

令和 3（2021）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

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491万トンに急増した。その後、2018年漁期の極めて高い加入量によってさらに増加し、2018年漁期は561万トンとなり、2020年漁期は555万トンと推定された。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、2020年漁期は133万トンと推定された。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。

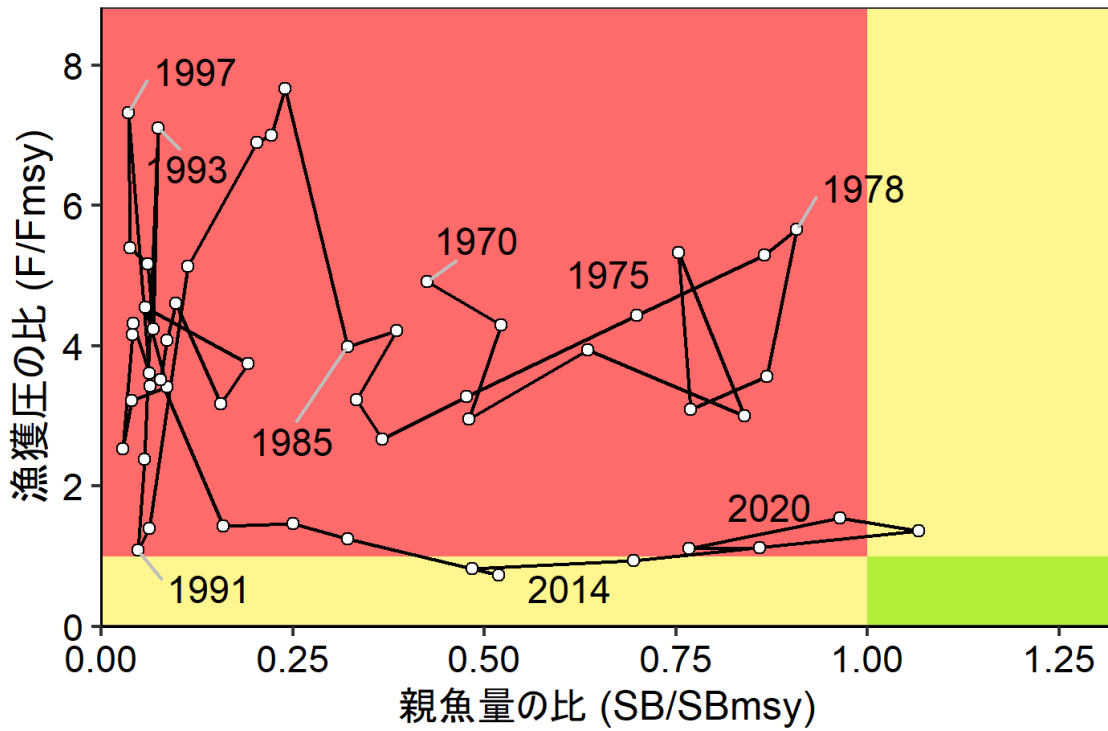
令和2年2月に開催された「資源管理方針に関する検討会」および令和2年5月に開催された「水産政策審議会」を経て、本系群の目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準、および漁獲管理規則が定められた。目標管理基準値は最大持続生産量MSYを実現する親魚量（154.5万トン）であり、本系群の2020年漁期の親魚量はこれを下回る。また、本系群の2020年漁期の漁獲圧は、MSYを実現する水準の漁獲圧（ F_{msy} ）を上回る。親魚量の動向は近年5年間（2016～2020年漁期）の推移から「増加」と判断される。2022年漁期の親魚量および資源量の予測値と、漁獲管理規則に基づき算出された2022年漁期のABCは49.9万トンである。

項目	値	説明
管理基準値と MSY に関する値		
SBtarget	1,545 千トン	最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy)
SBlimit	562 千トン	MSY の 60% の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy)
SBban	67 千トン	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	372 千トン	最大持続生産量 MSY
2020 年漁期の親魚量と漁獲圧		
SB2020	1,328 千トン	2020 年漁期の親魚量
F2020	2020 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, 0.05, 0.07, 0.14, 0.14, 0.36, 0.36)	
%SPR (F2020)	51.0%	2020 年漁期の %SPR
%SPR (F2018-2020)	47.3%	現状 (2018~2020 年漁期) の漁獲圧に対応する %SPR
MSY を実現する水準に対する比率		
SB2020/ SBtarget	0.86	目標管理基準値 (MSY を実現する親魚量) に対する 2020 年漁期の親魚量の比
F2020/ Fmsy	1.12	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2020 年 漁期の漁獲圧の比*

*2020 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

再生産関係：ホッカー・スティック型（自己相関あり）

親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を上回る
親魚量の動向	増加



漁期年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F/Fmsy	漁獲割合 (%)
2017	5,009	1,648	539	1.36	10.8
2018	5,607	1,490	529	1.54	9.4
2019	5,645	1,185	417	1.11	7.4
2020	5,550	1,328	437	1.12	7.9
2021	5,688	1,654	565	1.02	9.9
2022	5,599	1,979	—	—	—

2021年、2022年漁期の値は、将来予測に基づく推定値である。

2022年漁期の ABC (千トン)	2022年漁期の 親魚量予測平均値 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2018-2020)	2022年漁期の 漁獲割合(%)
499	1,979	0.89	9.0

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」にて取りまとめられ、令和2年5月に開催された「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。

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
資源量指数 ・ 加入量指標値 ・ 親魚量指標値 ・ 産卵量	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* 伊豆諸島海域たもすくい漁業 CPUE（神奈川県、静岡県）* 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 と寿命の統計的關係（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 4 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。2020 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昨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きており、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。

(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年漁期以降はやや減少し、2020年漁期は27.4万トンであった。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 資料 : <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%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 5)、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。2020 年漁期は 2 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年漁期の有効漁獲努力量の値は増加したが、これは主に2020年1月以降の未成魚越冬群の漁期が近年としては長かったことによるものである。

4. 資源の状況

(1) 資源評価の方法

1970～2020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、3)。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および加入量の変化を反映すると考えられる 4 系列の指標値を用い、最近年 (2020 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年以降は減少し、2021年1～6月は170兆粒であった。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、今年度の資源計算では標準化産卵量を使用した (補足表 2-2、補足資料 3)。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年漁期の値は有効漁獲努力量が増加したことにより減少した。

(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 491 万トンとなった。その後、2018 年漁期の極めて高い加入量によってさらに増加して 2018 年漁期は 561 万トンとなり、2020 年漁期は 555 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 165 万トンに増加し、2020 年漁期は 133 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 (2020) 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 125%、親魚量は 95%および 108%、加入量は 70%および 151%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）、一昨年度評価（由上ほか 2020）および昨年度評価（由上ほか 2021）における各種推定値との比較を補足資料 6 にまとめた。

項目	値	説明
SB2020	1,328 千トン	2020 年漁期の親魚量
F2020	2020 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, 0.05, 0.07, 0.14, 0.14, 0.36, 0.36)	
U2020	7.9%	2020 年漁期の漁獲割合

(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、各年の F 値を %SPR (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) に換算した値を図 4-10 に示す。 %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 (F2018-2020) は Fmsy と同程度で、 F0.1 および F30%SPR を下回る。なお現状の漁獲圧 (F2018-2020) と Fmsy の %SPR の間には、仮定している年齢別平均体重が異なるためやや大きな差があるが、F 値で比較すると同程度となる。

項目	値	説明
%SPR (F2020)	51.0%	2020 年漁期の %SPR
%SPR (F2018-2020)	47.3%	現状(2018~2020 年漁期)の漁獲圧に対応する %SPR

(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ケー・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下表に示す。

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

ここで、a は HS の折れ点までの再生産曲線の傾き (尾/g)、b は HS の折れ点となる親魚量 (トン) である。

(6) 現在の環境下において MSY を実現する水準および管理基準値等

上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」では現在（1970 年漁期以降）の環境下における最大持続生産量 MSY は 37.2 万トンと推定された。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 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。MSY を実現する漁獲圧（Fmsy）と共に諸数値を下表に示す。

項目	値	説明
SBtarget	1,545 千トン	目標管理基準値。最大持続生産量 MSY を実現する親魚量（SBmsy）。
SBlimit	562 千トン	限界管理基準値。MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量（SB0.6msy）。
SBban	67 千トン	禁漁水準。MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量（SB0.1msy）。
Fmsy	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	372 千トン	最大持続生産量 MSY

(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 4-13 に示す。本系群における 2020 年漁期の親魚量（133 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）を下回るが、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。2020 年漁期の親魚量は SBmsy の 0.86 倍である。また、2020 年漁期の漁獲圧は MSY を実現する漁獲圧（Fmsy）を上回っており、2020 年漁期の漁獲圧は Fmsy の 1.12 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（2016～2020 年漁期）の推移から増加と判断される。本系群の親魚量は 2017 年漁期を除くすべての期間において SBmsy を下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 年漁期はわずかに Fmsy を下回っていた。その後の漁獲圧はやや高くなり、2020 年漁期の漁獲圧は Fmsy をわずかに上回っている。

項目	値	説明
SB2020/ SBmsy	0.86	最大持続生産量を実現する親魚量に対する 2020 年漁期の親魚量の比
F2020/ Fmsy	1.12	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2020 年漁期の漁獲圧の比*

* 2020 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

親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を上回る
親魚量の動向	増加

5. 将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した 2020 年漁期の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2021～2051 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。2021 年漁期の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2018-2020) から仮定した。2022 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) 2022 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 49.9 万トンと ABC として提示する。2022 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 197.9 万トンと見込まれた。

2022 年漁期の ABC (千トン)	2022 年漁期の親魚量予測平均値 (千トン)	現状の漁獲圧に対する比 (F/F2018-2020)	2022 年漁期の漁獲割合 (%)
499	1,979	0.89	9.0
コメント: <ul style="list-style-type: none"> 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」にて取りまとめられ、令和 2 年 5 月に開催された「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。 			

(4) 2023 年漁期以降の予測

2023 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 195.1 万トン（80%予測区間は 86.7 万～333.9 万トン）であり、予測値が目標管理基準値を上回る確率は 56%、限界管理基準値を上回る確率は 98%である。

参考情報として、異なる β を使用した場合、および現状の漁獲圧（F2018-2020）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 185.2 万トン（80%予測区間は 80.4 万～319.1 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 206.0 万トン（80%予測区間は 93.2 万～350.7 万トン）であり、目標管理基準値を上回る確率は 60%、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 183.6 万トン（80%予測区間は 79.5 万～316.8 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 97%である。

漁獲管理規則に基づく管理を継続した場合、親魚量が目標理基準値を 50%以上の確率で上回る漁期年は、高い加入量と推定された 2018 年級群が成熟を開始する 2021 年漁期となると予測された。限界管理基準値および禁漁水準については 2020 年漁期の親魚量が既にこれらを上回っている。

考慮している不確実性：加入量					
項目	2030 年漁期の親魚量 (千トン)	80% 予測区間 (千トン)	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					
$\beta=0.9$	1,951	867 – 3,339	56	98	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）					
$\beta=1.0$	1,852	804 – 3,191	51	98	100
$\beta=0.8$	2,060	932 – 3,507	60	99	100
$\beta=0.6$	2,312	1,086 – 3,890	70	100	100
$\beta=0.4$	2,627	1,275 – 4,369	80	100	100
$\beta=0.2$	3,028	1,532 – 4,962	90	100	100
$\beta=0$	3,552	1,882 – 5,701	97	100	100
F2018-2020	1,836	795 – 3,168	51	97	100

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	2020 年漁期	2020 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	2020 年漁期	2020 年漁期
$\beta=0.8$	2021 年漁期	2020 年漁期	2020 年漁期
$\beta=0.6$	2021 年漁期	2020 年漁期	2020 年漁期
$\beta=0.4$	2021 年漁期	2020 年漁期	2020 年漁期
$\beta=0.2$	2021 年漁期	2020 年漁期	2020 年漁期
$\beta=0$	2021 年漁期	2020 年漁期	2020 年漁期
F2018-2020	2021 年漁期	2020 年漁期	2020 年漁期

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 491 万トンとなった。その後、2018 年漁期の極めて高い加入量によってさらに増加し、2018 年漁期は 561 万トンとなり、2020 年漁期は 555 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、2020 年漁期は 133 万トンと推定された。

1970 年漁期以降、2017 年漁期を除くすべての期間において親魚量は MSY を実現する水準を下回っている。また漁獲圧は近年、低下傾向にあるものの、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) を上回っている。親魚量の動向は近年 5 年間 (2016～2020 年漁期) の推移から「増加」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。

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.
- 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—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/>.

(執筆者：由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・古市 生・渡部亮介)

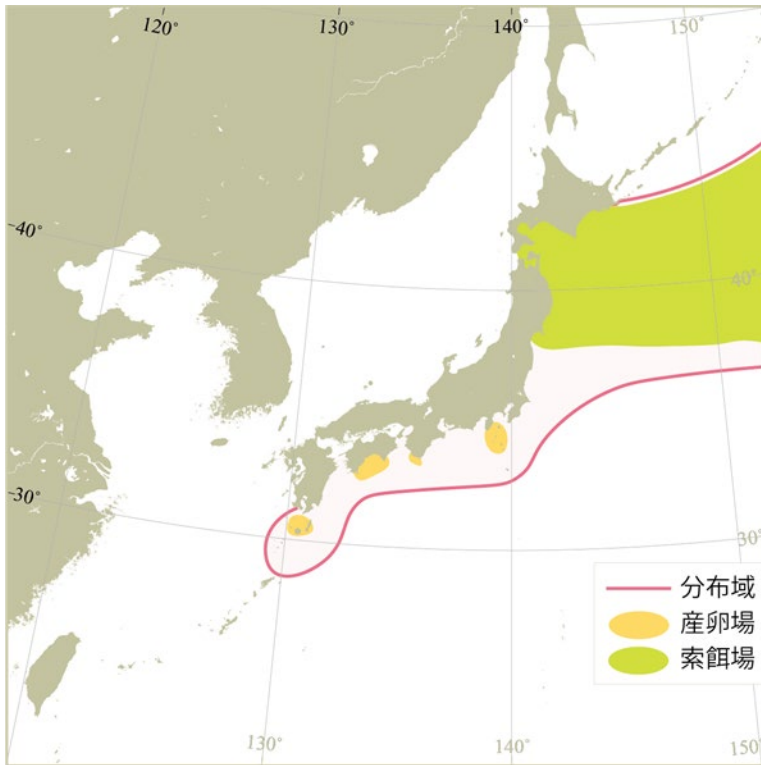


図 2-1. マサバ太平洋系群の分布・回遊図

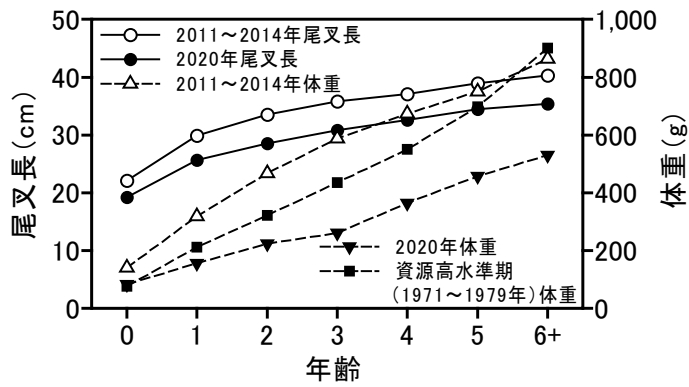


図 2-2. 年齢と成長 (漁獲物の平均)

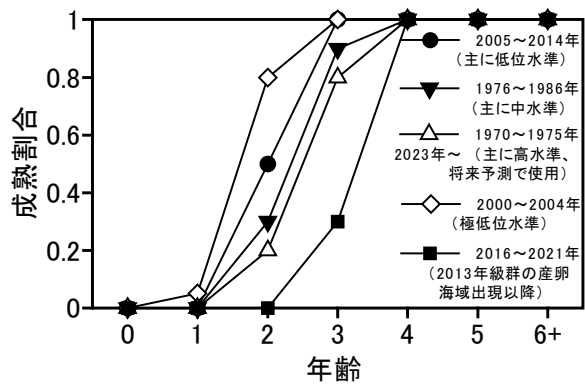


図 2-3. 年齢と成熟割合

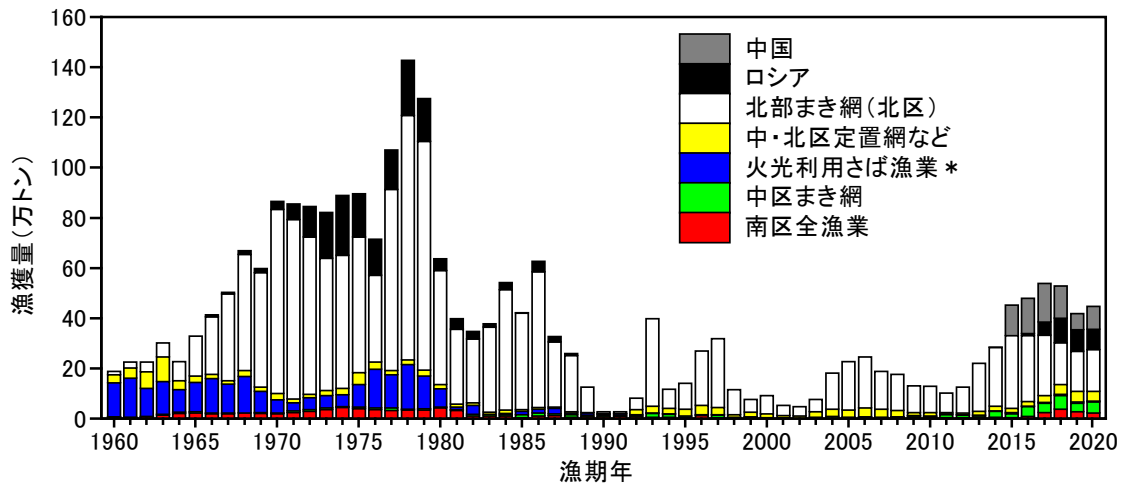


図 3-1. 漁業種類別漁獲量の推移 *火光利用サバ漁業：たもすくい、棒受網。2014 年漁期以降の中国およびロシアの漁獲量は推定値。

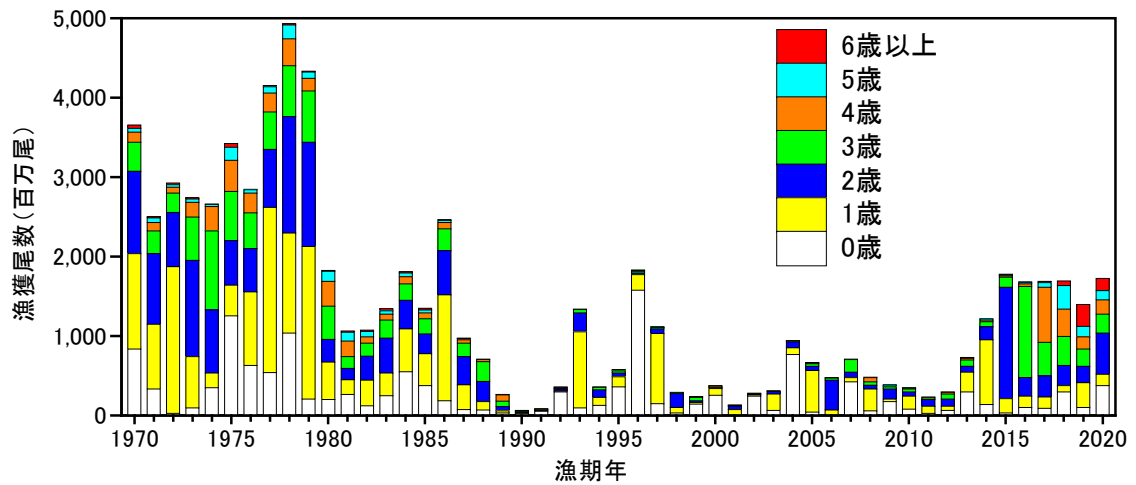


図 3-2. 年齢別漁獲尾数

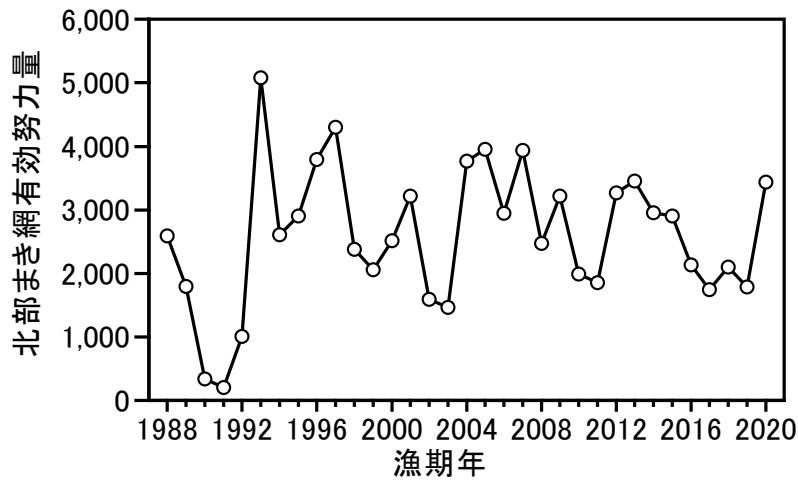


図 3-3. 北部まき網漁業のさば類に対する有効努力量 (JAFIC 資料。補足資料 4)

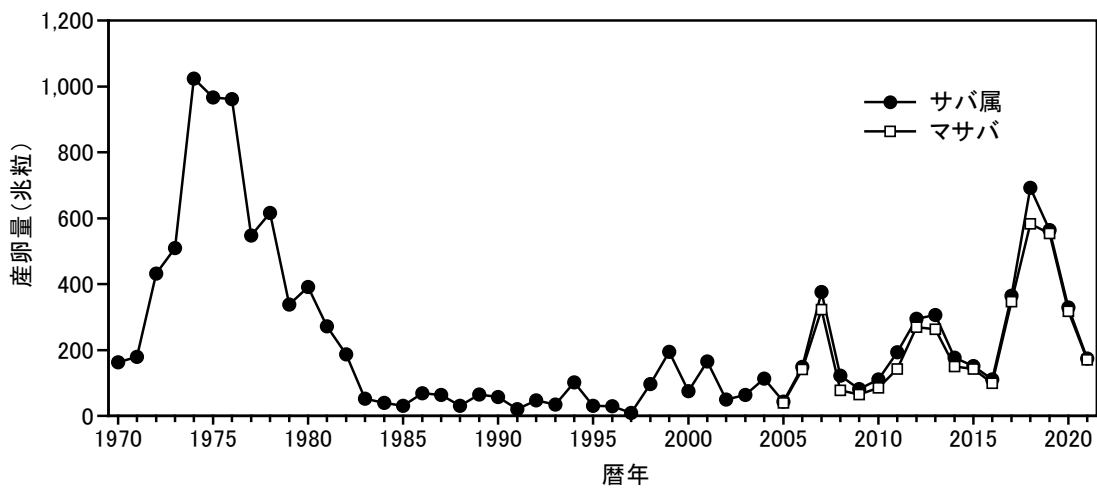


図 4-1. 本邦太平洋側におけるサバ属の産卵量 2005 年以降はマサバを分けて示した。2021 年は 1~6 月までの値。

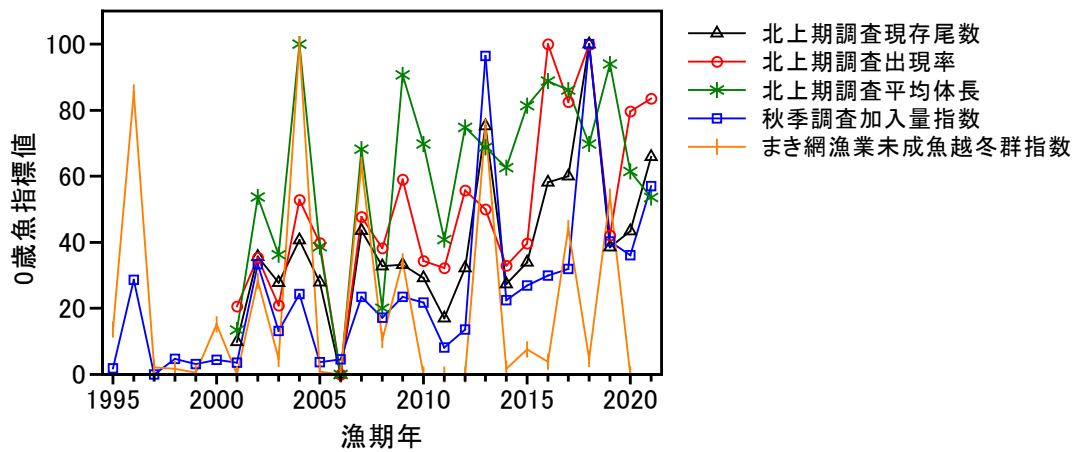


図 4-2. 各種調査（補足資料 4）による加入量の指標値の推移（指標値の最大値を 100、最小値を 0 とした場合の相対値）

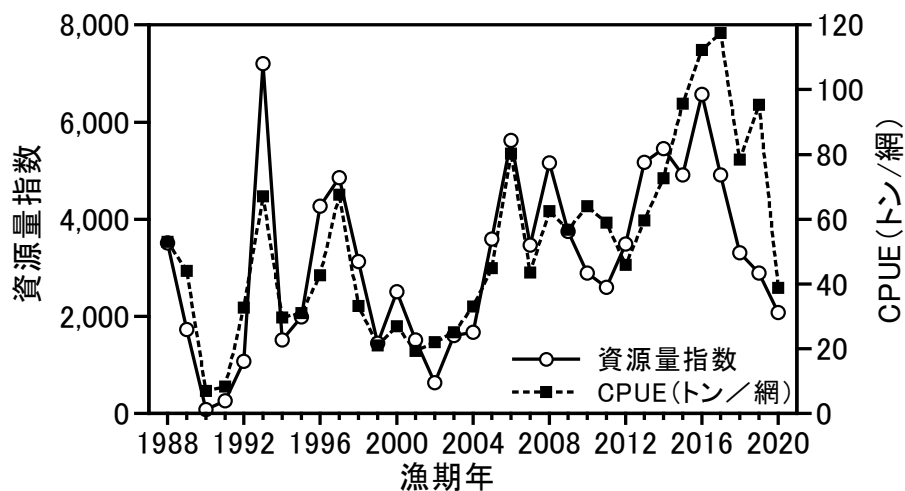


図 4-3. 北部太平洋まき網漁業のさば類 CPUE と資源量指数の推移（JAFIC 資料。補足資料 4）

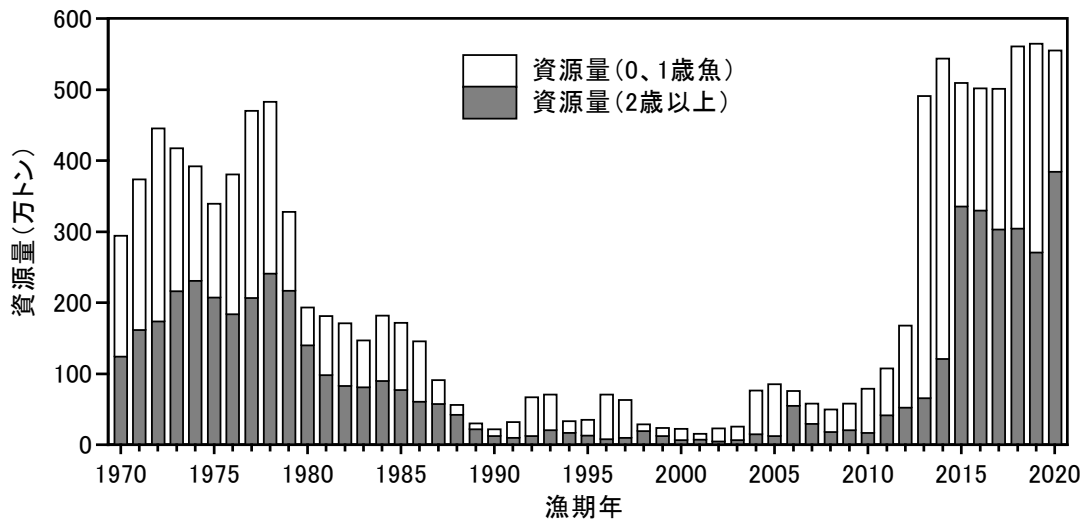


図 4-4. 資源量の推移 資源量の棒グラフは0、1歳魚と2歳以上に分けて図示。

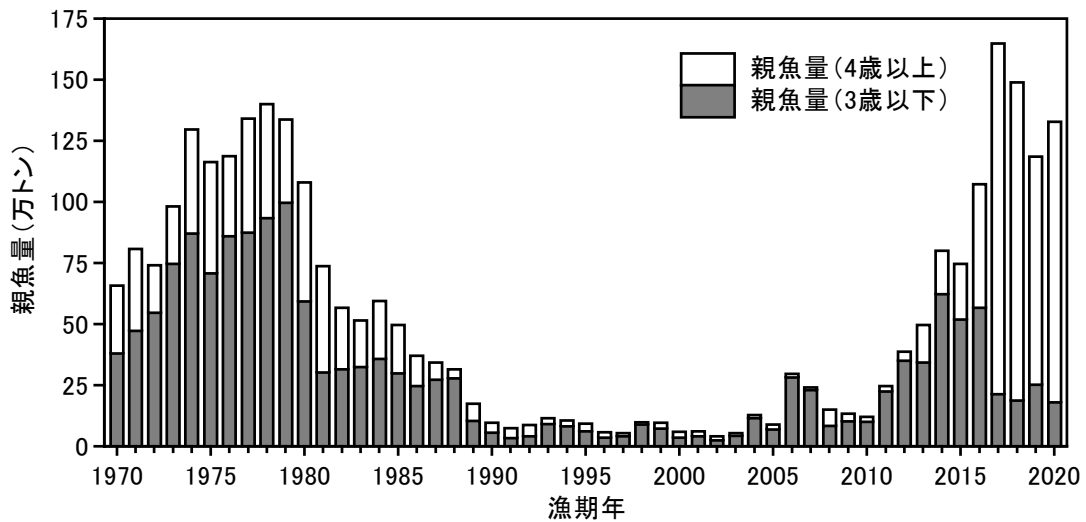


図 4-5. 親魚量の推移 親魚量の棒グラフは3歳以下と4歳以上に分けて図示。

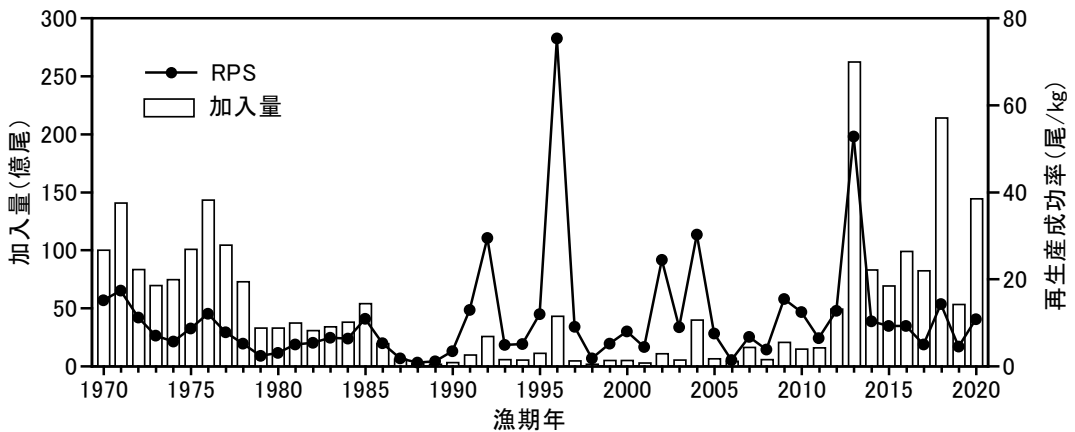


図 4-6. 加入量と再生産成功率 (RPS) の推移

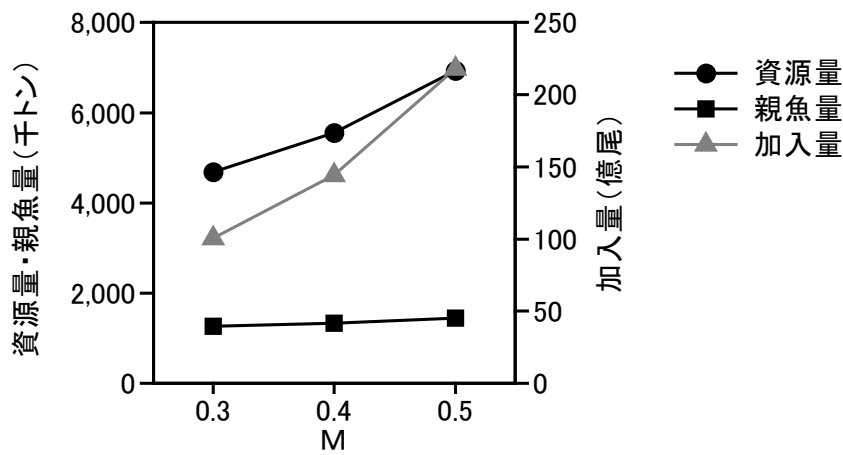


図 4-7. 自然死亡係数 (M) の違いによる 2020 年漁期の資源量、親魚量および加入量

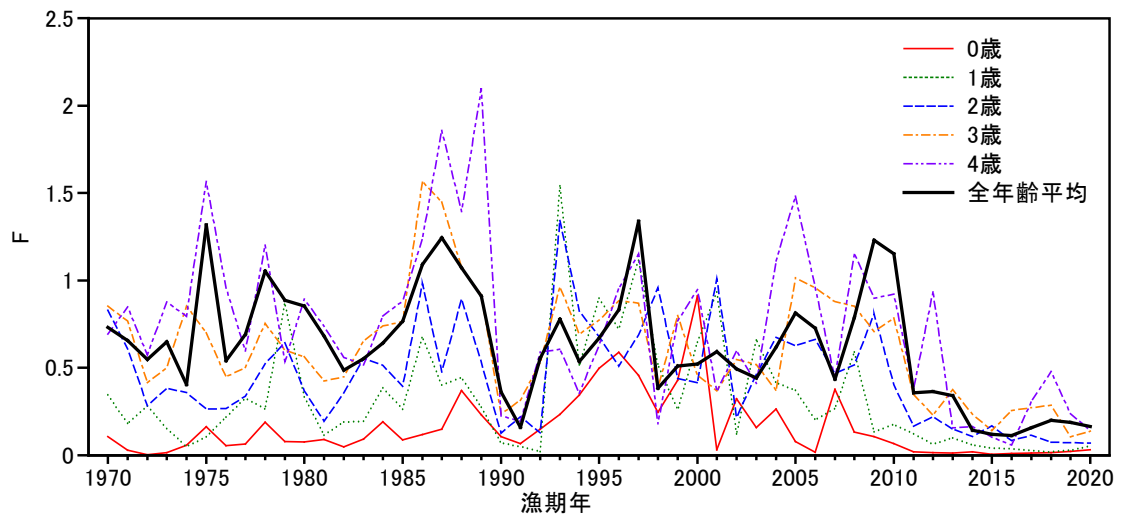


図 4-8. 年齢別漁獲係数 F の推移

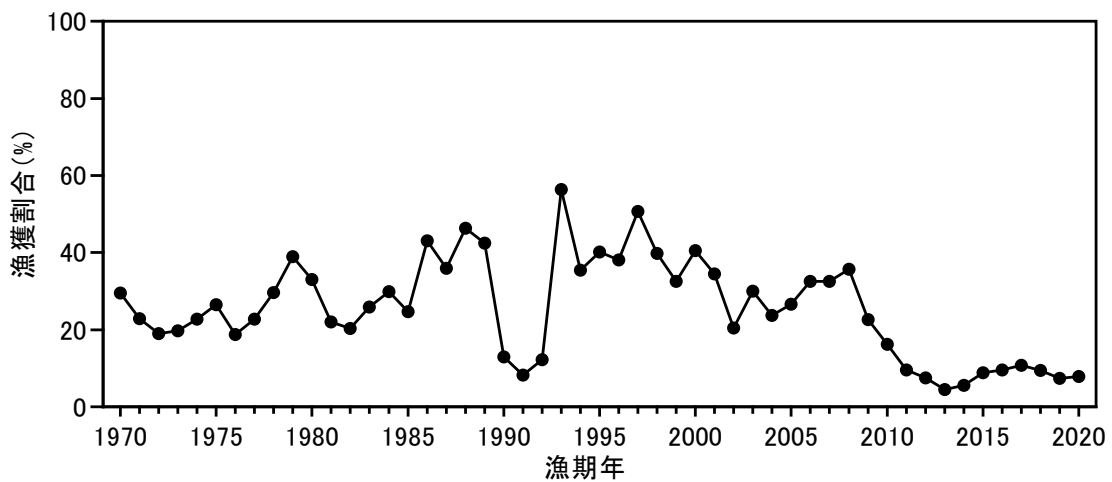


図 4-9. 漁獲割合の推移

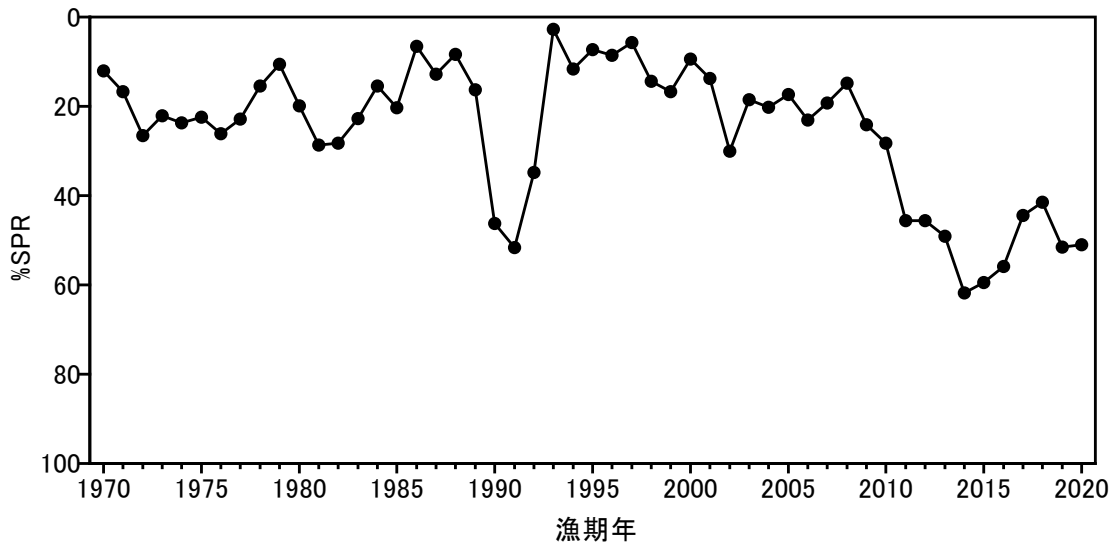


図 4-10. 各漁期年における%SPR 値の経年推移 %SPR は漁獲がないときの親魚量に対する漁獲があるときの親魚量の割合を示し、Fが高い(低い)と%SPRは小さく(大きく)なる。

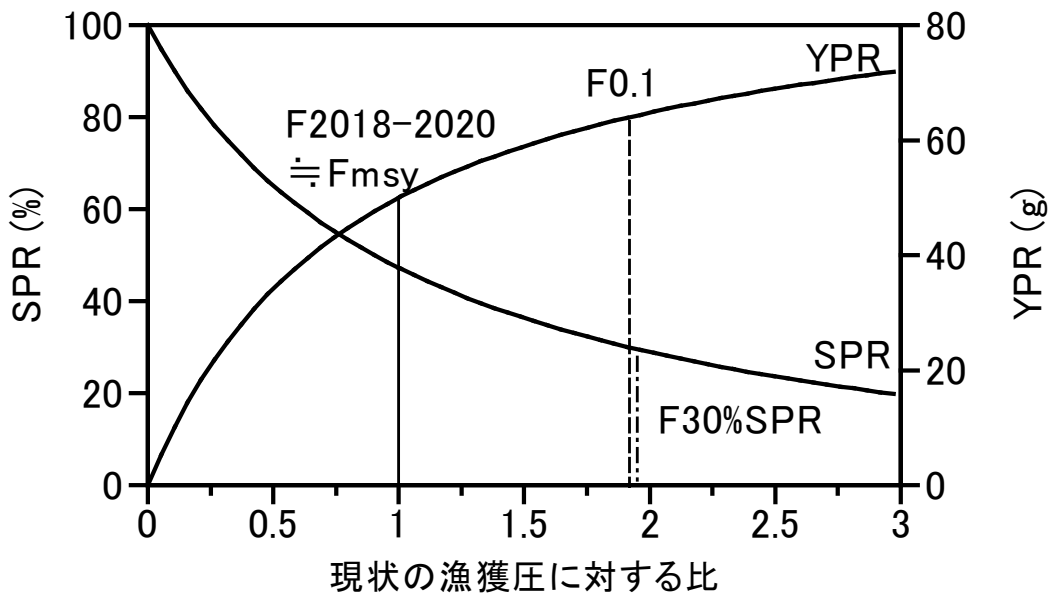
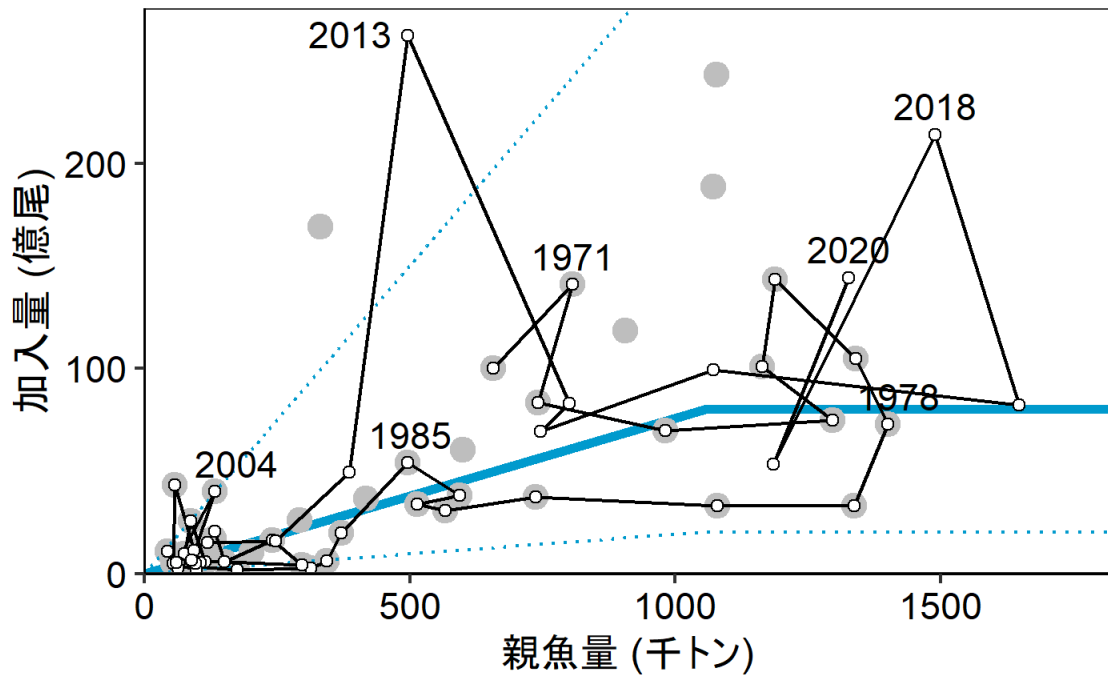


図 4-11. 現状の漁獲圧 (F2018-2020) に対する YPR と%SPR の関係



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。

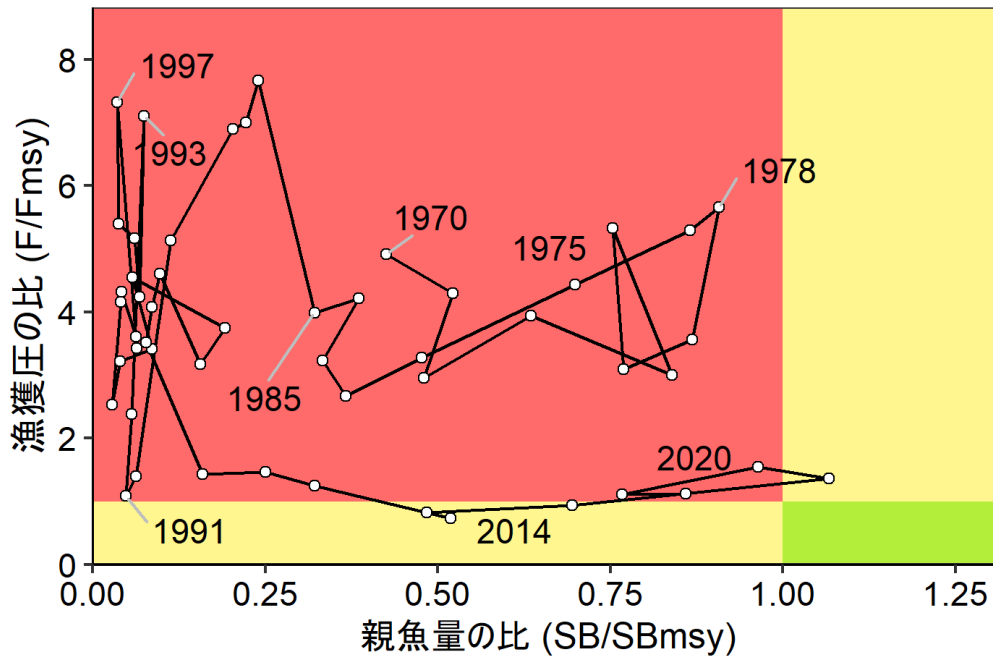
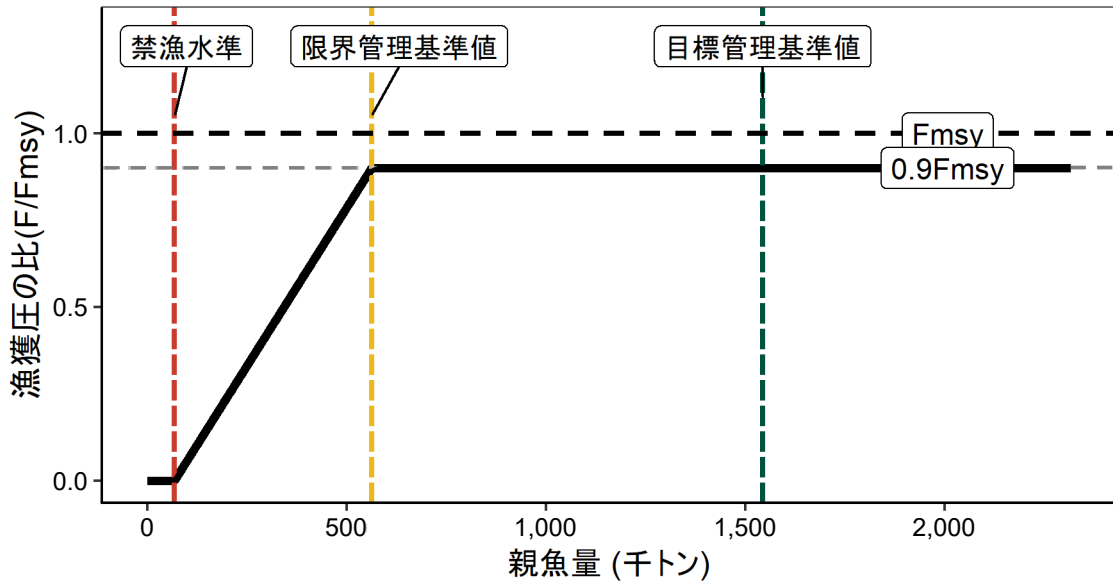


図 4-13. 最大持続生産量MSYを実現する親魚量(SBmsy)とMSYを実現する漁獲圧(Fmsy)に対する、過去の親魚量および漁獲圧の関係（神戸プロット）

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

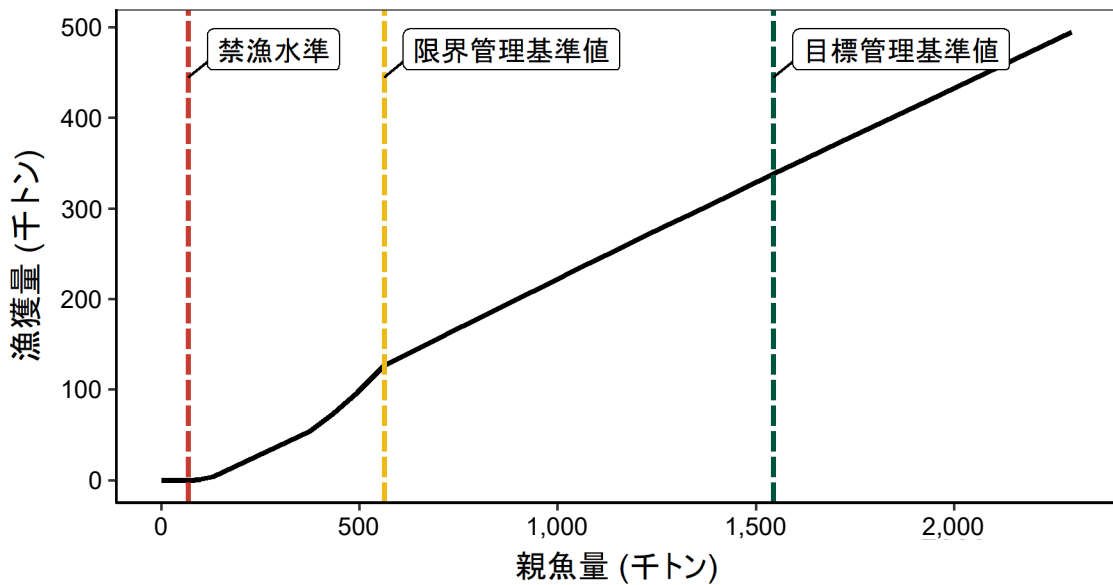
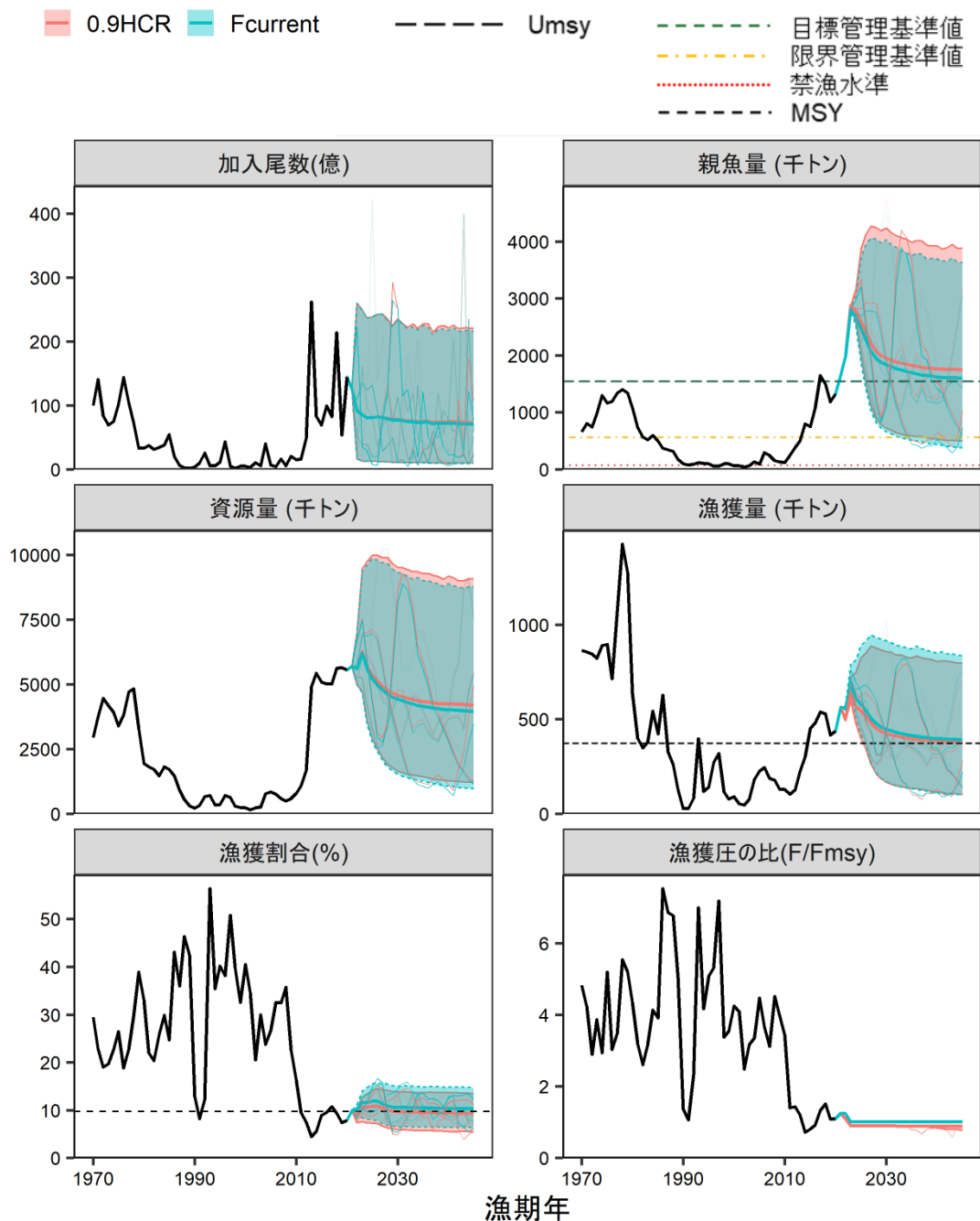


図 5-1. 漁獲管理規則 ($\beta=0.9$ の場合) 目標管理基準値 (SBtarget) は HS 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値 (SBlimit) および禁漁水準 (SBban) にそれぞれ標準値を用いている。ここでは調整係数 β には 0.9 を用いた。黒破線 : F_{msy} 、灰色破線 : $0.9F_{msy}$ 、黒太線 : HCR、赤破線 : 禁漁水準、黄色破線 : 限界管理基準値、緑色破線 : 目標管理基準値を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成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。



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

図 5-2. 漁獲管理規則を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）

漁獲管理規則（図 5-1）に基づく中長期的な将来予測の結果（ $\beta=0.9$ の場合）10,000 回の平均値（太線）、5 回の試行結果（細線）、網掛けはシミュレーション結果の 90% が含まれる 90% 予測区間である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値、黄点破線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準、漁獲量の図の破線は MSY、漁獲割合の図の破線は Umsy を示す。2021 年漁期の漁獲量は予測される資源量と F2018-2020 により仮定した。

表 3-1. 漁業種類・海区別漁獲量（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	436,931	273,748	76,395	86,788	164,596	43,120	3,287	40,205	22,539

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 (千トン)	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	加入量 (百万尾)	漁獲割合 (%)	再生産成功率 (尾/kg)
1970	865	2,938	657	9,998	29	15.2
1971	855	3,737	807	14,084	23	17.5
1972	845	4,454	741	8,345	19	11.3
1973	822	4,171	981	6,958	20	7.1
1974	889	3,917	1,296	7,462	23	5.8
1975	897	3,391	1,164	10,095	26	8.7
1976	715	3,803	1,188	14,344	19	12.1
1977	1,071	4,699	1,341	10,460	23	7.8
1978	1,428	4,826	1,401	7,283	30	5.2
1979	1,275	3,276	1,337	3,291	39	2.5
1980	637	1,932	1,079	3,302	33	3.1
1981	398	1,810	737	3,725	22	5.1
1982	347	1,706	567	3,084	20	5.4
1983	378	1,464	514	3,397	26	6.6
1984	543	1,816	595	3,805	30	6.4
1985	422	1,713	496	5,410	25	10.9
1986	627	1,455	371	1,962	43	5.3
1987	327	909	343	630	36	1.8
1988	259	558	314	263	46	0.8
1989	125	295	175	199	42	1.1
1990	28	215	97	342	13	3.5
1991	26	320	74	965	8	13.0
1992	81	665	87	2,581	12	29.5
1993	398	705	114	565	56	4.9
1994	117	332	105	536	35	5.1
1995	141	350	94	1,126	40	12.0
1996	269	705	57	4,321	38	75.4
1997	318	628	54	489	51	9.1
1998	115	288	98	176	40	1.8
1999	77	235	96	504	33	5.3
2000	91	225	64	514	41	8.1
2001	53	153	63	276	35	4.4
2002	47	228	44	1,071	20	24.5
2003	76	252	60	545	30	9.0
2004	181	763	132	4,001	24	30.2
2005	226	849	89	666	27	7.5
2006	245	753	296	419	33	1.4
2007	188	580	241	1,643	32	6.8
2008	176	493	151	578	36	3.8
2009	130	577	133	2,053	23	15.5
2010	128	788	119	1,494	16	12.5
2011	102	1,071	246	1,588	10	6.4
2012	126	1,675	386	4,927	8	12.7
2013	221	4,906	497	26,218	4	52.8
2014	302	5,435	800	8,301	6	10.4
2015	453	5,094	747	6,943	9	9.3
2016	480	5,017	1,073	9,913	10	9.2
2017	539	5,009	1,648	8,229	11	5.0
2018	529	5,607	1,490	21,402	9	14.4
2019	417	5,645	1,185	5,334	7	4.5
2020	437	5,550	1,328	14,429	8	10.9

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。2021 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2018-2020) から予測される 56.5 万トンとし、2022 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため F2018-2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

a) 親魚量が目標管理基準値を上回る確率(%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2041	2051
1.0	100	100	100	100	100	87	65	56	53	51	50	49	43	42
0.9	100	100	100	100	100	93	71	61	57	56	54	53	47	47
0.8	100	100	100	100	100	98	78	67	62	60	59	57	52	52
0.7	100	100	100	100	100	100	84	72	67	65	64	62	58	57
0.6	100	100	100	100	100	100	90	78	72	70	69	67	63	63
0.5	100	100	100	100	100	100	95	84	78	75	73	72	69	68
0.4	100	100	100	100	100	100	98	89	83	80	78	77	74	74
0.3	100	100	100	100	100	100	100	94	88	85	83	82	79	79
0.2	100	100	100	100	100	100	100	97	93	90	88	87	84	84
0.1	100	100	100	100	100	100	100	99	96	94	92	91	89	88
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	95	94	93	93
F2018 -2020	100	100	100	100	100	86	64	56	53	51	49	48	42	41

b) 親魚量が限界管理基準値を上回る確率(%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2041	2051
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	96	96	92	90
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	98	97	94	93
0.8	100	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	99	97	97
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98	98
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99
0.4	100	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	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2018 -2020	100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	96	96	90	88

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。2021 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2018-2020) から予測される 56.5 万トンとし、2022 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため F2018-2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

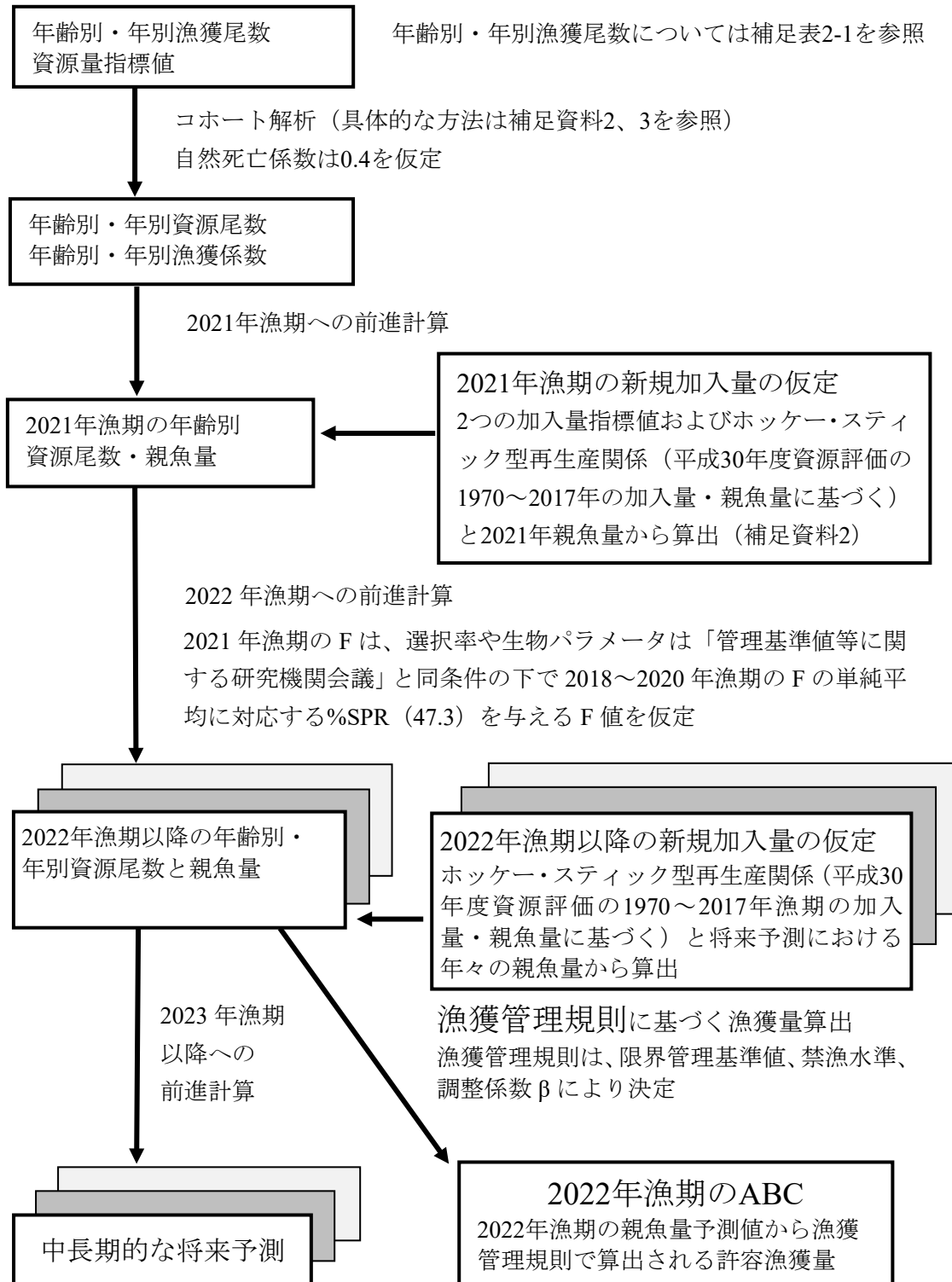
a) 親魚量の平均値の推移 (千トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2041	2051
1.0	1,654	1,979	2,826	2,693	2,487	2,288	2,088	1,960	1,894	1,852	1,818	1,786	1,644	1,618
0.9	1,654	1,979	2,874	2,780	2,592	2,402	2,200	2,066	1,995	1,951	1,919	1,889	1,758	1,737
0.8	1,654	1,979	2,924	2,871	2,703	2,524	2,322	2,183	2,107	2,060	2,028	2,000	1,880	1,863
0.7	1,654	1,979	2,975	2,965	2,821	2,656	2,455	2,312	2,230	2,180	2,147	2,120	2,010	1,998
0.6	1,654	1,979	3,027	3,064	2,947	2,798	2,601	2,454	2,367	2,312	2,279	2,251	2,151	2,143
0.5	1,654	1,979	3,080	3,167	3,080	2,952	2,761	2,611	2,519	2,460	2,424	2,396	2,303	2,299
0.4	1,654	1,979	3,134	3,275	3,222	3,117	2,936	2,786	2,690	2,627	2,587	2,558	2,469	2,469
0.3	1,654	1,979	3,190	3,387	3,373	3,297	3,129	2,980	2,882	2,814	2,772	2,741	2,652	2,655
0.2	1,654	1,979	3,247	3,505	3,533	3,492	3,342	3,198	3,098	3,028	2,982	2,949	2,857	2,862
0.1	1,654	1,979	3,305	3,628	3,705	3,704	3,576	3,441	3,344	3,272	3,224	3,188	3,089	3,095
0.0	1,654	1,979	3,364	3,757	3,888	3,934	3,836	3,715	3,623	3,552	3,503	3,466	3,359	3,365
F2018-2020	1,654	1,979	2,818	2,679	2,471	2,270	2,070	1,944	1,878	1,836	1,802	1,769	1,615	1,573

b) 漁獲量の平均値の推移 (千トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2041	2051
1.0	565	549	688	605	574	544	502	473	455	443	435	428	395	388
0.9	565	499	636	567	543	518	480	452	435	424	417	411	383	378
0.8	565	448	581	525	508	489	454	428	412	401	395	390	368	364
0.7	565	396	523	479	468	454	424	400	385	375	370	365	347	344
0.6	565	343	461	428	423	414	389	368	353	344	339	336	321	320
0.5	565	288	395	373	373	368	347	329	317	308	304	301	289	289
0.4	565	233	325	312	315	315	299	284	273	266	263	260	251	251
0.3	565	177	251	245	251	253	242	231	222	217	213	211	204	204
0.2	565	119	172	171	177	181	174	167	161	157	155	153	149	149
0.1	565	60	89	89	94	97	95	91	88	86	85	84	81	82
0.0	565	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2018-2020	565	557	697	611	578	548	505	476	458	446	439	432	396	385

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(2020年)の年齢別資源尾数は最近年の漁獲係数 $F_{a,2020}$ (ターミナルF)を用いて(4)式より計算した。

$$N_{a,2020} = \frac{C_{a,2020} \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{1 - \exp(-F_{a,2020})} \quad (4)$$

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($F_{0,2020} \sim F_{5,2020}$)をチューニングによって探索的に求めた。チューニングには、加入量および親魚量を反映すると考える4系列の指標値(補足表 2-2)を用いた。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。

$$\text{最小} \quad (1 - \lambda) \sum_{k=1}^4 \sum_y \left[\frac{\ln(2\pi\sigma_k^2)}{2} + \frac{\{\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})\}^2}{2\sigma_k^2} \right] + \lambda \sum_{a=0}^5 F_{a,2020}^2 \quad (7)$$

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）($k=2$) については、非線形性 ($b_k \neq 1$) と観察誤差が等しいこと ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$) 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。

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

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \frac{1}{\sum_{k=1}^2 n_k} \sum_{k=1}^2 \sum_y \{\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})\}^2 \quad (9)$$

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 ($k=3$) と標準化産卵量 ($k=4$) 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：

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{n_k} \sum_y \{\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})\}^2 \quad k = 3, 4 \quad (10)$$

北上期標準化 CPUE および秋季標準化 CPUE における非線形性を表す係数 b_k ($k=1,2$) を令和元年度および令和 2 年度資源評価で使用した 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 0.01 刻みで探索した結果、 $\lambda = 0.97$ となった。

(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 (2021 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、ホッケー・スティック型の再生産関係から、2021 年漁期の加入量 (R_{2021}) 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)。2020 年漁期の加入量 (144.3 億尾) と、2020 年漁期親魚量 (133 万トン)

と再生産関係からの予測値との残差は

$$\varepsilon_{2020} = \ln R_{2020} - \ln[f(a, b, SSB_{2020})] = 0.59 \quad (11)$$

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、2021 年漁期の親魚量（1,654 千トン）から、再生産関係からの 2021 年漁期加入量の予測値は

$$\hat{R}_{2021,0} = f(a, b, SSB_{2021}) \times \exp(\rho \times \varepsilon_{2020}) \quad (13)$$

から 99.9 億尾と予測される。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、2021 年漁期加入量の事前分布は

$$\ln(R_{2021}) \sim \text{Normal}(\ln(\hat{R}_{2021,0}), \hat{\sigma}_0^2) \quad (14)$$

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 2021 年の指標値の尤度は以下の式で与えられる：

$$\ln(I_{k,2021}) \sim \text{Normal}(\ln(\hat{q}_k R_{2021}^{b_k}), \hat{\sigma}_k^2) \quad k=1, 2 \quad (15)$$

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 2021 年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）。

$$\ln(\hat{R}_{2021}) = \frac{\hat{w}_0 \ln(\hat{R}_{2021,0}) + \hat{w}_1 \ln(\hat{R}_{2021,1}) + \hat{w}_2 \ln(\hat{R}_{2021,2})}{\hat{w}_0 + \hat{w}_1 + \hat{w}_2} \quad (16)$$

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 ($\hat{w}_0 = 1.43$, $\hat{w}_1 = \hat{w}_2 = 0.62$)。 $\hat{R}_{2021,k}$ ($k=1,2$) は各指標値から求められる 2021 年漁期加入量の予測値であり、 $\hat{R}_k = (I_{k,2021}/\hat{q})^{\frac{1}{b_k}}$ で与えられる（北上期標準化 CPUE では 226.8 億尾、秋季標準化 CPUE では 121.7 億尾）。式 (16) から、重みづけ幾何平均 $\hat{R}_{2021} = 126.4$ 億尾を求め、2021 年漁期の加入量の予測値とした。

2022 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・ステイ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 2022 年漁期までは 2020 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 ($F_{2018-2020}$) は、 F_{msy} と等しい選択率において推定される %SPR が 2018~2020 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 2020 年漁期の値を使用した。2021 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 ($F_{2018-2020}$) から予測される 56.5 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 ((17) 式) 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
0歳	834	334	29	93	351	1,254	632	539	1,039	208	199	266
1歳	1,202	815	1,847	647	182	388	923	2,083	1,256	1,919	472	184
2歳	1,037	888	681	1,211	794	560	548	727	1,468	1,312	286	142
3歳	365	288	242	548	994	618	446	472	641	645	419	149
4歳	127	104	73	183	310	391	251	236	338	158	310	194
5歳	49	56	35	46	26	165	42	82	173	80	126	115
6歳以上	41	19	18	12	4	46	4	16	17	13	11	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

年齢別漁獲重量 (千トン)												
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
0歳	63	21	2	9	25	57	48	48	101	15	12	28
1歳	226	165	417	152	43	71	142	388	328	420	77	39
2歳	299	342	231	346	262	186	159	222	452	416	95	46
3歳	147	159	111	194	387	265	202	213	255	278	188	65
4歳	68	84	43	81	150	189	133	133	174	85	169	122
5歳	32	60	26	28	18	93	28	55	104	52	85	84
6歳以上	30	23	15	11	4	35	3	13	15	9	11	14
計	865	855	845	822	889	897	715	1,071	1,428	1,275	637	398
漁獲割合	29%	23%	19%	20%	23%	26%	19%	23%	30%	39%	33%	22%

年齢別漁獲係数 (F) および%SPR												
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
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
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
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
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
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
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
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
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
%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

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
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
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歳	2,248	2,378	3,368	4,633	3,204	2,926	2,843	3,092	4,393	3,376	1,132	978
3歳	776	657	867	1,700	2,115	1,498	1,503	1,457	1,478	1,742	1,189	524
4歳	311	221	204	383	691	604	498	642	590	466	640	454
5歳	88	104	63	77	107	209	84	128	237	119	183	175
6歳以上	74	35	32	20	18	58	7	25	23	19	16	20
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

年齢別資源量 (千トン)、親魚量 (千トン)、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
0歳	755	903	649	700	527	459	1,089	939	705	231	204	397
1歳	944	1,222	2,071	1,311	1,083	862	882	1,693	1,714	883	333	433
2歳	648	915	1,141	1,323	1,057	972	824	943	1,353	1,071	376	315
3歳	313	362	398	601	824	642	680	656	587	750	532	230
4歳	166	180	121	170	334	292	264	361	304	250	348	285
5歳	57	111	47	47	75	119	58	86	142	77	123	128
6歳以上	54	43	27	19	17	45	7	21	20	14	16	22
計	2,938	3,737	4,454	4,171	3,917	3,391	3,803	4,699	4,826	3,276	1,932	1,810
親魚量	657	807	741	981	1,296	1,164	1,188	1,341	1,401	1,337	1,079	737
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

年齢別体重 (g)												
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
0歳	76	64	78	101	71	45	76	90	97	70	62	107
1歳	188	203	226	235	236	183	154	186	261	219	164	211
2歳	288	385	339	286	330	332	290	305	308	317	332	322
3歳	404	551	459	354	390	429	453	450	397	431	448	439
4歳	532	811	592	443	484	484	530	563	515	536	544	628
5歳	655	1,066	737	611	699	567	683	668	601	648	675	732
6歳以上	731	1,242	843	908	946	768	917	847	893	738	954	1,067

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	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
0歳	123	250	549	378	183	72	67	34	29	53	297	96	128
1歳	324	284	544	398	1,336	316	106	24	6	8	11	957	98
2歳	301	440	358	253	555	352	253	53	6	11	13	240	98
3歳	160	225	208	190	276	170	253	71	11	8	12	39	28
4歳	81	76	90	75	79	41	26	77	6	5	7	5	5
5歳	70	44	46	38	28	19	4	4	4	2	10	2	2
6歳以上	13	23	18	21	9	6	2	1	1	0	8	2	2
計	1,072	1,343	1,812	1,352	2,465	976	711	263	63	87	357	1,341	361
年齢別漁獲重量 (千トン)													
年齢\漁期年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
0歳	14	19	66	31	18	6	11	7	5	9	43	14	19
1歳	75	57	122	96	266	77	27	8	2	2	3	272	29
2歳	83	135	130	95	156	118	86	23	3	5	6	88	47
3歳	70	91	114	93	112	76	111	38	7	5	6	17	16
4歳	47	36	59	55	45	27	17	46	5	3	5	4	3
5歳	48	25	35	33	21	16	4	3	4	2	10	2	1
6歳以上	10	15	18	20	9	7	2	1	1	0	9	2	2
計	347	378	543	422	627	327	259	125	28	26	81	398	117
漁獲割合	20%	26%	30%	25%	43%	36%	46%	42%	13%	8%	12%	56%	35%
年齢別漁獲係数 (F) および%SPR													
年齢\漁期年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
0歳	0.05	0.09	0.19	0.09	0.12	0.15	0.37	0.23	0.11	0.07	0.15	0.23	0.34
1歳	0.19	0.19	0.39	0.26	0.68	0.40	0.44	0.27	0.07	0.05	0.02	1.54	0.51
2歳	0.36	0.55	0.52	0.40	0.98	0.48	0.89	0.53	0.13	0.22	0.13	1.34	0.82
3歳	0.45	0.65	0.74	0.76	1.57	1.45	1.07	0.92	0.24	0.32	0.53	0.96	0.69
4歳	0.56	0.52	0.80	0.88	1.24	1.86	1.39	2.10	0.22	0.20	0.59	0.61	0.36
5歳	0.90	0.93	0.93	1.49	1.53	2.19	1.66	1.16	0.88	0.14	1.23	0.38	0.51
6歳以上	0.90	0.93	0.93	1.49	1.53	2.19	1.66	1.16	0.88	0.14	1.23	0.38	0.51
平均 (Fbar)	0.49	0.55	0.64	0.77	1.09	1.25	1.07	0.91	0.36	0.16	0.55	0.78	0.54
%SPR	28.22	22.71	15.41	20.35	6.54	12.79	8.32	16.27	46.24	51.66	34.84	2.80	11.66
年齢別資源尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
0歳	3,084	3,397	3,805	5,410	1,962	630	263	199	342	965	2,581	565	536
1歳	2,279	1,967	2,072	2,102	3,317	1,165	363	122	106	206	604	1,487	299
2歳	1,224	1,263	1,086	944	1,083	1,130	523	156	62	66	131	396	213
3歳	539	573	486	434	426	272	469	143	61	37	35	77	69
4歳	230	231	200	155	136	60	43	107	38	32	18	14	20
5歳	145	88	92	60	43	26	6	7	9	21	18	7	5
6歳以上	26	47	36	34	14	8	3	1	2	3	14	6	6
計	7,527	7,566	7,777	9,140	6,981	3,291	1,670	736	620	1,329	3,401	2,552	1,148
年齢別資源量 (千トン)、親魚量 (千トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)													
年齢\漁期年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
0歳	348	262	457	441	192	54	44	41	58	163	370	81	78
1歳	531	393	463	507	661	284	92	40	39	63	174	423	88
2歳	338	388	393	355	304	379	178	66	36	32	56	146	101
3歳	237	230	266	212	173	121	206	77	41	21	19	33	40
4歳	134	110	131	115	78	38	28	64	32	21	13	10	13
5歳	99	51	71	52	33	22	6	6	8	16	18	6	5
6歳以上	20	30	35	32	13	9	3	1	2	3	15	7	7
計	1,706	1,464	1,816	1,713	1,455	909	558	295	215	320	665	705	332
親魚量	567	514	595	496	371	343	314	175	97	74	87	114	105
RPS(尾/kg)	5.4	6.6	6.4	10.9	5.3	1.8	0.8	1.1	3.5	13.0	29.5	4.9	5.1
年齢別体重 (g)													
年齢\漁期年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
0歳	113	77	120	82	98	86	168	207	170	169	143	143	146
1歳	233	200	223	241	199	244	255	325	365	305	288	284	294
2歳	276	307	362	376	281	336	341	426	582	488	424	368	476
3歳	439	402	547	489	407	446	440	537	661	585	529	430	578
4歳	583	475	656	741	572	644	654	599	828	654	749	705	661
5歳	681	576	768	855	755	838	886	814	954	790	990	943	896
6歳以上	758	645	993	943	947	1,112	1,066	1,034	1,101	957	1,114	1,115	1,116

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	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0歳	362	1,578	147	32	145	252	7	244	66	767	42	6	425
1歳	123	193	885	69	17	86	69	17	206	87	523	62	53
2歳	49	23	61	177	24	13	40	6	32	72	53	376	70
3歳	28	20	13	13	41	11	5	6	7	11	32	25	157
4歳	9	10	6	1	10	14	4	4	2	4	13	8	4
5歳	3	4	4	0	1	1	3	3	1	1	1	2	1
6歳以上	2	3	2	0	0	0	2	2	1	1	1	0	0
計	576	1,830	1,118	292	238	376	131	281	314	944	664	479	709

年齢別漁獲重量 (千トン)													
年齢\漁期年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0歳	38	186	22	5	24	40	1	27	8	101	5	1	51
1歳	50	50	254	22	5	31	24	6	48	24	165	22	17
2歳	23	10	26	79	12	6	18	3	12	41	25	199	33
3歳	17	11	7	7	25	6	3	4	3	8	18	16	84
4歳	7	6	4	1	8	8	2	2	2	4	10	5	3
5歳	3	3	3	0	1	1	2	3	1	1	1	2	1
6歳以上	2	2	2	0	0	0	3	2	1	1	1	1	0
計	141	269	318	115	77	91	53	47	76	181	226	245	188
漁獲割合	40%	38%	51%	40%	33%	41%	35%	20%	30%	24%	27%	33%	32%

年齢別漁獲係数 (F) および%SPR													
年齢\漁期年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0歳	0.50	0.59	0.46	0.25	0.43	0.91	0.03	0.33	0.16	0.27	0.08	0.02	0.38
1歳	0.90	0.72	1.12	0.52	0.26	0.65	0.93	0.12	0.66	0.41	0.37	0.20	0.27
2歳	0.68	0.51	0.69	0.96	0.44	0.42	1.01	0.22	0.46	0.67	0.63	0.66	0.47
3歳	0.77	0.89	0.87	0.39	0.80	0.46	0.37	0.55	0.52	0.37	1.01	0.96	0.88
4歳	0.63	0.95	1.15	0.18	0.77	0.95	0.37	0.60	0.41	1.11	1.48	0.96	0.44
5歳	0.61	1.08	2.54	0.19	0.44	0.14	0.72	0.82	0.44	0.74	1.06	1.15	0.30
6歳以上	0.61	1.08	2.54	0.19	0.44	0.14	0.72	0.82	0.44	0.74	1.06	1.15	0.30
平均 (Fbar)	0.67	0.83	1.34	0.38	0.51	0.52	0.59	0.49	0.44	0.62	0.81	0.73	0.44
%SPR	7.28	8.62	5.71	14.44	16.74	9.44	13.79	30.07	18.53	20.17	17.36	23.08	19.25

年齢別資源尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0歳	1,126	4,321	489	176	504	514	276	1,071	545	4,001	666	419	1,643
1歳	254	459	1,604	207	92	219	138	179	518	312	2,054	412	276
2歳	120	69	149	351	83	48	77	36	107	179	138	949	226
3歳	63	41	28	50	90	36	21	19	20	45	61	49	328
4歳	23	19	11	8	23	27	15	10	7	8	21	15	13
5歳	9	8	5	2	4	7	7	7	4	3	2	3	4
6歳以上	4	5	3	0	2	3	6	4	3	3	2	1	1
計	1,601	4,922	2,290	796	798	854	541	1,327	1,204	4,551	2,944	1,849	2,490

年齢別資源量 (千トン)、親魚量 (千トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)													
年齢\漁期年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0歳	119	510	74	29	85	81	38	121	68	527	78	57	199
1歳	103	119	461	67	28	80	48	63	122	87	649	149	87
2歳	57	31	64	157	43	20	34	17	40	102	66	501	106
3歳	39	22	15	26	55	18	13	11	10	33	35	31	176
4歳	19	12	7	6	18	16	9	6	6	7	16	11	9
5歳	8	6	3	2	4	6	5	5	3	3	2	3	3
6歳以上	4	4	3	0	2	3	6	5	4	3	2	1	1
計	350	705	628	288	235	225	153	228	252	763	849	753	580
親魚量	94	57	54	98	96	64	63	44	60	132	89	296	241
RPS(尾/kg)	12.0	75.4	9.1	1.8	5.3	8.1	4.4	24.5	9.0	30.2	7.5	1.4	6.8

年齢別体重 (g)													
年齢\漁期年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
0歳	106	118	152	165	169	158	137	113	124	132	118	136	121
1歳	406	260	287	325	308	366	350	354	236	280	316	362	314
2歳	474	451	428	446	515	421	440	455	374	569	477	528	469
3歳	626	545	535	523	606	517	599	576	530	742	578	631	537
4歳	809	633	642	787	803	593	626	643	756	835	787	726	683
5歳	908	743	699	879	950	895	689	780	788	1,011	1,002	1,013	745
6歳以上	973	819	840	970	1,099	1,031	1,078	1,126	1,078	1,087	1,089	1,122	921

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	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳	60	174	80	28	63	297	140	33	100	92	295	103	377
1歳	275	35	163	88	52	248	812	177	141	140	82	308	142
2歳	47	127	54	87	90	75	165	1,401	236	265	253	206	520
3歳	44	24	37	21	66	77	65	128	1,147	423	364	219	238
4歳	51	13	9	7	21	25	17	16	32	695	343	155	176
5歳	3	15	6	2	4	5	18	11	15	60	298	130	117
6歳以上	1	1	1	0	1	2	1	10	10	16	58	277	155
計	481	388	349	234	297	729	1,219	1,777	1,681	1,690	1,693	1,398	1,724

年齢別漁獲重量 (千トン)													
年齢\漁期年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳	8	21	10	5	10	37	15	3	8	6	20	10	31
1歳	86	13	57	35	19	78	157	35	28	30	17	53	21
2歳	18	64	26	43	43	37	68	334	60	78	66	54	118
3歳	26	13	23	13	37	47	37	56	349	138	127	69	64
4歳	34	8	7	5	13	17	12	10	17	243	137	52	64
5歳	2	10	5	2	3	4	12	7	10	32	124	49	55
6歳以上	1	1	1	0	1	2	1	7	7	11	39	130	84
計	176	130	128	102	126	221	302	453	480	539	529	417	437
漁獲割合	36%	23%	16%	10%	8%	4%	6%	9%	10%	11%	9%	7%	8%

年齢別漁獲係数 (F) および%SPR													
年齢\漁期年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳	0.13	0.11	0.07	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
1歳	0.59	0.13	0.18	0.12	0.06	0.10	0.06	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.05
2歳	0.52	0.81	0.40	0.17	0.22	0.15	0.11	0.17	0.09	0.11	0.07	0.07	0.07
3歳	0.85	0.71	0.79	0.35	0.23	0.38	0.24	0.14	0.26	0.27	0.29	0.11	0.14
4歳	1.16	0.90	0.92	0.38	0.94	0.16	0.17	0.10	0.06	0.31	0.48	0.24	0.14
5歳	1.14	2.97	2.86	0.73	0.55	0.80	0.21	0.19	0.17	0.18	0.26	0.43	0.36
6歳以上	1.14	2.97	2.86	0.73	0.55	0.80	0.21	0.19	0.17	0.18	0.26	0.43	0.36
平均 (Fbar)	0.79	1.23	1.15	0.36	0.37	0.34	0.14	0.12	0.11	0.16	0.20	0.19	0.16
%SPR	14.77	24.10	28.26	45.59	45.58	49.11	61.86	59.53	55.83	44.46	41.45	51.49	51.01

年齢別資源尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳	578	2,053	1,494	1,588	4,927	26,218	8,301	6,943	9,913	8,229	21,402	5,334	14,429
1歳	754	338	1,234	936	1,042	3,251	17,331	5,450	4,627	6,563	5,441	14,105	3,491
2歳	141	280	198	694	555	656	1,977	10,953	3,508	2,986	4,285	3,580	9,203
3歳	95	57	84	89	394	298	378	1,190	6,194	2,159	1,785	2,665	2,231
4歳	91	27	19	26	42	209	137	200	693	3,213	1,101	898	1,607
5歳	6	19	7	5	12	11	120	78	121	438	1,585	457	475
6歳以上	2	2	1	0	2	5	5	68	81	114	308	978	628
計	1,666	2,776	3,037	3,338	6,973	30,649	28,249	24,881	25,137	23,703	35,907	28,016	32,064

年齢別資源量 (千トン)、親魚量 (千トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)													
年齢\漁期年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳	80	246	188	287	767	3,229	870	653	803	565	1,448	536	1,187
1歳	235	128	433	368	389	1,020	3,358	1,087	921	1,417	1,118	2,407	524
2歳	54	141	97	339	266	320	811	2,607	899	884	1,115	929	2,091
3歳	56	32	51	55	217	183	217	519	1,888	707	622	840	601
4歳	61	16	14	18	26	141	95	127	374	1,121	439	302	585
5歳	4	13	6	4	9	8	79	49	76	232	658	174	222
6歳以上	2	1	1	0	1	5	4	52	56	83	206	457	340
計	493	577	788	1,071	1,675	4,906	5,435	5,094	5,017	5,009	5,607	5,645	5,550
親魚量	151	133	119	246	386	497	800	747	1,073	1,648	1,490	1,185	1,328
RPS(尾/kg)	3.8	15.5	12.5	6.4	12.7	52.8	10.4	9.3	9.2	5.0	14.4	4.5	10.9

年齢別体重 (g)													
年齢\漁期年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳	138	120	126	181	156	123	105	94	81	69	68	100	82
1歳	312	377	351	393	373	314	194	199	199	216	205	171	150
2歳	385	503	490	488	480	489	410	238	256	296	260	260	227
3歳	589	557	606	614	550	612	574	436	305	328	349	315	270
4歳	672	599	729	701	627	672	693	637	540	349	399	336	364
5歳	806	694	796	842	751	747	656	624	629	529	416	382	467
6歳以上	995	838	940	909	868	886	793	761	697	724	668	467	541

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'
対象	N ₀		N ₀		SSB		SSB	
2002	3.0	3.5						
2003	31.7	24.0			5.5	4.1		
2004	172.9	92.8			4.5	5.6		
2005	20.8	20.1	23.6	10.0	3.3	2.8	43.8	1.1
2006	0.3	0.3	0.8	1.0	25.5	12.7	160.9	2.8
2007	296.3	190.8	10.0	6.3	86.6	45.9	408.2	4.8
2008	53.3	36.5	9.7	4.5	45.5	18.8	132.9	2.0
2009	43.5	32.1	60.7	23.7	56.5	25.2	112.6	1.9
2010	26.3	14.0	16.9	8.3	54.5	23.7	191.5	3.3
2011	5.4	3.7	4.5	2.1	116.2	44.7	200.5	3.1
2012	58.6	29.0	18.2	13.4	120.5	45.7	302.3	5.0
2013	2073.9	1363.7	1346.6	725.2	131.9	65.0	311.6	5.1
2014	20.1	11.1	95.1	41.0	110.9	48.3	180.4	3.4
2015	49.0	81.5	169.0	86.2	120.3	45.5	157.3	4.2
2016	889.4	735.2	1339.5	621.5	172.5	77.4	121.6	3.8
2017	736.6	546.0	645.0	181.3	81.5	40.6	391.4	10.1
2018	3259.9	1760.7	6237.1	2970.6	142.9	68.3	717.8	10.2
2019	92.6	77.0	261.0	124.1	142.4	50.0	811.5	8.8
2020	486.9	596.2	660.6	634.7	167.3	52.2	343.7	9.2
2021	2392.0	1866.5	651.2	358.1	120.0	45.5	199.1	5.0
q	2.70E-05		1.59E-05		0.0705		0.0088	
b	1.80*		1.80*		1.00**		1.00**	
σ	1.273		1.273		0.684		0.583	

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 伊豆諸島海域たもすくい漁業 CPUE (kg/人/時)

④ 海区 I～IV (太平洋全域) の産卵量 (兆粒)

①②③④は標準化 (補足資料 3) を行い、標準化後の値 (①' ②' ③' ④') 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)	Fmsy (注 2)	F2018-	平均体重 (g)		自然 死亡 係数	成熟割合	
			2020 (注 3)	2021-2022 年漁期	2023 年 漁期以降		2021-2022 年漁期	2023 年 漁期以降
0 歳	0.04	0.02	0.02	82	94	0.40	0.00	0.00
1 歳	0.14	0.05	0.05	150	202	0.40	0.00	0.00
2 歳	0.29	0.10	0.10	227	264	0.40	0.00	0.20
3 歳	0.53	0.19	0.18	270	316	0.40	0.30	0.80
4 歳	0.55	0.19	0.19	364	349	0.40	1.00	1.00
5 歳	1.00	0.35	0.35	467	529	0.40	1.00	1.00
6 歳以上	1.00	0.35	0.35	541	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 2018～2020 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 2021 年漁期の漁獲量の仮定に使用した。

補足資料 3 資源量指標値標準化の手法

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 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 4 つの資源量指標値の標準化を行った。前者 2 つは加入量の指標値であり、後者 2 つは親魚量の指標値である。昨年度までの資源評価では産卵量について標準化を行っていなかったが、マサバ太平洋系群における平均卵密度に対して VAST モデルを適用した研究では、温暖化に伴いマサバの産卵場が北にシフトしつつあることが報告されていること (Kanamori et al. 2019)、一方で 2018 年以降にはマサバの産卵親魚が伊豆諸島周辺海域に留まらず、日向灘、薩南海域まで産卵回遊するなど、産卵場の空間分布に変化が起きていること、ゴマサバ太平洋系群では先行して産卵量の標準化を行っていることから (Kanamori et al. 2021、由上ほか 2021)、今年度評価では産卵量についても標準化を行った。以下では、(1) 北上期 CPUE および秋季 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 つに分けて説明する。

(1) 北上期 CPUE および秋季 CPUE の標準化

北太平洋北上期浮魚類資源調査と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 (尾/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 2002~2020 年 (北上期 CPUE) および 2005~2020 年 (秋季 CPUE) の期間を使用した。また、北上期 CPUE については、解析対象の期間を通じて有漁データのない西経 175 度以東、北緯 32.5 度以南、北緯 45 度以北のデータを以降の解析から除いた。秋季 CPUE についても同様に、解析対象期間において有漁データのない東経 175 度以東、北緯 35.0 度以南、北緯 50.0 度以北のデータを解析から除外した。

このデータにおける CPUE は 0 以上の連続値であるため delta-GLM (Lo et al. 1992) を適用した。これは、有漁となる確率を予測するモデルと、有漁となる場合の CPUE を予測するモデルの 2 つを別々に解析する手法である。前者のモデルの誤差分布には二項分布を使用し (logit リンク)、後者にはガンマ分布 (log リンク) を用いた。

CPUE を予測する説明変数として、北上期 CPUE では、年 (カテゴリカル変数)・海区 (カテゴリカル変数)・年と海区の交互作用・調査時の表面海水温 (連続変数)・表面海水温の 2 乗項・調査時の水深 50 m の水温・水深 50 m の水温の二乗項・表面海水温と水深 50 m の水温の交互作用を使用した。秋季 CPUE では、年 (カテゴリカル変数)・海区 (カテゴリカル変数)・年と海区の交互作用・調査時の表面海水温 (連続変数)・表面海水温の二乗項・調査時の水深 30 m の水温・水深 30 m の水温の二乗項・表面海水温と水深 30 m の水温の交互作用を使用した。海区の設定には GLM-tree (Ichinokawa and Brodziak 2010) を delta-GLM に拡張した手法 “delta-GLM-tree” (Hashimoto et al. 2019) を適用した。これは、二項分布モデルとガンマ分布モデルにおける海区が共通するという仮定の下で、統計的な予測力が高くなるように海区分けを順々に行う手法である。ここでは、調査範囲を 2.5 度グリッドに分け、AICc が最小になるまで海区分けを行った。二項分布モデル、ガンマ分布モデルのそれぞれにおいて各変数の有無を変えた総当たりのモデル選択を行い、AICc が最小となるものをベ

ストモデルとして採用した。

解析の結果、北上期 CPUE の有漁確率を予測する変数としては年・海区・年と海区の交互作用・表面海水温・表面海水温の二乗項・水深 50 m の水温 が選ばれ、有漁時の CPUE を予測する変数としては年・海区 が選択された。海区は 4 区 に分かれた。秋季 CPUE の有漁確率を予測する変数としては年・海区・表面海水温・表面海水温の二乗項・水深 30 m の水温・水深 30 m の水温の二乗項 が選ばれ、有漁時の CPUE を予測する変数としては年・海区・水深 30 m の水温・水深 30m の水温の二乗項 が選択された。海区は 5 区 に分かれた。

ベストモデルの推定結果から資源量指数を算出した。まず、各年・各海区・各表面海水温・水深 50m の各水温（北上期のみ）・水深 30 m の各水温（秋季のみ）の CPUE の予測値を求めた。連続変数である海水温に関しては、データの最小値と最大値の範囲を細かく分割した値について、予測 CPUE を計算した。次に、各年・各海区における CPUE の予測値を平均した。最後に、各海区の面積で重みづけ平均した予測 CPUE を年ごとに算出し、資源量指標値とした。標準化 CPUE はノミナル（単純平均）CPUE をおおむね似た傾向を示した（補足図 3-1）。北上期標準化 CPUE では、2021 年の値は 2018 年を上回り過去最高値となったのに対し、秋季標準化 CPUE では、2018 年が最も高く、2021 年の値は 2020 年よりもやや低かった。

(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（2014～2020 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 (カテゴリカル変数)・海区 (カテゴリカル変数)・操業時の表面海水温 (連続変数)・表面海水温の二乗項・月 (カテゴリカル変数)・船 (カテゴリカル変数)・県 (カテゴリカル変数) を使用した。海区はデータに記録されているカテゴリと緯度経度情報に基づき 7 区に分けたものを使用した。二項分布モデル、ガンマ分布モデルそれぞれについて、各変数の有無を変えた総当たりのモデル選択を行い、AICc が最小となるものをベストモデルとして採用した。その結果、有漁確率を予測する変数としては年・海区・月・表面海水温・表面海水温の二乗項が 選ばれ、有漁時の CPUE を予測する変数としては年・海区・月・表面海水温・表面海水温の二乗項・船 が選択された。

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 2005 年から増加した後、2011 年以降で安定した推移を示しているが、2018 年以降はやや減少傾向であった (補足図 3-1)。

(3) Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) モデルによる産卵量の標準化

昨年まで使用していた産卵量は、2018、2019 年に高い値を示した後、2020 年、2021 年と大きく減少した。そのため、産卵量をそのままコホート解析のチューニング指数として使用した際に、特に近年の指標値と親魚量推定値の乖離が大きかった (補足図 3-2)。そこで今年

度は Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) モデル (Thorson and Barnett 2017) を使用した産卵量の標準化を行った。VAST モデルは、空間自己相関を考慮することで、相対密度の時空間変動の柔軟な取り扱いを可能にした CPUE 標準化の手法である。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 モデル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)。ゴマサバ太平洋系群の資源評価では、すでに VAST モデルで標準化を行った産卵量指標値が使用されており (由上ほか 2020)、レトロスペクティブ・バイアスの減少といった効果を示している (Kanamori et al. 2021)。

卵稚仔調査で得られた海区 I~IV における 2005~2021 年 1~6 月の 30 分升目ごとのマサバの平均卵密度を使用した。VAST モデルは卵密度を、サンプル i の遭遇確率 ($p_1(i)$) と、卵が採集された場合のサンプル i の卵密度 ($p_2(i)$) に分けて、以下の 2 つの線形予測子で表す。

$$\begin{aligned} p_1(i) &= \beta_1(t_i) + \omega_1(s_i) + \varepsilon_1(s_i, t_i) + \eta_1(v_i) \\ p_2(i) &= \beta_2(t_i) + \omega_2(s_i) + \varepsilon_2(s_i, t_i) + \eta_2(v_i) \end{aligned}$$

右辺の第 1 項の $\beta(t_i)$ は調査年 t の固定効果で、調査年の効果は各調査年で独立とした。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 項の $\eta(v_i)$ は要因 v_i が採集率 (卵の採れやすさ) の過分散を生じさせるランダム効果を表しており、要因 v_i には生物季節の変化を簡便に扱うために調査年と調査月の交互作用を使用した。VAST モデル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 200 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、

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

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

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_1(s_n, s_m) &= \frac{1}{2^{\varphi-1}\Gamma(\varphi)} \times (\kappa_1 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|)^{\varphi} \times K_{\nu}(\kappa_1 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|), \\ \mathbf{R}_2(s_n, s_m) &= \frac{1}{2^{\varphi-1}\Gamma(\varphi)} \times (\kappa_2 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|)^{\varphi} \times K_{\nu}(\kappa_2 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|) \end{aligned}$$

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

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

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

で与えられるが、本解析では調査年で独立と仮定した ($\rho_{\varepsilon_1} = \rho_{\varepsilon_2} = 0$)。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。

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

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

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

a_i はオフセット項であり、今回の場合は平均卵密度を目的変数として用いているので 1 とした。卵密度 B 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。

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

推定されたパラメータから、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、各ノットの面積と相対卵密度を掛け合わせた値の総和を産卵量指標値として算出した。

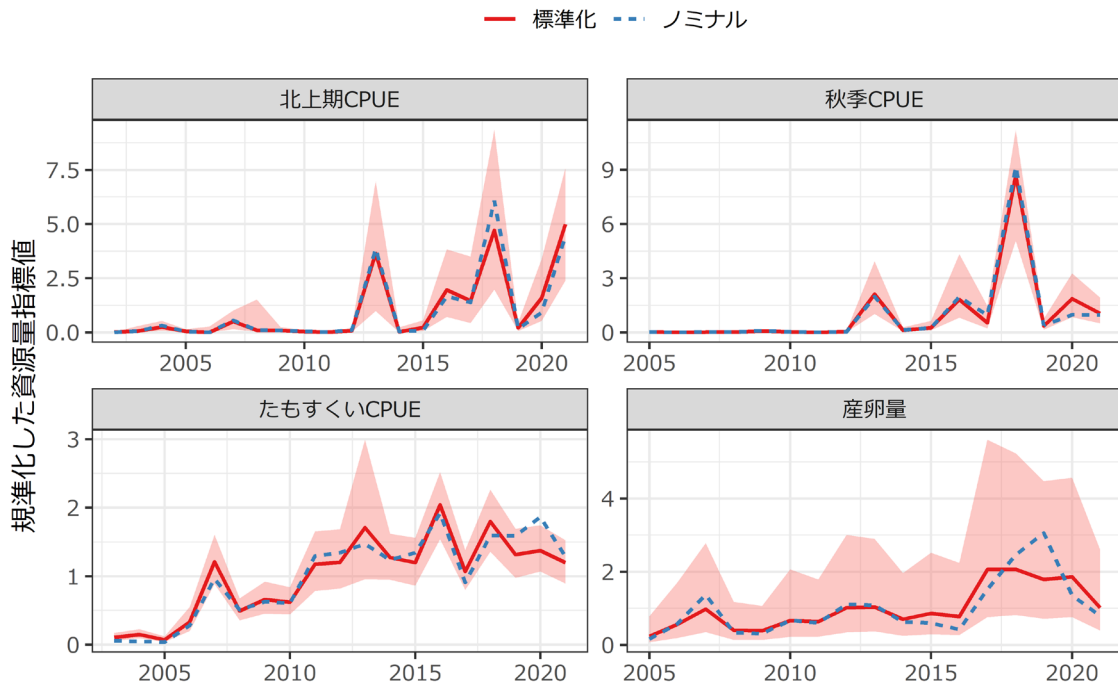
$$I(c, t, l) = \sum_{x=1}^{n_x} (a(x, l) \times d(x, c, t))$$

この際、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。

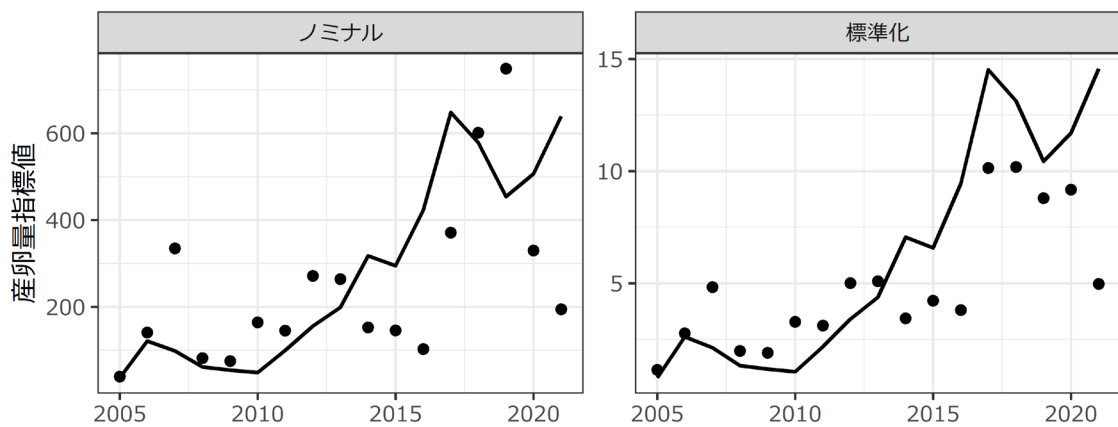
解析の結果、標準化産卵量は、昨年まで使用していたノミナル産卵量に比べて凸凹が小さく、平滑化したようなパターンが見られた (補足図 3-1)。特にノミナル産卵量で高い値をとっていた 2018、2019 年の値が減少し、相対的に近年の減少傾向が緩和された。その結果、コホート解析における当てはまりを表す標準偏差は、ノミナル産卵量では 0.72 であったのに対し、標準化産卵量では 0.58 となり大きく改善された (補足図 3-2)。両指標値において、残差に有意な自己相関が検出されたものの (ノミナル産卵量: $\rho=0.54$ 、標準化産卵量: $\rho=0.61$)、レトロスペクティブ解析においては、両方の場合で大きなバイアスは見られなかった (補足図 3-3)。

引用文献

- Grüss, A., JF. Walter III, EA. Babcock, FC. Forrestal, JT. Thorson, MV. Lauretta, and MJ. 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.
- Ichinokawa, M. and J. Brodziak (2010) Using adaptive area stratification to standardize catch rates with application to North Pacific swordfish (*Xiphias gladius*). *Fish. Res.*, **106**, 249-260.
- Kanamori, Y., S. Nishijima, H. Okamura, R. Yukami, M. Watai, and A. Takasuka (2021). Spatio-temporal model reduces species misidentification bias of spawning eggs in stock assessment of spotted mackerel in the western North Pacific. *Fish. Res.*, **236**, 105825.
- 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, CE. Berg, H. Skaug, and BM. 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, JT. (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, JT. (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, JT. 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, JT. 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.
- 由上龍嗣・井須小羊子・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. 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/>.

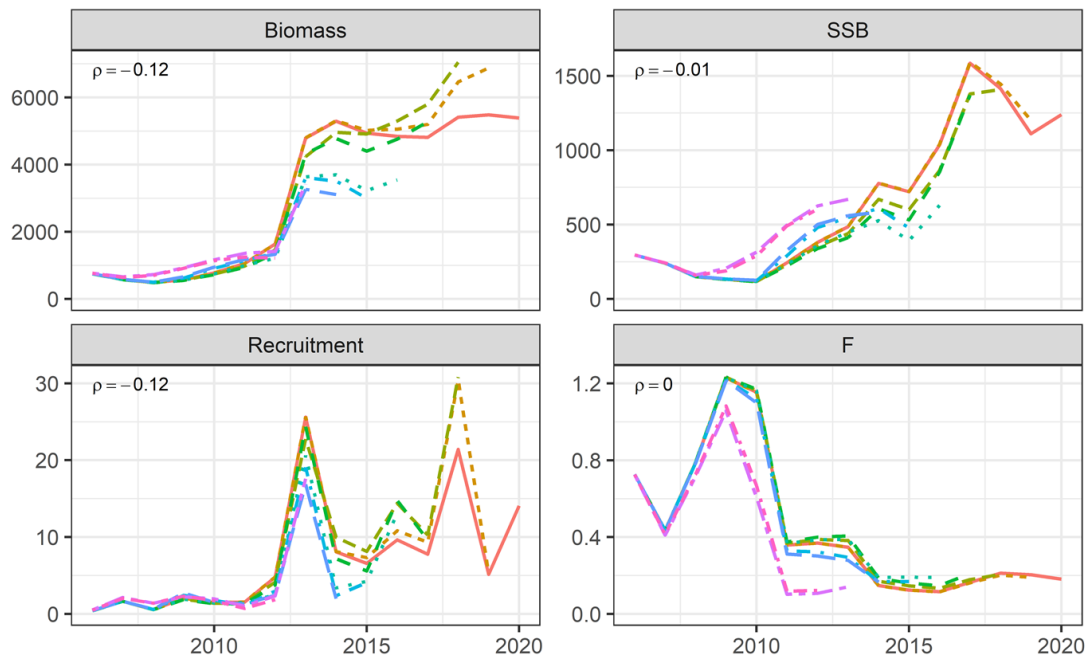


補足図 3-1. 北上期 CPUE (左上)、秋季 CPUE (右上)、たもすくい CPUE (左下)、産卵量 (右下) の経年変化 (赤実線 : AICc で標準化、青破線 : ノミナル) 平均値が 1 となるように標準化した値を示しており、影は 95% 予測区間を表す。ノミナルは産卵量以外では CPUE の単純平均値を表し、産卵量では昨年まで用いられていた指標値を表す。



補足図 3-2. ノミナル産卵量 (左) と標準化産卵量 (右) の指標値 (点) とコホート解析における予測値 (線)

(a) ノミナル産卵量



(b) 標準化産卵量



補足図 3-3. ノミナル産卵量 (a) と標準化産卵量 (b) を使用した場合のレトロスペクティブ解析の結果 Mohn's rho の値を左上に示す。

補足資料 4 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°C）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

釧路水試により 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。

5) 冬春季常磐海域まき網漁況調査（未成魚越冬群指数）

茨城水試により実施され、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 5 北西太平洋における外国漁船の漁獲動向について

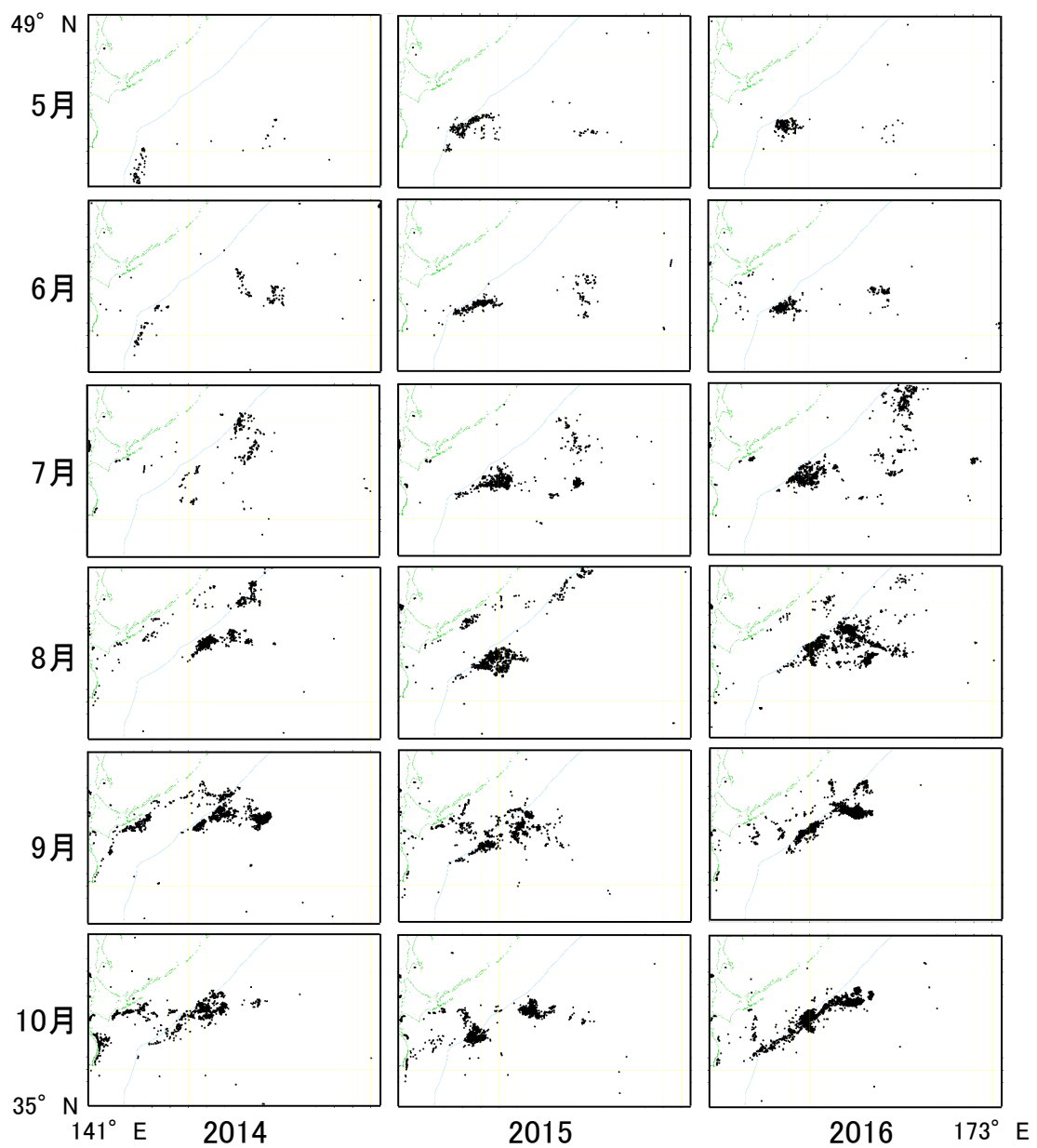
2000 年以降、台湾を中心とした外国漁船によるサンマの漁獲割合が増加している。さらに、2012 年には中国がサンマ漁業に参入しており、今後も外国漁船の隻数が増加する可能性があることから、その漁獲動向の把握がサンマ資源を適切に評価する上で重要な課題の一つとなっている。一方、2014 年以降、中国が北西太平洋公海域でさば類を漁獲しており、サンマと同様にその漁獲動向の把握が重要な課題となっている。

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り組みを開始した。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。

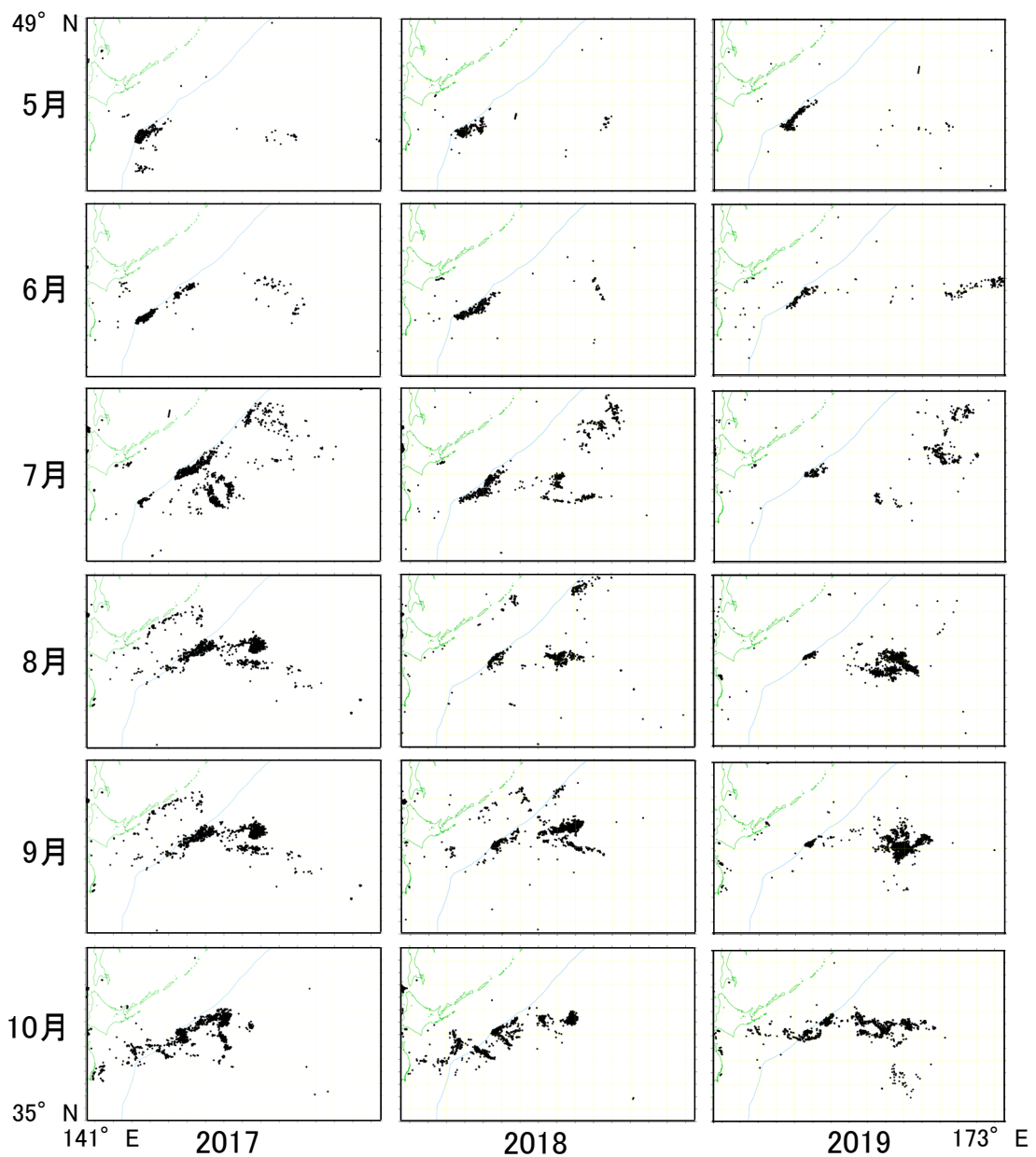
さば類を漁獲対象とする外国漁船の識別手法や計数方法については一定の成果が得られ、外国漁船による漁獲量を推定する報告もあるが（Oozeki et al. 2018）、技術的な問題は依然として残っていることから、ここでは操業点の抽出例として 2014 年～2021 年の 5 月～10 月の夜間可視データから抽出した灯火を用いた漁船（サンマ漁船やいか釣り漁船を含む）の分布を補足図 5-1 に示す。毎年、5 月頃から EEZ 境界線近くの公海で操業する外国漁船が出現し、7 月以降に増加していることが推測される。また、操業点が年々、沖合（東方）化している様子がみられ、2020・2021 年のそれぞれ 6～9 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

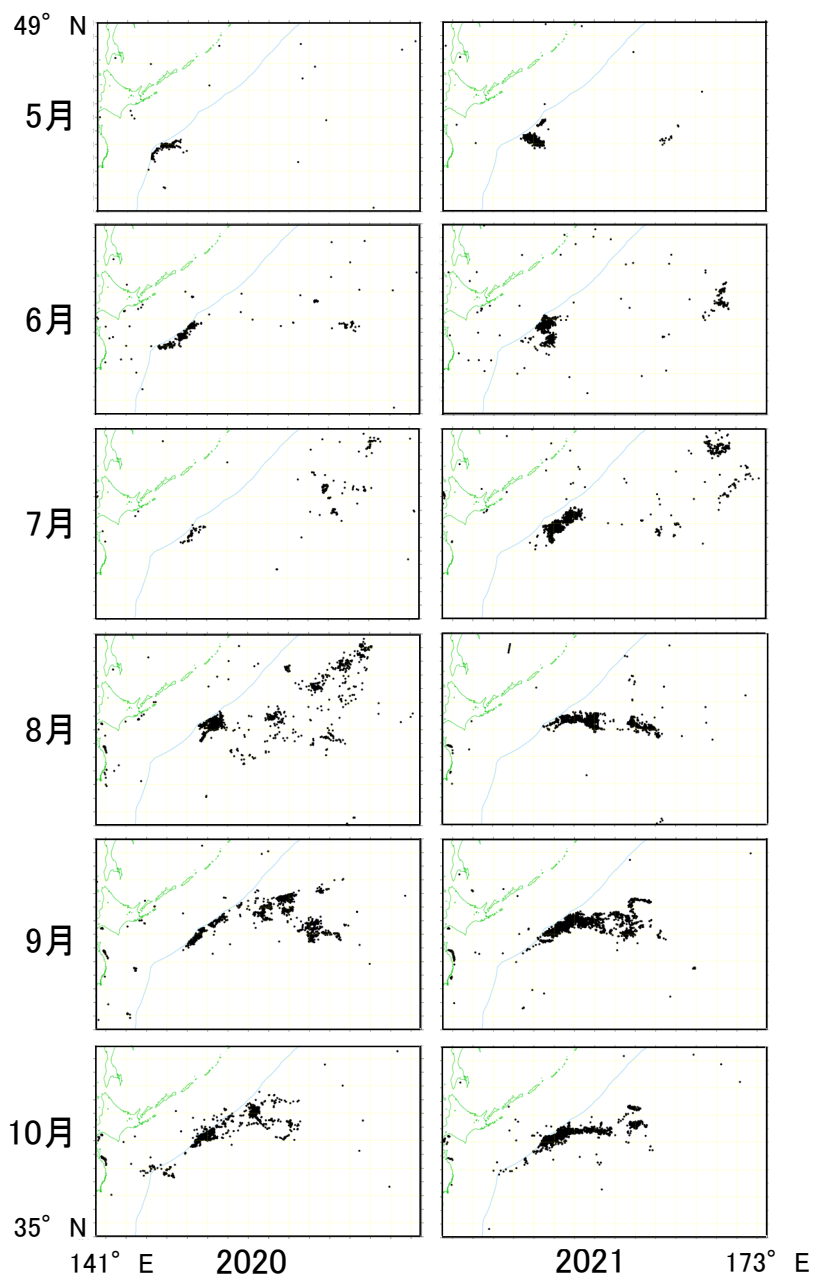
- Miller, S. D., S. P. Mills, C. D. Elvidge, D. T. Lindsey, T. F. Lee and J. D. Hawkins (2012) Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **109**, 15706-15711.
- Oozeki, Y., D. Inagake, T. Saito, M. Okazaki, I. Fusejima, 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 5-1a. 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。



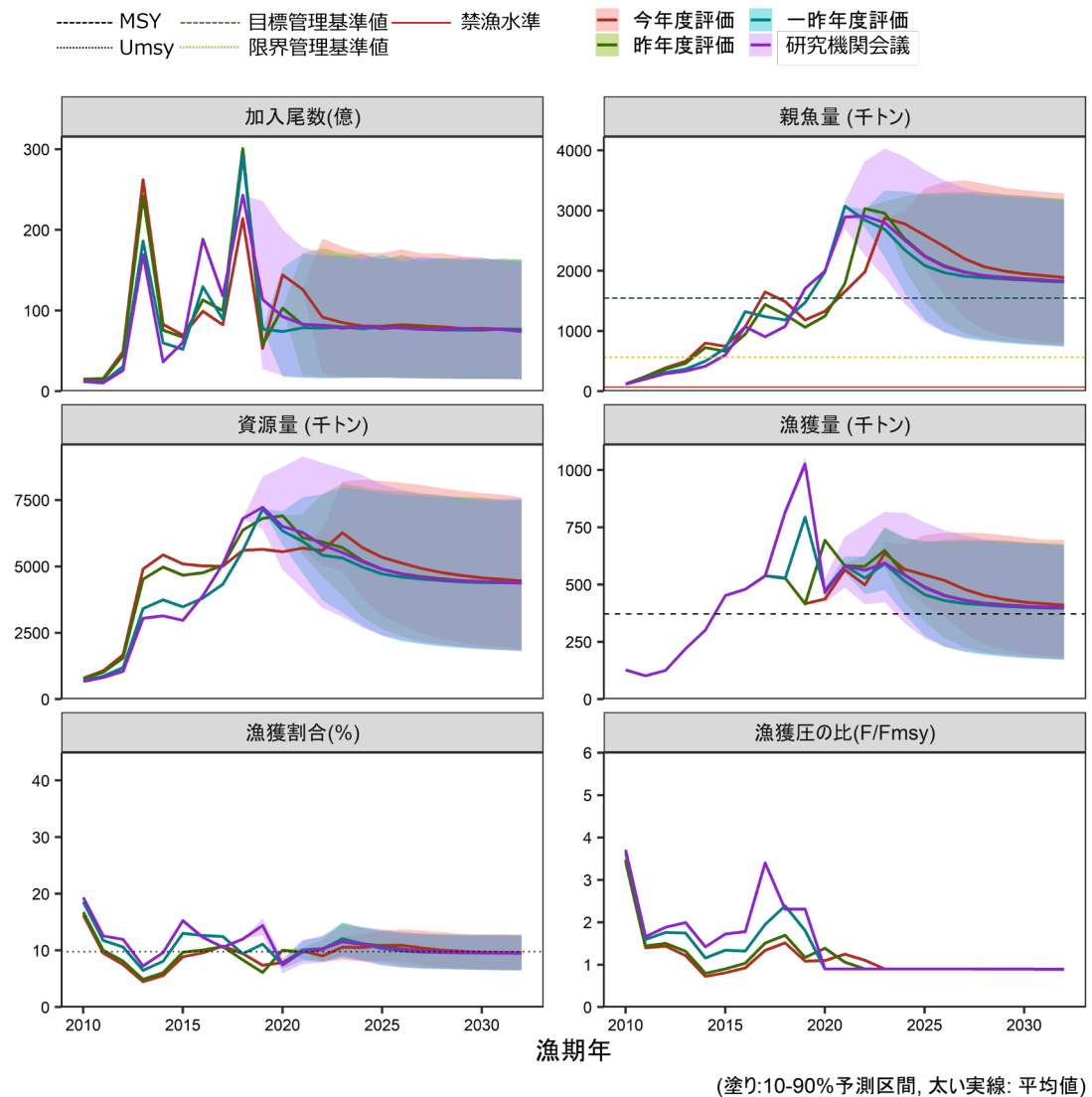
補足図 5-1b. 春季から夏季の北西太平洋において NPP 衛星夜間可視データから抽出された操業点の月別全点プロット (2017~2019 年の 5~10 月) 青線は EEZ 境界線を示す。



補足図 5-1c. 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、2021 年の 5～10 月） 青線は EEZ 境界線を示す。

補足資料 6 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 年漁期で上方修正となっており、2016～2018 年漁期で下方修正となっている（補足図 6-1）。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、2018～2020 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 2017～2019 年漁期で上方修正となったが、2021～2023 年漁期（将来予測を含む）は下方修正となっていて、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。



補足図 6-1. 加入量、親魚量、資源量、漁獲量、漁獲割合、漁獲圧の比 (F/Fmsy) 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、赤：今年度資源評価。いずれも $\beta=0.9$ の場合。)