

令和元（2019）年度ゴマサバ太平洋系群の資源評価

担当水研：中央水産研究所

参画機関：北海道区水産研究所、東北区水産研究所、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、静岡県水産技術研究所、愛知県水産試験場漁業生産研究所、三重県水産研究所、和歌山県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課、高知県水産試験場、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、宮崎県水産試験場

要 約

本系群の資源量について、資源量指標値を考慮したコホート解析により計算した。資源量は、1995～2003年漁期にかけて254千～378千トンで推移していたが、2004年漁期および2009年漁期の高い加入量により、2009・2010年漁期は700千トンを超える極めて高い水準に達した。しかしながら2010年漁期以降は高い加入量が見られていないことから、2011年漁期以降、資源量は減少傾向を示し、2018年漁期は124千トンであった。親魚量は資源量と同様の変動傾向を示し、2006～2014年漁期は165千トン～340千トンの比較的高い値で推移したが、その後は減少傾向を示し、2018年漁期は53千トンであった。漁獲圧（年齢別漁獲係数の平均）は、1995～1997年漁期、2002・2003年漁期に高い値を示した他は比較的安定した値を示している。

本系群の再生産関係には、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」においてリッカー型関係（RI）が適用されており、最大持続生産量（MSY）を実現することのできる水準の親魚量（SB_{msy}）には158千トンと推定されている（由上ほか2019a）。この基準に従うと、本系群の2018年漁期の親魚量はMSYを実現する水準を下回っている。また本系群に対する2014年漁期以降の漁獲圧はMSYを実現する水準（F_{msy}）を上回っている。親魚量の動向は近年5年間（2014～2018年漁期）の推移から「減少」と判断される。

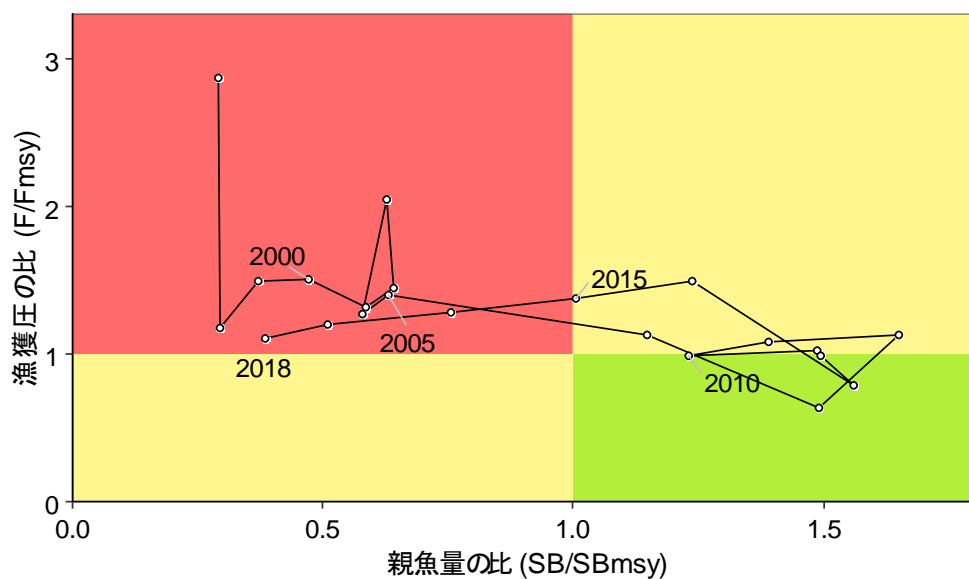
（本系群では、管理基準値や将来予測など、資源管理方針に関する検討会の議論をふまえて最終化される項目については管理基準値等に関する研究機関会議において提案された値を暫定的に示した）

項目	値	備考
現在の環境下において MSY を実現する水準		
SBmsy	158 千トン	最大持続生産量 MSY を実現する親魚量
Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳以上) = (0.22, 0.31, 0.48, 0.87, 0.87)	
%SPR (Fmsy)	27%	Fmsy に対応する %SPR
MSY	105 千トン	最大持続生産量 MSY
2018 年漁期の親魚量と漁獲圧		
SB2018	53 千トン	2018 年漁期の親魚量
F2018	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳以上) = (0.28, 0.34, 0.48, 0.83, 0.83)	
%SPR (F2018)	24%	2018 年漁期の %SPR
%SPR (F2014-2018)	21%	現状 (2014~2018 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		
SB2018/ SBmsy	0.33	最大持続生産量を実現する親魚量に対する 2018 年漁期の親魚量の比
F2018/ Fmsy	1.09	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2018 年漁期の漁獲圧の比*

*2018 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：リッカー型（自己相関なし）

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	減少



漁獲圧と親魚量の値は 3 年移動平均値。2018 は 2016~2018 年漁期の平均値を示す。

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 ・ 資源密度指数* ・ 産卵量*	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 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 （2001年以降）、流し網（1995～2002年） 静岡県棒受網漁況（静岡県）：CPUE、漁獲物年齢組成 卵稚仔調査（水研、青森～宮崎（17）都県）：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。

**サンマ資源量直接推定調査（東北水研、親潮～移行域（142°E～165°W）、2001年～継続中）、および北西太平洋北上期浮魚類資源調査（中央水研・東北水研、親潮～黒潮統流域（141°～150°E）、2001～2004年、2010年～継続中）

***東北海区浮魚類分布調査（東北水研、親潮～移行域（141°～167°E）、1995～2007年）、北西太平洋秋季浮魚類資源調査（中央水研、親潮～移行域（141°～175°E）、2008年～継続中）

2. 生態

(1) 分布・回遊

ゴマサバは、同属のマサバに比べて暖水性、沖合性が強いとされ（落合・田中 1998）、太平洋側の成魚の主分布域は黒潮周辺域である。

分布、回遊を図 2-1 に示す。黒潮周辺域で発生した稚魚は、成長しながら黒潮に移送されて本邦南岸の沿岸域から東経 165～170 度付近までの黒潮－親潮移行域の表面水温 17℃前後の海域にマサバ稚魚とほぼ同じ様に分布する（渡邊ほか 1999、西田ほか 2000、川端ほか 2006a）。移行域に移送された尾叉長 5～15 cm 程度の稚幼魚は成長とともに北上し、夏秋季は表面水温 13℃前後の道東～千島列島の太平洋沿岸から沖合の東経 165 度付近までの亜寒帯水域で索餌期を過ごし（Savinykh et al. 2004、川端ほか 2006a、2007）、秋冬季には 20～25 cm 程度になって南下し、常磐～房総半島の沿岸から沖合の黒潮統流周辺海域で越冬する（川端ほか 2009b）。加入量が高かった 2004 年級群は、東経 171 度の天皇海山周辺での越冬も確認された（川端ほか 2008、2009a）。越冬後の 1 歳以上は、1980 年代までは索餌期に大きく北上回遊しないために三陸以北海域にはあまり出現しなかったが（飯塚 1978、曾ほか 1980）、資源量の増大と東北～北海道海域の表面水温の上昇に伴い、2001 年以降では越冬後の 1、2 歳魚が夏秋季に三陸北部や道東海域まで索餌回遊して漁場形成するようになった（川端ほか 2006b、2008）。これらの群は秋冬季には越冬のために南下し、春季の伊豆諸島周辺海域への産卵回遊に移行する（目黒ほか 2002）。また、このように伊豆諸島周辺～黒

潮続流域から東北～北海道海域を大規模に季節回遊する群とは異なり、本邦南岸の黒潮周辺の沿岸域に周年分布する群も多く、各地先漁業の対象となっている。3歳以上の高齢魚は、最近では三陸以北海域まで回遊するものもあるが多くはなく、伊豆諸島周辺海域や熊野灘では足摺岬周辺海域など西方の海域に比べて分布が少ないことや（花井 1999、山川 1999）、標識放流試験結果などから、加齢にともなって主分布域を足摺岬周辺などの西方海域へ移し、黒潮周辺域で比較的小規模な季節回遊をしたり、産卵場周辺に周年留まったりするようになり、さらに黒潮の上流の東シナ海へ移動するものもあると推定されている（梨田ほか 2006）。さらに、2008～2015年にかけて天皇海山海域に2008年級群を主体としたゴマサバの分布がみられたが、この現象は2008年に八丈島以南の海域で産卵量が多く、この海域で産卵された個体が天皇海山海域に輸送されたことによると考えられている（上村ほか 2017）。

(2) 年齢・成長

稚幼魚期の成長は、耳石の日輪解析により、ふ化後、尾叉長5 cm程度までは平均で1日当たり1 mm程度成長するが（渡邊ほか 2002）、その後、成長が速くなり、ふ化後80日で15 cm程度、120日で20 cm以上になる（高橋ほか 2010）。未成魚期以降では、鱗の年輪解析による年齢査定が比較的簡便で調査上実的であり（近藤・黒田 1966、渡邊ほか 2002）、本調査で実施されている。耳石の年輪や日輪による年齢査定の有効性も示唆されている（樋田 1999、木村ほか 2002、梨田ほか 2003、片山・石井 2009）。近年の漁獲物の年齢査定結果による各年齢における体長は、0歳の秋季には尾叉長20～25 cm、1歳の夏季には28～31 cm、2歳は30～34 cm、3歳は33～36 cm、4歳は37 cm前後、最大体長は45 cm程度である。漁獲物の年齢構成からみて、寿命は6歳程度と推定され、最大11歳の報告がある。若齢時の成長速度は海域によって異なり、熊野灘以西海域では伊豆諸島以北海域よりも速い傾向がある。本評価の将来予測で用いた年齢別平均尾叉長、体重（2014～2018年漁期漁獲物の平均値）を図2-2に示す。

(3) 成熟・産卵

卵巣組織の観察結果から尾叉長30 cm以上で成熟、産卵する（花井・目黒 1997）。年齢では2歳以上に該当することから、本評価では2歳以上は全て成熟、産卵する親魚とした（図2-2、2-3）。産卵場は、薩南、足摺岬周辺から伊豆諸島周辺の本邦南岸の黒潮周辺域である（Tanoue 1966、図2-1）。これらよりはるかに規模の大きい東シナ海の産卵場で発生した群も、黒潮流路に沿った仔稚魚の出現状況や高知県沿岸における幼魚の出現状況からみて太平洋側に加入すると推定される（Tanoue 1966、新谷 2007）。産卵期は、足摺岬周辺以西では12月～翌年6月の冬春季であり、東シナ海では1～3月、足摺岬周辺では2～3月が盛期である（Tanoue 1966、梨田ほか 2006）。マサバの主産卵場でもある伊豆諸島周辺海域では3～6月の春季であるが、卵巣組織観察から推定される個体当たりの産卵期間は短く、卵の分布量も少ないことから、産卵場として好適でないことが示唆されている（渡邊ほか 2000、橋本ほか 2005）。しかしながら、最近、移行域以北に出現する稚幼魚は、推定ふ化時期がマサバと同様に3～6月であり（高橋ほか 2010）、分布様式がマサバと同様であることからマサバと同じ伊豆諸島周辺海域で発生したものが主体となっている可能性がある。

(4) 被捕食関係

仔稚魚期では主に小型の浮遊性甲殻類やいわし類の仔魚(シラス)などを捕食する(落合・田中 1998)。幼魚期以降ではこれらの他に小型魚類やいか類も捕食する。熊野灘漁場ではカタクチイワシ、ワニギスやハダカイワシ科などの魚類、オキアミ類などの甲殻類、いか類などを、三陸北部漁場では主にツノナシオキアミとカタクチイワシを、常磐～三陸沖合の親潮～移行域ではカイアシ類やオキアミ類などの甲殻類、カタクチイワシやハダカイワシ科などの魚類、ホタルイカモドキ科などのいか類、サルパ類など様々な生物を捕食する。

稚幼魚期にカツオなど大型魚類によって大量に捕食される(堀田 1957、横田ほか 1961)。分布量の多い年にはヒゲクジラ類による捕食も見られる(Matsuoka et al. 2008)。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

主要漁業は、中型まき網漁業(主に太平洋中・南区)、大中型まき網漁業(主に太平洋北区)、たもすくい・棒受網の火光利用さば漁業(中区)、定置網漁業(北・中・南区)、および立て縄などの釣り漁業(主に南区)である(図 3-1)。漁場は、陸棚上から陸棚縁辺、および島しょ周辺や瀬などに形成される。漁獲物は、まき網漁業では主に2歳以下の若齢魚であり、40 cm を超えるような高齢魚は少ない。火光利用さば漁業では1、2歳魚を主対象とする。南区の釣り漁業では「瀬付き」と呼ばれる周年、産卵場周辺に留まる成魚を主対象とし、他の漁業に比べて高齢魚の割合が高い。定置網漁業では幼魚から高齢魚まで漁獲され、時期や海域によって漁獲物組成が大きく異なる。南区では「サバ仔(コ)」と呼ばれる幼魚が比較的多く漁獲される点の特徴である。また、北・中区の各種漁業では多くの場合マサバと混獲される。漁業種別漁獲量はまき網漁業が最も多い。

(2) 漁獲量の推移

ゴマサバはマサバと外部形態および分布回遊生態が類似するために、漁業ではよく混獲されて、漁獲統計では多くの場合マサバとともにさば類として集計されることから、市場での水揚げ銘柄や水揚げ物標本による混獲率調査に基づいて漁獲量を推定した。なお、外部形態による本種の判別は、体側中央に明瞭な黒点が並ぶこと、および第1背鰭棘の鰭底間隔がマサバより狭いこと(1～9棘の鰭底長が尾叉長の12%未満)で比較的容易に行える(水産庁 1999)。また、マサバとゴマサバの天然交雑が確認されているが、交雑種の出現頻度はさば類全体の0.3%程度であり(谷口ほか 1989、斉藤 2001)、資源評価上問題はないと考えられる。

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。1982年漁期以降の海区・漁業種類別の我が国の年間漁獲量は、南区(宮崎～和歌山県)では0.9万(2015年漁期、以下同じ)～5.6万トン(1996)、中区まき網漁業(三重～静岡県)では0.1万(1982)～8.9万トン(2006)、火光利用さば漁業では0.4万(2018)～6.2万トン(1985)、中区・北区定置網では0.1万(1991)～3.2万トン(2010)、北区まき網では0(1994など)～6.4万トン(2009)の範囲でそれぞれ変動している(図 3-1、表 3-1)。特に北区まき網では、2014年漁期には4.1万トンであったが、2015年漁期に1.6万トン、2016年漁期に0.3万トンと減少が著しく、2018年漁期はわ

ずか 490 トンであった。合計では、1995 年漁期に 10 万トンを上回ってから高い水準にあり、2004 年漁期の高い加入量によって 2006 年漁期に 19.3 万トンと過去最高値となった。その後も高い水準を維持し、2010 年漁期には引き続き高い資源水準によって 19.1 万トンと高い値を示した後、2011 年漁期以降は減少傾向を示し、2018 年漁期は 3.4 万トンで、資源量が推定可能な 1995 年漁期以降では最も低い値となった。

1981 年以前については、ゴマサバとしての漁獲量資料が揃っていないが、北区の北部まき網や定置網での漁獲はごく少なかった（曾ほか 1980、東北水研資料）。中区でもまき網での漁獲は少なく、主要漁業であるたもすくいでは 1970 年代までは漁獲物のほとんどがマサバであり、ゴマサバはマサバが急減した 1982 年以降に増加した（目黒 1999）。南区のさば類漁獲量から類推されるゴマサバ漁獲量は 1982 年以降と比べて多くなかった。以上から 1981 年以前のゴマサバの漁獲量は、資源量を推定している 1995 年漁期以降の水準を大きく下回っていたと判断される（図 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ゴマサバの漁獲量を推定した（図 3-1、表 3-1）。その結果、ゴマサバの割合は 2014 年が 21%、2015 年が 9%、2016 年が 2%、2017 年が 1%、2018 年が 0.5%と推定された。また、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～11 月と考えられるため、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。

漁獲物の年齢組成は、年変化が大きいものの若齢魚を主対象とするまき網による漁獲量が多いために 1、2 歳魚が主体である（図 3-2、補足資料 3）。また、加入が良好な年級群が出現すると、その年級群が 0、1 歳魚として大量に漁獲される特徴が見られる。0 歳魚の割合は卓越年級群の出現年を除けば比較的低い。これは主に 0 歳魚の分布回遊特性によるものと考えられ、漁業は主に沿岸域で操業するのに対して、0 歳魚の多くは沖合を広く回遊して漁獲対象になりにくいためと考えられる。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

1995～2018 年漁期の年齢別資源量を、7 月を起点とする 7 月～翌年 6 月の漁期を年単位として 4 歳以上を最高齢グループとする年齢構成で Pope（1972）の近似式を用いたチューニング VPA（コホート解析）によって推定した（補足資料 1、2、3、4、表 4-1）。加入後の自然死亡係数（ M ）は寿命との統計的關係 $M=2.5/\text{寿命}$ （田内・田中の式、田中 1960）により、寿命 6 歳から 0.4 とした。日本の年齢別漁獲尾数は、太平洋側各地主要港の漁業種別、月別の水揚量と水揚げ物生物測定結果に基づく体長組成、体長－体重関係から各道県の体長階級別漁獲尾数を求め、水揚げ物標本の年齢査定結果に基づいて作成した熊野灘以西と遠州灘以北それぞれの海域 3 ヶ月ごとの体長－年齢関係から各道県の月別年齢別漁獲尾

数を求めて漁期年で集計した。また、北西太平洋公海域およびロシア 200 海里水域内における中国およびロシアの 2014 年以降の漁獲量を考慮した。中国およびロシアの漁獲物の年齢組成は、遠州灘以北の 7~12 月の漁獲物の年齢組成と同じと仮定した。加入量の指標となると考えられる静岡県棒受網資源密度指数 (図 4-1、表 4-2) と、親魚量の指標となると考えられる標準化産卵量 (補足資料 3、図 4-2、表 4-2) をチューニング指数として用いて、探索的に最近年 (2018 年漁期) の漁獲係数 (ターミナル F) を求めた。

(2) 資源量指標値の推移

加入量の指標値の経年変化を図 4-1 および表 4-2 に示す。いずれの指標値も 1996、2004、2009 年級群などの豊度の高さや 2006、2008 年級群などの低さを反映し、加入量水準に対応した変動を示していると考えられる。しかし、2013、2016、2017、2018 年級群はコホート解析結果からは高い加入量ではないとみられるが、北上期調査や秋季調査の各指標値が高い値を示すなど、近年は加入量と指標値の動向が一致しない傾向がみられている。

親魚量の指標となる産卵量の経年変化を図 4-2 および表 4-2 に示す。2005 年以降の太平洋側のゴマサバの産卵量は、豊度が高い 2004、2009 年級群の成熟に伴う親魚量の増加を反映して、2007、2011 年に高い値を示した。その後は 2014 年までおおむね 25 兆粒以上で推移していたが、2015 年は 8.9 兆粒に減少した。2016・2017 年は緩やかに増加し、2018 年は 109.6 兆粒に急増したが、2019 年 (1~6 月までの値) は 10.9 兆粒に急減した。2018 年の産卵量のうち 102.2 兆粒が 3 月に海区Ⅲ (日向灘~土佐湾~潮岬) での産卵量となっていて、この海域で採集された卵径の頻度分布および親魚の漁獲状況から、2018 年のゴマサバの産卵量は過大推定されている可能性が高いと判断された (由上ほか 2019b)。2019 年も親魚の漁獲状況から 2018 年と同様の状況が継続していると考えられるため、産卵量の値をそのままチューニング指数として使用することは困難と判断し、産卵量の標準化を行った (補足資料 3)。標準化産卵量は 2008 年をピークとしてその後は減少傾向を示し、2019 年は 2005 年以降で最も低い値となった (図 4-2、表 4-2)。

(3) 資源量と漁獲圧の推移

1995~2018 年漁期の資源量 (7 月時点) は、1995 年漁期以降のおおむね安定した加入の継続と 1996、2004 年漁期の卓越した高い加入量によって、300 千トン前後から 2004 年漁期以降は 600 千トン前後に増加し、さらに 2009 年漁期の高い加入量によって 2009・2010 年漁期は 700 千トン以上に達する高い水準にあった (図 4-3、表 4-1、補足資料 4)。2011 年漁期以降 2017 年漁期まで著しい減少傾向を示し、2017 年漁期は 113 千トンで、1995 年漁期以降では最も低い値となったが、2018 年漁期は 124 千トンにやや増加した。親魚量は資源量と同様の傾向を示し、2006~2014 年漁期は 165 千トン~340 千トンの比較的高い値で推移したが、その後は減少傾向を示し、2018 年漁期は 53 千トンであった (図 4-3、表 4-1、補足資料 4)。再生産成功率 (RPS) は 1996 年漁期、2004 年漁期に高い値を示した他は比較的安定した値を示していたが、2010 年漁期以降はやや低い値で推移している (図 4-4)。

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 (2018) 年漁期の資源量、親魚量、加入量を推定した (図 4-5)。資源量はそれぞれ 80% および 128%、親魚量は 83% および 122%、加入量は 77% および 134% 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 0.44~1.15 の範囲で変化し、1995~1997 年漁期、2002・2003 年漁期に高い値を示した他は比較的安定した値を示している (図 4-6、補足資料 4)。漁獲割合は 21~56% の範囲で変化し、1995~1997 年漁期に高い値を示した他は、おおむね 30% 前後で推移している (図 4-7、表 4-1、補足資料 4)。

項目	値	備考
SB2018	53 千トン	2018 年漁期の親魚量
F2018	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳以上) = (0.28, 0.34, 0.48, 0.83, 0.83)	
U2018	28%	2018 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 (年ごとに漁獲がな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 4-8 に示す。%SPR は漁獲圧が低いほど大きい値をとる。%SPR の値は 1995~1997 年漁期に低い値を示し、1998~2013 年漁期は 25% 前後のやや高い値で推移していたが、2014 年漁期にやや低い値となった。2015 年漁期以降は緩やかな増加傾向を示している。

現状の漁獲圧に対する YPR と %SPR の関係を図 4-9 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 MSY を実現する F (F_{msy}) の推定に用いた値を用いた。F_{msy} は %SPR に換算すると 27% に相当する。現状の漁獲圧 (F₂₀₁₄₋₂₀₁₈) は F_{msy} および F_{30%SPR} を上回っている。

項目	値	備考
%SPR (F2018)	24%	2018 年漁期の %SPR
%SPR (F2014-2018)	21%	現状 (2014~2018 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 4-10 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リッカー型再生産関係が適用されている (由上ほか 2019a)。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絶対値法を用いている。加入量の残差の自己相関は考慮していない。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.
リッカー型	最小絶対値法	無	13.5	0.00558	0.507

ここで a、b は下式のリッカー型再生産式のパラメータである。R は加入量 (百万尾)、E は親魚量 (千トン)。

$$R = aEe^{-bE}$$

(6) 現在の環境下において MSY を実現する水準

現在(1995年漁期以降)の環境下において最大持続生産量 MSY を実現する親魚量(SBmsy)、および MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) として、上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」で推定された値 (由上ほか 2019a) を下表に示す。

項目	値	備考
SBmsy	158 千トン	最大持続生産量 MSY を実現する親魚量
Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳以上) = (0.22, 0.31, 0.48, 0.87, 0.87)	
%SPR (Fmsy)	27%	Fmsy に対応する%SPR
MSY	105 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 4-11 および補足資料 5 に示す。漁獲圧の比 (F/Fmsy) 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。本系群における漁獲圧は、2006 年漁期以前において MSY を実現する漁獲圧を上回っていたと判断される。2007～2013 年漁期は MSY を実現する漁獲圧前後で推移していたが、2014 年漁期以降は再び上回っており、緩やかな減少傾向を示しているものの、2018 年漁期の漁獲圧は MSY を実現する漁獲圧の 1.09 倍である。また、親魚量は 2006～2014 年漁期は MSY を実現する親魚量を上回っているものの、それ以外の期間は下回っている。2018 年漁期の親魚量は MSY を実現する親魚量の 0.33 倍である。親魚量の動向は、近年 5 年間 (2014～2018 年漁期) の推移から減少と判断される。

項目	値	備考
SB2018/ SBmsy	0.33	最大持続生産量を実現する親魚量に対する 2018 年漁期の親魚量の比
F2018/ Fmsy	1.09	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2018 年漁期の漁獲圧の比*

* 2018 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 を実現する水準を下回る
親魚量の動向	減少

5. 資源評価のまとめ

本系群の資源量は、1995～2003 年漁期にかけて 254 千～378 千トンで推移していたが、2004 年漁期および 2009 年漁期の高い加入量により、2009・2010 年漁期は 700 千トンを超える極めて高い水準に達した。しかしながら 2010 年漁期以降は高い加入量が見られていな

いことから、2011年漁期以降、資源量は著しい減少傾向を示し、2018年漁期は124千トンであった。親魚量は資源量と同様の変動傾向を示し、2006～2014年漁期は165千トン～340千トンの比較的高い値で推移したが、その後は減少傾向を示し、2018年漁期は53千トンであった。漁獲圧（年齢別漁獲係数の平均）は、1995～1997年漁期、2002・2003年漁期に高い値を示した他は比較的安定した値を示している。

2018年漁期の親魚量はMSYを実現する水準を下回っている。また本系群に対する2014年漁期以降の漁獲圧はMSYを実現する水準（F_{msy}）を上回っている。親魚量の動向は近年5年間（2014～2018年漁期）の推移から「減少」と判断される。

6. その他

現状の0歳魚に対する漁獲圧は高くなく、親魚量の増加による比例的な加入量の増加も望めないため、0歳魚漁獲規制による資源・漁獲量増加の効果は小さいと考えられる。しかしながら、1歳以上では0歳魚に比べて価格が上昇することから、経済的効果の面から年齢別の漁獲方策を検討する意義はあると考えられる。

高豊度年級群の発生がマサバには近年見られるがゴマサバには見られないなど、資源状態は両種で異なっている。その一方で、本系群はマサバとともに漁獲される場合が多いため、マサバと合わせたさば類によるTAC設定で資源管理が行われている。そのため、今後、本系群の資源動向はマサバと併せて注視していく必要がある。

7. 引用文献

- 花井孝之 (1999) 伊豆諸島海域におけるゴマサバの資源特性について. 中央ブロック長期漁海況予報, **107**, 32-39.
- 花井孝之・目黒清美 (1997) ゴマサバの卵巣組織観察による成熟, 産卵についての基礎的研究. 関東近海のマサバについて, **30**, 92-99.
- 橋本 浩・池上直也・森 訓由・岡部 久 (2005) 2005年の関東近海におけるサバ属卵の分布. 2005年度水産海洋学会大会講演要旨集, 120.
- 堀田秀之 (1957) カツオの胃内容物中にみられたゴマサバの幼・稚魚 (薩南海区). 東北水研研報, **9**, 129-132.
- 飯塚景記 (1978) 東北海区北部海域におけるゴマサバについての二・三の生物学的観察. 東北水研研報, **39**, 11-20.
- 上村泰洋・川端 淳・米崎史郎・高橋正知・由上龍嗣・渡邊千夏子 (2017) 天皇海山海域におけるゴマサバの生物学的特性. 水産海洋研究, **81**, 18-28.
- 片山知史・石井光廣 (2009) サバ類の耳石による年齢査定を試み. 2009年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, 89.
- 川端 淳・中神正康・巢山 哲・西田 宏・渡邊千夏子 (2007) 北西太平洋における近年のゴマサバ0歳魚の分布, 回遊と加入量. 2007年度水産海洋学会大会講演要旨集, 9.
- 川端 淳・中神正康・巢山 哲・西田 宏・渡邊千夏子 (2008) 北西太平洋における近年のゴマサバ資源の増加と1歳魚以上の分布, 回遊. 黒潮の資源海洋研究, **9**, 61-66.

- 川端 淳・中神正康・巢山 哲・上野康弘・谷津明彦 (2009a) 2001～2008年5～7月の北西太平洋におけるサバ類0歳魚の分布、体長組成と加入豊度との関係. 2009年度水産海洋学会大会講演要旨集, 19.
- 川端 淳・中神正康・巢山 哲・谷津明彦・高木香織・建田夕帆 (2006a) 最近の広域な調査船調査から推定される北西太平洋におけるサバ, イワシ類の季節的分布回遊. 2006年度水産海洋学会大会講演要旨集, 94.
- 川端 淳・山口閑常・巢山 哲・中神正康 (2006b) 近年の東北～北海道海域における表層性魚類相とゴマサバの来遊動向. 月刊海洋, 38, 175-180.
- 川端 淳・谷津明彦・西田 宏・小澤竜太・高木香織・山下紀生・山下夕帆・中神正康・高橋正知 (2009b) 北西太平洋におけるマサバ・ゴマサバ未成魚の越冬海域の年変化. 第57回サンマ等小型浮魚資源研究会議報告, 東北区水産研究所八戸支所, 157-162.
- 木村 量・梨田一也・大関芳沖・本多 仁 (2002) ゴマサバ *Scomber australasicus* に適した耳石による年齢査定法. 水産海洋研究, 66, 247-251.
- 近藤恵一・黒田一紀 (1966) サバ属魚類の成長-I. 東海水研報, 45, 31-60.
- Matsuoka, K., S. Otani, T. Isoda, A. Wada, S. Kumagai, T. Ohshima, I. Yoshimura, K. Sugiyama, M. Aki, K. Kato, M.M.U. Bhuiyan, N. Funasaka, Y. Suzuki, R. Sudo, Y. Motohashi, M. Mori, M. Tsunekawa, D. Inagake, H. Murase and T. Ogawa (2008) Cruise report of the second phase of the Japanese Whale Research Program under Special Permit in the Western North Pacific (JARPN II) in 2007 - Offshore component -. Paper SC/60/O5 submitted to the 60th IWC Scientific Committee, 40pp. (※著者らは本調査の胃内容物標本を日鯨研を通じて実際に観察し, さば類はマサバとゴマサバであることを確認した)
- 目黒清美 (1999) 関東近海のゴマサバの分布について. 中央ブロック長期漁海況予報, 107, 40-54.
- 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.
- 梨田一也・本多 仁・阪地英男・木村 量 (2003) 足摺岬周辺及び土佐湾中央部海域で漁獲されたゴマサバの年齢形質としての耳石の有効性. 黒潮の資源海洋研究, 4, 5-9.
- 梨田一也・本多 仁・阪地英男・三谷卓美・平井一行・上原伸二 (2006) 足摺岬周辺海域及び伊豆諸島海域で実施した標識放流調査によるゴマサバの移動・回遊. 水研センター研報, 17, 1-15.
- 新谷淑生 (2007) 高知県西部海域におけるゴマサバ若魚の加入について. 黒潮の資源海洋研究, 8, 101.
- 西田 宏・渡邊千夏子・谷津明彦・木下貴裕 (2000) 黒潮続流～黒潮親潮移行域における幼稚魚採集と表面水温情報を利用したマサバ・ゴマサバの加入量予測. 関東近海のマサバについて, 33, 96-102.
- 落合 明・田中 克 (1998) ゴマサバ. 新版魚類学 (下) 改訂版, 恒星社厚生閣, 東京, 844-855.
- Pope, J.G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Int. Comm. Northwest Atl. Fish. Res. Bull., 9, 65-74.
- 斉藤憲治 (2001) リボゾーム DNA の変異を利用した種判別法. 東北水研ニュース, 62, 2-5.

- Savinykh, V.F., A.A. Baitalyuk and A.Yu. Zhigalin (2004) Pelagic fish new to the Pacific waters of the Southern Kurils, migrants from the zone of Kuroshio. *Journal of Ichthyology (Voprosy Ikhtiologii)*, **44**, 611-615.
- 水産庁 (1999) マサバ・ゴマサバ判別マニュアル. 水産庁水産業関係試験研究推進会議マサバ・ゴマサバ判別マニュアル作成ワーキンググループ, 中央水産研究所, 32 pp.
- 高橋正知・高木香織・川端 淳・渡邊千夏子・西田 宏・山下紀生・森 賢・巢山 哲・中神正康・上野康弘・斉藤真美 (2010) マサバ・ゴマサバ太平洋系群 2007 年級群の推定孵化時期. *黒潮の資源海洋研究*, **11**, 49-54.
- 田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. *東海水研報*, **28**, 1-200.
- 谷口順彦・向井龍男・関 伸吾・津田恭敬 (1989) マサバ・ゴマサバ. アイソザイムによる魚介類の集団解析, 海洋生物集団の識別等に関する先導的評価手法の開発事業報告書, 日本水産資源保護協会, 371-384.
- Tanoue, T. (1966) Studies on the seasonal migration and reproduction of the spotted mackerel, *Pneumatophorus tapeinocephalus* (BLEEKER). *Memoir of Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, **15**, 91-175.
- 樋田史郎 (1999) ゴマサバの日齢査定について. *中央ブロック長期漁海況予報*, **107**, 83-91.
- 曾 萬年・中田英昭・平野敏行 (1980) 近年のゴマサバ資源の増大について. *水産海洋研究会報*, **36**, 19-26.
- 由上龍嗣・井須小羊子・上村泰洋・古市 生 (2019a) 平成 31 (2019) 年度ゴ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_hyok/a/SCmeeting/2019-1/detail_gomasaba_p.pdf (last accessed 30 October 2019)
- 由上龍嗣・井須小羊子・渡邊千夏子・上村泰洋・古市 生 (2019b) 平成 30 (2018) 年度ゴマサバ太平洋系群の資源評価. 平成 30 年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第 1 分冊, 水産庁・水産研究・教育機構, 248-278.
- 渡邊千夏子・花井孝之・目黒清美 (2000) マサバとゴマサバの産卵生態の比較. 一日当たり総産卵量に基づくマサバ太平洋系群の資源量推定法に関する調査報告書, 中央水産研究所, 14-23.
- 渡邊千夏子・川端 淳・和田時夫 (1999) 黒潮親潮移行域におけるサバ類当歳魚の分布. *月刊海洋*, **31**, 236-240.
- 渡邊千夏子・小林憲一・川端 淳・梨田一也 (2002) マサバとゴマサバの年齢と成長. *月刊海洋*, **34**, 261-265.
- 山川 卓 (1999) 熊野灘におけるゴマサバの漁獲状況と尾叉長組成. *中央ブロック長期漁海況予報*, **107**, 25-39.
- 横田滝雄・通山正弘・金井富久子・野村星二 (1961) 魚食性魚類の胃内容物の研究. *南海水研報*, **14**, 153-202.

(執筆者：由上龍嗣、井須小羊子、上村泰洋、古市 生、渡部亮介、金森由妃)



図 2-1. 分布・回遊図

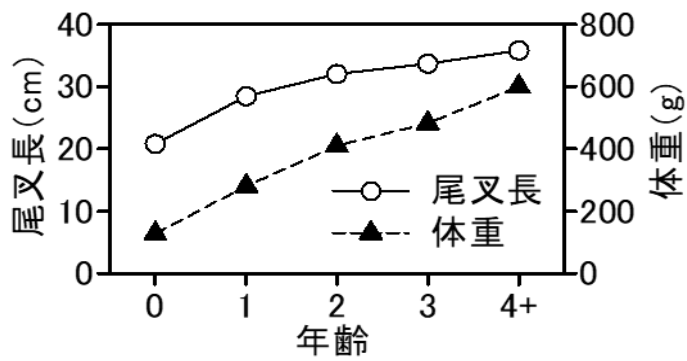


図 2-2. 年齢と成長 (2014～2018 年漁期漁獲物の平均)

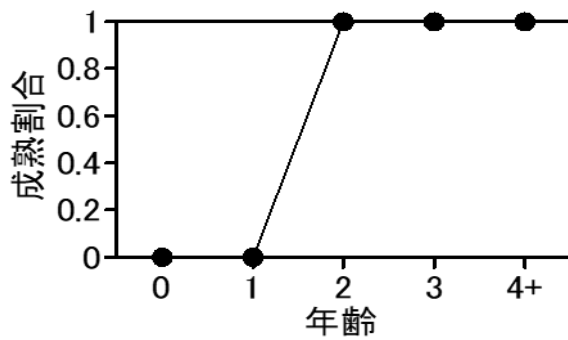


図 2-3. 年齢と成熟割合

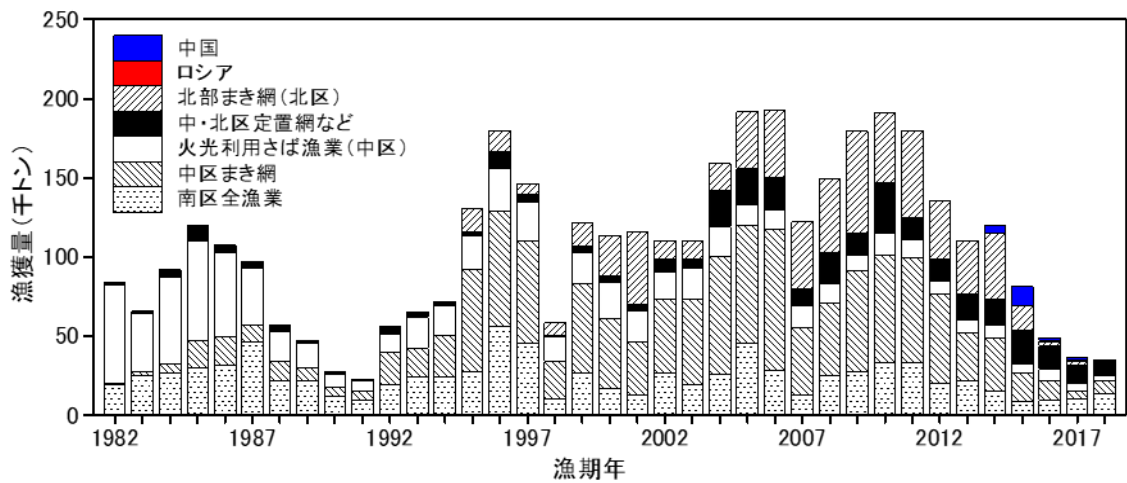
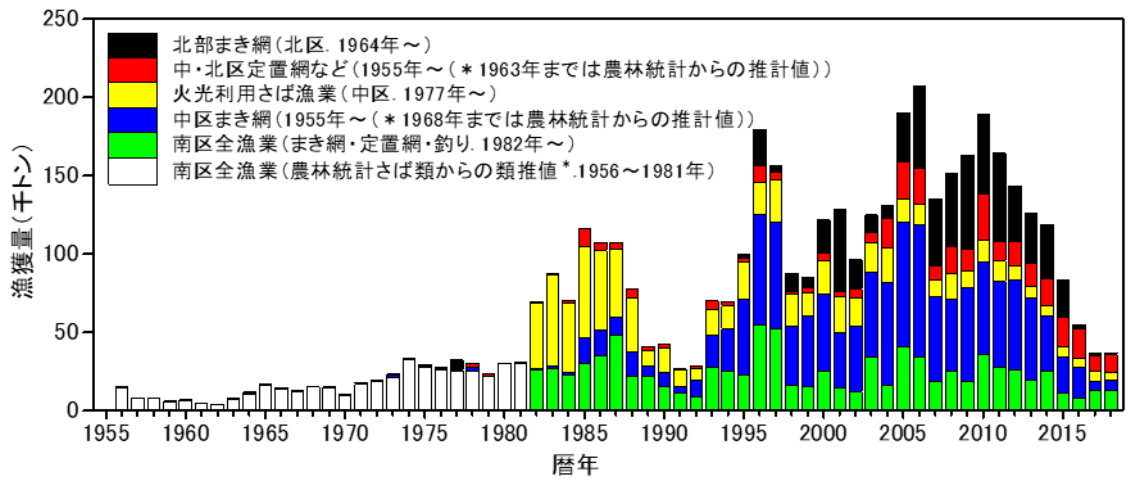


図 3-1. 漁獲量の推移 太平洋側の暦年（1～12月、日本のみ、上図）および漁期年（7月～翌年6月、外国を含む、下図）別の海区・漁業種別漁獲量。*南区の1982～2005年の農林水産統計さば類漁獲量に対する主要港ゴマサバ水揚量（各県資料）の比率を使って求めた。下図の2014年漁期以降の中国およびロシアの漁獲量は推定値。

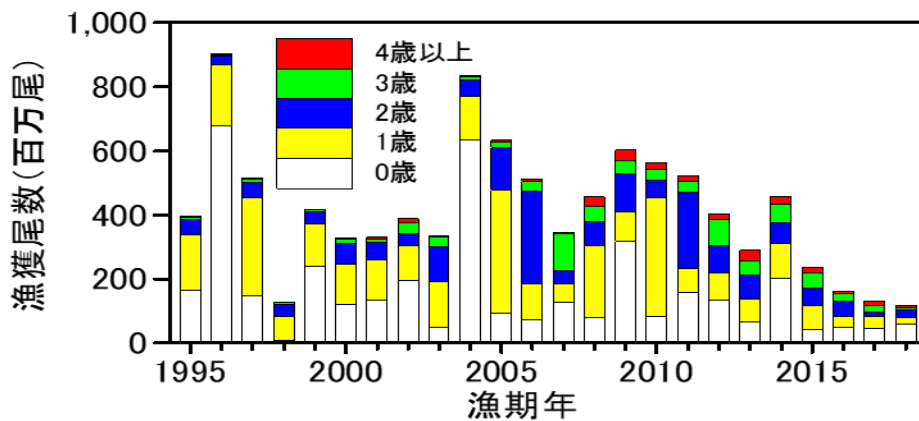


図 3-2. 年齢別漁獲尾数

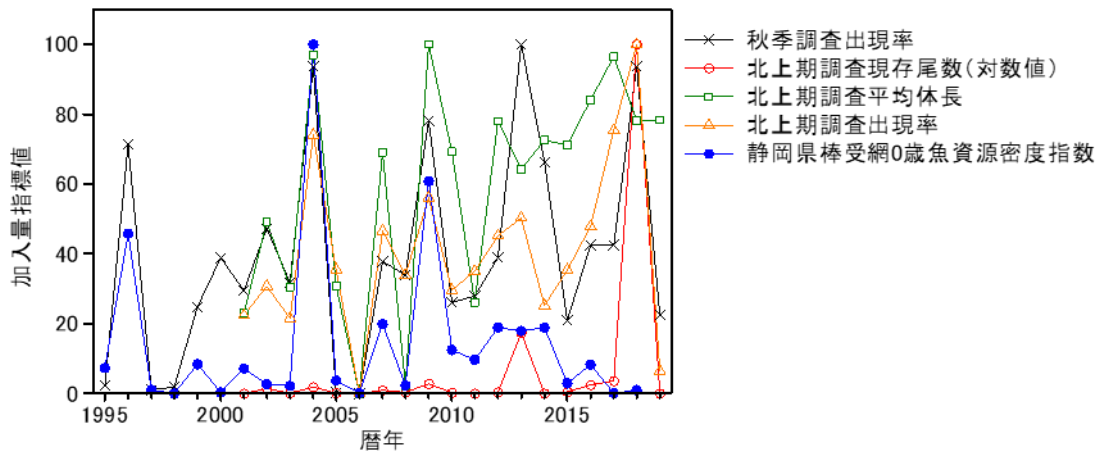


図 4-1. 各種調査による加入量指標値の経年変化 最大値を 100、最小値を 0 とした相対値。

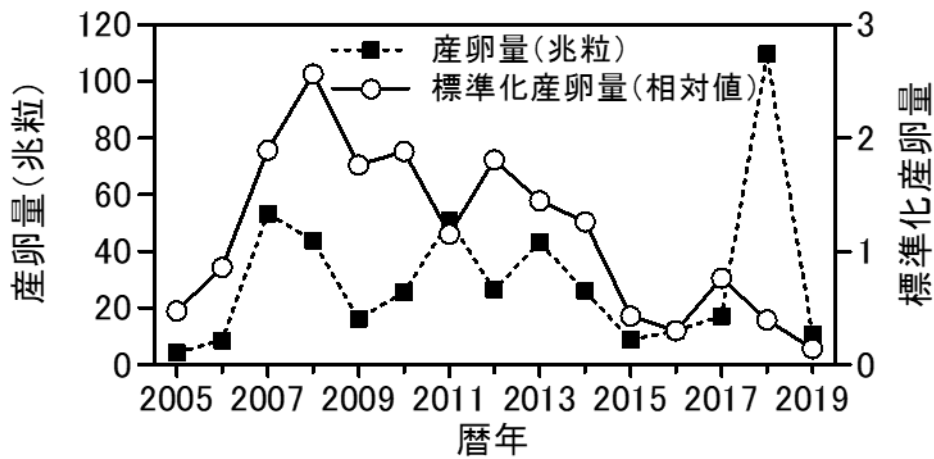


図 4-2. 太平洋側におけるゴマサバの産卵量および標準化産卵量 2019 年は 1~6 月の値。

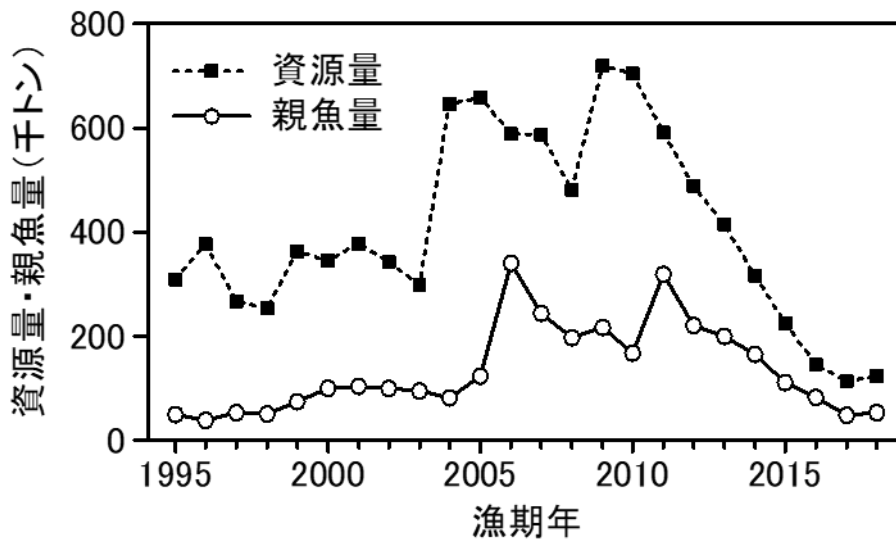


図 4-3. 資源量と親魚量の推移

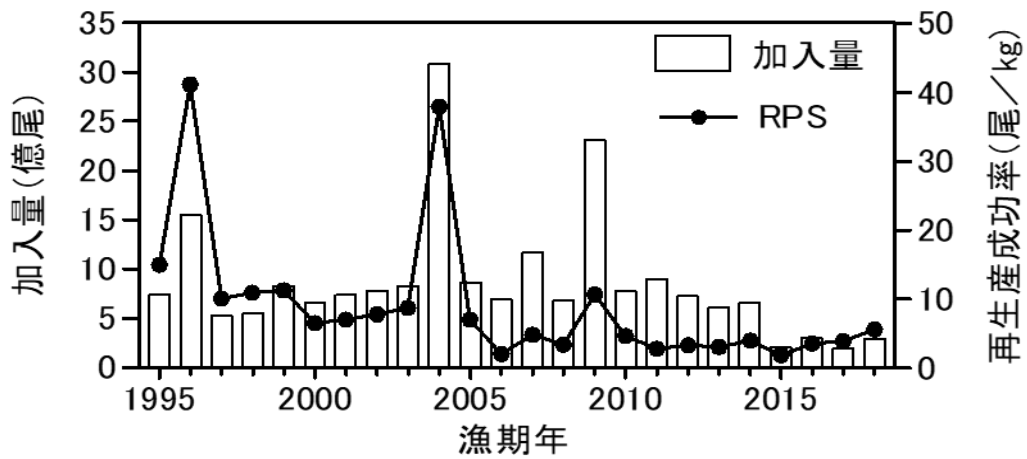


図 4-4. 加入量と再生産成功率 (RPS) の推移

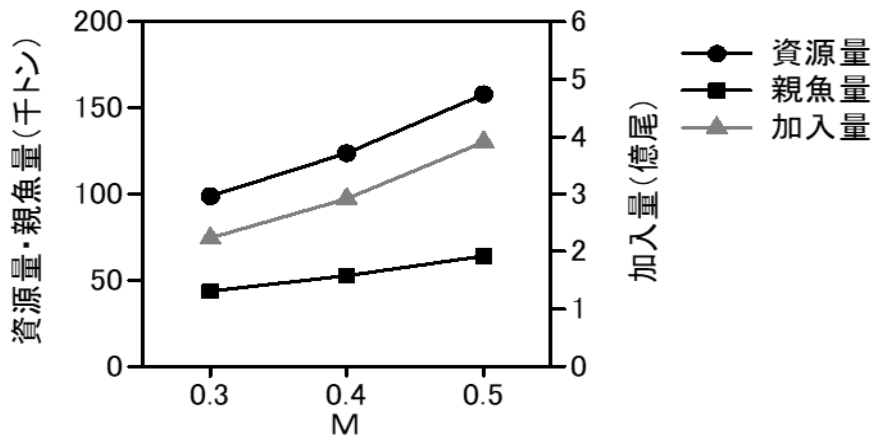


図 4-5. 自然死亡係数 (M) の違いによる 2018 漁期の資源量、親魚量および加入量

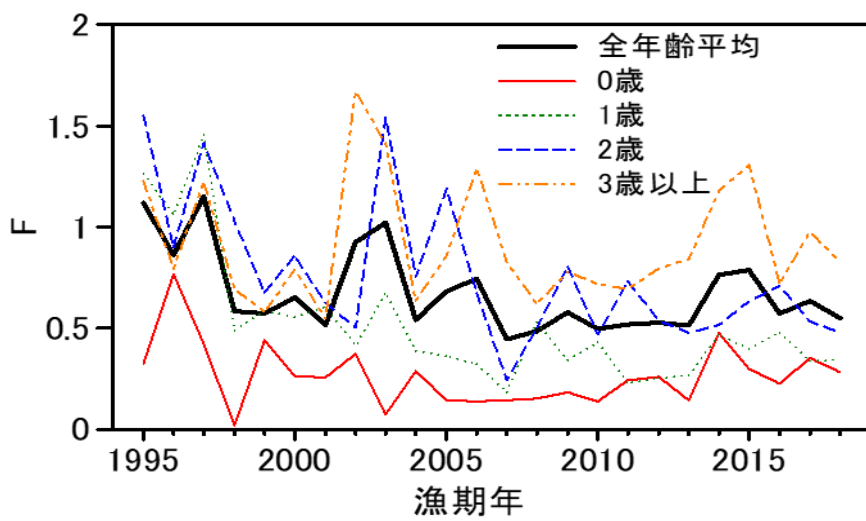


図 4-6. 年齢別漁獲係数 (F) の推移

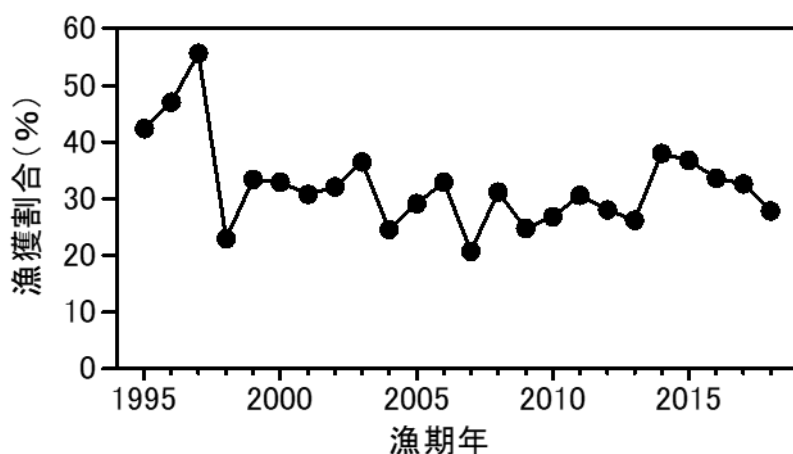


図 4-7. 漁獲割合の推移

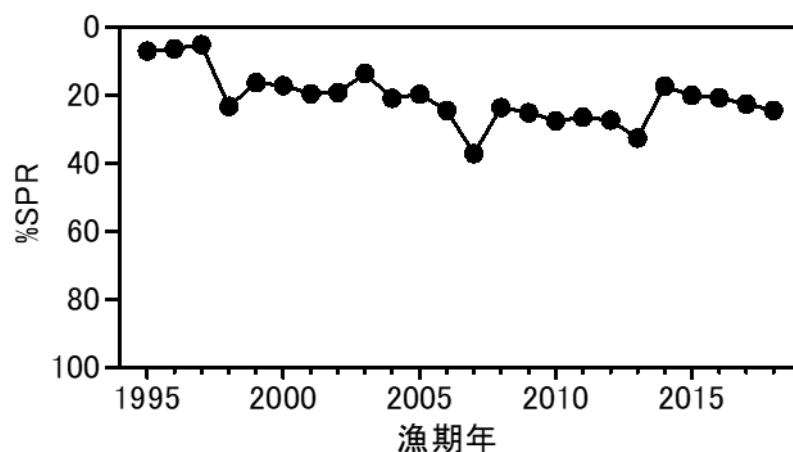


図 4-8. 各漁期年における%SPR 値の経年推移 %SPR は漁獲がないときの親魚量に対する漁獲があるときの親魚量の割合を示し、Fが高い(低い)と%SPRは小さく(大きく)なる。

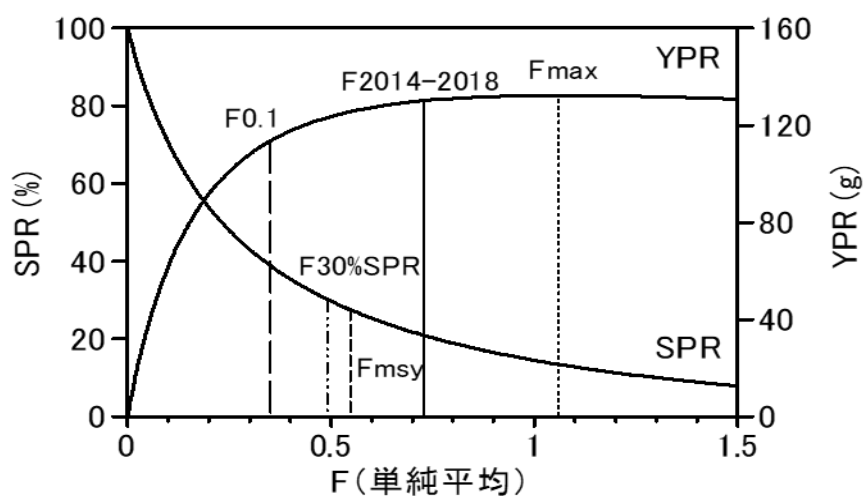


図 4-9. 漁獲係数 F と YPR、%SPR の関係

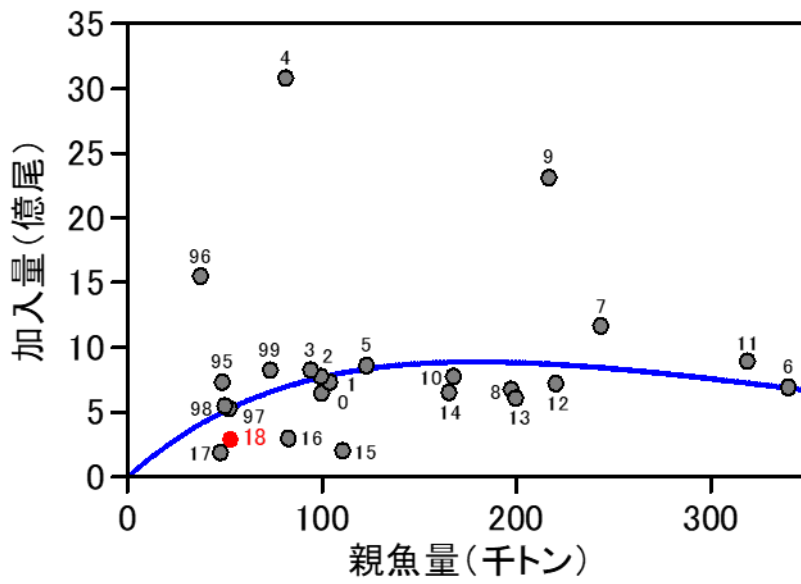


図 4-10. 親魚量と加入量の関係（再生産関係） 青線は平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（由上ほか 2019a）で適用された再生産関係式。

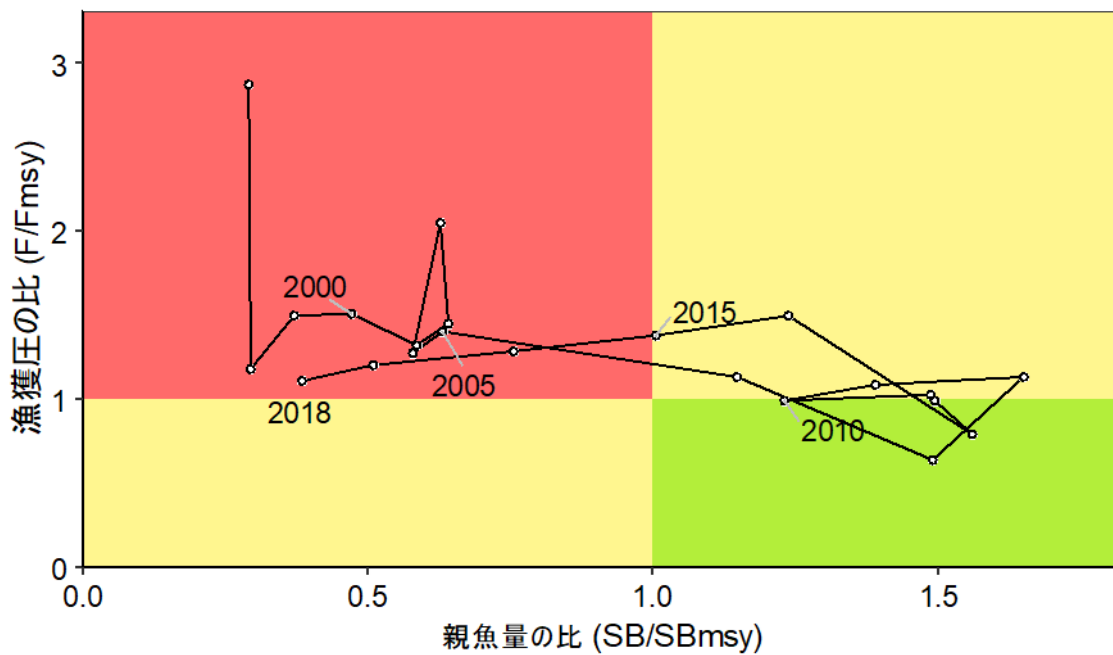


図 4-11. 最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy) と漁獲圧 (Fmsy) に対する、過去の親魚量および漁獲圧の関係（神戸プロット） 漁獲圧と親魚量の値は 3 年移動平均値。2018 は 2016～2018 年漁期の平均値を示す。

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	太平洋北・中区					南区 全漁業	
			ロシア	中国	北区 まき網	定置網 等	火光利 用さば 漁業*		中区 まき網
1982	84,023	84,023	-	-	0	1,354	61,917	826	19,927
1983	65,833	65,833	-	-	0	1,721	36,552	2,308	25,252
1984	92,096	92,096	-	-	0	4,667	55,088	5,816	26,525
1985	120,123	120,123	-	-	0	10,287	62,420	17,092	30,325
1986	107,583	107,583	-	-	532	3,925	53,655	18,010	31,460
1987	97,262	97,262	-	-	0	4,097	35,929	10,532	46,704
1988	57,242	57,242	-	-	0	4,579	18,240	12,067	22,356
1989	47,458	47,458	-	-	0	2,082	15,331	8,034	22,011
1990	27,864	27,864	-	-	47	2,070	7,767	5,678	12,302
1991	23,024	23,024	-	-	113	692	7,164	5,070	9,984
1992	56,060	56,060	-	-	10	4,434	11,870	20,284	19,463
1993	65,231	65,231	-	-	0	3,335	19,511	18,327	24,058
1994	71,962	71,962	-	-	0	2,348	18,718	26,894	24,002
1995	131,067	131,067	-	-	14,824	3,040	21,057	64,498	27,647
1996	179,832	179,832	-	-	13,184	10,938	26,514	72,788	56,408
1997	146,324	146,324	-	-	6,589	5,008	24,871	63,903	45,953
1998	58,385	58,385	-	-	7,641	1,334	15,348	23,544	10,518
1999	121,315	121,315	-	-	14,238	4,381	19,607	56,695	26,393
2000	113,597	113,597	-	-	25,548	3,830	23,365	44,230	16,624
2001	116,056	116,056	-	-	46,230	4,022	18,847	33,817	13,140
2002	110,135	110,135	-	-	11,746	7,802	16,760	46,575	27,252
2003	110,413	110,413	-	-	11,464	5,686	19,948	53,951	19,365
2004	158,927	158,927	-	-	16,673	23,107	18,631	74,934	25,582
2005	191,870	191,870	-	-	35,965	23,182	12,705	73,986	46,032
2006	192,976	192,976	-	-	42,643	20,777	11,890	89,427	28,239
2007	122,171	122,171	-	-	42,627	10,319	13,579	42,525	13,121
2008	149,584	149,584	-	-	46,848	19,624	12,572	45,411	25,129
2009	179,244	179,244	-	-	64,200	13,488	10,643	62,853	28,060
2010	190,993	190,993	-	-	44,136	32,121	13,732	68,058	32,947
2011	180,014	180,014	-	-	54,986	13,537	11,676	66,234	33,580
2012	135,075	135,075	-	-	35,991	14,278	8,015	56,504	20,288
2013	109,998	109,998	-	-	33,088	16,855	7,545	30,294	22,216
2014	120,382	115,192	9	5,180	41,393	17,005	7,568	33,608	15,619
2015	81,431	68,925	43	12,463	15,565	20,473	5,597	18,155	9,134
2016	49,215	46,892	141	2,182	2,907	14,998	7,048	12,500	9,440
2017	36,658	34,345	594	1,720	2,392	11,877	4,584	4,972	10,520
2018	34,879	33,862	439	579	490	8,139	3,640	7,793	13,801

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 漁獲量は資源解析（コホート解析）における計算値であり、実際の値（水揚げ調査結果、表 3-1）とは若干、異なる。

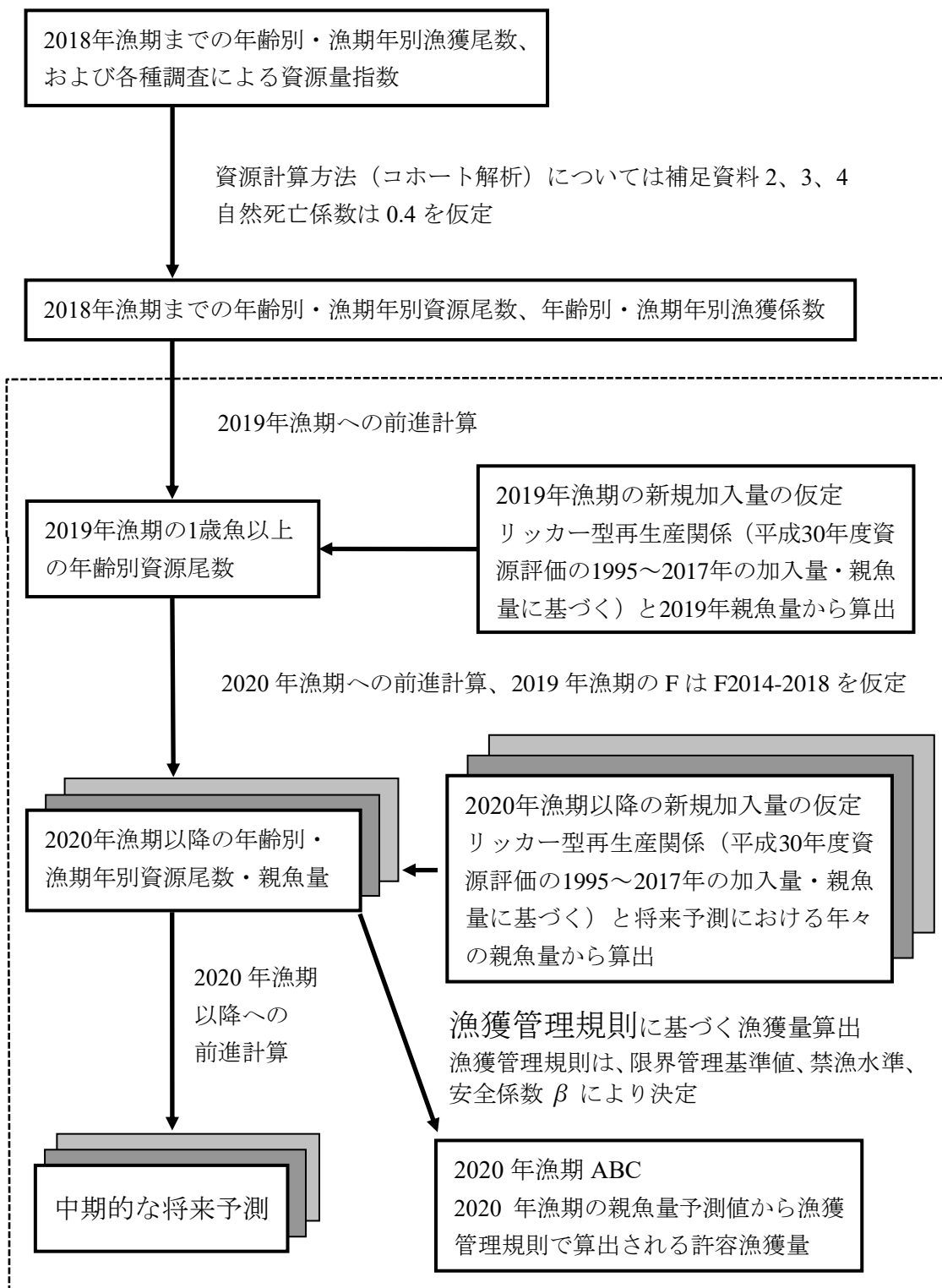
漁期年	漁獲量 (千トン)	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	加入量 (百万尾)	漁獲割合 (%)	再生産成功率 (尾/kg)
1995	131	309	49	732	42	15.0
1996	177	377	38	1,549	47	41.2
1997	149	268	52	528	56	10.1
1998	58	254	50	548	23	11.0
1999	121	363	73	826	33	11.3
2000	114	345	100	649	33	6.5
2001	116	378	104	733	31	7.0
2002	110	342	100	774	32	7.8
2003	109	299	94	825	37	8.8
2004	159	646	81	3,079	25	37.9
2005	192	659	123	858	29	7.0
2006	194	589	340	691	33	2.0
2007	122	587	243	1,166	21	4.8
2008	150	481	197	676	31	3.4
2009	179	720	217	2,314	25	10.7
2010	189	704	168	778	27	4.6
2011	181	591	319	893	31	2.8
2012	137	489	220	720	28	3.3
2013	109	414	200	606	26	3.0
2014	120	316	165	654	38	4.0
2015	83	225	111	204	37	1.8
2016	49	146	83	297	34	3.6
2017	37	113	48	187	33	3.9
2018	34	124	53	292	28	5.6

表 4-2. 各種調査による資源量指標値 r: 加入量および親魚量との相関係数 (①②⑤⑥は開始年～2018年漁期の加入量との相関係数。③は2010～2018年漁期の加入量との相関係数。④および④'は2007～2019年漁期の親魚量との相関係数。③および④'はコホート解析におけるチューニング指数。

	①	②	③	④	④'	⑤	⑥
1995			2,235				5.00
1996			13,870				53.57
1997			321				4.17
1998			8				4.76
1999			2,560				20.83
2000			109				30.77
2001	21.98	14.08	2,142			0.04	24.14
2002	26.98	16.12	813			8.11	36.67
2003	21.52	14.67	692			1.01	25.81
2004	52.73	19.90	30,269			11.11	69.23
2005	29.79	14.69	1,146	4.35	0.48	0.62	3.70
2006	8.70	12.27	59	8.52	0.86	0.01	3.45
2007	36.36	17.70	6,038	53.25	1.89	5.34	30.00
2008	28.85	12.45	716	43.89	2.56	2.13	27.27
2009	42.11	20.14	18,386	16.27	1.76	16.59	58.33
2010	26.32	17.72	3,774	25.56	1.88	1.48	21.74
2011	29.55	14.32	2,939	50.79	1.15	0.22	23.08
2012	35.56	18.41	5,700	26.37	1.81	1.97	30.77
2013	38.64	17.33	5,423	43.12	1.45	104.14	73.68
2014	23.64	17.98	5,718	25.98	1.26	0.14	50.00
2015	29.73	17.86	892	8.87	0.43	2.98	18.18
2016	37.14	18.88	2,505	11.98	0.30	15.00	33.33
2017	53.57	19.86	35	17.27	0.76	21.57	33.33
2018	68.18	18.42	296	109.59	0.39	601.11	69.23
2019	12.50	18.44		10.87	0.14	0.02	19.23
r	0.40	0.02	0.71	0.00	0.55	-0.04	0.40

- 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歳魚出現率
(%。169E以西・SST12～21℃での有漁点割合。東北・中央水研)
- ②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歳魚漁獲物平均尾叉長
(cm。7月中旬に規準化した値。東北・中央水研)
- ③静岡県地先棒受網漁業CPUEによる0歳魚資源密度指数(静岡県水技研)
- ④海区I・II・III(宮崎県以東の太平洋)の産卵量(兆粒。各水研、各都県)
- ④'標準化産卵量(補足資料3)
- ⑤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歳魚現存尾数
(10億尾。親潮～移行域における推定値。東北・中央水研)
- ⑥北西太平洋秋季浮魚類資源調査による中層トロール・東北海区浮魚類分布調査による流し網出現率(%。148E以西近海域の有漁点割合。東北・中央水研)

補足資料1 資源評価の流れ



※点線枠内は資源管理方針に関する検討会における管理基準値や漁獲管理規則等の議論をふまえて作成される。 (<http://www.jfa.maff.go.jp/j/press/sigen/190612.html>)

補足資料 2 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（詳細は平松 (2001) 等を参照。補足資料 4）。解析は、生活史と漁獲の季節性に基づき 7 月～翌年 6 月の漁期年単位で、0～3 歳、および 4 歳以上をまとめた最高齢グループ（4+歳、プラスグループ）の年齢構成で行った。プラスグループの計算については平松 (2001) によった。自然死亡係数（ M ）は田内・田中の式より 0.4 とした（寿命 6 歳、田中 1960）。具体的な計算方法は下の通り。

ステップ 1

年齢別年別資源尾数を (1) 式により計算した。

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

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。

ただし、最近年（ t 年、ここでは 2018 年漁期）の 1 歳以上、および、その前年（ $t-1$ 年、ここでは 2017 年漁期）までの最高齢グループ（添え字 p 、ここでは 4+歳）、最高齢-1 歳（ $p-1$ 、ここでは 3 歳）については、それぞれ (2) 式、および、(3)、(4) 式によった。

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

$$N_{p,y} = \frac{C_{p,y}}{C_{p,y} + C_{p-1,y}} N_{p,y+1} \exp(M) + C_{p,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (3)$$

$$N_{p-1,y} = \frac{C_{p-1,y}}{C_{p,y} + C_{p-1,y}} N_{p,y+1} \exp(M) + C_{p-1,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (4)$$

漁獲係数（ F ）の計算は、最近年の F （ターミナル F 、 $F_{a,t}$ ）以外は (5) 式によった。

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

最近年（2018 年漁期）の F は過去 4 年（2014～2017 年漁期）の F の平均に等しいとした ((6) 式)。

$$F_{a,t} = \frac{1}{4} \sum_{y=t-4}^{t-1} F_{a,y} \quad (6)$$

最高齢グループの F は、全ての年で最高齢-1 歳と等しいとした ($F_{p,y} = F_{p-1,y}$)。

ここで得られた最近年の F から年齢別選択率（年齢別 F の最大値で各年齢の F を除した値）を計算し、ステップ 2 で用いる選択率とした。

ステップ 2

最近年の F は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られる次の 2 系列の指標値（ Y ）を用いた（表 4-2）。

- ① 静岡県棒受網漁業 0 歳魚資源密度指数
- ② 海区 I・II・III（宮崎県以東）の標準化産卵量（補足資料 3）

①は加入量である 0 歳魚資源尾数（ N_0 ）、②は親魚量に適合させた。対象期間は、①は最後に卓越年級群が発生した 2009 年の翌年以降（2010～2018 年）とし、②の標準化産卵量は

昨年度以前の評価手法に倣って 2007 年以降とした。

昨年度評価まで標準化をしていない産卵量を、親魚量を指標するチューニング指数として使用していたが、2018 年のゴマサバの産卵量には種判別の問題と、土佐湾の 1 つの調査点において極端な大量採集があったため、正確にゴマサバの産卵量を推定できていないと考えられたことから、2018 年の値を使用せず、2007～2017 年の産卵量をチューニング指数として使用した（由上ほか 2019）。今年度評価では標準化を行うことで種判別や大量採集の問題をある程度、解決することができると考え、標準化した産卵量をチューニング指数として用いることとした（補足資料 3、補足表 2-1）。

静岡県棒受網漁業 0 歳魚資源密度指数は資源尾数と指数関数的な関係がみられることから、チューニング指数 (I) として対数値 (ln(Y)) を用いた（補足表 2-1）。

次のような目的関数をおいた。

$$\sum_y (\ln(I_y) - \ln(qX_y))^2 \quad (7)$$

ここで X はある $F_{a,t}$ のもとでコホート解析から計算されるチューニングの対象（加入量、親魚量）である。q は比例係数であり、各指数について (8) 式によって計算した (I/X の相乗平均)。

$$q = \exp \left\{ \frac{1}{n} \sum_{y=1}^n \ln \left(\frac{I_y}{X_y} \right) \right\} \quad (8)$$

ステップ 1 で求めた選択率の下で、これら目的関数の総和を最小にするような最近年の F の値を探索的に求めた。

以上から得られる 2018 年漁期までの年齢別年別資源尾数に各年の年齢別漁獲物平均体重を乗じて資源量を得た。

引用文献

- 平松一彦 (2001) VPA (Virtual Population Analysis). 平成 12 年度資源評価体制確立推進事業 報告書 資源解析手法教科書, 日本水産資源保護協会, 104-128.
- 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.
- 田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, **28**, 1-200.
- 由上龍嗣・井須小羊子・渡邊千夏子・上村泰洋・古市 生 (2019) 平成 30 (2018) 年度ゴマサバ太平洋系群の資源評価. 平成 30 年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第 1 分冊, 水産庁・水産研究・教育機構, 248-278.

補足表 2-1. チューニング指数

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
① ln(Y ₁)				8.24	7.99	8.65	8.60	8.65	6.79	7.83	3.56	5.69	
② Y ₂	1.89	2.56	1.76	1.88	1.15	1.81	1.45	1.26	0.43	0.30	0.76	0.39	0.14

① 静岡県地先棒受網漁業 CPUE による資源密度指数: Y₁

② 海区 I・II・III (宮崎県以東の太平洋) の標準化産卵量: Y₂

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

ゴマサバの産卵量は2018年に急増したが、そのほとんどが四国沖で採集されたものであった(補足図3-1)。由上ほか(2019)は、この海域で採集された卵径の頻度分布と親魚の漁獲状況から、マサバ卵が混在していることにより、2018年のゴマサバ産卵量が過大推定されている可能性を指摘している。親魚の漁獲状況から判断すると2019年も同様の状況が継続していると考えられることから、2018年以降のノミナルの産卵量(つまり、標準化していない生データ)をチューニング指数として使用することは困難な状況にある。

以上の問題点を解決するために、卵稚仔調査で得られた海区I~IIIにおける2005~2019年1~6月の30分升目ごとのゴマサバとマサバの平均卵密度を使用し、ゴマサバの産卵量指標値の標準化を行った。標準化にはVector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) モデルを使用した(Thorson and Barnett 2017)。VAST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)。また、マサバ太平洋系群における平均卵密度に対してVAST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(Kanamori et al. 2019)。卵稚仔調査が行われた地点と空間範囲についての詳細は、Kanamori et al. (2019)を参考にされたい。

モデルの構造

VAST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。

$$\begin{aligned} p_1(i) &= \beta_1(t_i) + \omega_1(s_i) + \varepsilon_1(s_i, t_i) + \eta_1(v_i) + \lambda_1 Q(i) \\ p_2(i) &= \beta_2(t_i) + \omega_2(s_i) + \varepsilon_2(s_i, t_i) + \eta_2(v_i) + \lambda_2 Q(i) \end{aligned}$$

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。第5項の $\lambda Q(i)$ は採集率に影響する共変量 $Q(i)$ の固定効果を示しており、 $Q(i)$ には同所的に採集されたマサバの卵密度を使用した; $Q(i) = \log(\text{マサバ卵密度}(s_i) + 0.1)$ 。これは、サバ属の産卵量の増加に伴い、マサバの卵径の頻度分布とゴマサバの卵径の頻度分布が重複することで、ゴマサバの産卵量の採集率がマサバの産卵量により影響を受けることを考慮していることを意味する。マサバの卵密度を対数変換する時、1を足した場合も結果は変わらなかった。

パラメータの推定

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、

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

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

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

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

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対数正規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

造の詳細については、Thorson (2019) や GitHub (<https://github.com/James-Thorson-NOAA/VAST>) を参照されたい。

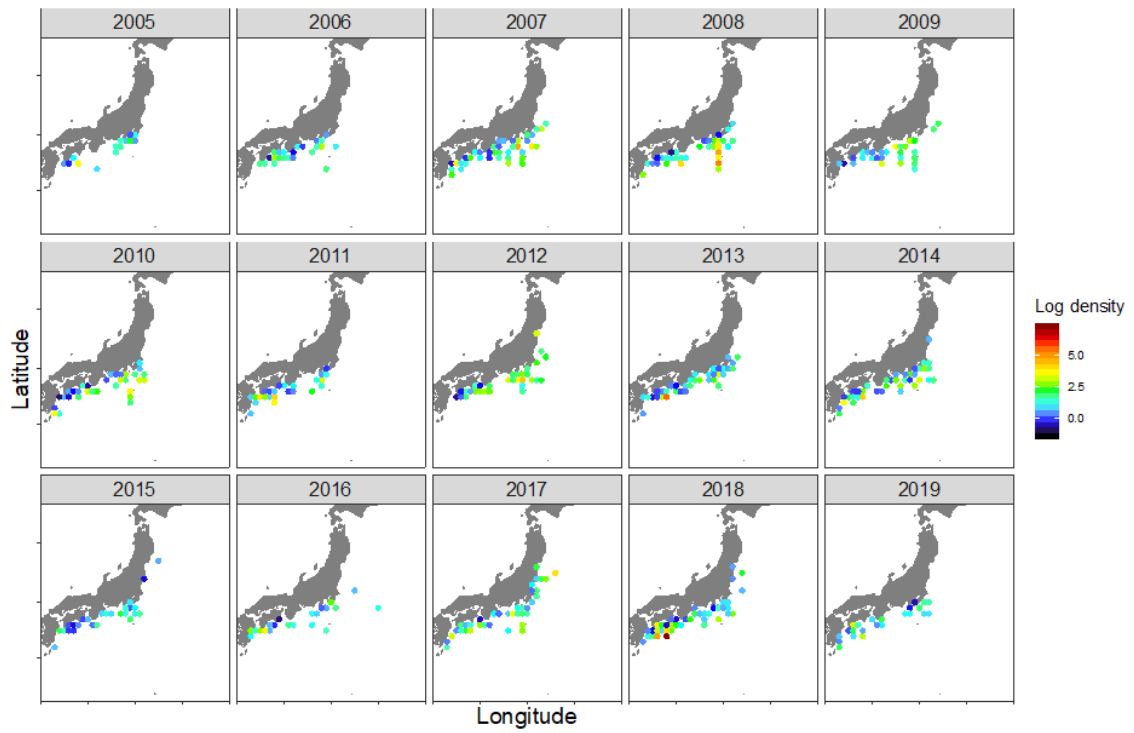
結果

ノミナル産卵量指標値と標準化産卵量指標値を比較すると、標準化産卵量指標値はノミナル産卵量指標値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 3-2)。問題となっていた 2018 年のノミナル産卵量の急増は、顕著に下方修正されていた。マサバの効果を入れたモデルと入れなかったモデルを比較すると、マサバの効果を入れたモデルの方が AIC は 600 以上低かったことから、標準化にはマサバの産卵量を考慮する必要があることが示唆された。マサバの効果を入れたモデルにおいて、マサバの卵密度がゴマサバの採集率に与える効果 λ は 0.16 であった。マサバの効果を入れたモデルの標準化産卵量指標値は 2008 年を境に減少傾向にあり、2019 年の標準化産卵量の指標値は 2005 年以降で最も低い値となった(図 4-2、表 4-1)。

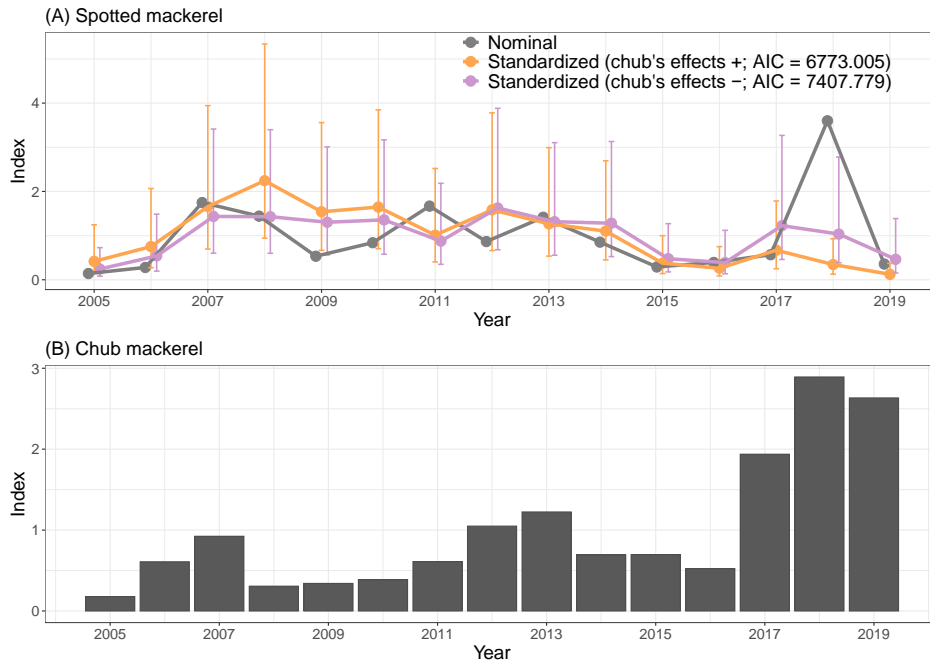
各年の相対卵密度は、鹿児島県沖、四国沖および伊豆諸島周辺で特に高く、また宮城県沖でもやや高い傾向にあったことから、主要な産卵場が複数あることが示唆された(補足図 3-3)。相対卵密度が顕著に増加・減少を示す海域は無く、産卵場の位置が変化する傾向はなかった。

引用文献

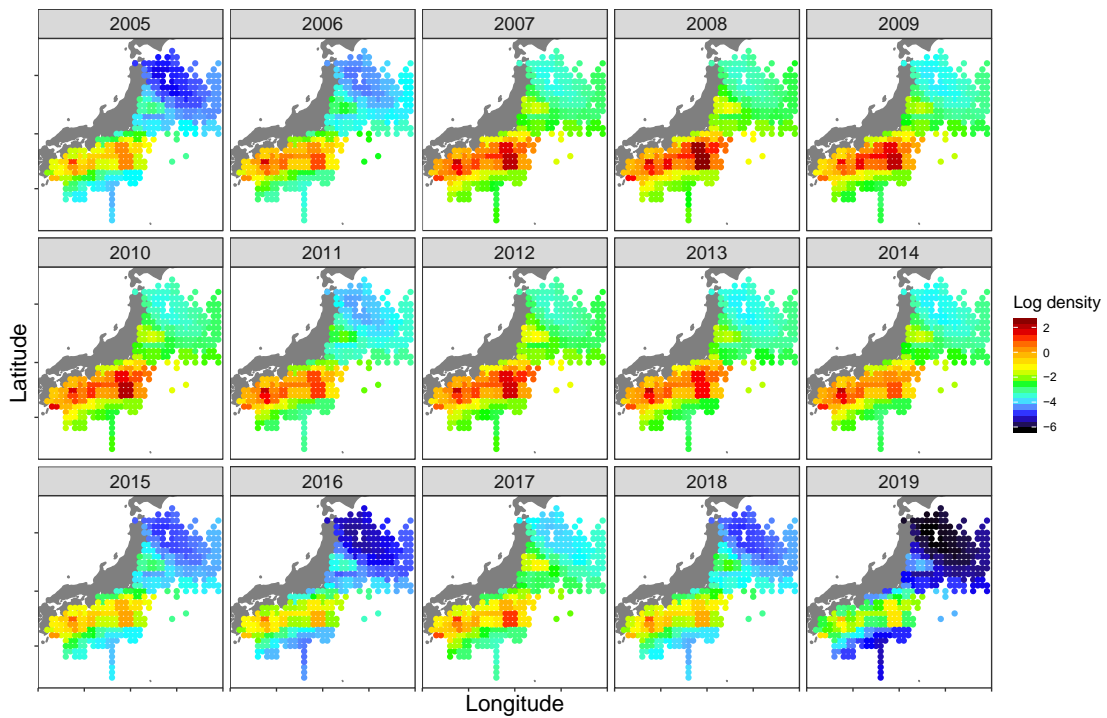
- Grüss, A., JF. Walter III, EA. Babcock, FC. Forrestal, JT. Thorson, MV. Lauretta, and MJ. Schirripac (2019) Evaluation of the impacts of different treatments of spatio-temporal variation in catch-per-unit-effort standardization models. *Fish. Res.*, **213**, 75–93.
- Kanamori, Y., A. Takasuka, S. Nishijima, 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.
- 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・渡邊千夏子・上村泰洋・古市 生 (2019) 平成 30 (2018) 年度ゴマサバ太平洋系群の資源評価。平成 30 年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第 1 分冊, 水産庁・水産研究・教育機構, 248–278.



補足図 3-1. 各年のゴマサバ卵の採集地点と採集量の空間分布 採集がなかった地点は省略。色は産卵量の多寡を表す。



補足図 3-2. (A) ゴマサバのノミナル産卵量（黒線）と VAST を用いて標準化した産卵量指標値（橙線）の年変化。産卵量は平均が 1 となるように規準化しており、バーはデルタ法で求めた 95%信頼区間を表す。参考として、マサバの産卵量を考慮しなかった場合の標準化した産卵量指標値とその 95%信頼区間を掲載（紫線）。(B) マサバのノミナル産卵量の年変化。産卵量は平均が 1 となるように規準化。



補足図 3-3. VAST から推定された各年の相対卵密度の空間分布。色は相対卵密度の多寡を表す。

補足資料4 コホート解析結果の詳細(1995～2006年漁期)

年齢別漁獲尾数(百万尾) ※0歳魚について発生年の1～6月分をその後の7月～翌年6月の漁期年へ加えている。

年齢\漁期年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	166.0	679.8	149.2	8.7	240.0	122.7	135.9	196.9	48.1	633.3	93.9	73.3
1歳	172.4	190.1	302.5	73.5	130.3	124.0	124.2	105.3	143.1	135.1	383.2	112.2
2歳	47.6	27.0	51.1	39.8	38.4	63.5	52.5	39.7	108.5	53.3	133.2	290.3
3歳	7.6	4.7	8.8	5.5	6.5	14.5	13.3	32.8	30.8	9.3	18.2	28.2
4歳以上	1.8	1.4	2.4	1.5	2.1	4.0	4.4	13.1	5.4	3.7	5.6	8.5
計	395.4	902.9	514.0	129.0	417.3	328.7	330.3	387.9	335.8	834.6	634.0	512.5

年齢別漁獲量(千トン) ※0歳魚について発生年の1～6月分をその後の7月～翌年6月の漁期年へ加えている。

年齢\漁期年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	33.1	101.7	14.8	1.6	49.5	21.4	23.9	30.2	5.6	85.5	6.2	4.8
1歳	67.1	57.4	102.1	31.6	43.1	45.9	53.7	34.5	43.7	39.2	118.9	46.0
2歳	25.1	14.0	25.1	20.5	22.3	33.7	27.4	19.7	41.9	25.1	53.0	122.4
3歳	4.4	2.8	5.2	3.4	4.7	9.1	7.7	16.8	14.2	6.1	10.0	15.1
4歳以上	1.3	1.1	1.7	1.2	1.8	3.4	3.4	9.0	3.8	2.9	4.0	5.7
計	131.0	177.1	149.0	58.3	121.4	113.6	116.1	110.0	109.2	158.9	192.1	194.0
漁獲割合	42%	47%	56%	23%	33%	33%	31%	32%	37%	25%	29%	33%

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
0歳	0.32	0.77	0.42	0.02	0.44	0.26	0.26	0.37	0.07	0.29	0.14	0.14
1歳	1.26	1.06	1.45	0.49	0.58	0.55	0.60	0.41	0.67	0.39	0.36	0.32
2歳	1.55	0.90	1.42	1.03	0.68	0.86	0.63	0.50	1.54	0.76	1.19	0.67
3歳	1.23	0.79	1.23	0.69	0.58	0.79	0.55	1.67	1.41	0.64	0.86	1.29
4歳以上	1.23	0.79	1.23	0.69	0.58	0.79	0.55	1.67	1.41	0.64	0.86	1.29
平均	1.12	0.86	1.15	0.59	0.57	0.65	0.52	0.93	1.02	0.54	0.68	0.74
%SPR	6.97	6.23	5.12	23.28	16.19	17.08	19.46	19.11	13.54	20.77	19.67	24.41

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
0歳(加入量)	732	1,549	528	548	826	649	733	774	825	3,079	858	691
1歳	293	355	482	232	360	357	335	380	358	513	1,546	498
2歳	74	56	82	75	95	135	138	123	168	122	234	722
3歳	13	10	15	13	18	32	38	49	50	24	39	48
4歳以上	3	3	4	4	6	9	13	20	9	10	12	14
計	1,116	1,974	1,112	873	1,305	1,182	1,256	1,346	1,409	3,749	2,688	1,974

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
0歳	146	232	52	104	170	113	129	119	96	416	57	45
1歳	114	107	163	100	119	132	145	124	109	149	480	204
2歳	39	29	41	39	55	72	72	61	65	58	93	305
3歳	8	6	9	8	13	20	22	25	23	16	21	25
4歳以上	2	3	3	3	5	8	10	14	6	8	9	10
計	309	377	268	254	363	345	378	342	299	646	659	589
親魚量(SSB)	49	38	52	50	73	100	104	100	94	81	123	340
RPS	15.0	41.2	10.1	11.0	11.3	6.5	7.0	7.8	8.8	37.9	7.0	2.0

年齢別漁獲物平均体重(g)

年齢\漁期年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	199	150	99	190	206	175	176	153	116	135	66	65
1歳	389	302	338	429	331	370	432	327	305	290	310	410
2歳	527	519	492	516	580	532	522	496	387	471	398	422
3歳	588	599	597	615	727	627	583	511	463	660	552	536
4歳以上	687	793	697	746	851	854	774	685	704	794	716	672

補足資料4(続き) コホート解析結果の詳細(2007~2018年漁期)

年齢別漁獲尾数(百万尾) ※0歳魚について発生年の1~6月分をその後の7月~翌年6月の漁期年へ加えている。

年齢\漁期年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	128.7	78.2	317.4	82.8	157.9	135.6	66.7	203.3	43.1	49.1	45.6	58.6
1歳	55.2	227.1	92.2	369.4	75.8	84.9	71.1	107.2	73.0	31.5	37.1	20.8
2歳	42.6	72.9	121.0	56.7	239.2	82.7	76.1	63.2	56.7	51.1	14.3	23.7
3歳	113.6	48.2	40.4	33.8	31.9	81.6	44.0	57.8	45.6	22.2	20.6	7.6
4歳以上	5.2	28.6	32.5	21.2	17.5	18.1	31.2	26.5	18.3	8.2	12.0	7.4
計	345.2	455.0	603.5	563.9	522.2	402.9	289.0	458.0	236.7	162.0	129.6	118.2

年齢別漁獲量(千トン) ※0歳魚について発生年の1~6月分をその後の7月~翌年6月の漁期年へ加えている。

年齢\漁期年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	21.7	8.1	51.9	14.8	19.6	18.5	10.8	17.7	7.4	5.9	4.7	9.3
1歳	20.2	71.8	29.4	113.7	27.1	30.7	22.4	28.6	21.3	8.6	10.8	5.9
2歳	19.9	27.0	55.6	27.1	103.8	35.4	35.1	28.0	21.8	19.9	5.8	10.2
3歳	56.5	25.6	21.6	19.2	18.9	41.3	22.8	29.9	21.5	9.7	8.9	4.2
4歳以上	3.5	17.5	20.0	14.0	11.5	11.2	17.6	15.8	10.7	4.9	6.6	4.9
計	121.7	150.1	178.6	188.8	180.9	137.1	108.6	120.0	82.7	49.0	36.9	34.5
漁獲割合	21%	31%	25%	27%	31%	28%	26%	38%	37%	34%	33%	28%

年齢別漁獲係数(F)および%SPR

年齢\漁期年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	0.14	0.15	0.18	0.14	0.24	0.26	0.14	0.48	0.30	0.23	0.35	0.28
1歳	0.18	0.53	0.34	0.43	0.23	0.25	0.27	0.47	0.40	0.48	0.34	0.34
2歳	0.24	0.50	0.80	0.47	0.73	0.54	0.48	0.52	0.63	0.71	0.53	0.48
3歳	0.83	0.62	0.78	0.72	0.69	0.80	0.84	1.18	1.31	0.72	0.98	0.83
4歳以上	0.83	0.62	0.78	0.72	0.69	0.80	0.84	1.18	1.31	0.72	0.98	0.83
平均	0.44	0.48	0.58	0.50	0.52	0.53	0.51	0.76	0.79	0.57	0.64	0.55
%SPR	37.02	23.58	25.06	27.36	26.43	27.27	32.50	17.29	19.93	20.74	22.49	24.34

年齢別資源尾数(百万尾)

年齢\漁期年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳(加入量)	1,166	676	2,314	778	893	720	606	654	204	297	187	292
1歳	403	676	389	1,291	454	469	372	351	272	101	159	88
2歳	242	225	268	185	563	242	245	191	148	123	42	76
3歳	247	127	91	80	78	182	95	102	76	53	40	17
4歳以上	11	76	73	51	43	40	67	47	31	19	23	16
計	2,070	1,781	3,135	2,385	2,030	1,654	1,384	1,345	731	593	452	489

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	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	196	70	379	139	111	98	98	57	35	36	19	46
1歳	147	214	124	397	162	170	117	94	79	28	46	25
2歳	113	83	123	88	244	104	113	85	57	48	17	33
3歳	123	68	49	46	46	92	49	53	36	23	17	9
4歳以上	8	46	45	33	28	25	38	28	18	12	13	11
計	587	481	720	704	591	489	414	316	225	146	113	124
親魚量(SSB)	243	197	217	168	319	220	200	165	111	83	48	53
RPS	4.8	3.4	10.7	4.6	2.8	3.3	3.0	4.0	1.8	3.6	3.9	5.6

年齢別漁獲物平均体重(g)

年齢\漁期年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	168	104	164	179	124	137	161	87	171	120	103	159
1歳	366	316	319	308	357	362	315	267	292	272	291	282
2歳	467	371	459	477	434	428	461	443	384	389	408	430
3歳	498	531	534	570	594	506	518	516	472	439	433	552
4歳以上	660	610	616	661	658	615	563	596	585	601	555	665

補足資料 5 管理基準値案と禁漁水準案等

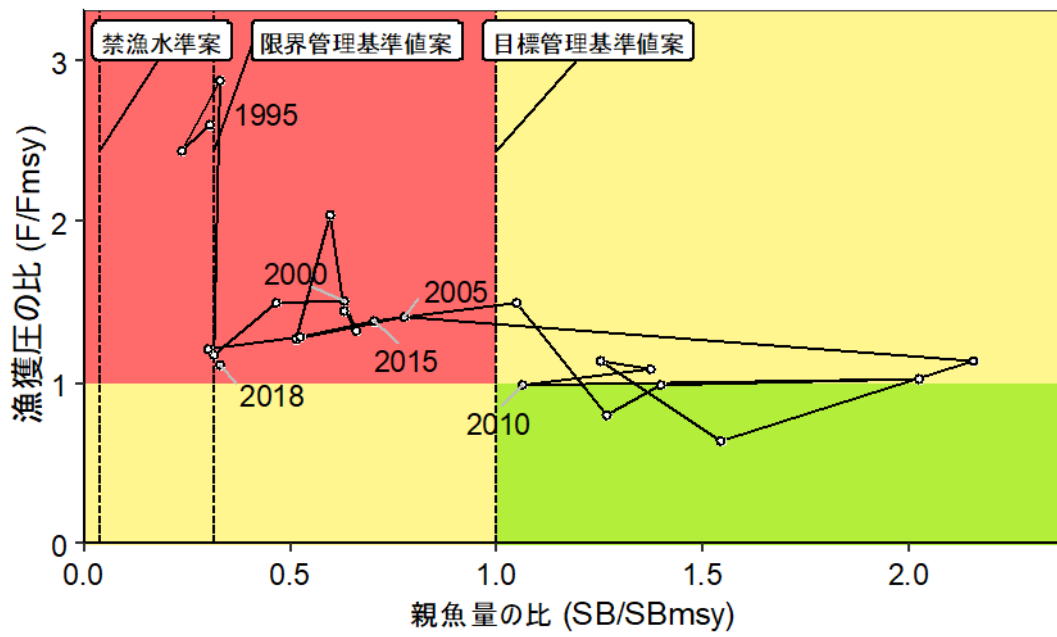
本系群の管理基準値案や禁漁水準案等について以下に示す。

項目	値	備考
SBtarget 案	158 千トン	最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy)
SBlimit 案	50 千トン	MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy)
SBban 案	6 千トン	MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.1msy)
Umsy	27%	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲割合
MSY	105 千トン	最大持続生産量 MSY
β	0.9	漁獲管理規則案の漁獲圧の上限の設定のため、Fmsy に掛ける安全係数。本系群では 2019 年漁期以降の加入量が再生産関係に従えば、緩やかに親魚量が増加することが期待され、 $\beta=0.9$ で 2028 年に 50%以上の確率で目標管理基準値案まで回復する。
SB2018	53 千トン	2018 年漁期の親魚量
U2018	28%	2018 年漁期の漁獲割合
F2018/ Fmsy	1.09	2018 年漁期の漁獲圧の、最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧に対する比

平成 31 年 4 月に開催された研究機関会議により、目標管理基準値 (SBtarget) には MSY 水準における親魚量 (SBmsy : 158 千トン)、限界管理基準値 (SBlimit) には MSY の 60%が得られる親魚量 (SB0.6msy : 50 千トン)、禁漁水準 (SBban) には MSY の 10%が得られる親魚量 (SB0.1msy : 6 千トン) を用いることが提案されている。詳細は「平成 31 (2019) 年度ゴ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」を参照されたい。

コホート解析により得られた 2018 年漁期の親魚量 (SBcurrent : 53 千トン) は目標管理基準値案を下回るが、限界管理基準値案をわずかに上回り、禁漁水準案を上回る。また、2018 年漁期の漁獲圧 (F2018) は MSY を実現する漁獲圧をわずかに上回り (F2018/Fmsy は 1.09)、2018 年漁期の漁獲割合 (U2018) も MSY を実現する漁獲割合 (Umsy) をわずかに上回る。

目標管理基準値案と、MSY を実現する漁獲圧 (F) を基準にした神戸プロットを補足図 5-1 に示す。本系群における漁獲圧は、2006 年漁期以前においては MSY を実現する漁獲圧を上回っていたと判断される。2007~2013 年漁期は MSY を実現する漁獲圧前後で推移していたが、2014 年漁期以降は再び上回っている。また、親魚量は、2006~2014 年漁期において目標管理基準値案を上回っているものの、それ以外の期間は下回っている。



補足図 5-1. 管理基準値案と親魚量・漁獲圧との関係（神戸プロット） 漁獲圧と親魚量は単年の値。

補足資料 6 漁獲管理規則案に対応した漁獲量の算定

漁獲管理規則案（HCR）は、目標管理基準値以上の親魚量を維持・回復する達成確率を勘案して、親魚量に対応した漁獲圧（F）等を定める漁獲シナリオ案である。親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げる。漁獲圧の上限となる F_{msy} には安全係数となるチューニングパラメータ β を乗じる。補足図 6-1 に平成 31 年 4 月に開催された研究機関会議により提案された漁獲管理規則案を示す。ここでは例として安全係数 β を 0.9 とした場合を示した。

漁獲管理規則案を用いた将来予測に従い、2020 年漁期漁獲量を試算した。将来予測はコホート解析の前進法に加え、親魚量から予測される加入量を再生産関係から与えて実施した。加入量の不確実性として対数正規分布に従う誤差を仮定し、10,000 回の繰り返し計算を行った。現状の漁獲圧（F2014-2018）は、 F_{msy} と等しい選択率において推定される %SPR が 2014～2018 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。2019 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧（F2014-2018）から予測される 41 千トンとした。将来予測により予測された 2020 年漁期の親魚量をもとに漁獲管理規則案で定められる漁獲圧を、2020 年漁期漁獲量試算のための漁獲圧とした。

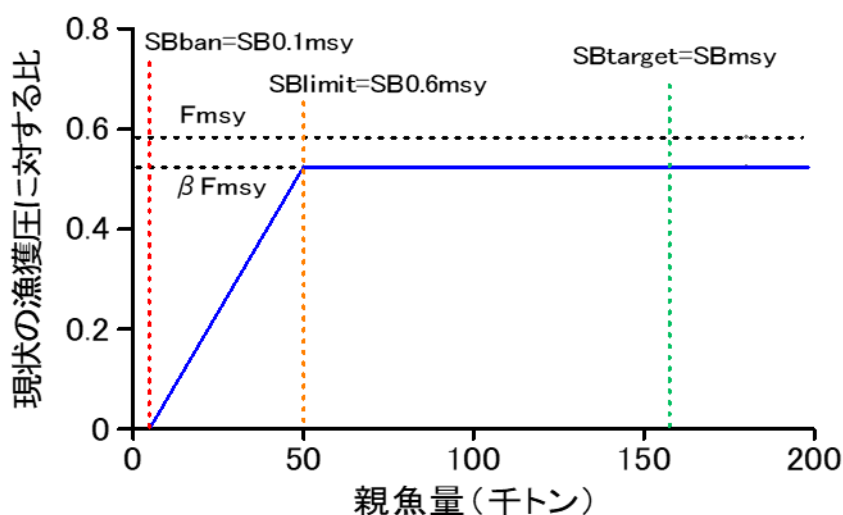
将来予測の結果、漁獲管理規則案に従い試算された 2020 年漁期の漁獲量は β を 0.9 とした場合には 27 千トン、 β を 1.0 とした場合には 29 千トンであった。2020 年漁期に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも限界管理基準値案を下回り、平均 40 千トンと見込まれた。漁獲量試算のための漁獲圧は、親魚量が限界管理基準値案未満であるため親魚量に応じた係数を乗じ、 $\gamma(SB_t) \times \beta F_{msy}$ として算出した。ここで 2020 年漁期の $\gamma(SB_t)$ は「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」における 1 系資源の管理規則に基づき、下式により 0.77 と計算された。

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

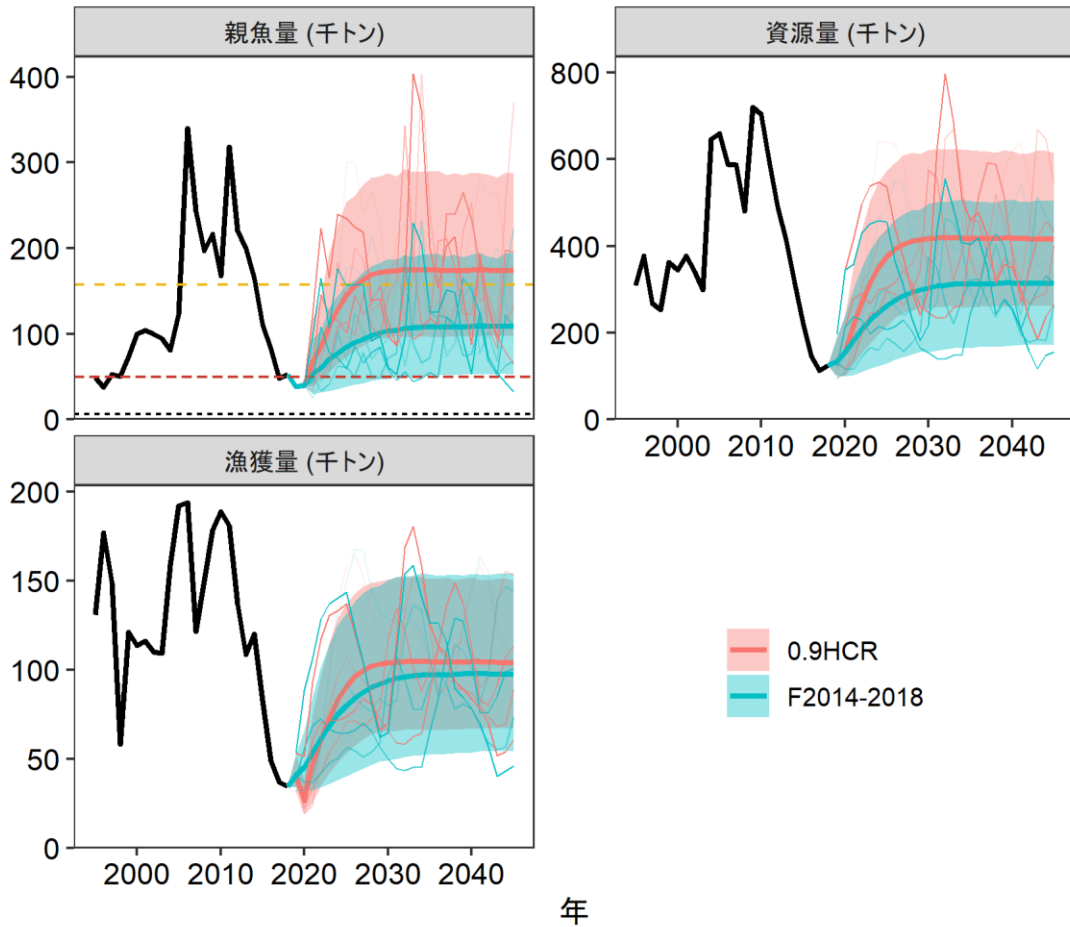
2020 年漁期の親魚量（予測平均値）：40 千トン				
項目	2020 年漁期の漁獲量（千トン）	現状の漁獲圧に対する比（F/F2014-2018）	2020 年漁期の漁獲割合（%）	
10 年後に目標管理基準値案を 50%以上の確率で上回る β の最大値に基づく方策				
$\beta=0.9$	27	0.53	17	
その他の方策（漁獲管理規則案にて異なる β を使用した場合）				
$\beta=1.0$	29	0.58	19	
$\beta=0.8$	24	0.47	15	
$\beta=0.6$	19	0.35	12	
$\beta=0.4$	13	0.23	8	
$\beta=0.2$	7	0.12	4	
$\beta=0$	0	0	0	
F2014-2018	45	1.00	29	

中長期的な将来予測の結果を補足図 6-2 および補足表 6-1、6-2 に示す。漁獲管理規則案に基づく管理を 10 年間継続した場合、2030 年漁期の親魚量の予測値は β を 1.0 とした場合には平均 155 千トン（80%信頼区間は 93 千トン～229 千トン）、 β を 0.9 とした場合には平均 173 千トン（80%信頼区間は 107 千トン～252 千トン）である。目標管理基準値案を上回る確率は β を 1.0 とした場合には 41%、 β を 0.9 とした場合には 54%であり、限界管理基準値案および禁漁水準案を上回る確率は全ての方策において 100%となった。

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% 信頼区間 (千トン)	2030 年漁期に親魚量が以下の管理基準値案と禁漁水準案を上回る確率 (%)		
			SBtarget 案	SBlimit 案	SBban 案
10 年後に目標管理基準値案を 50%以上の確率で上回る β の最大値に基づく方策					
$\beta=0.9$	173	107 - 252	54	100	100
その他の方策（漁獲管理規則案にて異なる β を使用した場合）					
$\beta=1.0$	155	93 - 229	41	100	100
$\beta=0.8$	192	121 - 275	67	100	100
$\beta=0.6$	232	153 - 324	88	100	100
$\beta=0.4$	276	191 - 375	98	100	100
$\beta=0.2$	329	240 - 433	100	100	100
$\beta=0$	395	309 - 494	100	100	100
F2014-2018	103	55 - 160	11	94	100



補足図 6-1. 漁獲管理規則案 現状の漁獲圧は F2014-2018 である。漁獲管理規則案の β は 0.9 のものを示す。管理基準値及び禁漁水準はいずれも案。



補足図 6-2. 漁獲管理規則案 (HCR) を用いた場合の将来予測と F2014-2018 で漁獲を続けた場合の将来予測の比較 太実線は平均値、網掛けは 80%信頼区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の黄破線は目標管理基準値案、赤点線は限界管理基準値案、黒点線は禁漁水準案を示す。2019 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2014-2018) から予測される 41 千トンとした。漁獲管理規則案の β は 0.9 のものを示す。F2014-2018 は、 F_{msy} と等しい選択率において推定される %SPR が 2014~2018 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。

補足資料 7 資源の将来予測の方法

得られた資源量をもとに漁獲管理規則案に基づく将来予測を行った。

将来の加入量の推定には、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合意されたリッカー型関係式 ($a=13.5$, $b=0.00558$, $SD=0.507$) から推定される値を用いた。なお、再生産関係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絶対値法を用いている。加入量の残差の自己相関は考慮していない。詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート(平成 31 年度研究機関会議版)」(https://github.com/ichimomo/future-text/blob/master/technical_document.pdf) 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は補足表 6-1 に示す。選択率や漁獲物平均体重等の値には、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各種管理基準値の推定に用いた値を引き続き用いた。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計算結果における 2013~2017 年漁期の平均値である。現状の漁獲圧 ($F_{2014-2018}$) は、 F_{msy} と等しい選択率において推定される %SPR が 2014~2018 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。2019 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 ($F_{2014-2018}$) から予測される 41 千トンとした。

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法 ((9) 式) を用いた。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad \text{※} a < p-1 \text{ の場合} \quad (9a)$$

$$N_{p,y+1} = (N_{p,y} + N_{p-1,y}) \exp(-F_{p,y} - M) \quad \text{※ プラスグループ} \quad (9b)$$

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 (10) 式により求めた。

$$C_{a,y} = N_{a,y} (1 - \exp(-F_{a,y})) \exp(-\frac{M}{2}) \quad (10)$$

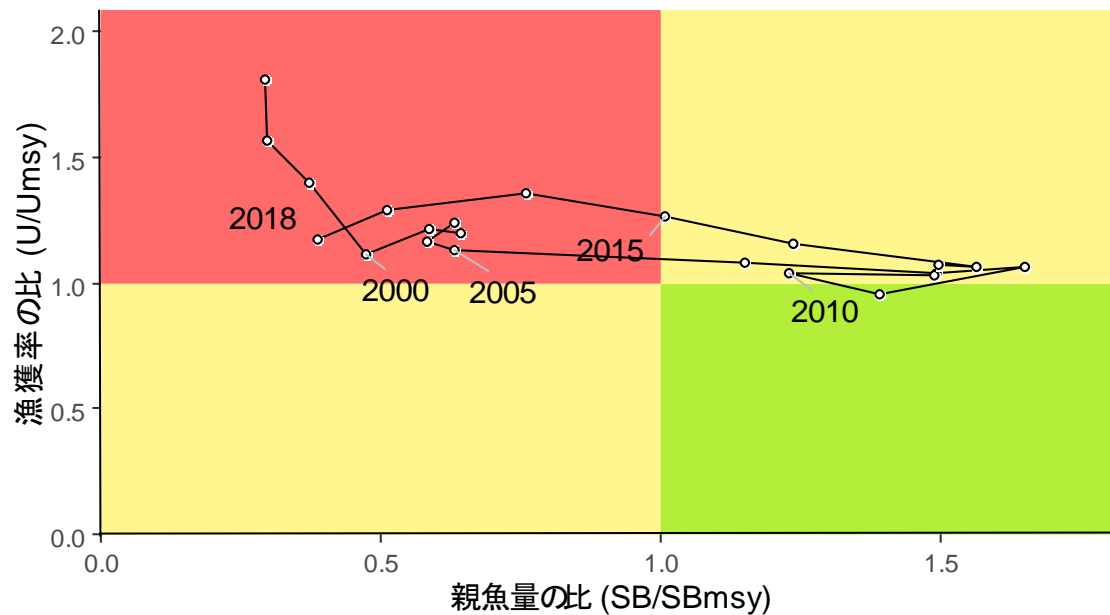
補足表 7-1. 将来予測計算に用いたパラメータ

	選択率	F_{msy}	$F_{2014-2018}$	平均体重 (g)	自然死亡係数	成熟割合
0 歳	0.25	0.22	0.28	129	0.40	0.00
1 歳	0.36	0.31	0.41	287	0.40	0.00
2 歳	0.54	0.48	0.62	417	0.40	1.00
3 歳	1.00	0.87	1.15	476	0.40	1.00
4 歳以上	1.00	0.87	1.15	580	0.40	1.00

補足資料 8 漁獲割合に基づく神戸プロット

親魚量とその時の漁獲割合 (U) を基準にした神戸プロットを下図に示す。本系群における親魚量は 2006～2014 年漁期において MSY を実現する水準を上回っていたが、それ以外の期間は下回っている。漁獲割合の比 (U/Umsy) は 2007～2013 年漁期以降において MSY を実現する水準程度で推移していたが、それ以外の期間は上回っている。

項目	値	備考
SBmsy	158 千トン	最大持続生産量 MSY を実現する親魚量
Umsy	27%	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲割合
U2018	28%	2018 年漁期の漁獲割合
U2018/ Umsy	1.051	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲割合に対する 2018 年漁期の漁獲割合の比



補足図 8-1. 最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy) と漁獲割合 (Umsy) に対する、過去の親魚量および漁獲割合の関係 (神戸プロット) 漁獲割合と親魚量は 3 年移動平均値。2018 は 2016～2018 年漁期の平均値を示す。