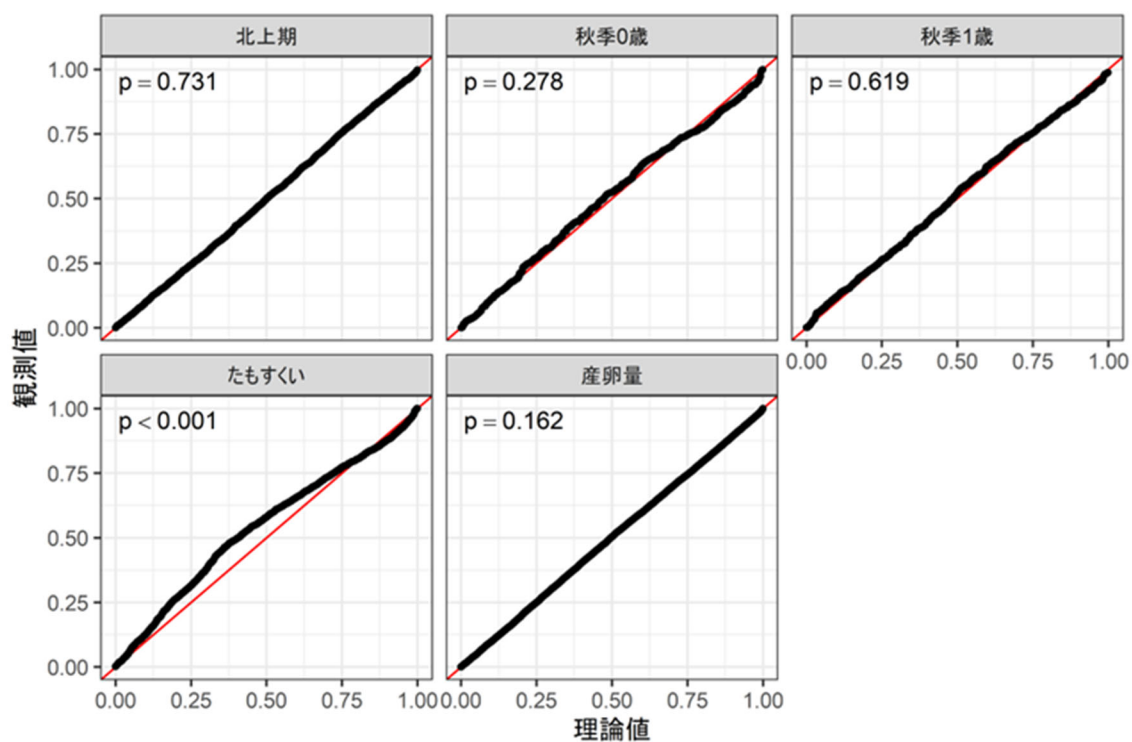


補足図 4-3. 秋季調査データから推定された各年の 1 歳魚の相対密度
赤い×印は分布の重心を表す。

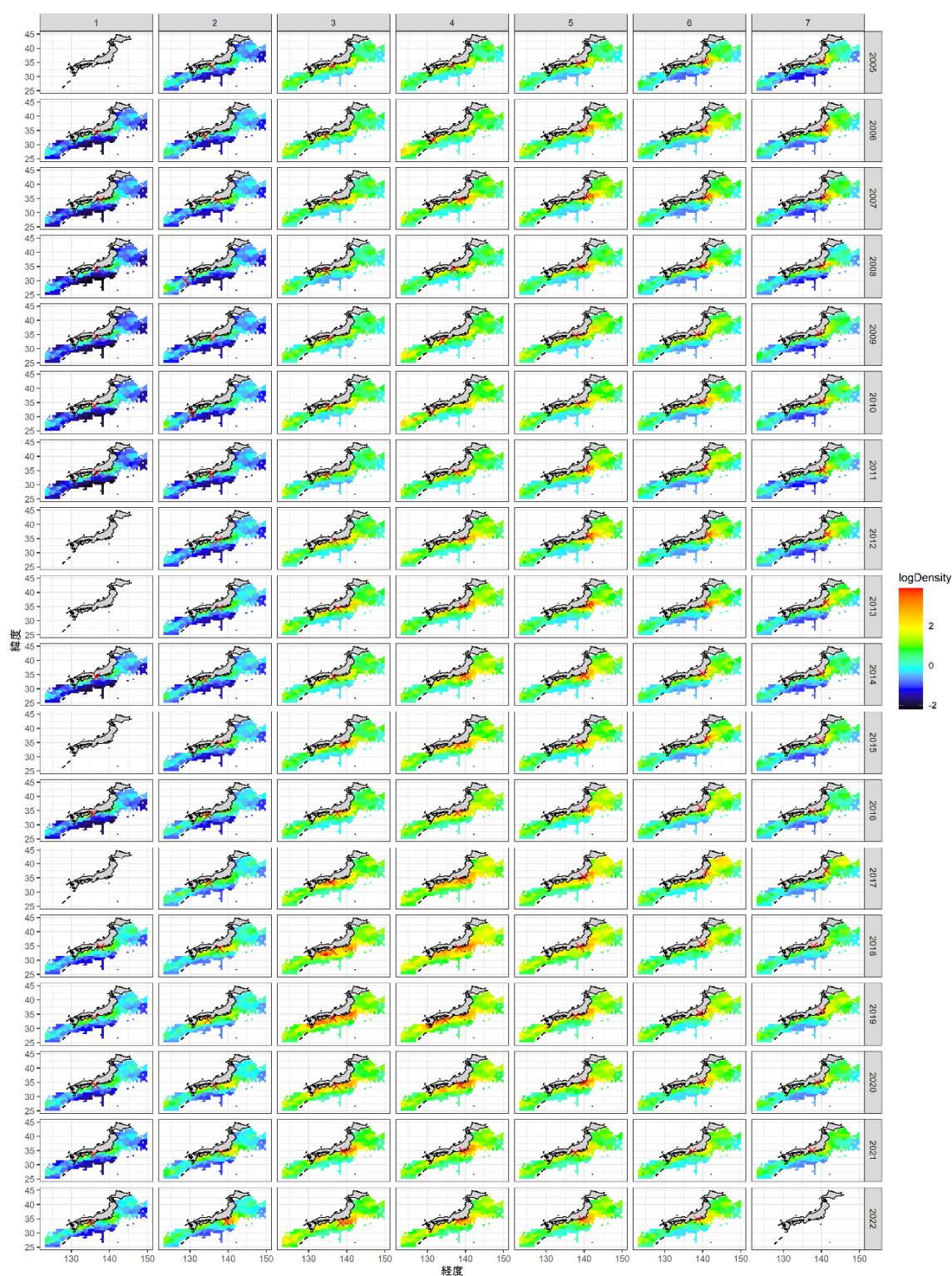


補足図 4-4. 北上期 CPUE (左上)、秋季 0 歳魚 CPUE (中央上)、秋季 0 歳魚 CPUE (右上)、
たもすくい CPUE (左下)、産卵量の経年変化

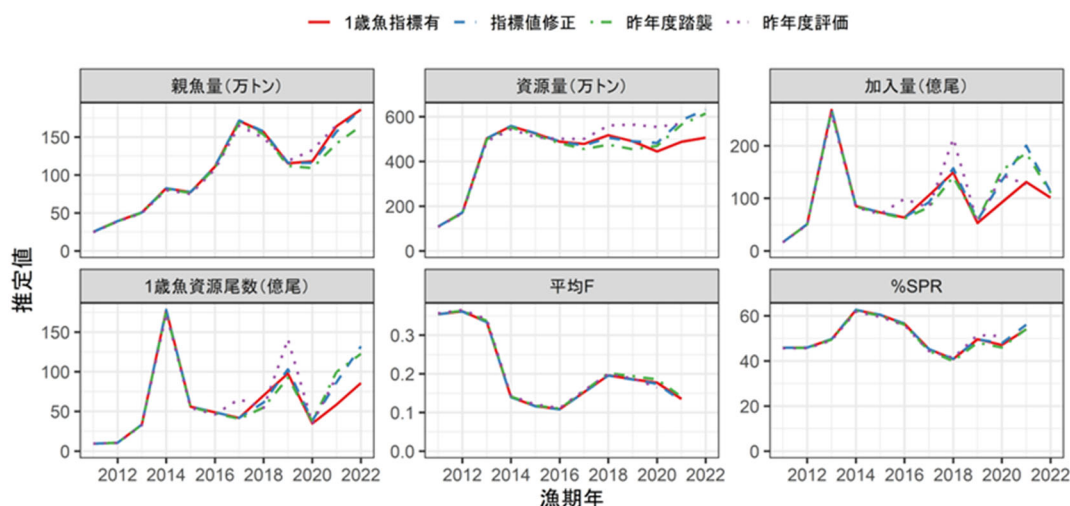
赤実線は今年度評価による標準化指標値、青破線は昨年度の手法を踏襲した場合の標準化指標値、緑の点はノミナル指標値を表す。平均が 1 となるように規準化した値を示しており、影は 95%信頼区間を表す。ノミナルは産卵量以外では CPUE の単純平均を表し、産卵量の場合は各 30 分升目における各月の産卵量の総和を表す。



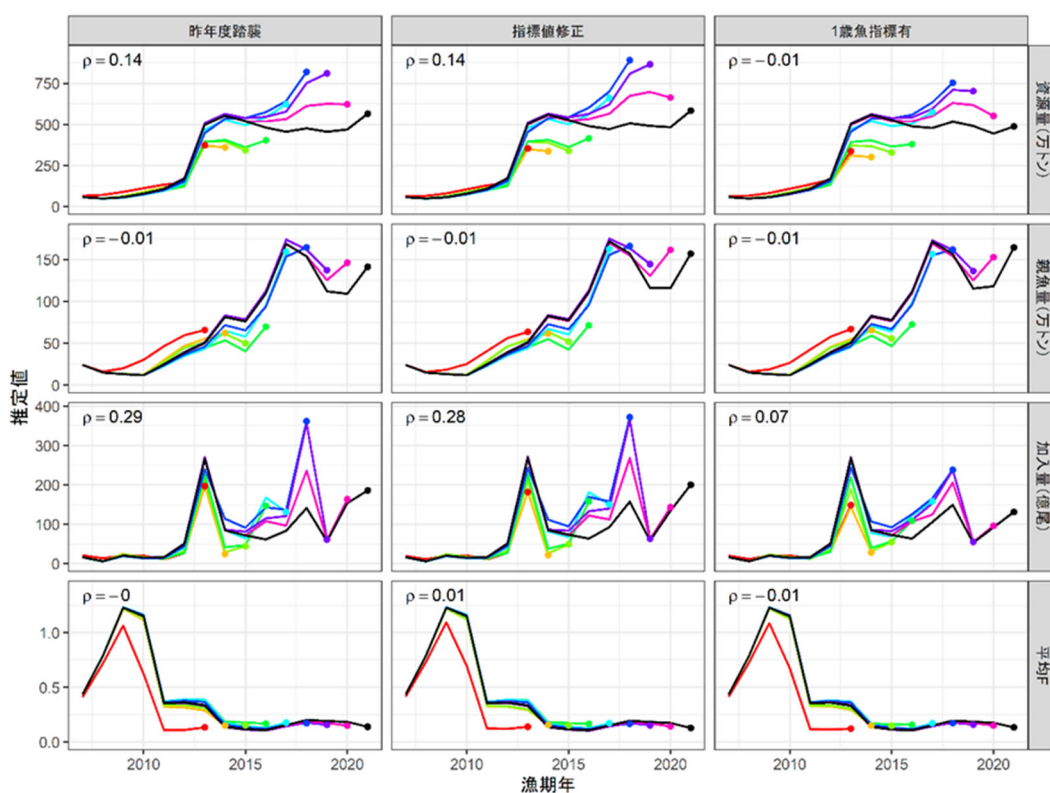
補足図 4-5. 各資源量指標値の解析における標準化残差（0-1 の範囲に規準化した残差）の Q-Q プロット
 左上にコルモゴロフスミルノフ検定における p 値を示す。



補足図 4-6. 2005～2022 年（行）の 1～7 月（列）に推定されたマサバ卵密度
 赤い×印は分布重心を表す。すべてのサンプルでマサバ卵が発見されなかった年・月の密度はゼロとした。

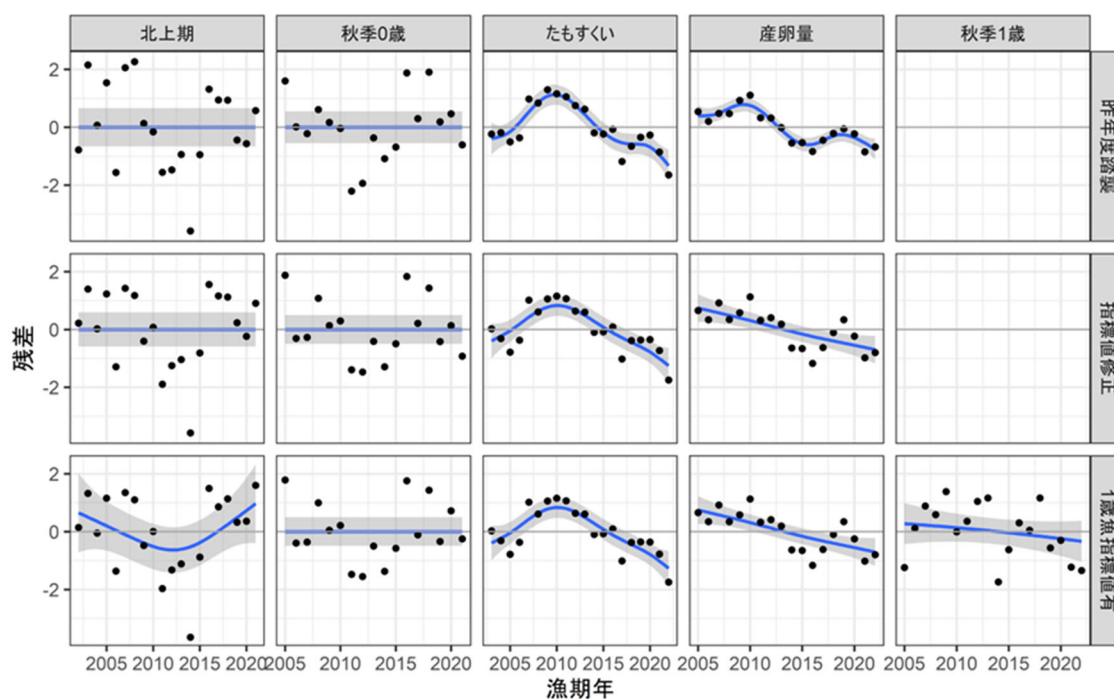


補足図 4-7. 昨年度の資源評価結果（昨年度評価）と昨年度の標準化手法を踏襲した場合の資源評価結果（昨年度踏襲）、昨年度使用した 4 系列の指標値の標準化手法を変えた場合の資源評価結果（指標値修正）、秋季 1 歳魚標準化 CPUE を指標値として追加した場合の資源評価結果（1 歳魚指標有）の比較



補足図 4-8. 昨年度の標準化手法を踏襲した場合の資源評価結果（左、昨年度踏襲）、昨年度使用した 4 系列の指標値の標準化手法を変えた場合の資源評価結果（中央、指標値修正）、秋季 1 歳魚標準化 CPUE を指標値として追加した場合の資源評価結果（右、1 歳魚指標有）のレトロスペクティブ解析の結果

Mohn's rho の値 (ρ) を左上に示す。



補足図 4-9. 昨年度の標準化手法を踏襲した場合の資源評価結果（上、昨年度踏襲）、昨年度使用した 4 系列の指標値の標準化手法を変えた場合の資源評価結果（中央、指標値修正）、秋季 1 歳魚標準化 CPUE を指標値として追加した場合の資源評価結果（下、1 歳魚指標値有）における各指標値の残差プロット
青い線と影は一般化加法モデルで平滑化した残差のトレンドと 95%信頼区間を表す。

補足資料 5 各種調査・資料の概要

1) 移行域幼稚魚調査

中央水研・北水研（当時）により 1995 年に予備調査、1996 年開始。5～6 月に小型浮魚類幼稚魚の生育場である黒潮続流域～黒潮一親潮移行域で中層トロールによる漁獲試験を実施。幼稚魚の分布状況を把握している。

2) 北西太平洋北上期浮魚類資源調査

東北水研・中央水研（当時）により 2000 年に予備調査、2001 年開始。サンマ資源量直接推定調査（水産資源研究所）と北上期浮魚類資源調査（水産資源研究所）の 2 つの調査からなる。北上期のサンマ等小型浮魚類を対象に、5～7 月に本邦沿岸から西経域（165°W）に至る移行域～親潮域で複数の調査船で中層トロール漁獲試験を実施。0 歳魚 CPUE が加入量の指標となる（補足表 2-2）。マサバの主な分布域である親潮～移行域（169°E 以西、SST12～21℃）における 0 歳魚推定現存尾数、出現率（採集のあった調査点の割合）、体長組成を推定している（図 4-2）。

3) 道東～三陸海域流し網調査

北海道立総合研究機構釧路水産試験場により 1994 年開始。道東～三陸海域で 6～10 月にかけて行われる 4 つの調査からなる。小型浮魚類を対象に流し網漁獲試験を実施。0 歳魚～成魚の分布状況を把握するとともに、CPUE が資源量の指標となる。

4) 北西太平洋秋季浮魚類資源調査

東北水研（当時）により 1984 年に漁業資源評価システム高度化調査として開始。8～11 月に道東～三陸～常磐海域で浮魚類を対象に流し網漁獲試験を実施。その後、調査期間を 9～10 月に集約。東北海区浮魚類分布調査として継続。2001 年から漁具を中層トロールに変更、計量魚探機も使用し、調査対象を小型浮魚類に集約。2005 年から調査海域を千島列島東方沖まで拡大。2008 年から中央水研（当時）が北西太平洋秋季浮魚類資源調査として引き継ぎ実施。漁場外の沖合域における主に 0 歳魚の分布状況を把握し、0 歳魚 CPUE が加入量の指標となる（補足表 2-2）。0 歳魚有漁獲点の割合（出現率）も加入量の指標となり流し網と中層トロールの漁獲試験を並行実施した 2001、2002 年の結果から両試験の各調査点でのさば類 0 歳魚の漁獲の有無の差異は小さいと判断され、出現率を基にした調査年限を通じた加入量指数を算出した（図 4-2）。年による試験点配置の違いの影響を小さくするため、地理的に 5 海域、水塊的に親潮系、暖流系に区分し、計 10 区分における出現率を求めた。年による欠測区分では有意な正相関の他区分の出現率の平均を充てた。各区分出現率×係数（重み付け）の総和を加入量指数とし、指数が加入量（平成 29 年度資源評価における 1984～2013 年の推定値（生涯漁獲が進んでおり推定値の不確実性が小さいと判断））の年変化に合うように係数を調整した。この係数を用いて、新規の調査で得られた 10 区分の出現率から加入量指数を求めた。

また近年では資源量の増加に伴い 1 歳以上も沖合域に分布するようになったことと、耳石による年齢査定を行ったため、中層トロールの年齢別 CPUE が利用可能になったことか

ら、今年度資源評価において 1 歳魚 CPUE を 1 歳魚資源尾数の指標値として使用した（補足表 2-2、補足資料 4）。

5) 冬春季常磐海域まき網漁況調査（未成魚越冬群指数）

茨城県水産試験場により実施され、年明け後の冬春季に未成魚（尾叉長 25 cm 未満）がまき網漁獲物（標本）の 50%（尾数比）を超えている期間の、越冬場（35°～37°N、142°E 以西のまき網漁場（房総～常磐南部海域））における緯度・経度 10 分升目毎のまき網 1 日 1 投網平均漁獲量の総和を未成魚越冬群指数と定義して算出している（図 4-2）。漁獲量にはゴマサバも含まれるが、漁獲物調査の結果、越冬期に当該海域に分布するさば類未成魚のうち、マサバの割合は 80～100%であることから、指数はマサバの加入量水準の指標値となると判断される。しかし、2014 年以降は越冬場で 0 歳魚～明け 1 歳魚がほとんど漁獲されなくなり、2015 年以降は 2 歳以上が越冬場で漁獲されるようになったため、指数が加入量を的確に指標していない可能性が高く、注意が必要である。

6) 北部まき網漁業の有効努力量、資源量指数

漁業情報サービスセンター（JAFIC）により、北部まき網漁業のさば類を対象とした操業情報から算出される。主な対象はマサバと考えられるが、漁業情報サービスセンターの調査結果から時期による変化も大きく、ゴマサバの割合が高かった年代もあるなど、本評価での指標値としての使用にあたっては精査が必要である。CPUE：漁獲量/努力量（投網回数）（図 4-3）。資源量指数：海区（漁場の形成された緯度経度 30 分単位のメッシュ）あたりの平均 CPUE の全海区合計（図 4-3）。有効努力量：漁獲量/平均密度指数（図 3-3）。平均密度指数：資源量指数/海区数。

7) 卵稚仔調査

太平洋側の関係各機関による共同調査。改良ノルパックネット（メッシュ 335 μm ）採集で浮魚類の卵の分布量を把握。マサバとゴマサバの卵の種査定が可能になり、2005 年から種別に産卵量が算出されている（図 4-1、補足表 2-2）。

8) たもすくい漁業の CPUE

神奈川県水産技術センター（2003～2020 年）および静岡県水産技術研究所（2014 年以降）により収集される、産卵場である伊豆諸島周辺海域でマサバを主対象に操業するたもすくい標本漁船の操業記録から 1 人 1 時間当たり漁獲量として算出される。産卵場における成魚の分布密度の指標となり、親魚量の指数となる（補足表 2-2）。

補足資料 6 北西太平洋における外国漁船の漁獲動向について

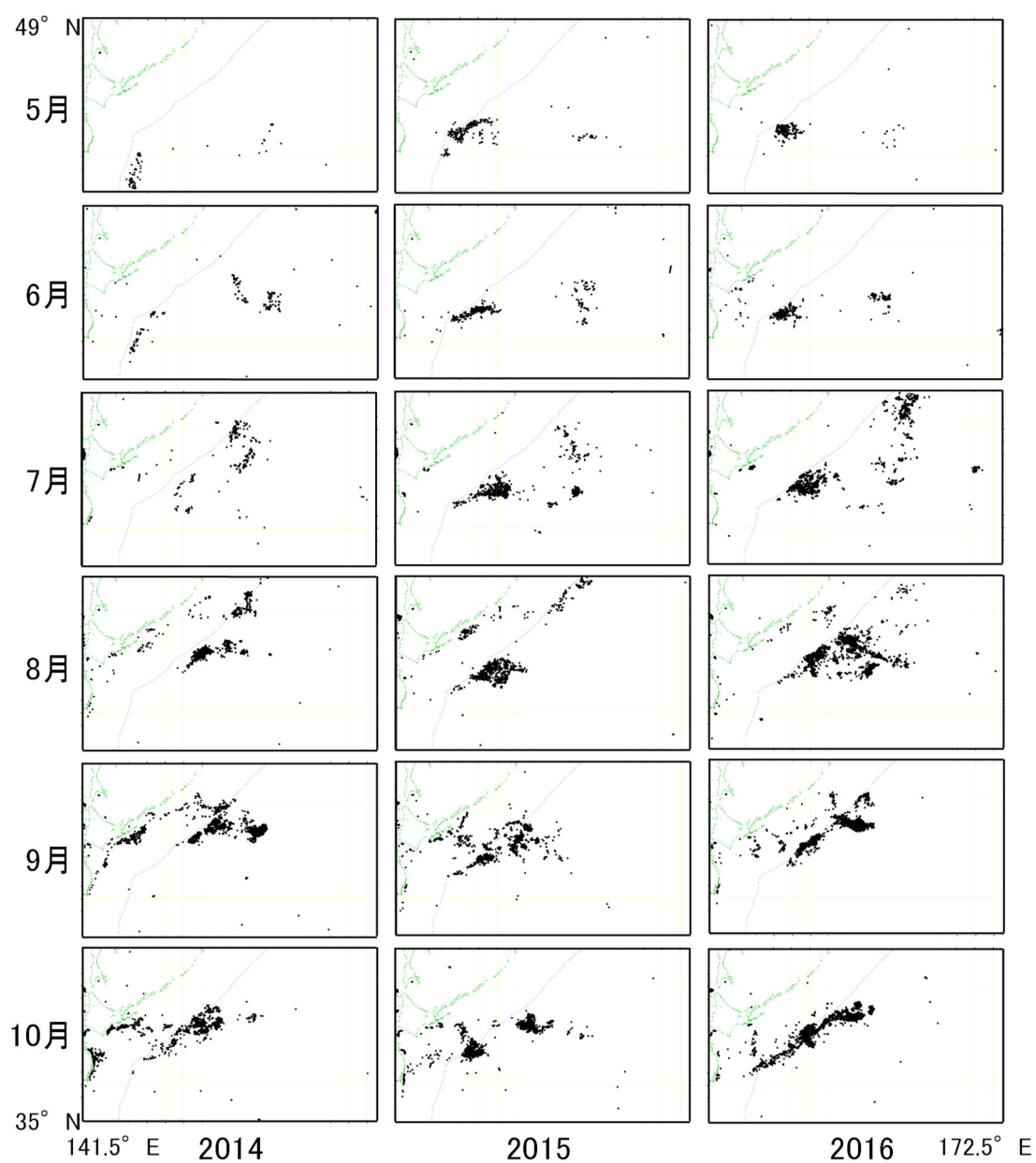
2000 年以降、台湾を中心とした外国漁船によるサンマの漁獲割合が増加している。さらに、2012 年には中国がサンマ漁業に参入しており、今後も外国漁船の隻数が増加する可能性があることから、その漁獲動向の把握がサンマ資源を適切に評価する上で重要な課題の一つとなっている。一方、2014 年以降、中国が北西太平洋公海域でさば類を漁獲しており、サンマと同様にその漁獲動向の把握が重要な課題となっている。

以上の状況を踏まえ、平成 26 年度から、人工衛星夜間可視データを用いて外国漁船の動向を把握する取組みを開始した。具体的には、米国の地球観測衛星（Suomi NPP）の夜間可視データ（Miller et al. 2012）から、灯火を用いている船舶を光点として抽出し、さらに、輝度レベル、EEZ 境界線、表面水温などの条件により漁獲対象種を判別して、時期別の操業海域の特定と操業隻数を計数することを目的としている。当初はサンマを漁獲対象とする漁船の抽出が目的であったが、さば類を漁獲対象とする漁船の抽出にもこの手法は有用である。

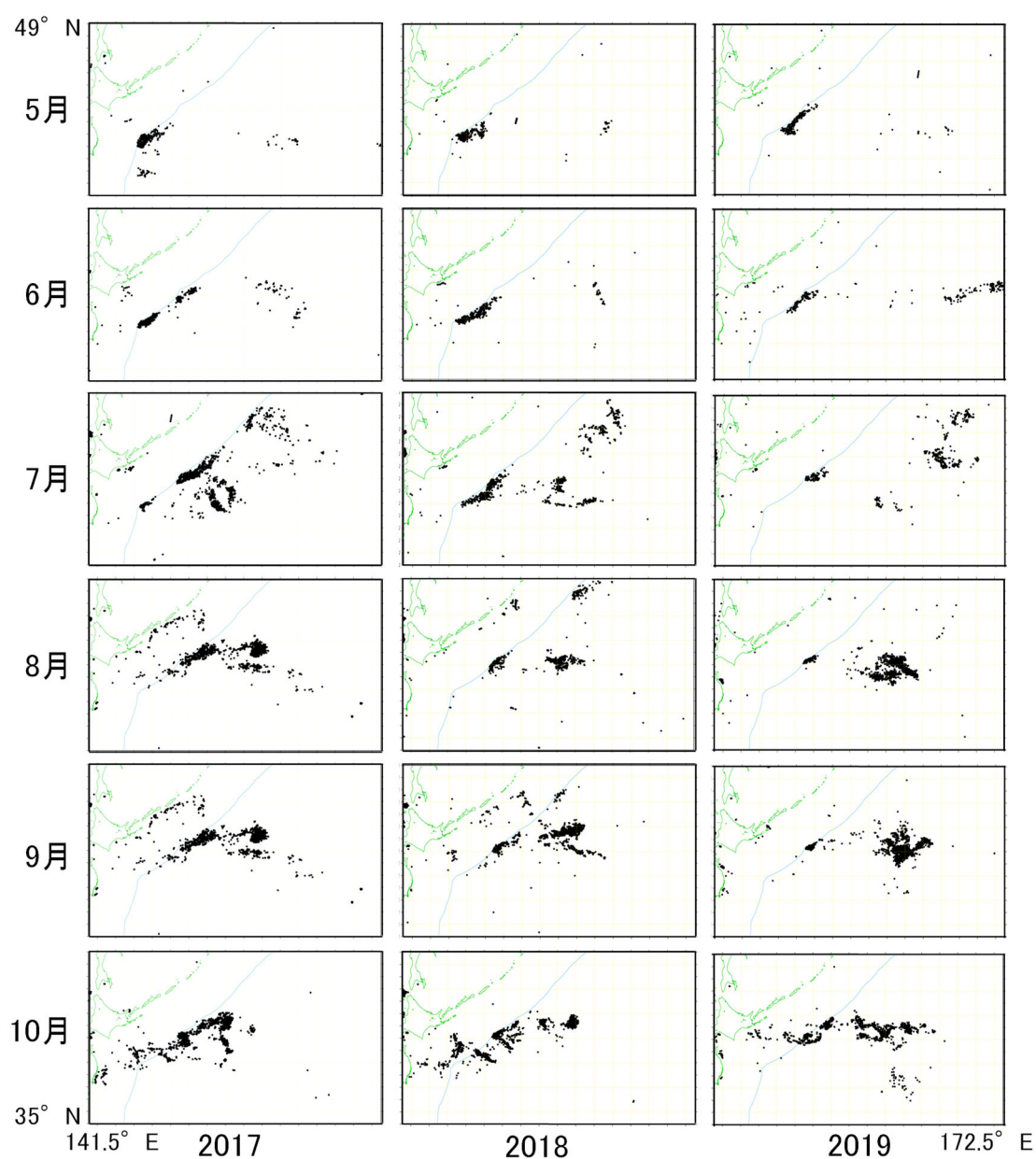
さば類を漁獲対象とする外国漁船の識別手法や計数方法については一定の成果が得られ、外国漁船による漁獲量を推定する報告もあるが（Oozeki et al. 2018）、技術的な問題は依然として残っていることから、ここでは操業点の抽出例として 2014 年～2022 年の 5 月～10 月の夜間可視データから抽出した灯火を用いた漁船（サンマ漁船やいか釣り漁船を含む）の分布を補足図 6-1 に示す。毎年、5 月頃から EEZ 境界線近くの公海で操業する外国漁船が出現し、7 月以降に増加していることが推測される。また、操業点が年々、沖合（東方）化している様子がみられ、2020～2022 年のそれぞれ 6～9 月には東経 150～170 度付近に分散していた。これらの中には、さば類を漁獲対象とする中国の虎網や灯光敷網漁船などが含まれていることが現場における視認情報から確認されている。今後、これらの外国漁船を、同じく北西太平洋で操業するサンマ漁船やいか釣り漁船他と識別し、計数することで外国漁船の操業実態や漁獲動向を把握することが可能になると期待される。

引用文献

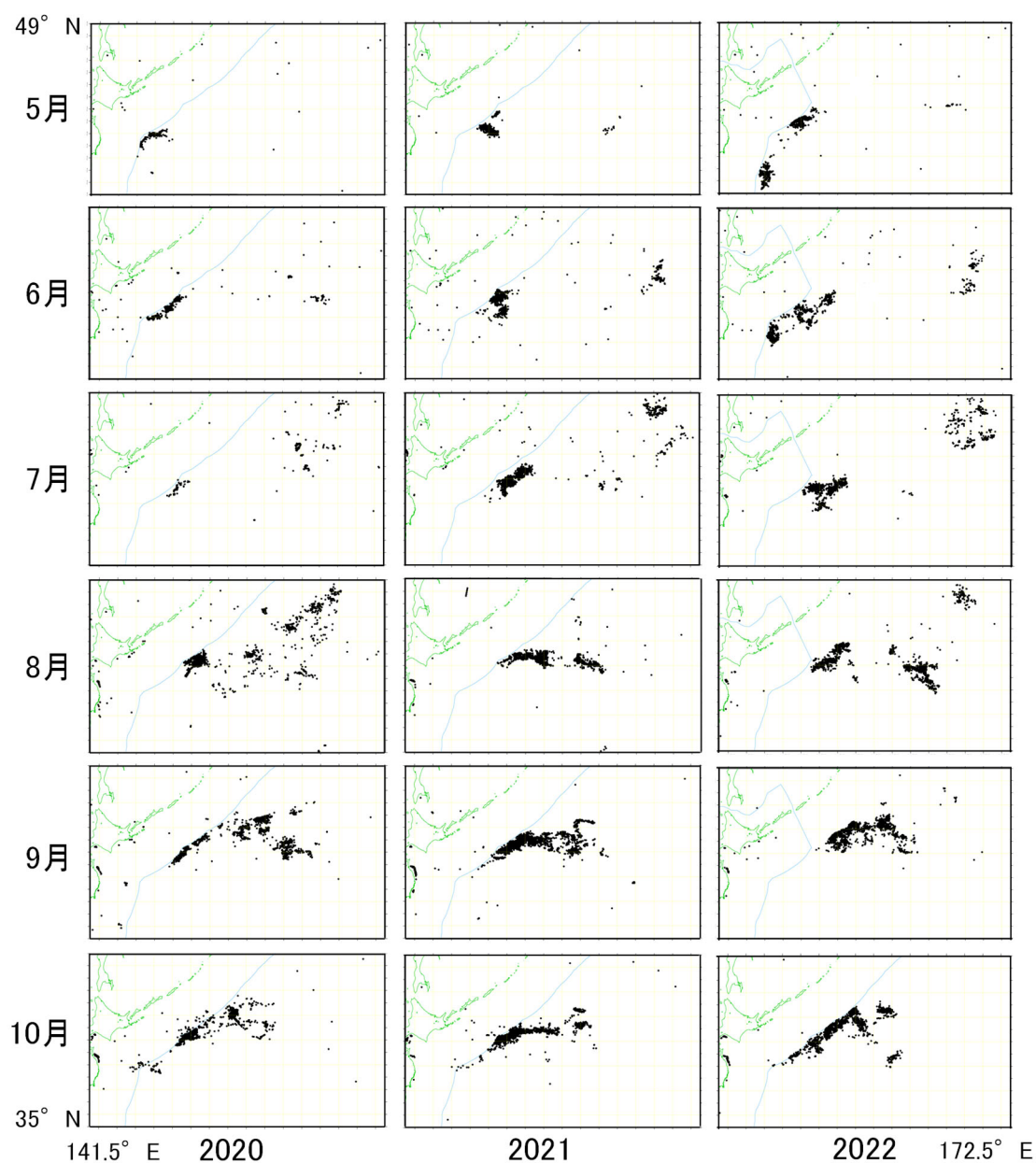
- Miller, S. D., S. P. Mills, C. D. Elvidge, D. T. Lindsey, T. F. Lee and J. D. Hawkins (2012) Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **109**, 15706-15711.
- Oozeki, Y., D. Inagake, T. Saito, M. Okazaki, I. Fusejima, M. Hotai, T. Watanabe, H. Sugisaki and M. Miyahara (2018) Reliable estimation of IUU fishing catch amounts in the northwestern Pacific adjacent to the Japanese EEZ: Potential for usage of satellite remote sensing images. *Marine Policy*, **88**, 64-74.



補足図 6-1a. 春季から夏季の北西太平洋において NPP 衛星夜間可視データから抽出された操業点の月別全点プロット (2014～2016 年の 5～10 月)
青線は EEZ 境界線を示す。



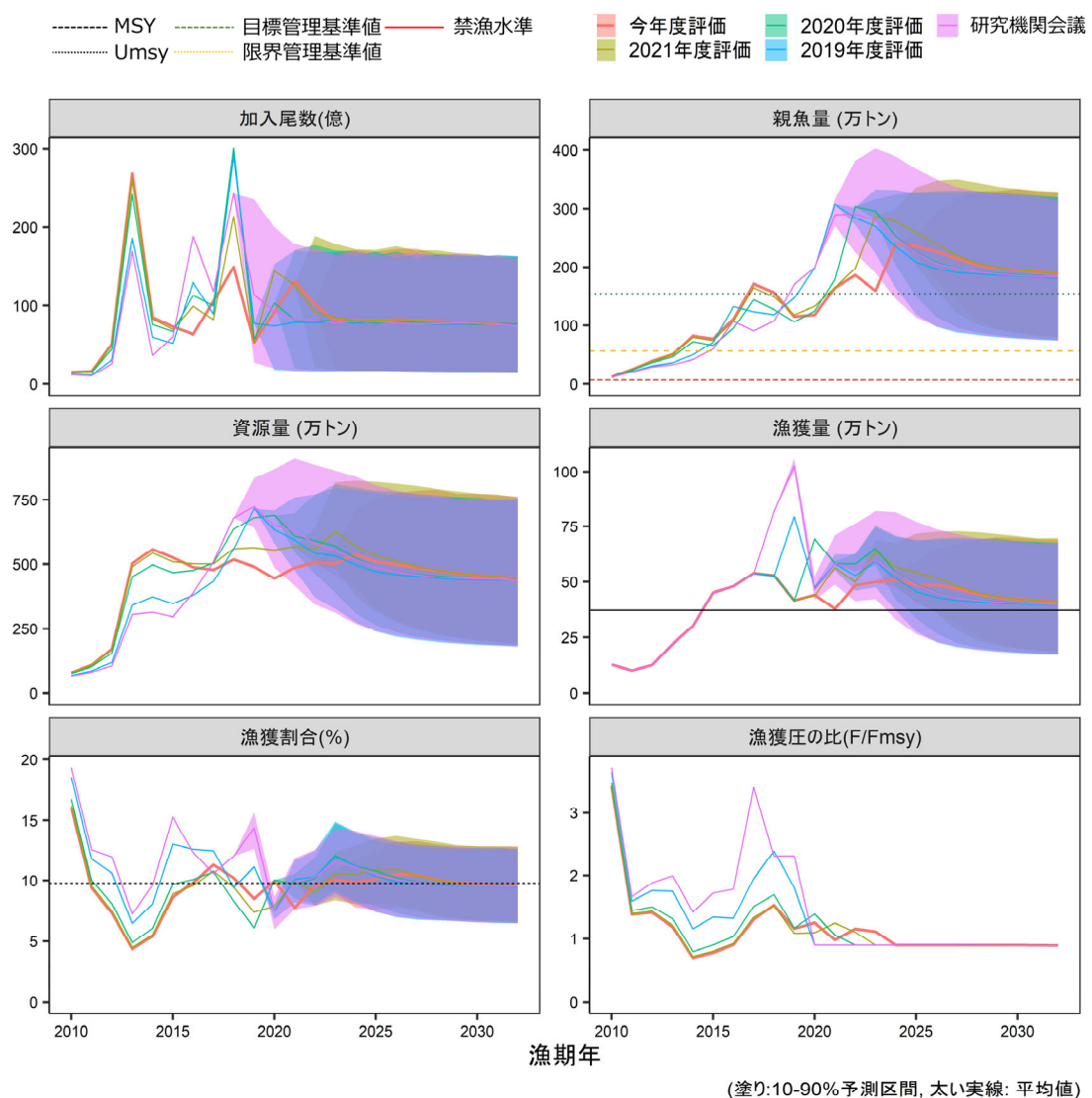
補足図 6-1b. 春季から夏季の北西太平洋において NPP 衛星夜間可視データから抽出された操業点の月別全点プロット (2017～2019 年の 5～10 月)
青線は EEZ 境界線を示す。



補足図 6-1c. 春季から夏季の北西太平洋において NPP 衛星夜間可視データから抽出された操業点の月別全点プロット（2020～2022 年の 5～10 月）
青線は EEZ 境界線を示す。

補足資料 7 過年度評価結果との比較

2018 年度（研究機関会議で使用した評価年度）以降の資源評価による各種推定値を比較すると、加入量は 2013 年漁期で上方修正が継続し、2016、2018 年漁期で下方修正が継続している（補足図 7-1）。これに伴い 2013～2015 年漁期の資源量が上方修正となっているが、2018～2021 年漁期は下方修正となっている。一方、親魚量は特に昨年度評価と今年度評価を比較すると 2017 年漁期で上方修正となったが、2020～2023 年漁期（将来予測を含む）は下方修正となっている、加入量の修正が資源量に比べて時間遅れで影響している。2025 年漁期以降ではそれぞれの値において変化はほとんど見られなかった。このように特に卓越年級群発生時の加入量推定値の不確実性が高くなっている。



補足図 7-1. 加入量、親魚量、資源量、漁獲量、漁獲割合、漁獲圧の比 (F/F_{msy}) の比較
 紫：2018 年度資源評価に基づく研究機関会議、青：2019 年度資源評価、緑：2020 年度資源評価、茶：2021 年度資源評価、赤：今年度資源評価。いずれも $\beta=0.9$ の場合。

補足資料 8 状態空間資源評価モデルによる試算結果

SAM は、VPA と同じデータを使用する年齢別の資源評価モデルであり (Nielsen and Berg 2014)、VPA と異なる特徴としては、

- インプットデータとなる年齢別漁獲尾数に観測誤差が含まれることを仮定し、年齢別漁獲尾数をモデル内で推定する。
- 年齢別漁獲係数は多変量正規分布によるランダムウォークを仮定し、ランダム効果として推定する。
- 年齢別資源尾数は過程誤差を含む形でランダム効果として推定され、前進計算に基づくため再生産関係の推定も可能である。

といった点が挙げられる。一般に、資源量指標値のみに観測誤差を考慮する VPA に比べて、資源量指標値への過剰適合を起こしにくく、資源量推定と同時に再生産関係を同時に行うことで親魚量の誤差を考慮した再生産関係を推定すること可能であるという長所がある。年齢別資源尾数の個体群動態は以下で表される。

$$\log(N_{0,y}) = f(SSB_y) + \eta_{0,y}, \quad (28)$$

$$\log(N_{a,y}) = \log(N_{a-1,y-1}) - F_{a-1,y-1} - M_{a-1,y-1} + \eta_{a,y}, \quad 1 \leq a \leq 5 \quad (29)$$

$$\log(N_{6+,y}) = \log(N_{5,y-1}e^{-F_{5,y-1}-M_{5,y-1}} + N_{6+,y-1}e^{-F_{6+,y-1}-M_{6+,y-1}}) + \eta_{6+,y}, \quad (30)$$

$f(SSB_y)$ は再生産関係を表すが、ここでは現在 VPA で採用されているホッケー・スティック (HS) 再生産関係を使用した。ただし、SAM は TMB (Kristensen et al. 2016) による自動微分でパラメータ推定されるため、折れ点をもつ HS 再生産関係の推定は難しい。折れ点の位置をランダム効果で推定することで収束しやすくなることがあるため、本資料ではその手法を採用しているが、本手法の妥当性については別途検討する必要がある。 $\eta_{a,y}$ は a 歳の y 年における過程誤差であり、正規分布からの誤差を仮定した。0 歳と 1 歳以上で過程誤差の大きさが異なることを仮定した： $\eta_{0,y} \sim N(0, \omega_R^2)$, $\eta_{a,y} \sim N(0, \omega_{S,a}^2)$ ($a > 0$)。推定を安定させるため、1 歳以上の過程誤差は小さいと仮定し、推定せずに固定した ($\omega_{S,a}^2 = 0.0001$)。年齢別漁獲係数は多変量正規分布によるランダムウォークを仮定する。

$$\log(F_y) = \log(F_{y-1}) + \xi_y, \quad (31)$$

ここで $F_y = (F_{1,y}, \dots, F_{A-1,y})^T$ 、 $\xi_y \sim \text{MVN}(0, \Sigma)$ であり、 Σ は多変量正規分布における分散共分散行列である。直交成分は σ_a^2 とし、隣り合う年齢間の共分散は相関係数 ρ を用いて、 $\rho^{|a-a'|}\sigma_a\sigma_{a'}$ ($a \neq a'$) と仮定した。最高齢のプラスグループの F については、VPA と同じく $F_{6+,y} = F_{5,y}$ を仮定した。

年齢別漁獲尾数は

$$\log(C_{a,y}) = \log\left(\frac{F_{a,y}}{F_{a,y} + M_{a,y}} (1 - \exp(-F_{a,y} - M_{a,y})) N_{a,y}\right) + \varepsilon_{a,y} \quad (32)$$

で表され、観測誤差は $\varepsilon_{a,y} \sim N(0, \tau_a^2)$ として正規分布を仮定した。また資源量指標値は、VPAと同様に

$$\log(I_{k,y}) = \log(q_r X_y^{b_k}) + \eta_{k,y}, \quad (33)$$

で表され、観測誤差は $\eta_{k,y} \sim N(0, \nu_k^2)$ として正規分布を仮定した。非線形係数である b_k は、VPA については過剰適合を避けるために固定したが、線形関係に近かったたもすくい標準化 CPUE で 1 に固定した以外は推定した。ただし、北上期標準化 CPUE と秋季 0 歳標準化 CPUE については近い値を示したので、同じ値をとると仮定した。

HS 再生産関係を使用することでパラメータ推定が不安定になることもあり、年齢別の過程誤差や観測誤差に以下の制約を課した。

$$\omega_{s,a} = 0.01 \quad (\forall a (a > 0)), \quad (34)$$

$$\sigma_0 = \sigma_1, \sigma_2 = \sigma_3 = \dots = \sigma_{A-1}, \quad (35)$$

$$\tau_2 = \tau_3, \tau_5 = \tau_{6+}, \quad (36)$$

$$\nu_1 = \nu_2 = \nu_3. \quad (37)$$

(34) 式は 1 歳以上の資源尾数の過程誤差が小さいことを表しており、(35) 式と (36) 式は隣り合う年齢別漁獲係数の過程誤差および年齢別漁獲尾数の観測誤差の大きさが等しい子をお表している。(37) 式は北上期標準化 CPUE、秋季 0 歳魚標準化 CPUE、秋季 1 歳魚標準化 CPUE の観測誤差が等しいことを表している。ランダム効果は対数スケールで推定されるため、TMB で実装されている資源尾数や漁獲係数のバイアス補正を行い(Thorson and Kristensen 2016)、平均値を推定した。

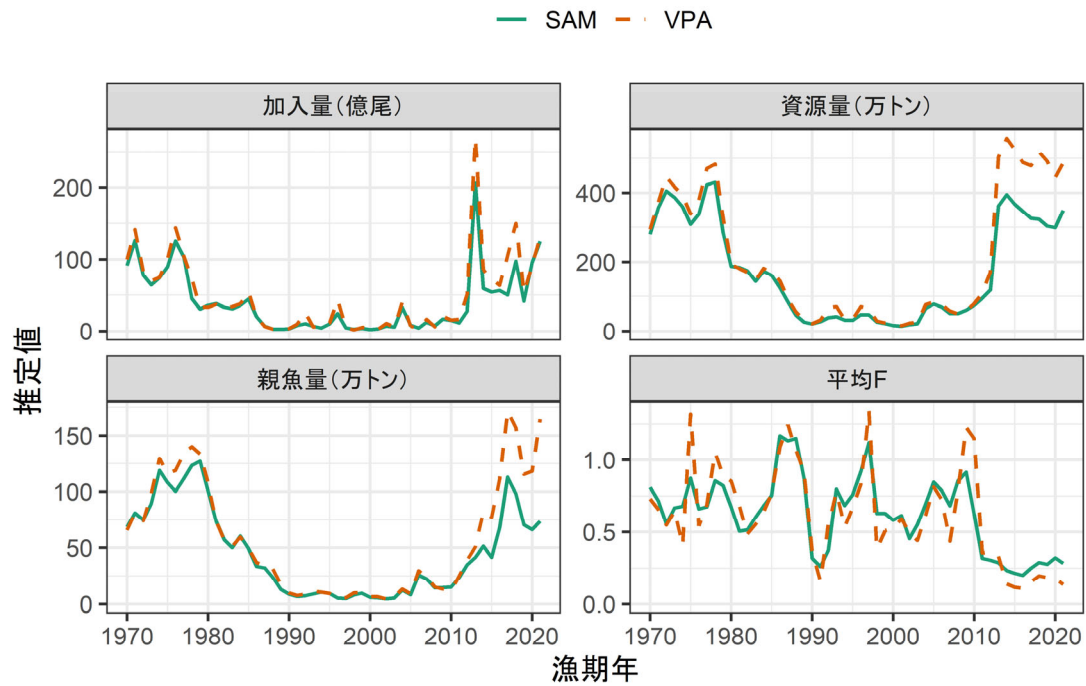
SAM で推定された資源量等の結果を補足図 8-1 に示す。加入量・資源量・親魚量は過去の推移は VPA とほぼ同じであったが、2013 年以降の加入量は VPA より低く推定され、資源量や親魚量は VPA よりも大きく下がった。例えば、最新年である 2021 年の親魚量は VPA では 164 万トンと推定されたのに対し、SAM では 73 万トンであり、半分以下と推定された。漁獲係数 F の推移は VPA の結果を平滑化したようなパターンを示したが、近年の値は VPA よりも高かった。

推定された HS 再生産関係は、VPA の場合と原点における傾きはほぼ同じであり、折れ点はやや低い値であった(補足図 8-2)。VPA では、最新年の親魚量は折れ点(119 万トン)を上回っていたが(VPA における HS 再生産関係は資源評価結果に基づいて推定しなおしたものである)、SAM では、最新年の親魚量は折れ点(85 万トン)を下回っていた。

レトロスペクティブ解析を行った結果、加入量がやや正にバイアス、親魚量がやや負にバイアスしていた（補足図 8-3）。平均の F のバイアスが比較的大きかったものの、直近 4 年ほどではバイアスはほぼ見られなかった。全体的には VPA の方がレトロスペクティブ・バイアスは小さかったものの、レトロスペクティブ解析はモデルの頑健性や一貫性を診断する手法であり、推定精度や予測精度の検証ではなく、異なるモデル間における比較には適していないことに注意が必要である（Carvalho et al. 2021、Kell et al. 2021）。

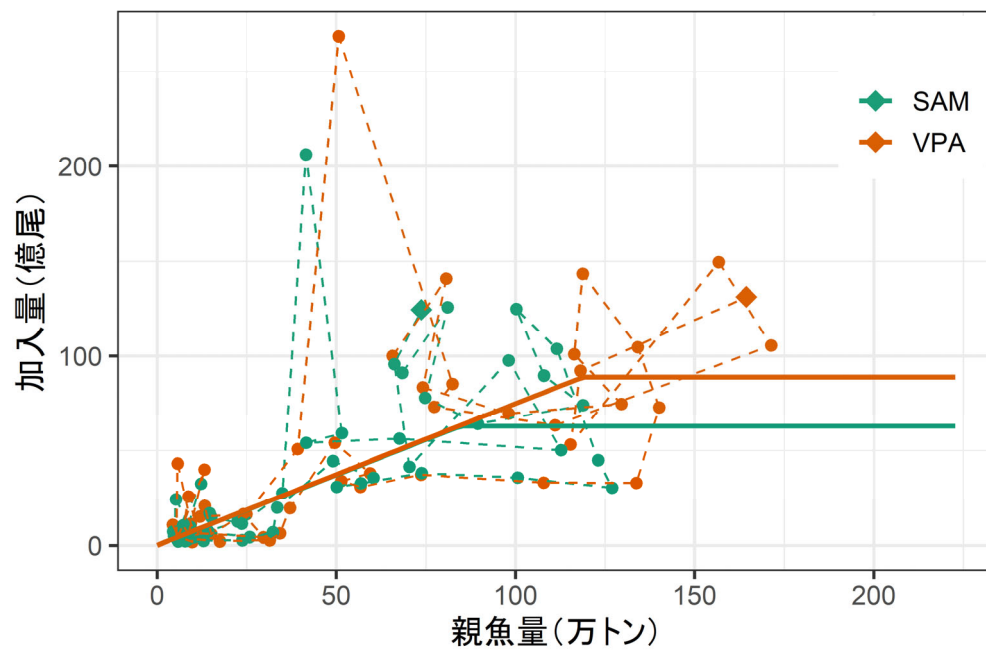
引用文献

- Carvalho, F., H. Winker, D. Courtney, M. Kapur, L. Kell, M. Cardinale, M. Schirripa, T. Kitakado, D. Yemane, K. R. Piner, M. N. Maunder, I. Taylor, C.R. Wetzel, K. Doering, K. F. Johnson and R.D. Methot (2021) A cookbook for using model diagnostics in integrated stock assessments. *Fish. Res.*, **240**, 105959.
- Kell, L. T., R. Sharma, T. Kitakado, H. Winker, I. Mosqueira, M. Cardinale and D. Fu (2021) Validation of stock assessment methods: is it me or my model talking? *ICES J. Mar. Sci.*, **78**, 2244–2255.
- Kristensen, K., A. Nielsen, C. W. Berg, H. Skaug and B. M. Bell (2016) TMB: Automatic differentiation and laplace approximation. *J. Stat. Softw.*, **70**, 1–21.
- Nielsen, A. and C. W. Berg (2014) Estimation of time-varying selectivity in stock assessments using state-space models. *Fish. Res.*, **158**, 96–101.
- 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.



補足図 8-1. VPA と SAM によって推定された加入量 (左上)、資源量 (右上)、親魚量 (左下)、平均 F (右下)

VPA の結果は本資源評価であり、SAM は同じデータを使用して推定されたものである。



補足図 8-2. VPA と SAM によって再生産関係

SAM は資源量推定と同時に推定された HS 再生産関係を、VPA は本資源評価結果の 1970～2021 年のデータを使用して推定された HS 再生産関係を表す。残差の自己相関は仮定しなかった。最新年 (2021 年) をひし形 (◆) で表す。