

令和 5（2023）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（由上龍嗣、西嶋翔太、上村泰洋、井須小羊子、古市 生、渡部亮介、東口胤成、齋藤 類、石川和雄）
水産技術研究所 養殖部門

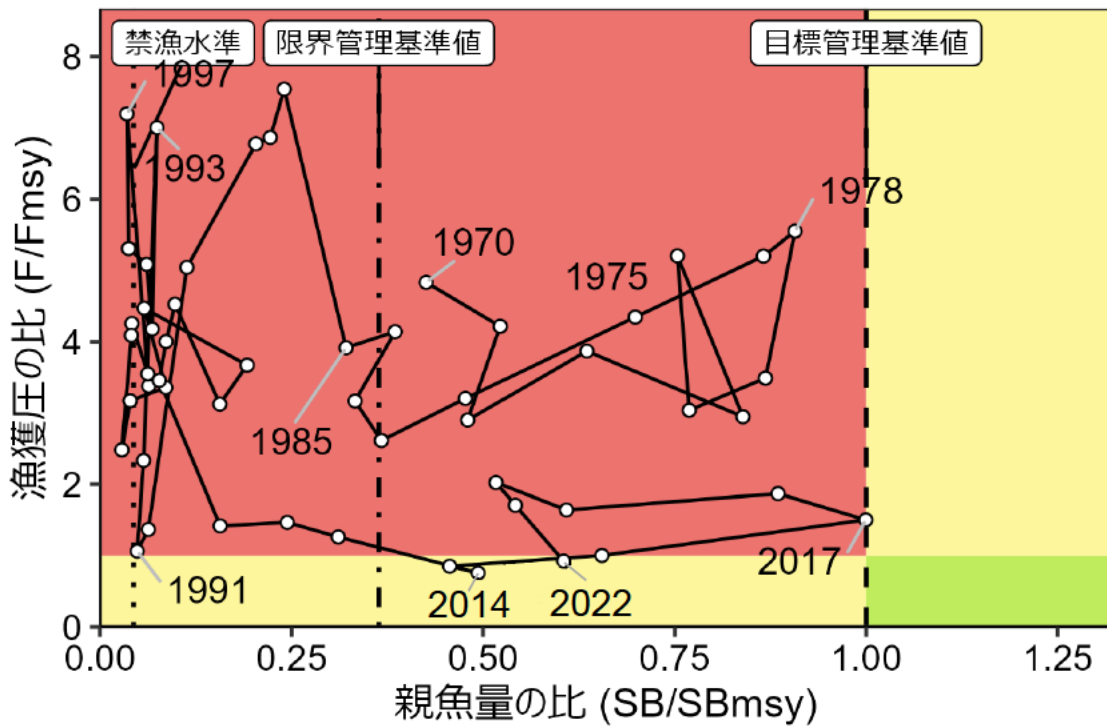
参画機関：北海道立総合研究機構釧路水産試験場・函館水産試験場、地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産海洋研究センター、茨城県水産試験場、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター、静岡県水産・海洋技術研究所、愛知県水産試験場漁業生産研究所、三重県水産研究所、和歌山県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課、高知県水産試験場、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、宮崎県水産試験場、漁業情報サービスセンター、海洋生物環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

要 約

本系群の資源量について、資源量指標値を考慮したコホート解析により推定した。資源量は、1970年代は300万トン以上の高い水準にあったが、1980年代に200万トン以下に、1990年代に100万トン以下に減少し、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471万トンに急増した。その後、2014年漁期の521万トンをピークに資源量は減少傾向を示し、2022年漁期は385万トンと推定された。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年漁期に急激に増加し、2017年漁期は154万トンと推定された。その後は減少傾向を示し、2022年漁期の親魚量は93万トンと推定された。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2022年漁期の親魚量はこれを下回る。また、本系群の2022年漁期の漁獲圧は、MSYを実現する水準の漁獲圧（ F_{msy} ）をわずかに下回る。親魚量の動向は直近5年間（2018～2022年漁期）の推移から「減少」と判断される。2024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2024年漁期のABCは32.7万トンである。

要 約 図 表



MSY、親魚量の水準と動向、および ABC	
MSY を実現する水準の親魚量	154.5 万トン
2022 年漁期の親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る
2022 年漁期の漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る
2022 年漁期の親魚量の動向	減少
最大持続生産量 (MSY)	37.2 万トン
2024 年漁期の ABC	32.7 万トン
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」で取り纏められ、「水産政策審議会」を経て定められた漁獲シナリオでの漁獲管理規則を用いた。 • 調整係数 β は、0.9 が用いられる。 • ABC は外国船による漁獲も合わせた値。 	

近年の資源量、漁獲量、漁獲圧、および漁獲割合					
漁期年	資源量 (万トン)	親魚量 (万トン)	漁獲量 (万トン)	F/Fmsy	漁獲割合 (%)
2018	364.3	136.7	52.9	1.87	14.5
2019	325.0	94.0	41.7	1.64	12.8
2020	298.2	79.8	44.2	2.02	14.8
2021	343.6	83.7	38.0	1.71	11.1
2022	385.0	93.4	23.6	0.93	6.1
2023	368.9	97.5	45.3	1.28	12.3
2024	358.7	111.2	32.7	0.90	9.1

・2023 年漁期、2024 年漁期の値は将来予測に基づく平均値である。
 ・2024 年漁期の漁獲には ABC の値を用いた。

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 NPFC 漁獲統計
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と寿命の統計的関係(本間ほか 1987)による)

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

2. 生態

(1) 分布・回遊

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

成魚は主に春季(3～6月)に伊豆諸島海域などで産卵したのち北上し、夏～秋季には三陸～北海道沖へ索餌回遊する(目黒ほか 2002、図2-1)。稚魚は春季に本邦太平洋南岸から黒潮続流域、黒潮一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。2022 年漁期の年齢別平均体重は、2011～2014 年漁期の平均値と比べて著しく低く、図 2-2 に併せて示した 1970 年代の資源高水準期と比較しても低い値を示している。近年見られている年齢別平均体重の低下は、マサバ・マイワシの資源量の増加に伴う種内・種間密度の増加による餌料競合が主要因と考えられる（Kamimura et al. 2021）。

(3) 成熟・産卵

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

(4) 被捕食関係

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

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

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た。2019 年以降は再び道東海域での漁獲は低調に推移している。中型まき網は千葉県以西の太平洋沿岸各地で周年操業する。定置網は、太平洋沿岸各地で行われ、三陸沿岸での漁獲が多い。たもすくいおよび棒受網 (火光利用さば漁業) は、伊豆諸島海域を主漁場とし、1～6 月に越冬、産卵で集群する親魚群 (2 歳以上) を主な対象とする。その他、各地で釣りなどでも漁獲される。近年では、中国やロシアの漁船によっても漁獲されている。

(2) 漁獲量の推移

本評価は 7 月～翌年 6 月の漁期年単位で行い、漁獲量等は漁期年で集計した値、資源量等は漁期年当初 (7 月) の値を用いる。漁獲統計では多くの場合、マサバはゴマサバと合わせてさば類として集計されることから、以下の方法でマサバの漁獲量を推定した。生物情報収集調査により得られた北海道太平洋側～宮崎県 (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 (底びき網・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 万トン以下にまで落ち込んだ。1992～2003 年漁期は 4.7 万～39.8 万トンで変動が大きかったが、2004～2008 年漁期は、2004 年漁期の高い加入量によって 17.6 万～24.5 万トンと比較的安定して推移した。その後、2009～2012 年漁期は漁獲努力量の低下やゴマサバの混獲割合の上昇、漁場形成の変化などによって 10.2 万～13.0 万トンとやや減少したが、2013 年漁期の高い加入量によって 2014 年漁期は 28.2 万トンに増加し、2015～2018 年漁期は 30.1 万～33.2 万トンで推移した。2019 年漁期以降は減少し、2021 年漁期は 18.7 万トン、2022 年漁期は

9.5 万トンと急激に減少してきている。この 2021 年漁期以降の漁獲量の急激な減少は、太平洋北部まき網の漁獲量の減少によるところが大きい。ロシアは 1966～1988 年にかけて本系群を漁獲し、1972～1979 年漁期のピーク時の漁獲量は 12.3 万～24.0 万トンであった（図 3-1、表 3-1）。近年、中国およびロシアが北西太平洋公海域およびロシア 200 海里水域内でさば類を漁獲しており、北太平洋漁業委員会（NPFC）に 2014 年以降の漁獲量の報告がある（水産庁水産政策審議会第 82 回資源管理分科会配付資料（2017 年 4 月）：<http://www.jfa.maff.go.jp/j/council/seisaku/kanri/attach/pdf/170406-8.pdf>、および NPFC 漁獲統計：<https://www.npfc.int/summary-footprint-chub-mackerel-fisheries>）。この漁獲量にはマサバとゴマサバが含まれているため、それぞれの比率は、北部太平洋まき網漁業のそれぞれの年の 7～12 月の漁獲物のマサバとゴマサバの比率に等しいと仮定し、中国およびロシアのマサバの漁獲量を推定した（図 3-1、表 3-1）。その結果、マサバの割合は 2014 年が 79.0%、2015 年が 90.8%、2016 年が 98.5%、2017 年が 98.9%、2018 年が 99.5%、2019 年が 99.2%、2020 年が 93.9%、2021 年が 98.6%、2022 年が 87.2%と推定された。なお、NPFC への報告は暦年集計であるが、漁船の動向から公海域の主漁期は 7～10 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。

年齢別漁獲尾数は以下のように推定した。北海道太平洋側～宮崎県の主要港における体長測定データを道県別・月別・漁業種別に集計し、道県別・年別に集計した精密測定データから求めた体長・体重関係を用いて、道県別・月別・漁業種別漁獲量に一致するように引き延ばした。体長測定データが欠測した道県・月・漁業種については、担当者の判断で尤もらしいデータ（他漁業種、前後の月、隣県など）を参照した。一方で、年齢査定結果を静岡県以北と愛知県以西の 2 海域に分けて、4 半期別に集計して Age-Length-Key を作成し、先に求めた道県別・月別・漁業種別体長組成データに充てて年齢別漁獲尾数を求めた。年齢査定結果が欠測した海域・4 半期については、近年の平均的な値を充てた。以上の手法により推定した漁獲物の年齢組成を図 3-2 に示す。資源量が極めて低い水準となった 1990～2004 年漁期は未成魚（0、1 歳魚）が漁獲の主体であり、漁獲物に占める 2 歳以上の割合は低かったが、加入量が高い 2004 年級群の漁獲加入後は 2 歳以上の割合も高くなっている（図 3-2、補足表 2-1）。後述する漁獲努力量の推移にあるとおり、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。2022 年漁期は 1 歳魚（2021 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（以下、「北部まき網」という）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・岡村 2016）。この操業管理は現在も継続して実施されており、それにより 2000 年代後半以降も引き続き、1990 年代のような漁獲圧の過度な増大が抑えられていると考えられる。さらに、2011 年 3 月の

東日本大震災の影響による常磐海域における操業自粛海域の設定や水揚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、2021年漁期以降の有効漁獲努力量の値は再び増加したものの、2022年漁期の値は減少した。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

1970～2022年漁期の年齢別資源量を、7月～翌年6月を漁期とし、Pope (1972) の近似式を用いたチューニングVPA (コホート解析) により推定した (表 4-1、補足資料 1、2、4)。自然死亡係数 (M) は年当たり 0.4 とした (本間ほか 1987)。チューニング指数として親魚量、加入量および 1 歳魚資源尾数の変化を反映すると考えられる 5 系列の指標値を用い、最近年 (2022 年漁期) の漁獲係数 (ターミナル F) を探索的に求めた (補足表 2-2)。

(2) 資源量指標値の推移

太平洋側のサバ属産卵量 (海区 I～III) は、1960 年代と 1970 年代中期にピークがみられ 1 千兆粒に達し、1980 年代後半以降は低い水準で推移していたが、最近では親魚量の増加に伴い増加している (図 4-1、卵稚仔データベース、Oozeki et al. 2007)。2005 年よりゴマサバと区別して推定されるようになったマサバ産卵量は、2005 年の 39 兆粒から 2007 年には 322 兆粒と大きく増加した。その後は増減を繰り返していたが、2017 年は 347 兆粒に増加し、2018 年は 583 兆粒、2019 年は 553 兆粒と、1970 年代に見られた水準にまで増加した。2020 年以降は減少傾向を示し、2023 年 1～6 月は 44 兆粒に急減して、2000 年代並みの低い水準となった。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、2021 年度の資源計算より標準化産卵量を使用している (補足表 2-2、補足資料 4)。図 4-2 に示す各種調査から得られる加入量の指標値は、2004、2007、2009、2013、2016、2018 年に高い値がみられるなど加入量水準を反映しており、2018 年は多くの指標値で最も高い値を示した。2023 年は多くの指標値が 2018 年以降では低い値を示している。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、2019 年漁期の CPUE は高い水準を維持したが、2020 年漁期以降の値は急減しており、2020 年漁期以降の北部まき網の不漁を反映している。

(3) 資源量と漁獲圧の推移

資源量は 1970～1979 年漁期は 300 万～500 万トン程度の高い水準にあったが、1979、1980 年漁期の低い再生産成功率 (RPS) による加入量の減少と高い漁獲圧によって 1980 年漁期

に 193 万トンに減少した（図 4-4、4-6、表 4-1、補足表 2-1）。1981～1986 年漁期は 145 万～182 万トンとおおむね横ばいで推移したが、1987 年漁期以降、低い RPS による加入量の減少と高い漁獲圧によってさらに減少し、1990 年漁期には 21.5 万トンとなった。1992、1996 年漁期の高い加入量による資源量の増加と、高い漁獲圧による減少を繰り返し、2001 年漁期に過去最低の 15.3 万トンに落ち込んだ。2004 年漁期以降は 2004 年漁期の高い加入量と漁獲圧の低下により 2000 年代初めの最低水準を脱して増加し、2013 年漁期の極めて高い加入量によってさらに急増し、2013 年漁期は 471 万トンとなった。その後、2014 年漁期の 521 万トンをピークに資源量は減少傾向を示し、2022 年漁期は 385 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 2016 年漁期に急激に増加し、2017 年漁期は 154 万トンと推定された。その後は減少傾向を示し、2022 年漁期の親魚量は 93 万トンと推定された。2013 年漁期以降は、ふ化仔魚の生残率を高める一因となる 4 歳以上の経産高齢親魚（米田ほか 2013）の量も増加している（図 4-5）。

親魚量が 45 万トン以上であった 1970～1985 年漁期および 2013～2022 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（2022）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 77%および 132%、親魚量は 87%および 109%、加入量は 68%および 153%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 16～36%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 5～15%と低い水準で推移している。

平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（西嶋ほか 2019）、

2019～2022 年度評価（由上ほか 2020、2021、2022、2023）における各種推定値との比較を補足資料 7 にまとめた。

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

選択率の影響を考慮して漁獲圧を比較するため、加入量あたり親魚量（SPR）を基準に、その漁獲圧が無かった場合との比較を行った。図 4-10 に年ごとに漁獲が無かったと仮定した場合の SPR に対する、漁獲があった場合の SPR の割合（%SPR）の推移を示す。%SPR は漁獲圧が低いほど大きい値をとる。%SPR の値は 1993～1997 年漁期に極めて小さな値を示し、この期間に未成魚への漁獲圧が高かった様子が見てとれる。2011 年漁期以降は 33～61% 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（F2020-2022）は Fmsy を上回り、F0.1 および F30%SPR を下回っている。

(5) 再生産関係

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

(6) 現在の環境下において MSY を実現する水準および管理基準値等

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

(7) 資源の水準・動向および漁獲圧の水準

MSY を実現する親魚量と漁獲圧を基準にした神戸プロットを図 4-14 に示す。また、2022 年の親魚量と漁獲圧、それらの値と管理基準値との比較結果を補足表 3-3 に示す。本系群における 2022 年漁期の親魚量（93 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)を下回り、MSYの60%の漁獲量が得られる親魚量(SB0.6msyすなわち限界管理基準値)を上回る。2022年漁期の親魚量はSBmsyの0.60倍である。また、2022年漁期の漁獲圧はMSYを実現する漁獲圧(Fmsy)をわずかに下回っており、2022年漁期の漁獲圧はFmsyの0.93倍である。なお、神戸プロットに示した漁獲圧の比(F/Fmsy)とは、各年のFの選択率の下でFmsyの漁獲圧を与えるFを%SPR換算して求めた値と、各年のF値との比である。親魚量の動向は、直近5年間(2018~2022年漁期)の推移から減少と判断される。本系群の親魚量は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、2015年漁期はFmsyをわずかに下回っていた。その後の漁獲圧はやや高くなり、2016~2021年漁期はFmsyを上回っていたが、2022年漁期の漁獲圧は減少し、Fmsyをわずかに下回っている。

5. 将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した2022年漁期の資源量から、コホート解析の前進法を用いて2023~2051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。2023年漁期の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧(F2020-2022)から仮定した。2024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) 2024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2024年漁期の予測漁獲量である32.7万トンをABCとして提示する。2024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を上回り、平均111.2万トンと見込まれた。

(4) 2025年漁期以降の予測

2025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178.8万トン(90%予測区間は66.9万~385.1万トン)であり、予測値が目標管理基準値を上回る確率は48%、限界管理基準値を上回る確率は98%である(補足表3-5)。

参考情報として、2024年漁期以降に異なる β を使用した場合、および現状の漁獲圧(F2020-2022)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170.7万トン(90%予測区間は62.3万~370.2万トン)であり、目

標管理基準値を上回る確率は44%、限界管理基準値を上回る確率は97%である。 β を0.8とした場合は平均187.5万トン(90%予測区間は72.0万~399.3万トン)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150.2万トン(90%予測区間は50.8万~332.0万トン)であり目標管理基準値を上回る確率は35%、限界管理基準値を上回る確率は93%である。

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471万トンに急増した。その後、2014年漁期の521万トンをピークに資源量は減少傾向を示し、2022年漁期は385万トンと推定された。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年漁期に急激に増加し、2017年漁期は154万トンと推定された。その後は減少傾向を示し、2022年漁期の親魚量は93万トンと推定された。

1970年漁期以降、すべての期間において親魚量はMSYを実現する水準(SBmsy)を下回っている。また、漁獲圧は1970年漁期以降では2014、2015年漁期を除いてMSYを与える水準(Fmsy)を上回っていたが、2022年漁期の漁獲圧はFmsyをわずかに下回っている。親魚量の動向は近年5年間(2018~2022年漁期)の推移から「減少」と判断される。

7. その他

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

また、NPFCのマサバ資源評価技術作業部会において本系群の国際的な資源評価が進められている。シミュレーションを用いて、参加国が候補として提案する様々な資源評価モデルの推定性能を評価・比較した結果、状態空間資源評価モデル(SAM)が採択された(North Pacific Fisheries Commission 2023)。令和5(2023)年度マサバ太平洋系群の資源評価の参考資料(暫定的な状態空間資源評価モデルによる試算結果)(FRA-SA2023-SC12-103. 由上ほか2024)にSAMによる試算結果を示す。今後は各国のデータが共有され、NPFCによる資源評価・資源管理が進められる予定である。

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6)。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の漁獲量は考慮できていない。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漁獲圧の低減が望ましい。

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、米田ほか 2013、Yoneda et al. 2022) 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、Yoneda et al. 2022)。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卵の産卵は、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
- 西嶋翔太・由上龍嗣・上村泰洋・井須小羊子・古市 生・渡部亮介・東口胤成 (2024) 令和 5 (2023) 年度マサバ太平洋系群の資源評価の参考資料 (暫定的な状態空間資源評価モデルによる試算結果). FRA-SA2023-SC12-103. 水産研究・教育機構, 横浜, 8pp.
- North Pacific Fisheries Commission (2023) 7th Meeting of the Technical Working Group on Chub Mackerel Stock Assessment Report. NPFC2023-TWG CMSA07-Final Report. 53 pp. <https://www.npfc.int/sites/default/files/2023-10/TWG%20CMSA07%20Report.pdf>
- 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 (魚種交替のシテシスー気候変動による海洋生態系・浮魚資源変動機構およびその科学的理解に基づく社会への貢献) 要旨集, 10.
- Yoneda, M., H. Kitano, M. Nyuji, M. Nakamura, M. Takahashi, A. Kawabata, M. Matsuyama, A. Shimizu, T. Tsuzaki, H. Togashi and Y. Kamimura (2022) Maternal spawning experience and thermal effects on offspring viability of chub mackerel and their influence on reproductive success. Front. Mar. Sci., **23**, 1063468.
- 米田道夫・北野 載・S.Selvaraj・入路光雄・川村耕平・松山倫也・清水昭男 (2010) マサバ 2 歳魚の卵サイズの変化が仔魚の成長と生残に及ぼす影響. 2010 年度水産海洋学会大会講演要旨集, 47.
- 由上龍嗣・西嶋翔太・井須小羊子・上村泰洋・古市 生・渡部亮介 (2020) 令和元 (2019) 年度マサバ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 48pp, <http://abchan.fra.go.jp/>.
- 由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・古市 生・井須小羊子・渡部亮介 (2021) 令和 2 (2020) 年度マサバ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 53pp, <http://abchan.fra.go.jp/>.
- 由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・古市 生・渡部亮介 (2022) 令和 3 (2021) 年度マサバ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 56pp, <http://abchan.fra.go.jp/>.
- 由上龍嗣・西嶋翔太・上村泰洋・古市 生・渡部亮介 (2023) 令和 4 (2022) 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, 79pp, <http://abchan.fra.go.jp/>.

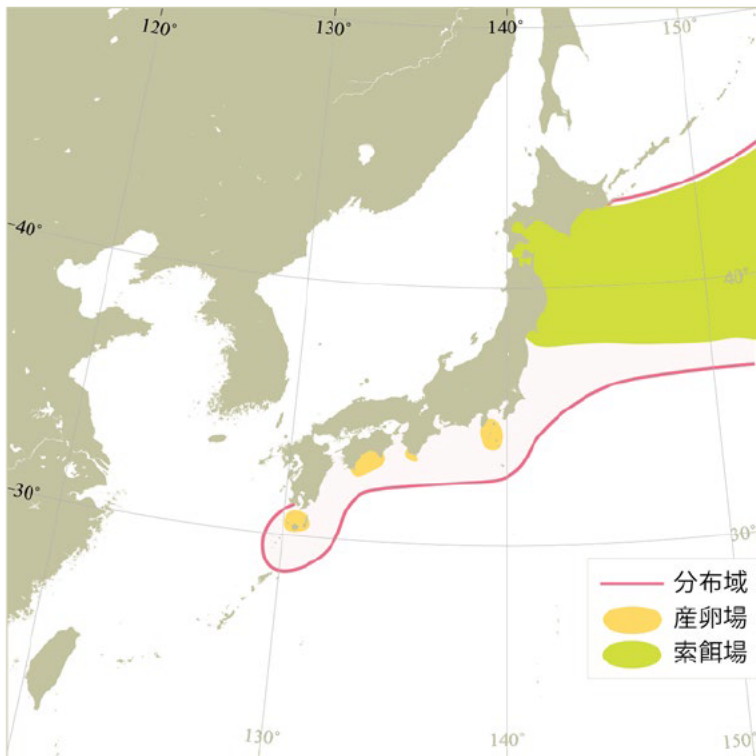


図 2-1. マサバ太平洋系群の分布・回遊図

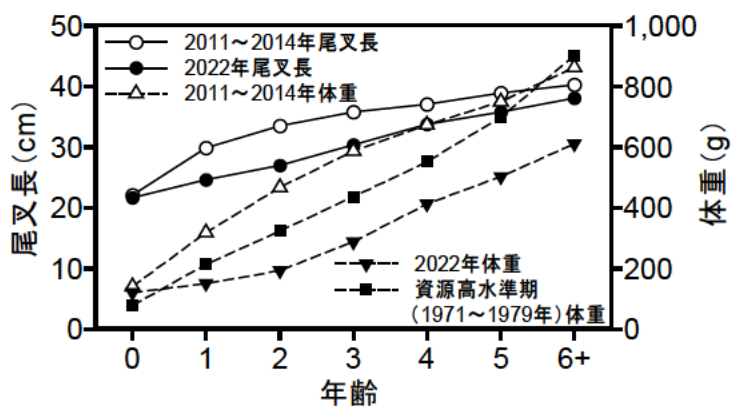


図 2-2. 年齢と成長（漁獲物の平均）

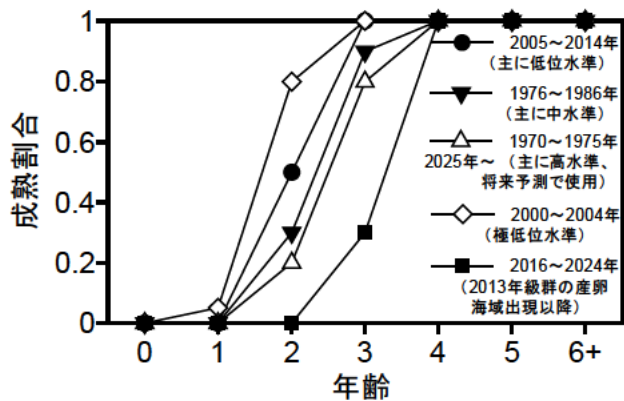


図 2-3. 年齢と成熟割合

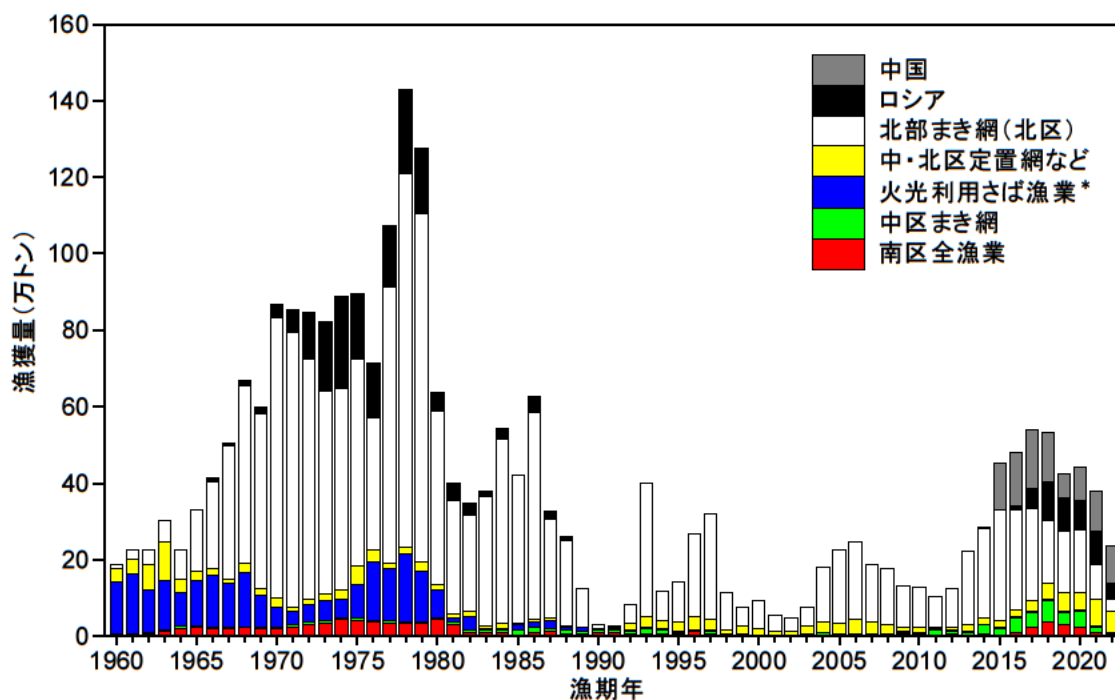


図 3-1. 漁業種類別漁獲量の推移

*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。

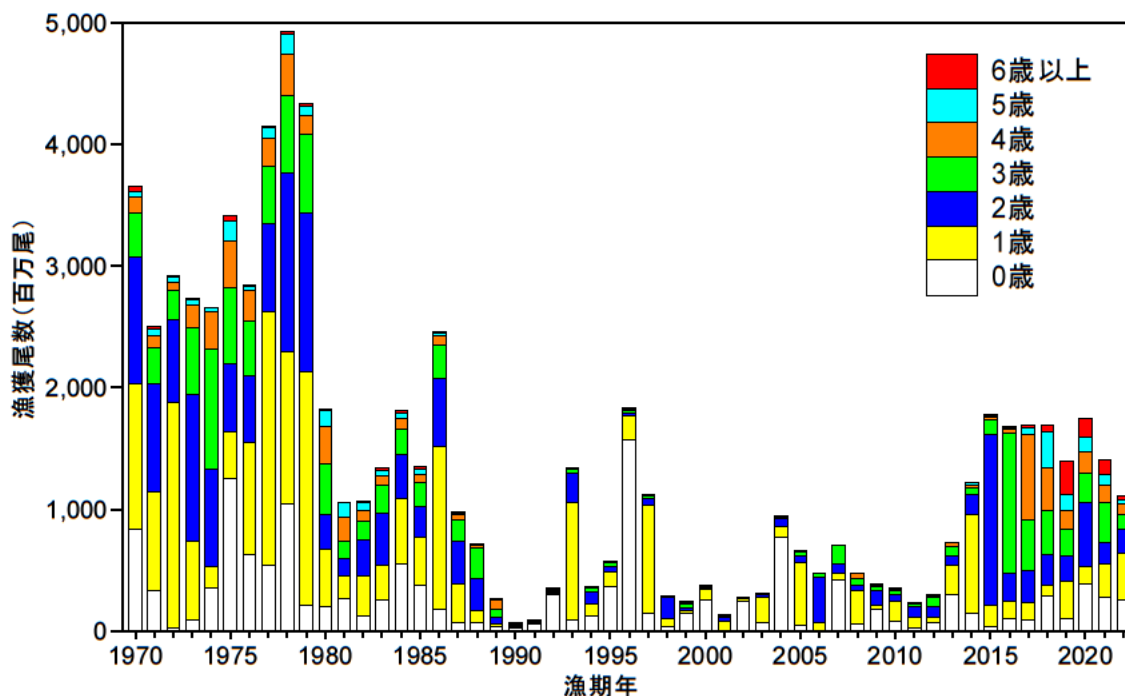


図 3-2. 年齢別漁獲尾数

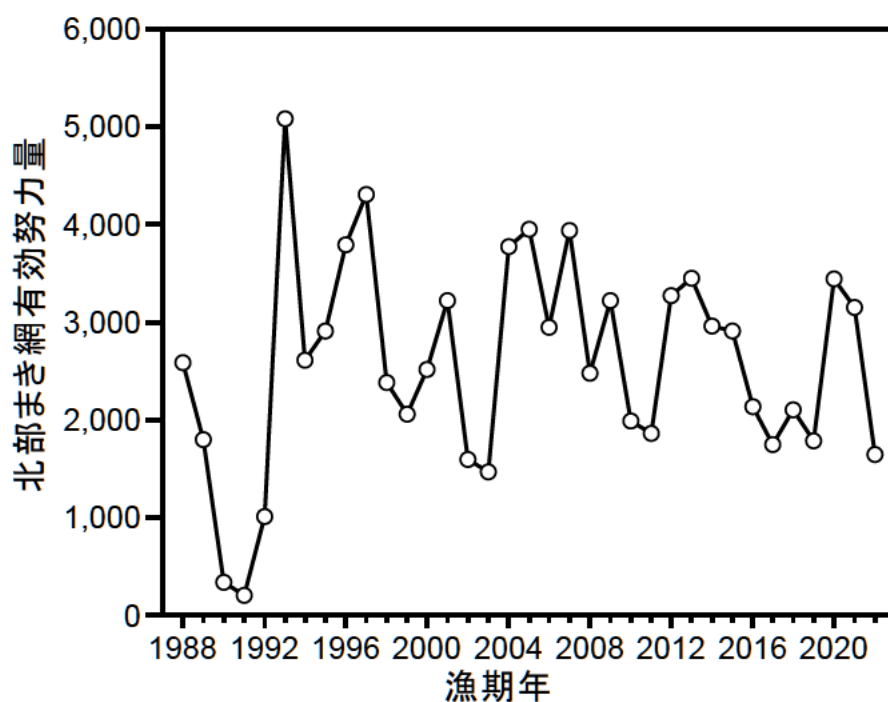


図 3-3. 北部まき網のさば類に対する有効努力量（JAFIC 資料。補足資料 5）

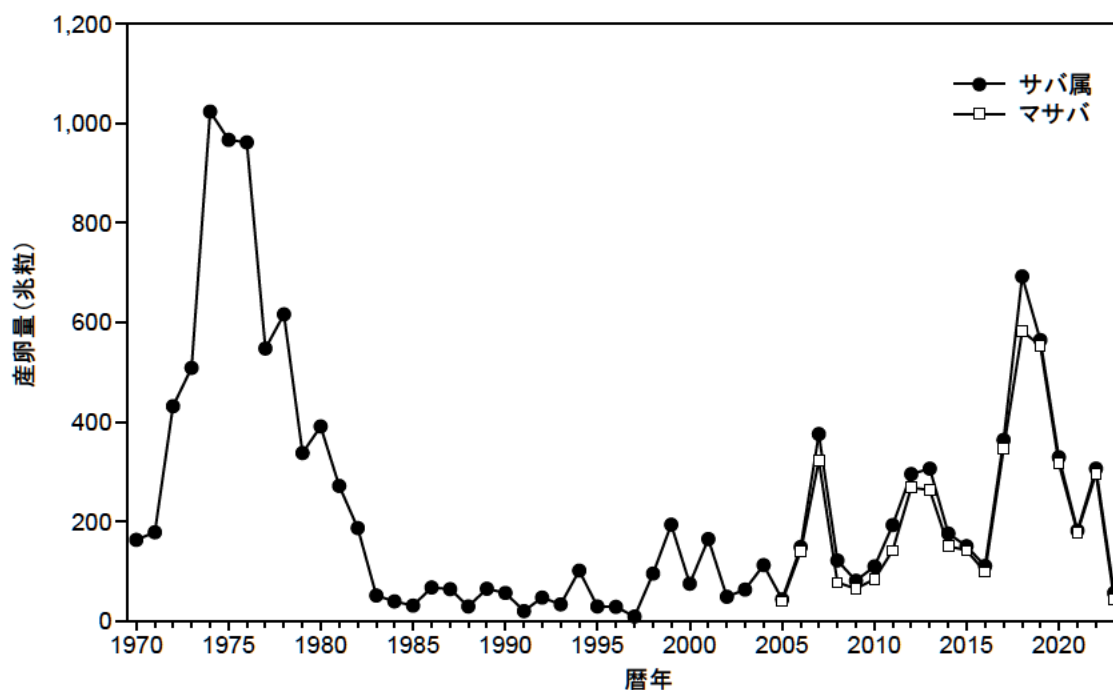


図 4-1. 本邦太平洋側におけるサバ属の産卵量

2005 年以降はマサバを分けて示した。2023 年は 1～6 月までの値。

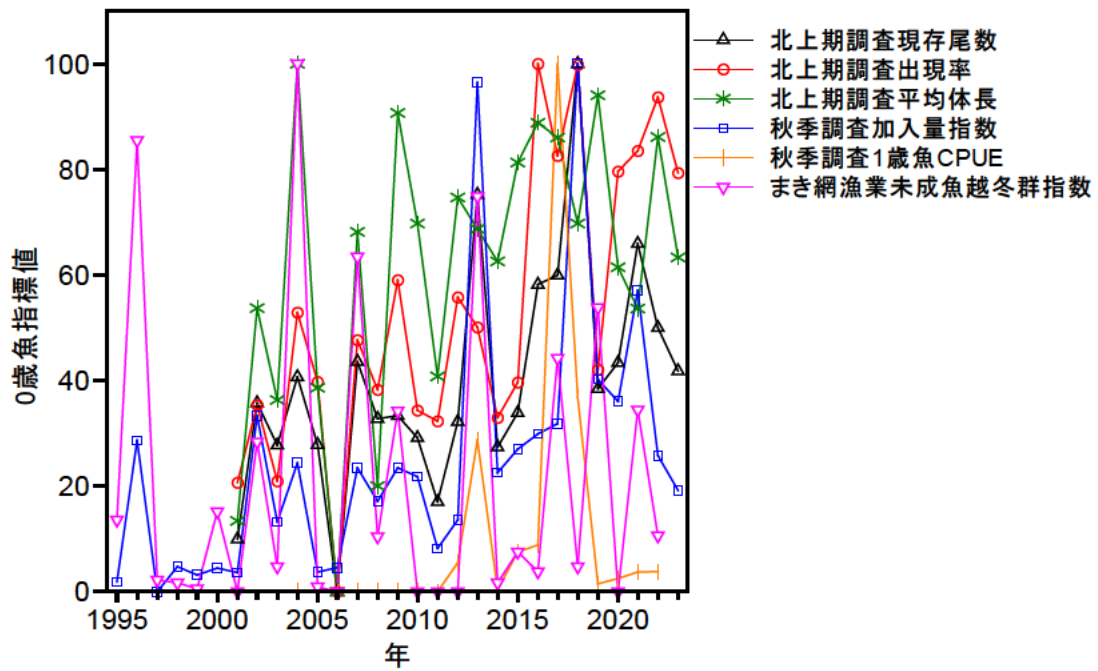


図 4-2. 各種調査（補足資料 5）による加入量の指標値の推移

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

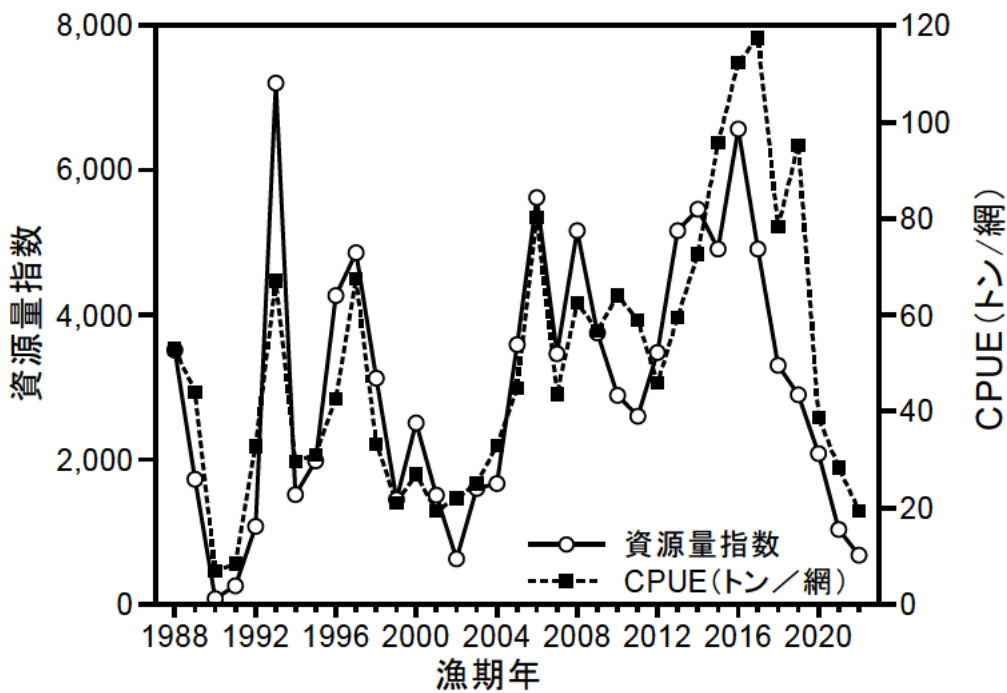


図 4-3. 北部まき網のさば類 CPUE と資源量指数の推移（JAFIC 資料。補足資料 5）

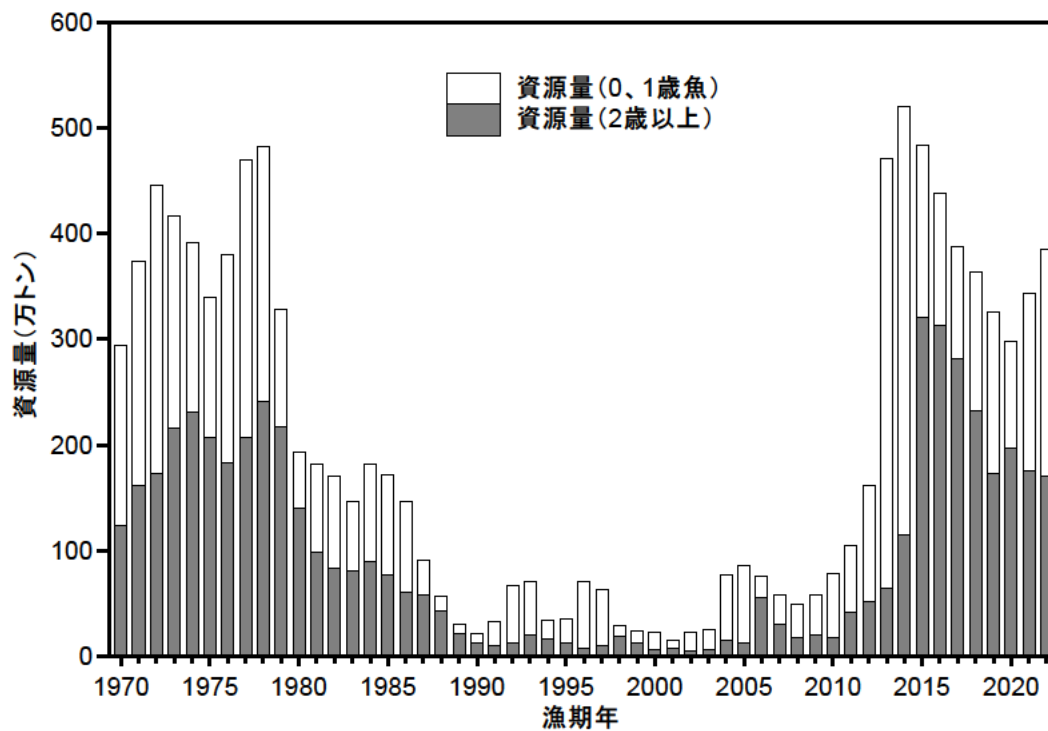


図 4-4. 資源量の推移

資源量の棒グラフは0、1歳魚と2歳以上に分けて図示。

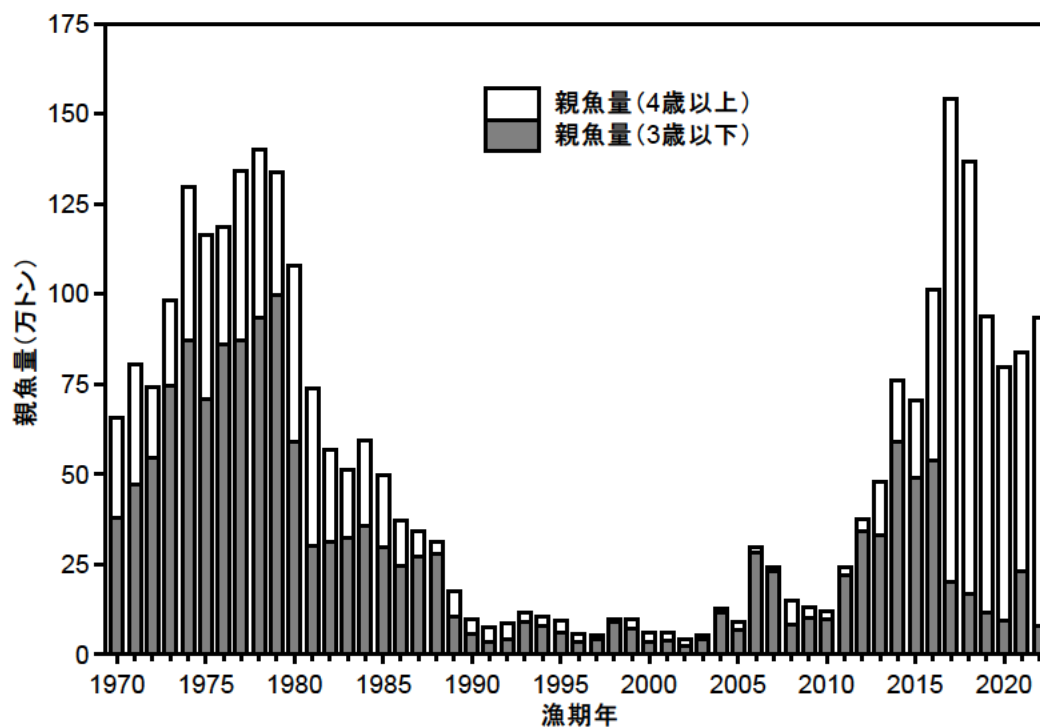


図 4-5. 親魚量の推移

親魚量の棒グラフは3歳以下と4歳以上に分けて図示。

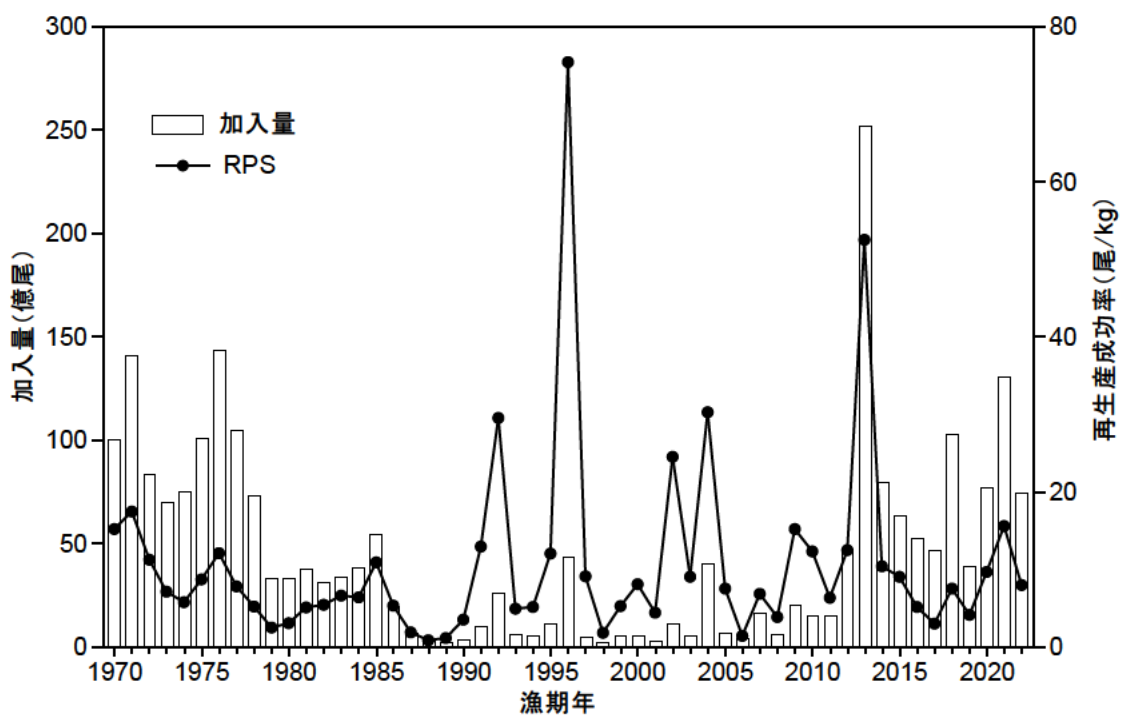


図 4-6. 加入量と再生産成功率 (RPS) の推移

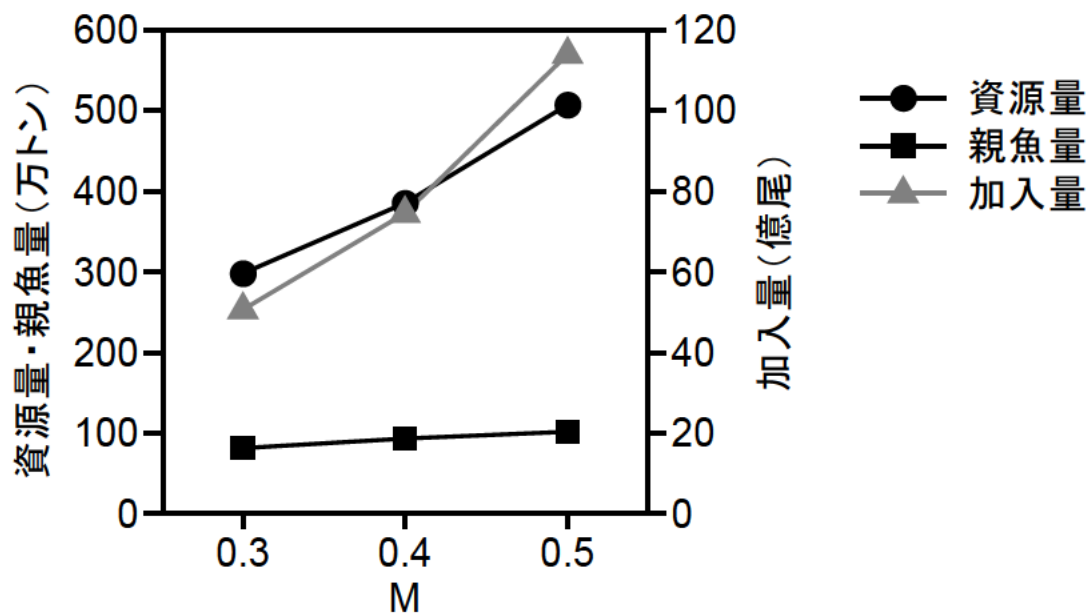


図 4-7. 自然死亡係数 (M) の違いによる 2022 年漁期の資源量、親魚量および加入量

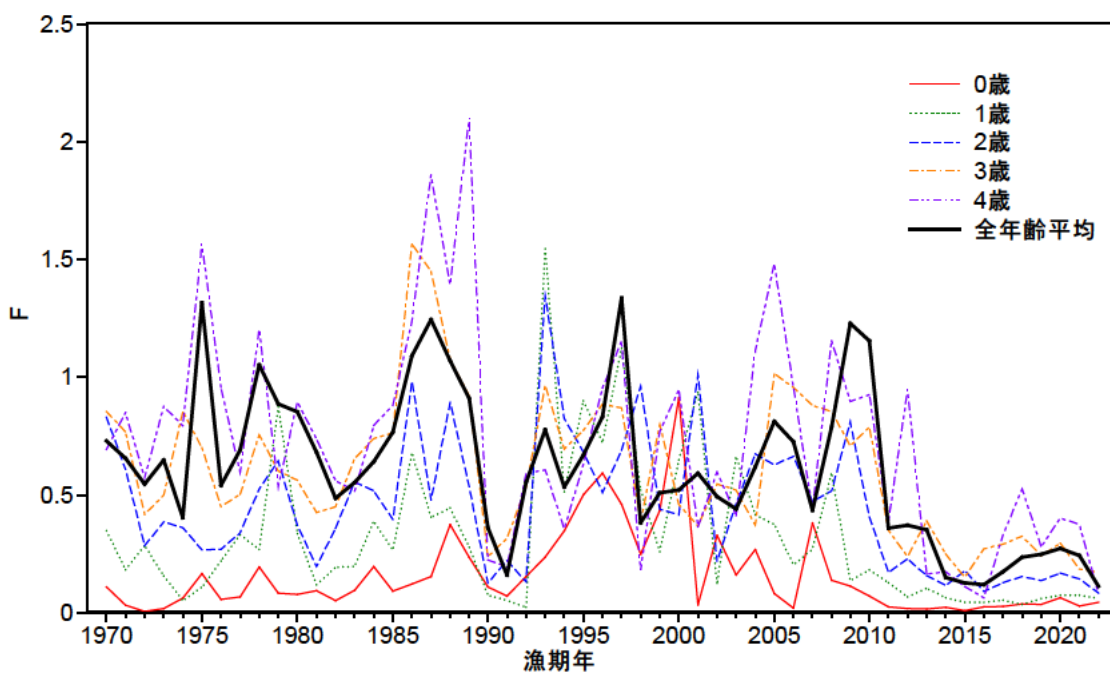


図 4-8. 年齢別漁獲係数 F の推移

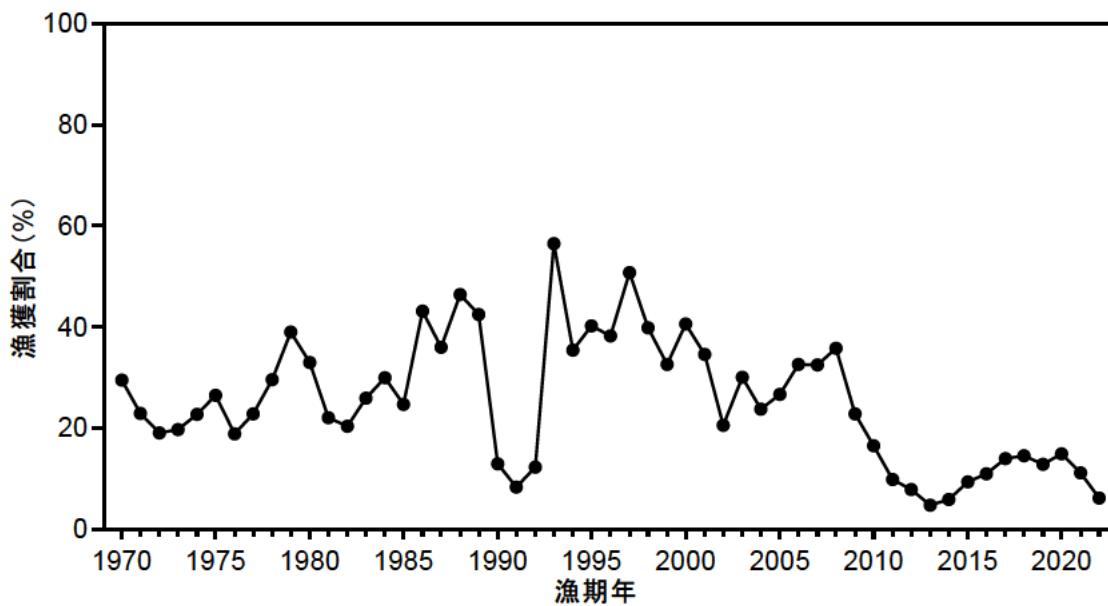


図 4-9. 漁獲割合の推移

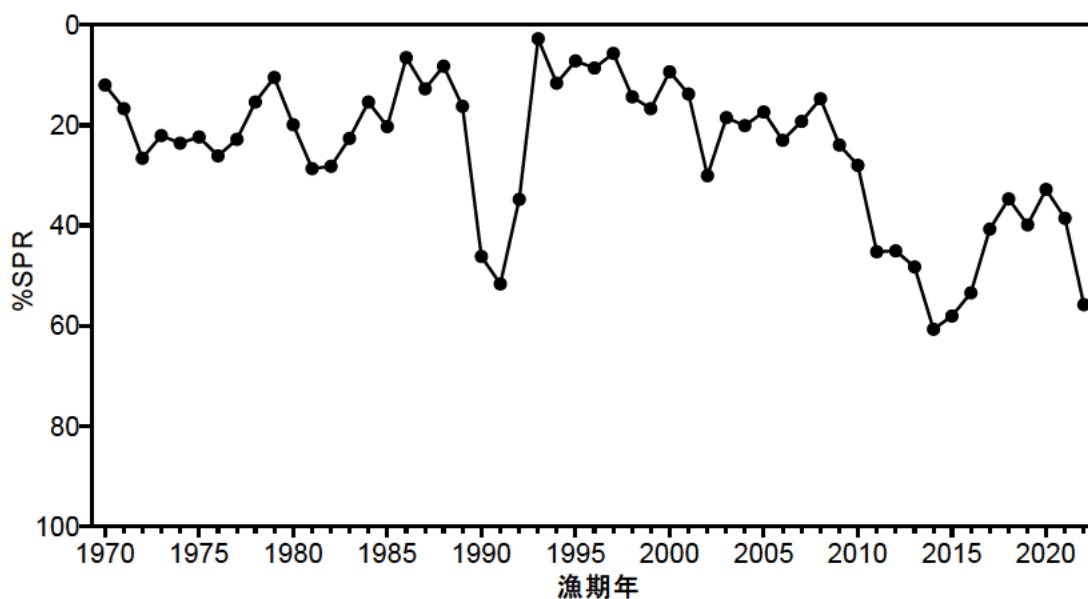


図 4-10. 各漁期年における%SPR 値の推移

%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。

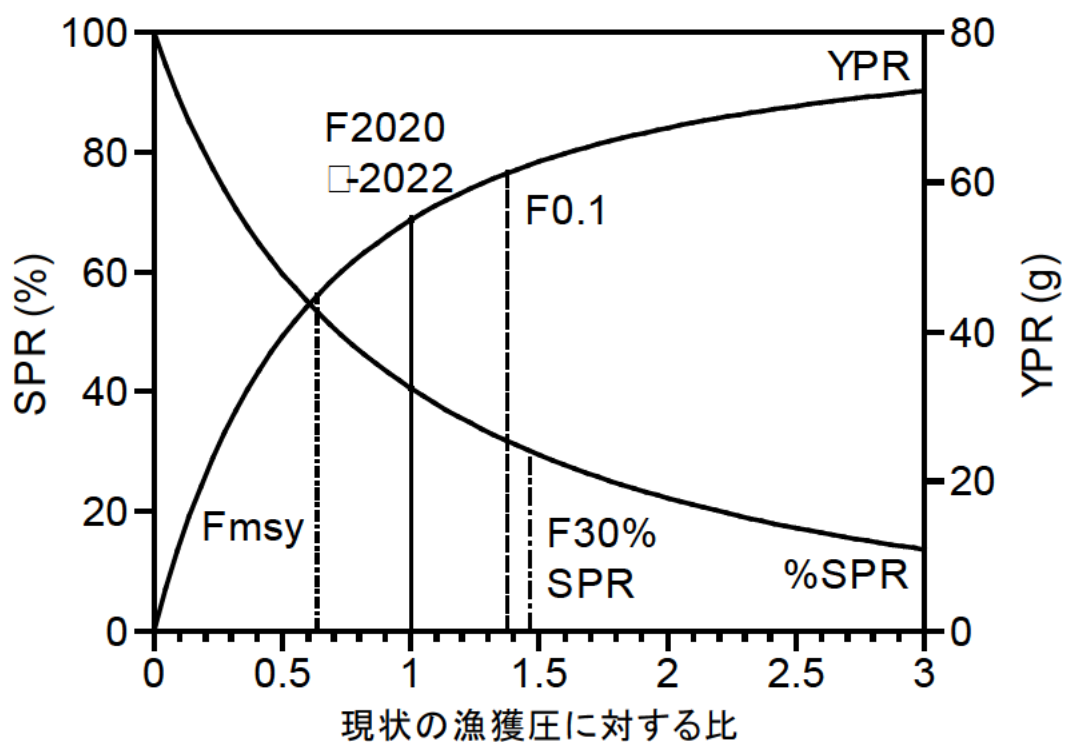
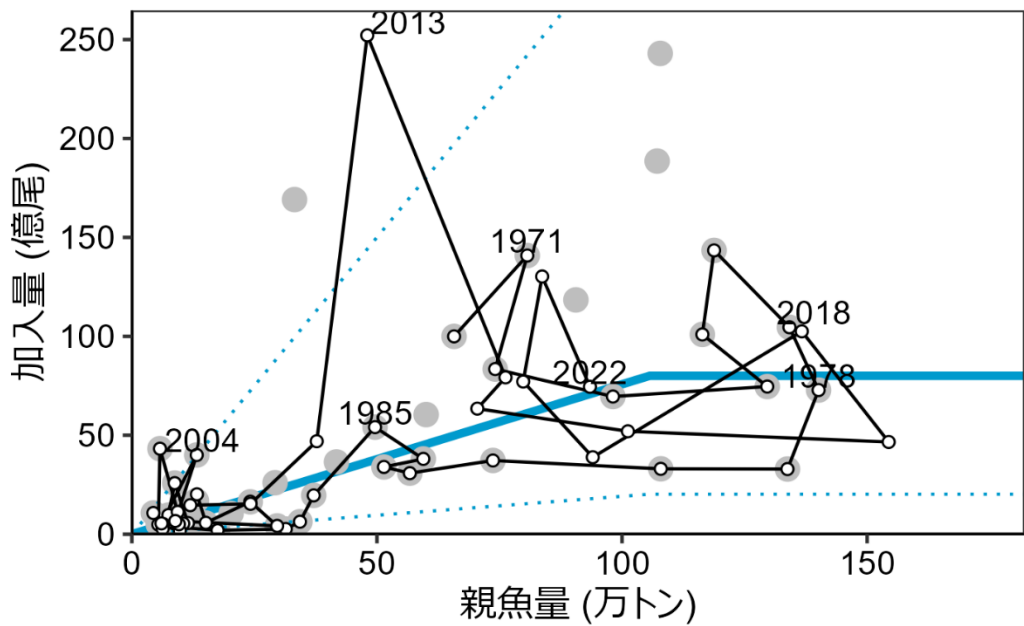


図 4-11. 現状の漁獲圧（F2020-2022）に対する YPR と%SPR の関係



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

図 4-12. 親魚量と加入量の関係 (再生産関係)

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

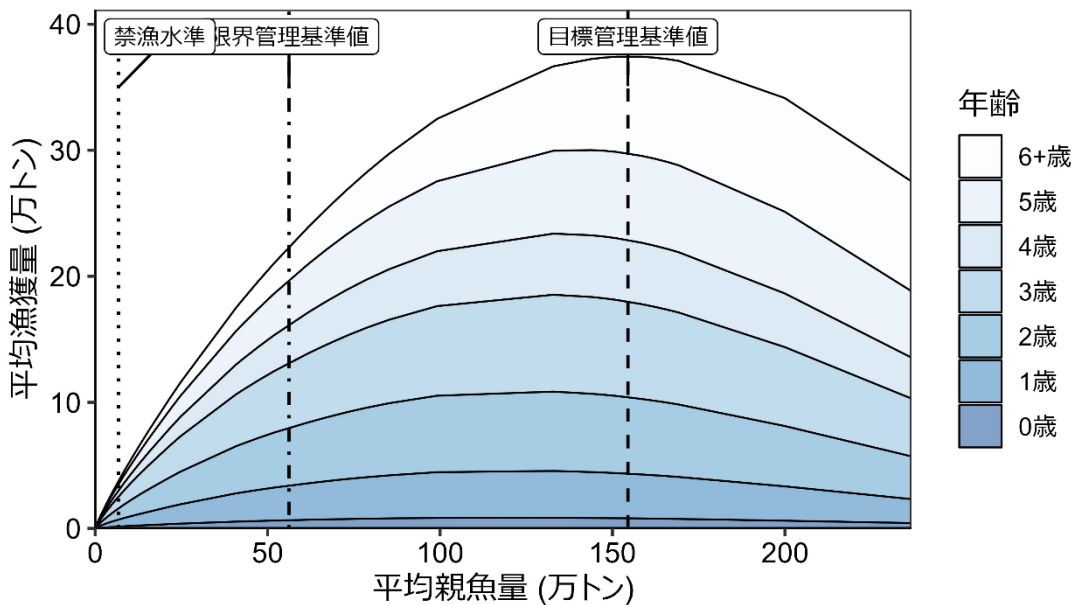


図 4-13. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線

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

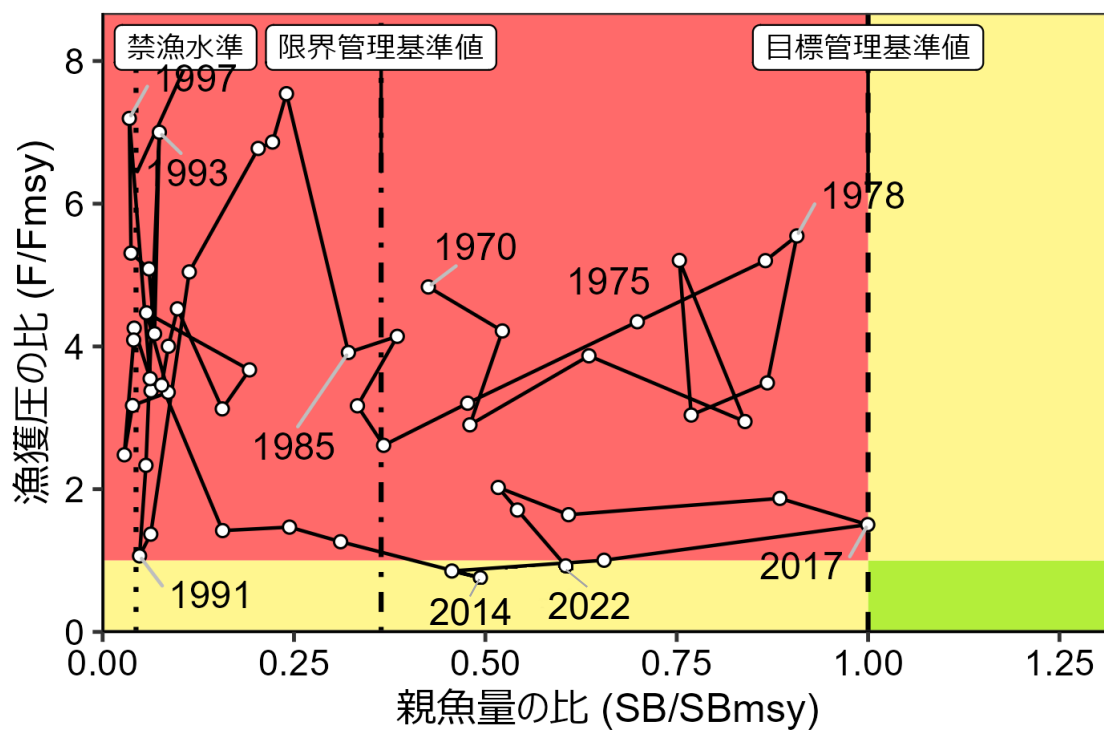
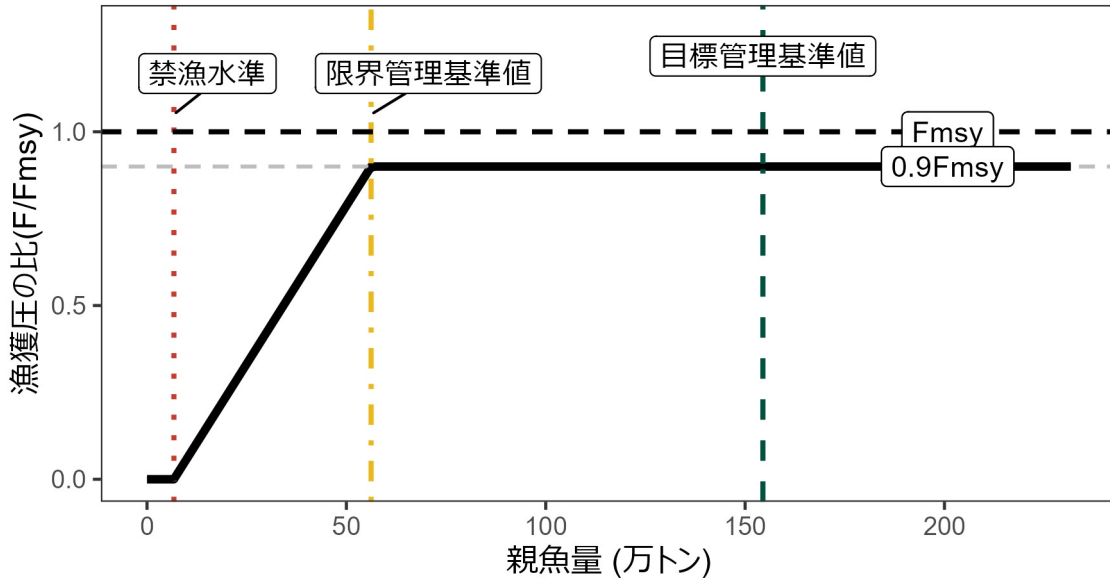


図 4-14. 最大持続生産量MSYを実現する親魚量(SBmsy)とMSYを実現する漁獲圧(Fmsy)に対する、過去の親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

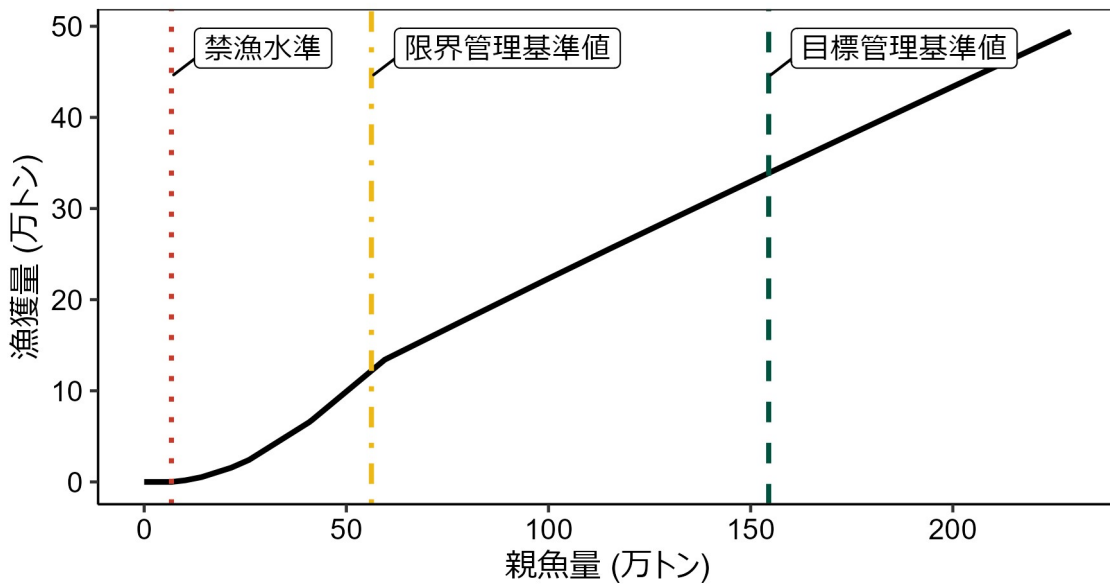
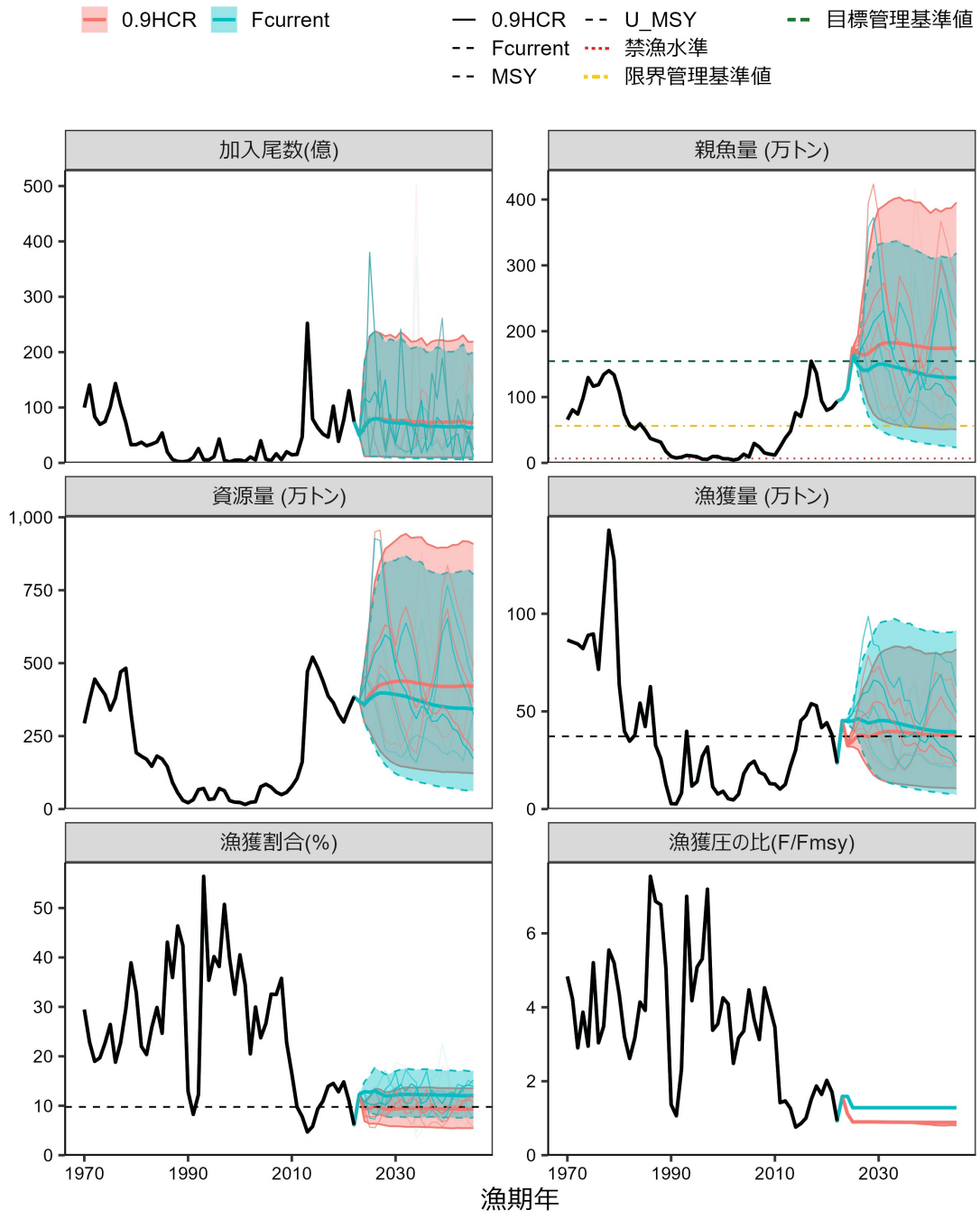


図 5-1. 漁獲管理規則 ($\beta=0.9$ の場合)

目標管理基準値 (SBtarget) は HS 型再生産関係に基づき算出した SBmsy 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、赤点線 : 禁漁水準、黄色鎖線 : 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 (F2020-2022) で漁獲を続けた場合の将来予測 (青色)
 太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値、黄鎖線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準を示す。漁獲量の図の破線は MSY、漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2023 年漁期の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2020-2022) により仮定した。

表 3-1. 漁業種類・海区别漁獲量（トン）

漁期年 7月～ 翌年6月	合計	日本 合計	ロシア	中国	太平洋北・中区				南区 全漁業
					北区 まき網	定置網 等	火光利用 さば漁業*	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	16,018	2,766	7,730	2,581
2014	301,802	282,318	36	19,449	233,560	17,620	2,939	23,936	4,263
2015	452,584	329,777	423	122,384	289,416	17,294	4,506	15,689	2,872
2016	479,957	330,043	9,101	140,812	262,463	18,122	1,605	39,720	8,133
2017	539,260	332,271	53,135	153,854	240,934	27,124	2,910	37,531	23,771
2018	529,014	300,773	98,373	129,868	165,742	39,197	3,805	54,727	37,302
2019	416,686	266,835	85,912	63,940	158,584	42,369	4,313	33,724	27,844
2020	442,188	279,005	76,395	86,788	164,757	45,043	3,287	43,120	22,797
2021	380,086	187,098	86,197	106,791	92,650	69,842	1,378	14,850	8,378
2022	235,589	95,340	43,531	96,718	28,767	58,036	559	2,817	5,161

2014年漁期以降のロシアおよび中国の漁獲量は推定値。

*火光利用さば漁業：棒受網、たもすくい。

表 4-1. コホート計算結果

漁期年	漁獲量 (万トン)	資源量 (万トン)	親魚量 (万トン)	加入量 (億尾)	再生産成功率 (尾/kg)	漁獲割合 (%)	%SPR	F/Fmsy
1970	86.5	293.8	65.7	99.98	15.2	29.5	12.09	4.83
1971	85.5	373.7	80.7	140.84	17.5	22.9	16.77	4.22
1972	84.5	445.4	74.1	83.45	11.3	19.0	26.59	2.90
1973	82.2	417.1	98.1	69.58	7.1	19.7	22.11	3.87
1974	88.9	391.7	129.6	74.62	5.8	22.7	23.66	2.95
1975	89.7	339.1	116.4	100.95	8.7	26.4	22.42	5.21
1976	71.5	380.3	118.8	143.44	12.1	18.8	26.13	3.04
1977	107.1	469.9	134.1	104.60	7.8	22.8	22.86	3.49
1978	142.8	482.6	140.1	72.83	5.2	29.6	15.46	5.55
1979	127.5	327.6	133.7	32.91	2.5	38.9	10.53	5.20
1980	63.7	193.2	107.9	33.02	3.1	33.0	19.92	4.35
1981	39.8	181.0	73.7	37.25	5.1	22.0	28.67	3.20
1982	34.7	170.6	56.7	30.84	5.4	20.4	28.22	2.61
1983	37.8	146.4	51.4	33.97	6.6	25.8	22.71	3.17
1984	54.3	181.6	59.5	38.05	6.4	29.9	15.41	4.14
1985	42.2	171.3	49.6	54.10	10.9	24.7	20.35	3.92
1986	62.7	145.5	37.1	19.62	5.3	43.1	6.54	7.54
1987	32.7	90.9	34.3	6.30	1.8	35.9	12.79	6.86
1988	25.9	55.8	31.4	2.63	0.8	46.4	8.32	6.77
1989	12.5	29.5	17.5	1.99	1.1	42.4	16.27	5.04
1990	2.8	21.5	9.7	3.42	3.5	12.9	46.24	1.37
1991	2.6	32.0	7.4	9.65	13.0	8.2	51.66	1.06
1992	8.1	66.5	8.7	25.81	29.5	12.3	34.84	2.33
1993	39.8	70.5	11.4	5.65	4.9	56.4	2.80	7.00
1994	11.7	33.2	10.5	5.36	5.1	35.4	11.66	4.18
1995	14.1	35.0	9.4	11.26	12.0	40.2	7.28	5.09
1996	26.9	70.5	5.7	43.21	75.4	38.2	8.62	5.31
1997	31.8	62.8	5.4	4.89	9.1	50.7	5.71	7.20
1998	11.5	28.8	9.8	1.76	1.8	39.8	14.44	3.38
1999	7.7	23.5	9.6	5.04	5.3	32.6	16.74	3.55
2000	9.1	22.5	6.4	5.14	8.1	40.5	9.44	4.26
2001	5.3	15.3	6.3	2.76	4.4	34.5	13.79	4.09
2002	4.7	22.8	4.4	10.71	24.5	20.5	30.07	2.48
2003	7.6	25.2	6.0	5.45	9.0	30.0	18.53	3.17
2004	18.1	76.3	13.2	40.01	30.2	23.7	20.17	3.36
2005	22.6	84.9	8.9	6.66	7.5	26.6	17.36	4.47
2006	24.5	75.3	29.6	4.19	1.4	32.6	23.08	3.67
2007	18.8	58.0	24.1	16.42	6.8	32.5	19.24	3.12
2008	17.6	49.3	15.1	5.76	3.8	35.8	14.75	4.53
2009	13.0	57.2	13.3	20.17	15.2	22.8	24.01	4.00
2010	12.8	77.6	11.9	14.65	12.3	16.5	28.06	3.46
2011	10.2	104.5	24.2	15.34	6.3	9.8	45.21	1.42
2012	12.6	161.3	37.7	46.96	12.5	7.8	45.05	1.47
2013	22.1	471.2	48.0	252.14	52.5	4.7	48.22	1.26
2014	30.2	520.6	76.2	79.26	10.4	5.8	60.64	0.76
2015	45.3	483.8	70.5	63.46	9.0	9.4	58.03	0.85
2016	48.0	438.7	101.2	52.01	5.1	10.9	53.39	1.00
2017	53.9	387.2	154.4	46.60	3.0	13.9	40.69	1.50
2018	52.9	364.3	136.7	102.53	7.5	14.5	34.69	1.87
2019	41.7	325.0	94.0	38.89	4.1	12.8	39.87	1.64
2020	44.2	298.2	79.8	77.15	9.7	14.8	32.85	2.02
2021	38.0	343.6	83.7	130.26	15.6	11.1	38.56	1.71
2022	23.6	385.0	93.4	74.51	8.0	6.1	55.82	0.93

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

a) 親魚量が目標管理基準値を上回る確率(%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2041	2051
1.0	0	0	100	67	37	37	41	44	46	46	42	42
0.9	0	0	100	98	43	42	45	48	49	50	47	47
0.8	0	0	100	100	51	47	49	51	53	54	52	52
0.7	0	0	100	100	61	53	53	56	58	58	58	57
0.6	0	0	100	100	71	59	58	60	62	63	63	63
0.5	0	0	100	100	84	66	63	65	67	67	69	69
0.4	0	0	100	100	95	74	70	70	71	72	74	74
0.3	0	0	100	100	100	82	76	75	76	77	79	79
0.2	0	0	100	100	100	90	83	81	81	82	84	84
0.1	0	0	100	100	100	97	88	86	86	86	88	89
0.0	0	0	100	100	100	100	94	91	90	90	92	93
F2020-2022	0	0	100	19	24	28	33	35	36	36	30	28

b) 親魚量が限界管理基準値を上回る確率(%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2041	2051
1.0	100	100	100	100	100	100	99	97	96	95	91	90
0.9	100	100	100	100	100	100	100	98	97	96	93	93
0.8	100	100	100	100	100	100	100	99	98	97	95	95
0.7	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98	97	97
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98	98
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99
0.4	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
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	100	100	100	100	100	100	96	93	91	90	80	76

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2020-2022) から予測される 45.3 万トンとし、2024 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2020-2022、 $\beta = 1.28$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則に基づく管理開始から 10 年目となる目標年の値を示す。

表 5-2. 将来の親魚量 (a) および漁獲量 (b) の平均値の推移

a) 親魚量の平均値の推移 (万トン)

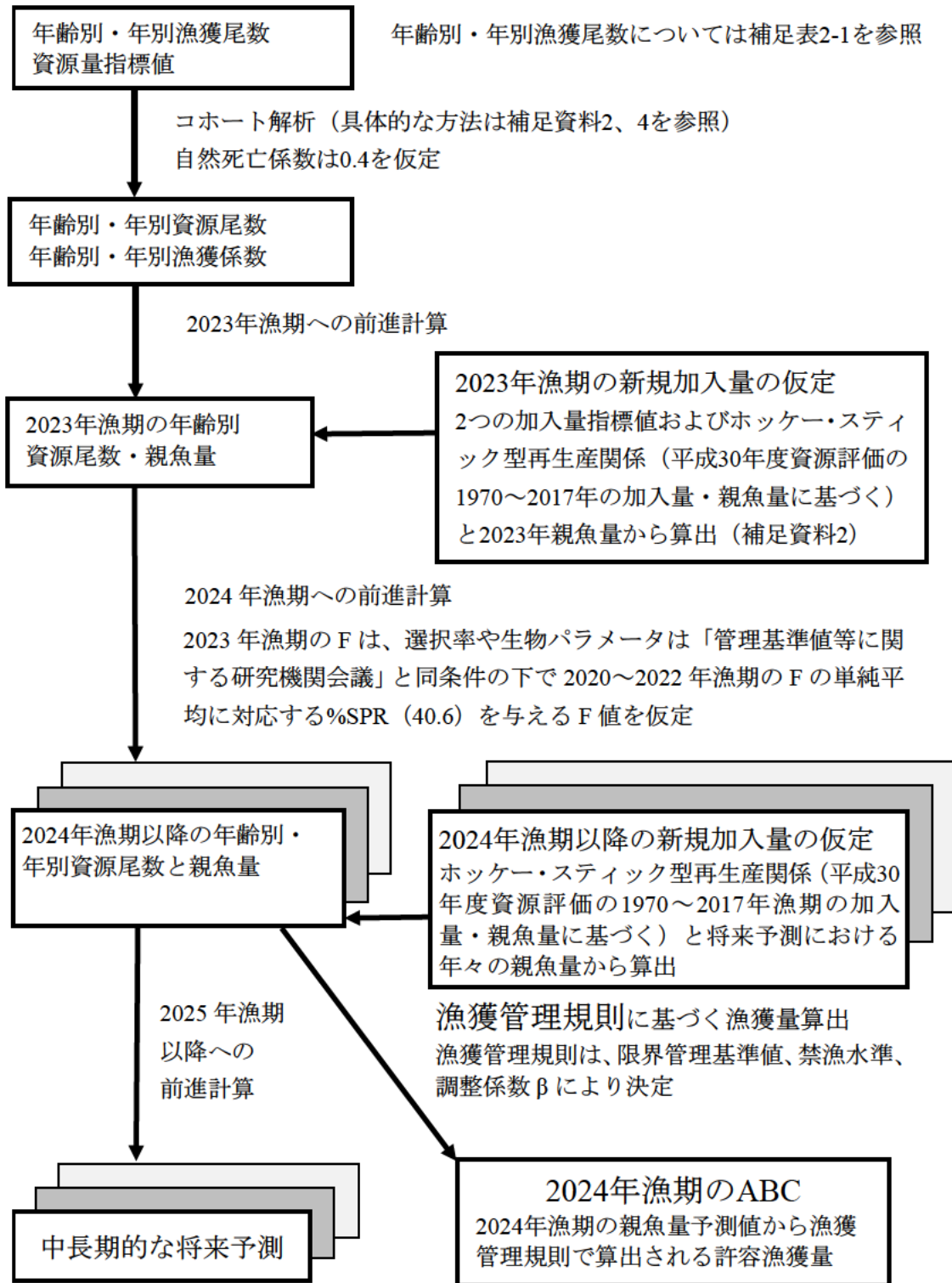
β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2041	2051
1.0	97.5	111.2	171.3	162.0	157.1	158.6	165.0	170.7	173.0	173.2	162.5	163.0
0.9	97.5	111.2	174.3	167.2	163.8	165.8	172.5	178.8	182.0	182.8	173.9	174.9
0.8	97.5	111.2	177.4	172.7	170.8	173.5	180.6	187.5	191.5	193.1	186.2	187.7
0.7	97.5	111.2	180.6	178.5	178.3	181.7	189.4	196.9	201.8	204.2	199.3	201.2
0.6	97.5	111.2	183.8	184.5	186.3	190.7	199.0	207.2	212.9	216.1	213.4	215.8
0.5	97.5	111.2	187.2	190.7	194.7	200.3	209.4	218.4	224.9	229.0	228.7	231.4
0.4	97.5	111.2	190.5	197.2	203.7	210.7	220.8	230.8	238.2	243.0	245.3	248.3
0.3	97.5	111.2	194.0	204.0	213.3	222.0	233.3	244.4	252.8	258.6	263.7	267.0
0.2	97.5	111.2	197.5	211.0	223.6	234.3	247.0	259.4	269.1	275.9	284.2	287.7
0.1	97.5	111.2	201.1	218.4	234.5	247.6	262.1	276.2	287.2	295.3	307.4	311.1
0.0	97.5	111.2	204.8	226.1	246.1	262.0	278.8	294.8	307.7	317.2	334.1	338.1
F2020-2022	97.5	111.2	163.0	148.0	140.3	140.9	146.4	150.2	150.0	148.2	131.2	126.6

b) 漁獲量の平均値の推移 (万トン)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2041	2051
1.0	45.3	35.9	37.8	40.2	40.0	39.1	39.8	40.9	41.4	41.5	39.0	39.1
0.9	45.3	32.7	34.9	37.7	37.7	37.0	37.7	38.9	39.6	39.8	37.9	38.1
0.8	45.3	29.3	31.8	34.8	35.2	34.6	35.4	36.6	37.3	37.7	36.4	36.6
0.7	45.3	25.9	28.6	31.8	32.4	32.0	32.7	33.9	34.7	35.1	34.4	34.7
0.6	45.3	22.4	25.2	28.4	29.2	29.0	29.7	30.9	31.7	32.2	31.8	32.2
0.5	45.3	18.9	21.6	24.7	25.7	25.6	26.3	27.4	28.2	28.7	28.7	29.0
0.4	45.3	15.3	17.7	20.6	21.7	21.7	22.4	23.4	24.2	24.6	24.9	25.2
0.3	45.3	11.6	13.7	16.1	17.2	17.3	17.9	18.7	19.4	19.9	20.3	20.5
0.2	45.3	7.8	9.4	11.2	12.1	12.3	12.8	13.4	14.0	14.3	14.8	14.9
0.1	45.3	3.9	4.8	5.9	6.4	6.6	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1	8.2
0.0	45.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F2020-2022	45.3	44.8	45.1	46.3	45.2	44.0	44.5	45.2	45.3	45.0	40.0	38.6

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2020-2022) から予測される 45.3 万トンとし、2024 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2020-2022、 $\beta = 1.28$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則に基づく管理開始から 10 年目となる目標年の値を示す。

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。

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

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

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

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 (2022 年) の年齢別資源尾数は最近年の漁獲係数 $F_{a,2022}$ (ターミナル F) を用いて (4) 式より計算した。

$$N_{a,2021} = \frac{C_{a,2022} \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{1 - \exp(-F_{a,2022})} \quad (4)$$

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 ($F_{0,2022} \sim F_{5,2022}$) をチューニングによって探索的に求めた。

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。

$$\text{最小} \quad (1-\lambda) \sum_{k=1}^5 \sum_y \left[\frac{\ln(2\pi\sigma_k^2)}{2} + \frac{\{\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})\}^2}{2\sigma_k^2} \right] + \lambda \sum_{a=0}^5 F_{a,2022}^2 \quad (7)$$

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）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）については 2022 年までの値をチューニングに使用し、2023 年のそれぞれの値は後述の加入量の予測にのみ使用した。また、北上期標準化 CPUE ($k=1$) と秋季標準化 CPUE ($k=2$)、秋季 1 歳魚標準化 CPUE ($k=3$) については、非線形性 ($b_k \neq 1$) と観察誤差が等しいこと ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$) を仮定し、 q_k および σ_k^2 はそれぞれ以下の (8~9) 式で推定した。

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

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

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

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

北上期標準化 CPUE、秋季 0 歳魚標準化 CPUE および秋季 1 歳魚標準化 CPUE における非線形性を表す係数 b_k ($k=1, 2, 3$) をこれまでの資源評価で使用してきた 1.8 で固定した。8 年間の親魚量のレトロスペクティブ・バイアス (Mohn's ρ , Mohn 1999) が最小となる λ の値を 0.005 刻みで探索した結果、 $\lambda = 0.930$ となった。

レトロスペクティブ解析では、親魚量と漁獲死亡係数ではレトロスペクティブ・バイアスは小さかったが、資源量と加入量では過大バイアスが生じていた (補足図 2-1)。また、秋季 0 歳標準化 CPUE では近年の残差が正になることが多い一方で、親魚量の指標であるたもすくい標準化 CPUE と標準化産卵量では近年の残差が負になることが多かった (補足図 2-2)。

(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 (2023 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、ホッケ一・スティック型の再生産関係から、2023年漁期の加入量(R_{2023})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)。2022年漁期の加入量(74.5億尾)と、2022年漁期親魚量(93.4万トン)と再生産関係からの予測値との残差は

$$\varepsilon_{2022} = \ln R_{2022} - \ln[f(a, b, SSB_{2022})] = 0.051 \quad (11)$$

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、2023年漁期の親魚量(97.5万トン)から、再生産関係からの2023年漁期加入量の予測値は

$$\hat{R}_{2023,0} = f(a, b, SSB_{2023}) \times \exp(\rho \times \varepsilon_{2023}) \quad (13)$$

から75.3億尾と予測される。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、2023年漁期加入量の事前分布は

$$\ln(R_{2023}) \sim \text{Normal}(\ln(\hat{R}_{2023,0}), \hat{\sigma}_0^2) \quad (14)$$

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2023年の指標値の尤度は以下の式で与えられる:

$$\ln(I_{k,2023}) \sim \text{Normal}(\ln(\hat{q}_k R_{2023}^{b_k}), \hat{\sigma}_k^2) \quad k=1,2 \quad (15)$$

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2023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)。

$$\ln(\hat{R}_{2023}) = \frac{\hat{w}_0 \ln(\hat{R}_{2023,0}) + \hat{w}_1 \ln(\hat{R}_{2023,1}) + \hat{w}_2 \ln(\hat{R}_{2023,2})}{\hat{w}_0 + \hat{w}_1 + \hat{w}_2} \quad (16)$$

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($\hat{w}_0 = 1.43$, $\hat{w}_1 = \hat{w}_2 = 0.67$)。 $\hat{R}_{2023,k}$ ($k=1,2$)は各指標値から求められる2023年漁期加入量の予測値であり、 $\hat{R}_k = (I_{k,2023}/\hat{q})^{1/b_k}$ で与えられる(北上期標準化CPUEでは59.1億尾、

秋季標準化 CPUE では 17.7 億尾)。(16)式から、重みづけ幾何平均 $\hat{R}_{2023} = 49.9$ 億尾を求め、2023 年漁期の加入量の予測値とした。

2024 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・ステップ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 2024 年漁期までは 2022 年漁期と等しい値を使用し、2025 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 (F2020-2022) は、Fmsy と等しい選択率において推定される %SPR が 2020~2022 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 2022 年漁期の値を使用した。2023 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2020-2022) から予測される 45.3 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	1982
0歳	834	334	29	93	351	1,254	632	539	1,039	208	199	266	123
1歳	1,202	815	1,847	647	182	388	923	2,083	1,256	1,919	472	184	324
2歳	1,037	888	681	1,211	794	560	548	727	1,468	1,312	286	142	301
3歳	365	288	242	548	994	618	446	472	641	645	419	149	160
4歳	127	104	73	183	310	391	251	236	338	158	310	194	81
5歳	49	56	35	46	26	165	42	82	173	80	126	115	70
6歳以上	41	19	18	12	4	46	4	16	17	13	11	13	13
計	3,656	2,504	2,924	2,740	2,662	3,421	2,845	4,154	4,932	4,335	1,824	1,063	1,072

年齢別漁獲重量 (万トン)													
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
0歳	6.3	2.1	0.2	0.9	2.5	5.7	4.8	4.8	10.1	1.5	1.2	2.8	1.4
1歳	22.6	16.5	41.7	15.2	4.3	7.1	14.2	38.8	32.8	42.0	7.7	3.9	7.5
2歳	29.9	34.2	23.1	34.6	26.2	18.6	15.9	22.2	45.2	41.6	9.5	4.6	8.3
3歳	14.7	15.9	11.1	19.4	38.7	26.5	20.2	21.3	25.5	27.8	18.8	6.5	7.0
4歳	6.8	8.4	4.3	8.1	15.0	18.9	13.3	13.3	17.4	8.5	16.9	12.2	4.7
5歳	3.2	6.0	2.6	2.8	1.8	9.3	2.8	5.5	10.4	5.2	8.5	8.4	4.8
6歳以上	3.0	2.3	1.5	1.1	0.4	3.5	0.3	1.3	1.5	0.9	1.1	1.4	1.0
計	86.5	85.5	84.5	82.2	88.9	89.7	71.5	107.1	142.8	127.5	63.7	39.8	34.7
漁獲割合	29.5%	22.9%	19.0%	19.7%	22.7%	26.4%	18.8%	22.8%	29.6%	38.9%	33.0%	22.0%	20.4%

年齢別漁獲係数 (F)、Fmsyに対する各年のFの比および%SPR													
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
0歳	0.11	0.03	0.00	0.02	0.06	0.16	0.06	0.07	0.19	0.08	0.08	0.09	0.05
1歳	0.35	0.18	0.28	0.15	0.05	0.11	0.22	0.33	0.27	0.87	0.33	0.12	0.19
2歳	0.83	0.61	0.28	0.38	0.36	0.27	0.27	0.34	0.52	0.64	0.37	0.20	0.36
3歳	0.85	0.77	0.42	0.50	0.85	0.70	0.45	0.50	0.75	0.60	0.56	0.43	0.45
4歳	0.69	0.85	0.57	0.88	0.79	1.57	0.96	0.60	1.20	0.54	0.89	0.74	0.56
5歳	1.14	1.08	1.14	1.31	0.36	3.21	0.92	1.51	2.21	1.74	1.87	1.60	0.90
6歳以上	1.14	1.08	1.14	1.31	0.36	3.21	0.92	1.51	2.21	1.74	1.87	1.60	0.90
平均 (Fbar)	0.73	0.66	0.55	0.65	0.40	1.32	0.54	0.69	1.05	0.89	0.85	0.68	0.49
F/Fmsy	4.83	4.22	2.90	3.87	2.95	5.21	3.04	3.49	5.55	5.20	4.35	3.20	2.61
%SPR	12.09	16.77	26.59	22.11	23.66	22.42	26.13	22.86	15.46	10.53	19.92	28.67	28.22

年齢別資源尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
0歳	9,998	14,084	8,345	6,958	7,462	10,095	14,344	10,460	7,283	3,291	3,302	3,725	3,084
1歳	5,015	6,019	9,167	5,570	4,588	4,714	5,740	9,098	6,570	4,032	2,036	2,051	2,279
2歳	2,248	2,378	3,368	4,633	3,204	2,926	2,843	3,092	4,393	3,376	1,132	978	1,224
3歳	776	657	867	1,700	2,115	1,498	1,503	1,457	1,478	1,742	1,189	524	539
4歳	311	221	204	383	691	604	498	642	590	466	640	454	230
5歳	88	104	63	77	107	209	84	128	237	119	183	175	145
6歳以上	74	35	32	20	18	58	7	25	23	19	16	20	26
計	18,509	23,499	22,047	19,342	18,184	20,105	25,019	24,902	20,574	13,045	8,497	7,927	7,527

年齢別資源量 (万トン)、親魚量 (万トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)													
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
0歳	75.5	90.3	64.9	70.0	52.7	45.9	108.9	93.9	70.5	23.1	20.4	39.7	34.8
1歳	94.4	122.2	207.1	131.1	108.3	86.2	88.2	169.3	171.4	88.3	33.3	43.3	53.1
2歳	64.8	91.5	114.1	132.3	105.7	97.2	82.4	94.3	135.3	107.1	37.6	31.5	33.8
3歳	31.3	36.2	39.8	60.1	82.4	64.2	68.0	65.6	58.7	75.0	53.2	23.0	23.7
4歳	16.6	18.0	12.1	17.0	33.4	29.2	26.4	36.1	30.4	25.0	34.8	28.5	13.4
5歳	5.7	11.1	4.7	4.7	7.5	11.9	5.8	8.6	14.2	7.7	12.3	12.8	9.9
6歳以上	5.4	4.3	2.7	1.9	1.7	4.5	0.7	2.1	2.0	1.4	1.6	2.2	2.0
計	293.8	373.7	445.4	417.1	391.7	339.1	380.3	469.9	482.6	327.6	193.2	181.0	170.6
親魚量	65.7	80.7	74.1	98.1	129.6	116.4	118.8	134.1	140.1	133.7	107.9	73.7	56.7
RPS(尾/kg)	15.2	17.5	11.3	7.1	5.8	8.7	12.1	7.8	5.2	2.5	3.1	5.1	5.4

年齢別体重 (g)													
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
0歳	76	64	78	101	71	45	76	90	97	70	62	107	113
1歳	188	203	226	235	236	183	154	186	261	219	164	211	233
2歳	288	385	339	286	330	332	290	305	308	317	332	322	276
3歳	404	551	459	354	390	429	453	450	397	431	448	439	439
4歳	532	811	592	443	484	484	530	563	515	536	544	628	583
5歳	655	1,066	737	611	699	567	683	668	601	648	675	732	681
6歳以上	731	1,242	843	908	946	768	917	847	893	738	954	1,067	758

補足表 2-1. コホート解析結果の詳細 (つづき)

年齢別漁獲尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	250	549	378	183	72	67	34	29	53	297	96	128	362
1歳	284	544	398	1,336	316	106	24	6	8	11	957	98	123
2歳	440	358	253	555	352	253	53	6	11	13	240	98	49
3歳	225	208	190	276	170	253	71	11	8	12	39	28	28
4歳	76	90	75	79	41	26	77	6	5	7	5	5	9
5歳	44	46	38	28	19	4	4	4	2	10	2	2	3
6歳以上	23	18	21	9	6	2	1	1	0	8	2	2	2
計	1,343	1,812	1,352	2,465	976	711	263	63	87	357	1,341	361	576

年齢別漁獲重量 (万トン)													
年齢\漁期年	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	1.9	6.6	3.1	1.8	0.6	1.1	0.7	0.5	0.9	4.3	1.4	1.9	3.8
1歳	5.7	12.2	9.6	26.6	7.7	2.7	0.8	0.2	0.2	0.3	27.2	2.9	5.0
2歳	13.5	13.0	9.5	15.6	11.8	8.6	2.3	0.3	0.5	0.6	8.8	4.7	2.3
3歳	9.1	11.4	9.3	11.2	7.6	11.1	3.8	0.7	0.5	0.6	1.7	1.6	1.7
4歳	3.6	5.9	5.5	4.5	2.7	1.7	4.6	0.5	0.3	0.5	0.4	0.3	0.7
5歳	2.5	3.5	3.3	2.1	1.6	0.4	0.3	0.4	0.2	1.0	0.2	0.1	0.3
6歳以上	1.5	1.8	2.0	0.9	0.7	0.2	0.1	0.1	0.0	0.9	0.2	0.2	0.2
計	37.8	54.3	42.2	62.7	32.7	25.9	12.5	2.8	2.6	8.1	39.8	11.7	14.1
漁獲割合	25.8%	29.9%	24.7%	43.1%	35.9%	46.4%	42.4%	12.9%	8.2%	12.3%	56.4%	35.4%	40.2%

年齢別漁獲係数 (F)、Fmsyに対する各年のFの比および%SPR													
年齢\漁期年	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	0.09	0.19	0.09	0.12	0.15	0.37	0.23	0.11	0.07	0.15	0.23	0.34	0.50
1歳	0.19	0.39	0.26	0.68	0.40	0.44	0.27	0.07	0.05	0.02	1.54	0.51	0.90
2歳	0.55	0.52	0.40	0.98	0.48	0.89	0.53	0.13	0.22	0.13	1.34	0.82	0.68
3歳	0.65	0.74	0.76	1.57	1.45	1.07	0.92	0.24	0.32	0.53	0.96	0.69	0.77
4歳	0.52	0.80	0.88	1.24	1.86	1.39	2.10	0.22	0.20	0.59	0.61	0.36	0.63
5歳	0.93	0.93	1.49	1.53	2.19	1.66	1.16	0.88	0.14	1.23	0.38	0.51	0.61
6歳以上	0.93	0.93	1.49	1.53	2.19	1.66	1.16	0.88	0.14	1.23	0.38	0.51	0.61
平均 (Fbar)	0.55	0.64	0.77	1.09	1.25	1.07	0.91	0.36	0.16	0.55	0.78	0.54	0.67
F/Fmsy	3.17	4.14	3.92	7.54	6.86	6.77	5.04	1.37	1.06	2.33	7.00	4.18	5.09
%SPR	22.71	15.41	20.35	6.54	12.79	8.32	16.27	46.24	51.66	34.84	2.80	11.66	7.28

年齢別資源尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	3,397	3,805	5,410	1,962	630	263	199	342	965	2,581	565	536	1,126
1歳	1,967	2,072	2,102	3,317	1,165	363	122	106	206	604	1,487	299	254
2歳	1,263	1,086	944	1,083	1,130	523	156	62	66	131	396	213	120
3歳	573	486	434	426	272	469	143	61	37	35	77	69	63
4歳	231	200	155	136	60	43	107	38	32	18	14	20	23
5歳	88	92	60	43	26	6	7	9	21	18	7	5	9
6歳以上	47	36	34	14	8	3	1	2	3	14	6	6	4
計	7,566	7,777	9,140	6,981	3,291	1,670	736	620	1,329	3,401	2,552	1,148	1,601

年齢別資源量 (万トン)、親魚量 (万トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)													
年齢\漁期年	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	26.2	45.7	44.1	19.2	5.4	4.4	4.1	5.8	16.3	37.0	8.1	7.8	11.9
1歳	39.3	46.3	50.7	66.1	28.4	9.2	4.0	3.9	6.3	17.4	42.3	8.8	10.3
2歳	38.8	39.3	35.5	30.4	37.9	17.8	6.6	3.6	3.2	5.6	14.6	10.1	5.7
3歳	23.0	26.6	21.2	17.3	12.1	20.6	7.7	4.1	2.1	1.9	3.3	4.0	3.9
4歳	11.0	13.1	11.5	7.8	3.8	2.8	6.4	3.2	2.1	1.3	1.0	1.3	1.9
5歳	5.1	7.1	5.2	3.3	2.2	0.6	0.6	0.8	1.6	1.8	0.6	0.5	0.8
6歳以上	3.0	3.5	3.2	1.3	0.9	0.3	0.1	0.2	0.3	1.5	0.7	0.7	0.4
計	146.4	181.6	171.3	145.5	90.9	55.8	29.5	21.5	32.0	66.5	70.5	33.2	35.0
親魚量	51.4	59.5	49.6	37.1	34.3	31.4	17.5	9.7	7.4	8.7	11.4	10.5	9.4
RPS(尾/kg)	6.6	6.4	10.9	5.3	1.8	0.8	1.1	3.5	13.0	29.5	4.9	5.1	12.0

年齢別体重 (g)													
年齢\漁期年	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0歳	77	120	82	98	86	168	207	170	169	143	143	146	106
1歳	200	223	241	199	244	255	325	365	305	288	284	294	406
2歳	307	362	376	281	336	341	426	582	488	424	368	476	474
3歳	402	547	489	407	446	440	537	661	585	529	430	578	626
4歳	475	656	741	572	644	654	599	828	654	749	705	661	809
5歳	576	768	855	755	838	886	814	954	790	990	943	896	908
6歳以上	645	993	943	947	1,112	1,066	1,034	1,101	957	1,114	1,115	1,116	973

補足表 2-1. コホート解析結果の詳細 (つづき)

年齢別漁獲尾数 (百万尾)														
年齢\漁期年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0歳	1,578	147	32	145	252	7	244	66	767	42	6	425	60	174
1歳	193	885	69	17	86	69	17	206	87	523	62	53	275	35
2歳	23	61	177	24	13	40	6	32	72	53	376	70	47	127
3歳	20	13	13	41	11	5	6	7	11	32	25	157	44	24
4歳	10	6	1	10	14	4	4	2	4	13	8	4	51	13
5歳	4	4	0	1	1	3	3	1	1	1	2	1	3	15
6歳以上	3	2	0	0	0	2	2	1	1	1	0	0	1	1
計	1,830	1,118	292	238	376	131	281	314	944	664	479	709	481	388
年齢別漁獲重量 (万トン)														
年齢\漁期年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0歳	18.6	2.2	0.5	2.4	4.0	0.1	2.7	0.8	10.1	0.5	0.1	5.1	0.8	2.1
1歳	5.0	25.4	2.2	0.5	3.1	2.4	0.6	4.8	2.4	16.5	2.2	1.7	8.6	1.3
2歳	1.0	2.6	7.9	1.2	0.6	1.8	0.3	1.2	4.1	2.5	19.9	3.3	1.8	6.4
3歳	1.1	0.7	0.7	2.5	0.6	0.3	0.4	0.3	0.8	1.8	1.6	8.4	2.6	1.3
4歳	0.6	0.4	0.1	0.8	0.8	0.2	0.2	0.2	0.4	1.0	0.5	0.3	3.4	0.8
5歳	0.3	0.3	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	1.0
6歳以上	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1
計	26.9	31.8	11.5	7.7	9.1	5.3	4.7	7.6	18.1	22.6	24.5	18.8	17.6	13.0
漁獲割合	38.2%	50.7%	39.8%	32.6%	40.5%	34.5%	20.5%	30.0%	23.7%	26.6%	32.6%	32.5%	35.8%	22.8%
年齢別漁獲係数 (F)、Fmsyに対する各年のFの比および%SPR														
年齢\漁期年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0歳	0.59	0.46	0.25	0.43	0.91	0.03	0.33	0.16	0.27	0.08	0.02	0.38	0.14	0.11
1歳	0.72	1.12	0.52	0.26	0.65	0.93	0.12	0.66	0.41	0.37	0.20	0.27	0.59	0.13
2歳	0.51	0.69	0.96	0.44	0.42	1.01	0.22	0.46	0.67	0.63	0.66	0.47	0.52	0.81
3歳	0.89	0.87	0.39	0.80	0.46	0.37	0.55	0.52	0.37	1.01	0.96	0.88	0.85	0.71
4歳	0.95	1.15	0.18	0.77	0.95	0.37	0.60	0.41	1.11	1.48	0.96	0.44	1.16	0.90
5歳	1.08	2.54	0.19	0.44	0.14	0.72	0.82	0.44	0.74	1.06	1.15	0.30	1.14	2.97
6歳以上	1.08	2.54	0.19	0.44	0.14	0.72	0.82	0.44	0.74	1.06	1.15	0.30	1.14	2.97
平均 (Fbar)	0.83	1.34	0.38	0.51	0.52	0.59	0.49	0.44	0.62	0.81	0.73	0.44	0.79	1.23
F/Fmsy	5.31	7.20	3.38	3.55	4.26	4.09	2.48	3.17	3.36	4.47	3.67	3.12	4.53	4.00
%SPR	8.62	5.71	14.44	16.74	9.44	13.79	30.07	18.53	20.17	17.36	23.08	19.24	14.75	24.01
年齢別資源尾数 (百万尾)														
年齢\漁期年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0歳	4,321	489	176	504	514	276	1,071	545	4,001	666	419	1,642	576	2,017
1歳	459	1,604	207	92	219	138	179	518	312	2,054	412	276	753	337
2歳	69	149	351	83	48	77	36	107	179	138	949	226	141	280
3歳	41	28	50	90	36	21	19	20	45	61	49	328	95	57
4歳	19	11	8	23	27	15	10	7	8	21	15	13	91	27
5歳	8	5	2	4	7	7	7	4	3	2	3	4	6	19
6歳以上	5	3	0	2	3	6	4	3	3	2	1	1	2	2
計	4,922	2,290	796	798	854	541	1,327	1,204	4,551	2,944	1,849	2,489	1,664	2,739
年齢別資源量 (万トン)、親魚量 (万トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)														
年齢\漁期年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0歳	51.0	7.4	2.9	8.5	8.1	3.8	12.1	6.8	52.7	7.8	5.7	19.8	8.0	24.2
1歳	11.9	46.1	6.7	2.8	8.0	4.8	6.3	12.2	8.7	64.9	14.9	8.7	23.5	12.7
2歳	3.1	6.4	15.7	4.3	2.0	3.4	1.7	4.0	10.2	6.6	50.1	10.6	5.4	14.1
3歳	2.2	1.5	2.6	5.5	1.8	1.3	1.1	1.0	3.3	3.5	3.1	17.6	5.6	3.1
4歳	1.2	0.7	0.6	1.8	1.6	0.9	0.6	0.6	0.7	1.6	1.1	0.9	6.1	1.6
5歳	0.6	0.3	0.2	0.4	0.6	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	1.3
6歳以上	0.4	0.3	0.0	0.2	0.3	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
計	70.5	62.8	28.8	23.5	22.5	15.3	22.8	25.2	76.3	84.9	75.3	58.0	49.3	57.2
親魚量	5.7	5.4	9.8	9.6	6.4	6.3	4.4	6.0	13.2	8.9	29.6	24.1	15.1	13.3
RPS(尾/kg)	75.4	9.1	1.8	5.3	8.1	4.4	24.5	9.0	30.2	7.5	1.4	6.8	3.8	15.2
年齢別体重 (g)														
年齢\漁期年	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0歳	118	152	165	169	158	137	113	124	132	118	136	121	138	120
1歳	260	287	325	308	366	350	354	236	280	316	362	314	312	377
2歳	451	428	446	515	421	440	455	374	569	477	528	469	385	503
3歳	545	535	523	606	517	599	576	530	742	578	631	537	589	557
4歳	633	642	787	803	593	626	643	756	835	787	726	683	672	599
5歳	743	699	879	950	895	689	780	788	1,011	1,002	1,013	745	806	694
6歳以上	819	840	970	1,099	1,031	1,078	1,126	1,078	1,087	1,089	1,122	921	995	838

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	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	80	28	63	297	140	33	100	92	295	103	383	274	253
1歳	163	88	52	248	812	177	141	140	82	308	144	281	391
2歳	54	87	90	75	165	1,401	236	265	253	206	527	172	196
3歳	37	21	66	77	65	128	1,147	423	364	219	241	329	118
4歳	9	7	21	25	17	16	32	695	343	155	178	148	85
5歳	6	2	4	5	18	11	15	60	298	130	118	87	35
6歳以上	1	0	1	2	1	10	10	16	58	277	156	116	39
計	349	234	297	729	1,219	1,777	1,681	1,690	1,693	1,398	1,747	1,406	1,116

年齢別漁獲重量 (万トン)													
年齢\漁期年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	1.0	0.5	1.0	3.7	1.5	0.3	0.8	0.6	2.0	1.0	3.1	2.0	3.0
1歳	5.7	3.5	1.9	7.8	15.7	3.5	2.8	3.0	1.7	5.3	2.2	4.2	5.8
2歳	2.6	4.3	4.3	3.7	6.8	33.4	6.0	7.8	6.6	5.4	12.0	4.1	3.8
3歳	2.3	1.3	3.7	4.7	3.7	5.6	34.9	13.8	12.7	6.9	6.5	10.7	3.4
4歳	0.7	0.5	1.3	1.7	1.2	1.0	1.7	24.3	13.7	5.2	6.5	5.9	3.5
5歳	0.5	0.2	0.3	0.4	1.2	0.7	1.0	3.2	12.4	4.9	5.5	4.1	1.8
6歳以上	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.7	0.7	1.1	3.9	13.0	8.5	7.0	2.4
計	12.8	10.2	12.6	22.1	30.2	45.3	48.0	53.9	52.9	41.7	44.2	38.0	23.6
漁獲割合	16.5%	9.8%	7.8%	4.7%	5.8%	9.4%	10.9%	13.9%	14.5%	12.8%	14.8%	11.1%	6.1%

年齢別漁獲係数 (F)、Fmsyに対する各年のFの比および%SPR													
年齢\漁期年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	0.07	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04	0.03	0.06	0.03	0.04
1歳	0.18	0.12	0.07	0.10	0.06	0.04	0.04	0.05	0.03	0.06	0.07	0.07	0.06
2歳	0.41	0.17	0.23	0.16	0.11	0.18	0.09	0.13	0.15	0.14	0.17	0.14	0.08
3歳	0.79	0.35	0.24	0.39	0.25	0.15	0.27	0.29	0.32	0.24	0.29	0.18	0.17
4歳	0.93	0.39	0.95	0.16	0.17	0.11	0.06	0.33	0.53	0.28	0.40	0.38	0.08
5歳	2.86	0.73	0.55	0.82	0.22	0.20	0.18	0.20	0.29	0.49	0.46	0.45	0.18
6歳以上	2.86	0.73	0.55	0.82	0.22	0.20	0.18	0.20	0.29	0.49	0.46	0.45	0.18
平均 (Fbar)	1.16	0.36	0.37	0.35	0.15	0.13	0.12	0.17	0.24	0.25	0.27	0.24	0.11
F/Fmsy	3.46	1.42	1.47	1.26	0.76	0.85	1.00	1.50	1.87	1.64	2.02	1.71	0.93
%SPR	28.06	45.21	45.05	48.22	60.64	58.03	53.39	40.69	34.69	39.87	32.85	38.56	55.82

年齢別資源尾数 (百万尾)													
年齢\漁期年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	1,465	1,534	4,696	25,214	7,926	6,346	5,201	4,660	10,253	3,889	7,715	13,026	7,451
1歳	1,210	917	1,006	3,097	16,658	5,198	4,226	3,404	3,049	6,631	2,523	4,858	8,507
2歳	198	678	542	632	1,873	10,502	3,339	2,717	2,168	1,976	4,193	1,573	3,027
3歳	83	88	383	290	362	1,120	5,892	2,045	1,605	1,246	1,156	2,379	914
4歳	19	25	42	202	132	189	646	3,011	1,025	778	656	578	1,325
5歳	7	5	12	11	115	74	114	407	1,449	406	394	294	266
6歳以上	1	0	2	5	5	64	76	106	282	869	521	389	292
計	2,983	3,248	6,682	29,450	27,070	23,493	19,494	16,351	19,829	15,795	17,158	23,097	21,782

年齢別資源量 (万トン)、親魚量 (万トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)													
年齢\漁期年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	18.4	27.8	73.1	310.5	83.1	59.7	42.1	32.0	69.4	39.1	63.5	96.1	88.1
1歳	42.4	36.0	37.5	97.2	322.8	103.7	84.1	73.5	62.6	113.2	37.9	72.1	126.9
2歳	9.7	33.1	26.0	30.9	76.9	250.0	85.6	80.5	56.4	51.3	95.3	37.5	58.2
3歳	5.1	5.4	21.1	17.7	20.8	48.9	179.5	67.0	56.0	39.3	31.1	77.3	26.1
4歳	1.4	1.8	2.6	13.6	9.1	12.0	34.9	105.1	40.9	26.2	23.9	22.9	54.5
5歳	0.6	0.4	0.9	0.8	7.5	4.6	7.1	21.5	60.2	15.5	18.4	13.9	13.4
6歳以上	0.1	0.0	0.1	0.5	0.4	4.9	5.3	7.7	18.8	40.6	28.2	23.7	17.8
計	77.6	104.5	161.3	471.2	520.6	483.8	438.7	387.2	364.3	325.0	298.2	343.6	385.0
親魚量	11.9	24.2	37.7	48.0	76.2	70.5	101.2	154.4	136.7	94.0	79.8	83.7	93.4
RPS(尾/kg)	12.3	6.3	12.5	52.5	10.4	9.0	5.1	3.0	7.5	4.1	9.7	15.6	8.0

年齢別体重 (g)													
年齢\漁期年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	126	181	156	123	105	94	81	69	68	100	82	74	118
1歳	351	393	373	314	194	199	199	216	205	171	150	148	149
2歳	490	488	480	489	410	238	256	296	260	260	227	238	192
3歳	606	614	550	612	574	436	305	328	349	315	269	325	286
4歳	729	701	627	672	693	637	540	349	399	336	364	396	411
5歳	796	842	751	747	656	624	629	529	416	382	467	474	502
6歳以上	940	909	868	886	793	761	697	724	668	467	541	609	609

補足表 2-2. チューニングに用いた指標値とパラメータ推定値

指標値	①	①'	②	②'	③	③'	④	④'	⑤	⑤'
対象	N ₀		N ₀		N ₁		SSB		SSB	
2002	2.9	9.8								
2003	26.2	5.9					5.5	3.5		
2004	132.1	49.2					4.5	5.4		
2005	15.3	8.9	23.2	21.6	1.9	2.9	3.3	2.1	39.4	82.6
2006	0.2	0.2	0.8	0.8	0.0	0.7	25.5	13.0	140.9	203.7
2007	236.6	45.3	10.0	14.6	0.0	0.7	86.6	36.8	334.9	346.6
2008	37.7	6.2	9.5	7.2	3.7	3.0	45.5	15.9	81.7	112.7
2009	33.3	9.9	60.8	42.4	0.6	0.7	56.5	24.5	75.0	115.6
2010	20.0	11.5	16.6	20.8	1.1	2.1	54.5	22.4	164.3	183.2
2011	3.7	2.1	3.5	3.5	2.3	2.2	116.2	42.2	145.5	161.6
2012	36.0	23.8	18.2	32.5	0.3	4.3	120.5	45.1	271.7	354.5
2013	1,443.4	974.1	1,287.6	2,840.9	65.2	64.6	131.9	52.9	264.3	320.4
2014	14.0	5.9	117.4	177.9	341.6	98.2	110.9	40.5	152.4	225.5
2015	36.0	104.1	166.3	209.7	4.8	17.2	120.3	37.3	145.7	197.3
2016	663.4	499.7	1,303.3	2,584.6	90.1	131.2	172.5	62.7	102.8	183.9
2017	543.7	492.7	685.4	821.8	105.5	39.4	81.5	31.6	370.9	469.9
2018	2,382.3	2,665.9	5,765.0	10,287.6	1,186.4	237.1	142.9	53.4	601.6	757.6
2019	74.6	96.3	165.9	262.8	436.8	316.8	142.4	44.9	749.2	886.9
2020	443.3	456.8	684.1	1,611.0	17.4	25.9	167.3	44.6	329.9	493.9
2021	2,077.3	1,898.3	646.4	929.4	30.2	31.0	115.2	40.6	202.8	288.4
2022	642.1	250.7	471.6	976.3	43.7	79.1	63.2	18.9	318.5	475.8
2023	288.2	153.5	70.3	39.6	45.1	28.5	23.9	7.2	46.5	77.7
q	2.50E-05		5.63E-05		1.36E-05		0.0574		0.5391	
b	1.80*		1.80*		1.80*		1.00**		1.00**	
σ	1.218		1.218		1.218		0.812		0.712	

① 北西太平洋北上期浮魚類資源調査・三陸道東沖加入量把握調査による中層トロール0歳魚 CPUE (尾/網/60分)

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

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

④ 伊豆諸島海域たもすくい漁業 CPUE (kg/人/時)

⑤ 海区 I～IV (太平洋全域) の産卵量 (兆粒)

①～⑤は標準化 (補足資料 4) を行い、標準化後の値 (①' ②' については 2022 年までの値、③' ④' ⑤' については 2023 年までの値) をチューニング指数に用いた。①' ②' の 2023 年の値は 2023 年の加入量の予測に用いた。

* b = 1.8 に固定

** b = 1 に固定

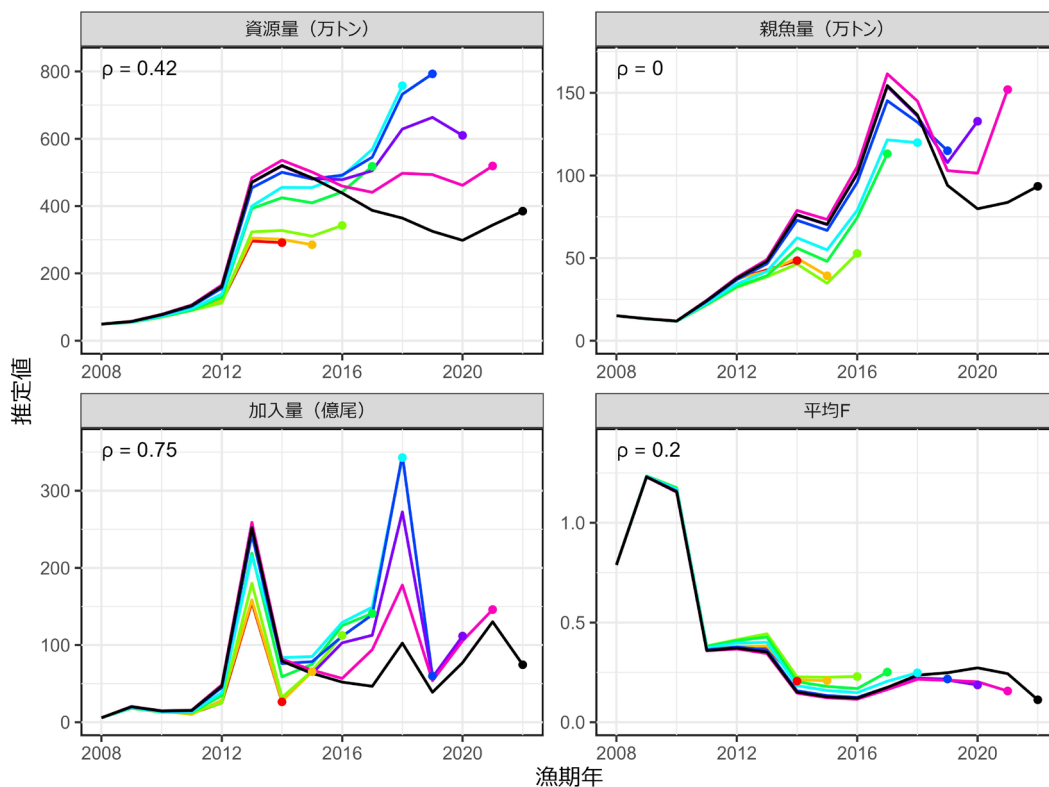
補足表 2-3. 将来予測計算に用いたパラメータ

年齢	選択率 (注 1)	Fmsy (注 2)	F2020-	平均体重 (g)		自然 死亡 係数	成熟割合	
			2022 (注 3)	2023-2024 年漁期	2025 年 漁期以降		2023-2024 年漁期	2025 年 漁期以降
0 歳	0.04	0.02	0.02	118	94	0.40	0.00	0.00
1 歳	0.14	0.05	0.06	149	202	0.40	0.00	0.00
2 歳	0.29	0.10	0.13	192	264	0.40	0.00	0.20
3 歳	0.53	0.18	0.23	286	316	0.40	0.30	0.80
4 歳	0.55	0.19	0.25	411	349	0.40	1.00	1.00
5 歳	1.00	0.35	0.44	502	529	0.40	1.00	1.00
6 歳以上	1.00	0.35	0.44	609	645	0.40	1.00	1.00

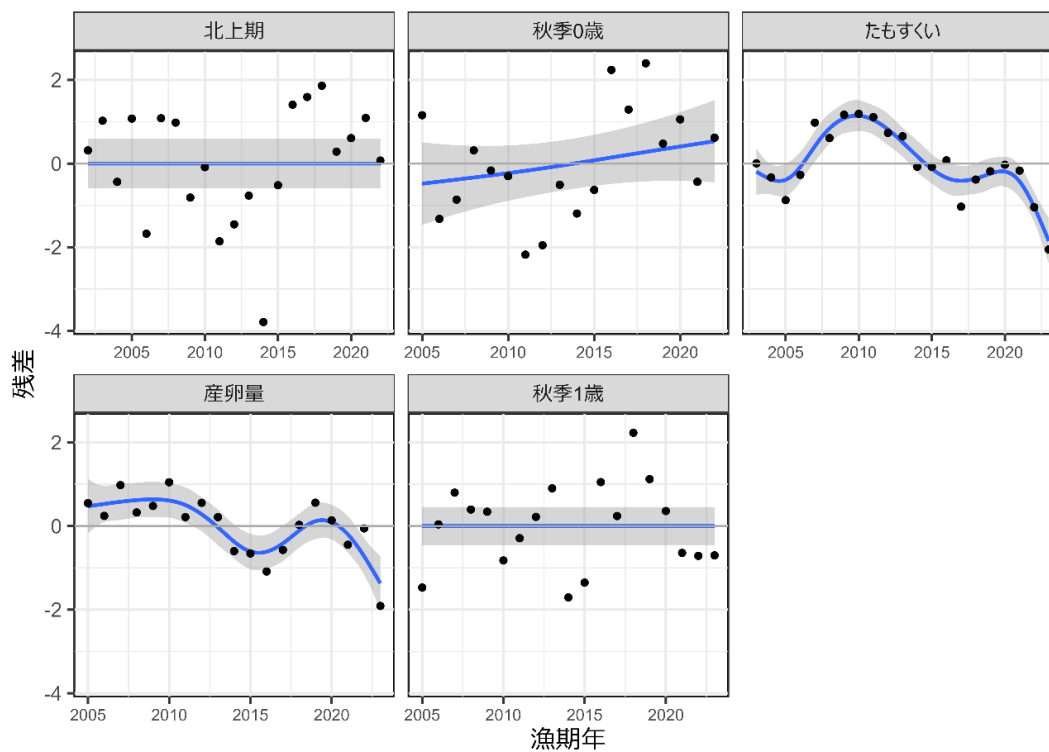
注 1： 平成 31 年度研究機関会議で MSY を実現する水準の推定の際に使用した選択率（すなわち、平成 30 年度資源評価での $F_{current}$ の選択率）。

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

注 3： 上記の選択率の下で、今回の資源評価で推定された 2020～2022 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 2023 年漁期の漁獲量の仮定に使用した。



補足図 2-1. レトロスペクティブ解析の結果
Mohn's ρ の値を左上に示す。



補足図 2-2. 残差プロットの結果
青い線と影は一般化加法モデルで平滑化した残差のトレンドと 95%信頼区間を表す。

補足資料 3 各種パラメータと評価結果の概要

補足表 3-1. 再生産関係式のパラメータ

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

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

補足表 3-2. 管理基準値と MSY

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

補足表 3-3. 最新年の親魚量と漁獲圧

項目	値	説明
SB2022	93.4 万トン	2022 年漁期の親魚量
F2022	2022 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)=(0.04, 0.06, 0.08, 0.17, 0.08, 0.18, 0.18)	
U2022	6.1%	2022 年漁期の漁獲割合
%SPR (F2022)	55.8%	2022 年漁期の%SPR
%SPR (F2020-2022)	40.6%	現状(2020~2022 年漁期)の漁獲圧に対応する%SPR*
管理基準値との比較		
SB2022/ SBmsy (SBtarget)	0.60	最大持続生産量を実現する親魚量(目標管理基準値)に 対する 2022 年漁期の親魚量の比
F2022/ Fmsy	0.93	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2022 年漁期 の漁獲圧の比*
親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る	
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る	
親魚量の動向	減少	

* 2022 年漁期の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を%SPR 換算して算出し求めた比率。

補足表 3-4. ABC と予測親魚量

2024 年漁期の ABC (万トン)	2024 年漁期の親魚量 予測平均値 (万トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2020-2022)	2024 年漁期の 漁獲割合(%)
32.7	111.2	0.70	9.1
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」にて取り纏められ、「水産政策審議会」を経て定められた漁獲シナリオでの漁獲管理規則を用いた。 • 本系群では漁獲管理規則で調整係数 $\beta=0.9$ を用いることが定められている。 • ABC は外国船による漁獲も合わせた値。 			

補足表 3-5. 異なる β を用いた将来予測結果

考慮している不確実性: 加入量					
項目	2030 年漁期の親魚量 (万トン)	90% 予測区間 (万トン)	2030 年漁期に親魚量が以下の 管理基準値を上回る確率(%)		
			SBtarget	SBlimit	SBban
漁獲管理規則で使用する β					
$\beta=0.9$	178.8	66.9 – 385.1	48	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)					
$\beta=1.0$	170.7	62.3 – 370.2	44	97	100
$\beta=0.8$	187.5	72.0 – 399.3	51	99	100
$\beta=0.6$	207.2	83.2 – 433.2	60	100	100
$\beta=0.4$	230.8	97.7 – 473.8	70	100	100
$\beta=0.2$	259.4	115.7 – 521.9	81	100	100
$\beta=0$	294.8	139.4 – 580.3	91	100	100
F2020-2022	150.2	50.8 – 332.0	35	93	100

補足表 3-5. 異なる β を用いた将来予測結果 (つづき)

考慮している不確実性: 加入量			
	親魚量が管理基準値を 50%以上の確率で上回る年		
	SBtarget	SBlimit	SBban
漁獲管理規則で使用する β			
$\beta=0.9$	2025 年漁期	2022 年漁期	2022 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)			
$\beta=1.0$	2025 年漁期	2022 年漁期	2022 年漁期
$\beta=0.8$	2025 年漁期	2022 年漁期	2022 年漁期
$\beta=0.6$	2025 年漁期	2022 年漁期	2022 年漁期
$\beta=0.4$	2025 年漁期	2022 年漁期	2022 年漁期
$\beta=0.2$	2025 年漁期	2022 年漁期	2022 年漁期
$\beta=0$	2025 年漁期	2022 年漁期	2022 年漁期
F2020-2022	2025 年漁期	2022 年漁期	2022 年漁期

補足表 3-6. 漁獲管理規則に対応する将来予測

HCR (=0.90Fmsy)

年齢別漁獲係数

年齢\年	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	0.042	0.019	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.013	0.013	0.013	0.013
1歳	0.058	0.063	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.043	0.043	0.043
2歳	0.083	0.130	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.090	0.090	0.090	0.090
3歳	0.171	0.234	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.164	0.163	0.163	0.162	0.162
4歳	0.081	0.245	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.171	0.171	0.171	0.170	0.170
5歳	0.176	0.444	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.310	0.309	0.309	0.308	0.308
6歳以上	0.176	0.444	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.310	0.309	0.309	0.308	0.308
平均	0.113	0.225	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.157	0.157	0.157	0.156

年齢別平均資源尾数 (百万尾) ※

年齢\年	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	7,451	4,994	6,519	7,700	8,005	7,959	7,807	7,758	7,648	7,626	7,695	7,448	7,393
1歳	8,507	4,787	3,284	4,311	5,092	5,294	5,264	5,163	5,130	5,058	5,043	5,089	4,926
2歳	3,027	5,383	3,015	2,107	2,766	3,267	3,397	3,377	3,312	3,292	3,245	3,236	3,265
3歳	914	1,868	3,169	1,845	1,289	1,693	1,999	2,079	2,067	2,028	2,015	1,987	1,981
4歳	1,325	516	991	1,803	1,050	734	963	1,138	1,183	1,176	1,154	1,147	1,131
5歳	266	819	271	559	1,018	593	414	544	642	668	664	651	647
6歳以上	292	313	487	372	458	725	647	521	523	573	610	626	628
計	21,782	18,681	17,735	18,697	19,678	20,264	20,491	20,579	20,506	20,419	20,425	20,184	19,971

年齢別平均資源量 (万トン) ※

年齢\年	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	88.1	59.1	77.1	72.6	75.5	75.1	73.6	73.2	72.1	71.9	72.6	70.3	69.7
1歳	126.9	71.4	49.0	87.1	102.9	107.0	106.3	104.3	103.6	102.2	101.9	102.8	99.5
2歳	58.2	103.5	58.0	55.5	72.9	86.1	89.5	89.0	87.3	86.7	85.5	85.3	86.0
3歳	26.1	53.4	90.7	58.3	40.8	53.5	63.2	65.7	65.4	64.1	63.7	62.8	62.6
4歳	54.5	21.2	40.7	62.9	36.6	25.6	33.6	39.7	41.3	41.0	40.3	40.0	39.5
5歳	13.4	41.1	13.6	29.6	53.9	31.4	21.9	28.8	34.0	35.3	35.1	34.5	34.3
6歳以上	17.8	19.1	29.7	24.0	29.5	46.8	41.8	33.6	33.8	37.0	39.3	40.4	40.5
計	385.0	368.9	358.7	390.1	412.1	425.4	430.0	434.3	437.5	438.3	438.4	436.0	432.2

年齢別平均漁獲尾数 (百万尾) ※

年齢\年	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	253	78	72	85	88	88	86	85	84	83	84	81	81
1歳	391	238	115	151	179	186	185	181	180	177	176	177	171
2歳	196	536	215	150	197	232	242	240	235	233	229	228	230
3歳	118	319	392	228	160	210	248	257	255	250	248	244	243
4歳	85	92	128	233	136	95	125	147	153	151	148	147	145
5歳	35	240	59	122	223	130	91	119	140	145	144	141	140
6歳以上	39	92	107	81	100	159	142	114	114	125	133	136	136
計	1,116	1,595	1,088	1,051	1,082	1,099	1,117	1,144	1,161	1,164	1,162	1,155	1,146

※10,000回の繰り返し計算を行った平均値。

補足表 3-7. 現状の漁獲圧に対応する将来予測

F2020-2022

年齢別漁獲係数

年齢\年	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	0.042	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
1歳	0.058	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063
2歳	0.083	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130
3歳	0.171	0.234	0.234	0.234	0.234	0.234	0.234	0.234	0.234	0.234	0.234	0.234	0.234
4歳	0.081	0.245	0.245	0.245	0.245	0.245	0.245	0.245	0.245	0.245	0.245	0.245	0.245
5歳	0.176	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444
6歳以上	0.176	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444	0.444
平均	0.113	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225

年齢別平均資源尾数（百万尾）※

年齢\年	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	7,451	4,994	6,519	7,700	8,005	7,884	7,431	7,343	7,244	7,178	7,191	6,901	6,796
1歳	8,507	4,787	3,284	4,286	5,062	5,264	5,183	4,886	4,828	4,763	4,720	4,728	4,537
2歳	3,027	5,383	3,015	2,068	2,699	3,188	3,314	3,264	3,077	3,040	2,999	2,972	2,977
3歳	914	1,868	3,169	1,775	1,217	1,589	1,877	1,951	1,922	1,811	1,790	1,766	1,750
4歳	1,325	516	991	1,681	942	646	843	996	1,035	1,020	961	950	937
5歳	266	819	271	520	882	494	339	442	522	543	535	504	498
6歳以上	292	313	487	326	364	536	443	336	335	369	392	399	388
計	21,782	18,681	17,735	18,356	19,172	19,600	19,431	19,218	18,962	18,724	18,587	18,219	17,883

年齢別平均資源量（万トン）※

年齢\年	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	88.1	59.1	77.1	72.6	75.5	74.4	70.1	69.3	68.3	67.7	67.8	65.1	64.1
1歳	126.9	71.4	49.0	86.6	102.3	106.3	104.7	98.7	97.5	96.2	95.3	95.5	91.7
2歳	58.2	103.5	58.0	54.5	71.1	84.0	87.3	86.0	81.1	80.1	79.0	78.3	78.5
3歳	26.1	53.4	90.7	56.1	38.5	50.2	59.3	61.7	60.8	57.3	56.6	55.8	55.3
4歳	54.5	21.2	40.7	58.7	32.9	22.5	29.4	34.7	36.1	35.6	33.5	33.1	32.7
5歳	13.4	41.1	13.6	27.5	46.7	26.1	17.9	23.4	27.6	28.7	28.3	26.7	26.4
6歳以上	17.8	19.1	29.7	21.0	23.5	34.6	28.6	21.7	21.6	23.8	25.3	25.7	25.1
計	385.0	368.9	358.7	377.1	390.4	398.2	397.4	395.5	393.1	389.4	386.0	380.3	373.7

年齢別平均漁獲尾数（百万尾）※

年齢\年	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0歳	253	78	102	121	125	123	116	115	113	112	113	108	106
1歳	391	238	163	213	251	261	257	242	240	236	234	235	225
2歳	196	536	300	206	269	318	330	325	306	303	299	296	297
3歳	118	319	541	303	208	271	320	333	328	309	306	302	299
4歳	85	92	176	299	168	115	150	177	184	181	171	169	167
5歳	35	240	79	153	259	145	99	130	153	159	157	148	146
6歳以上	39	92	143	96	107	157	130	99	98	108	115	117	114
計	1,116	1,595	1,505	1,390	1,386	1,391	1,404	1,421	1,423	1,410	1,394	1,374	1,354

※10,000回の繰り返し計算を行った平均値。

補足資料 4 資源量指標値標準化の手法

北西太平洋北上期浮魚類資源調査・三陸道東沖加入量把握調査による 中層トロール 0 歳魚 CPUE (以下、北上期 CPUE)、北西太平洋秋季浮魚類調査による中層トロール 0 歳魚 CPUE (以下、秋季 0 歳 CPUE)、伊豆諸島海域たもすくい漁業 CPUE (以下、たもすくい CPUE)、産卵量、北西太平洋秋季浮魚類調査による中層トロール 1 歳魚 CPUE (以下、秋季 1 歳魚 CPUE) の標準化を行った。北上期 CPUE と秋季 0 歳魚 CPUE は加入量 (0 歳魚資源尾数) の指標値、秋季 1 歳魚 CPUE は 1 歳魚資源尾数、たもすくい CPUE と産卵量は親魚量の指標値である。以下では、(1) 北上期 CPUE、秋季 0 歳魚 CPUE および秋季 1 歳魚 CPUE の標準化、(2) たもすくい CPUE の標準化、(3) 産卵量の標準化の 3 つに分けて説明する。

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

北太平洋北上期浮魚類資源調査・三陸道東沖加入量把握調査における中層トロール 0 歳魚 CPUE (尾/網/時) および北太平洋秋季浮魚類資源調査における中層トロール 0 歳魚 CPUE と 1 歳魚 CPUE (尾/網/時) のデータを用いた CPUE の標準化を行った。両調査はともに 2001 年から開始されているが、解析にはおおよその調査範囲が一致している 2002～2023 年 (北上期 CPUE) および 2005～2023 年 (秋季 0 歳魚 CPUE、秋季 1 歳魚 CPUE) の期間を使用した。昨年度と同様に Vector-Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) モデル (Thorson and Barnett 2017) で標準化を行った。シミュレーションでは、VAST は一般化線形モデルや一般化加法モデルよりも、CPUE 標準化における総合的なパフォーマンスが高かったことが報告されている (Grüss et al. 2019)。

VAST の解析では、上記の調査期間のすべてのデータを使用した。VAST では調査 CPUE (尾/網/時) を、サンプル i の遭遇確率 ($p_1(i)$) と、遭遇時した場合のサンプル i の密度 ($p_2(i)$) に分けて、以下の 2 つの線形予測子で表す。

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

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

右辺の第 1 項の $\beta(t_i)$ は調査年 t の効果を表す係数であり、第 2 項の $\omega(s_i)$ は調査年 t における空間のランダム効果、第 3 項の $\varepsilon(s_i, t_i)$ は調査年 t と場所 s における時空間のランダム効果を表している。第 4 項は漁具能率に影響する共変量 Q と係数 λ を表している。VAST では初めに、空間情報から、クラスタリングの一種である k -平均法により空間分布を近似するノットを決め、ノットにおける相対密度の時空間変化をモデル化する。先行研究ではノット数は 100 以上とすることを推奨されているので (Thorson 2019)、これに倣い、今回はノット数を 100 とした。空間効果の確率密度関数は多変量正規分布 (MVN) を使って、

$$\omega_1(\cdot, f) \sim MVN(0, \mathbf{R}_1), \quad \omega_2(\cdot, f) \sim MVN(0, \mathbf{R}_2) \quad (21)$$

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

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

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

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

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

$$\varepsilon_2(\cdot, f, t) \sim \begin{cases} MVN(\mathbf{0}, \mathbf{R}_2) & \text{if } t = 1 \\ MVN(\rho_{\varepsilon 2} \varepsilon_2(\cdot, f, t-1), \mathbf{R}_2) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (25)$$

で与えられる。北上期 CPUE では、VAST の初期設定である、各年の効果 (β) を固定効果で推定し、時空間効果は独立と仮定する ($\rho_{\varepsilon 1} = \rho_{\varepsilon 2} = 0$) 手法を使用した。秋季0歳魚 CPUE では同様に、各年の効果 (β) を固定効果で推定し、時空間効果は独立と仮定したが、遭遇時の CPUE を予測するモデルにおける空間効果 (ω_2) は VAST の `check_fit` 関数により CPUE の変動を説明する要因として不要とみなされたため、推定する式から除いた。秋季1歳魚 CPUE では、2006年と2007年では1歳魚が採集されたデータが存在せず、これらの年でも正の標準化 CPUE の値を算出するため、調査年の効果をランダム効果で推定した。

$$\beta_1(t) \sim \begin{cases} Normal(0, \sigma_{\beta 1}^2) & \text{if } t = 1 \\ Normal(\rho_{\beta 1} \beta_1(t-1), \sigma_{\beta 1}^2) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (26)$$

$$\beta_2(t) \sim \begin{cases} Normal(0, \sigma_{\beta 2}^2) & \text{if } t = 1 \\ Normal(\rho_{\beta 2} \beta_2(t-1), \sigma_{\beta 2}^2) & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (27)$$

この式を用いて1次の自己相関を仮定してパラメータ推定したうえで、 $\rho_{\beta 1}$ については1をやや超える値が推定されたため、 $\rho_{\beta 1} = 1$ と固定したランダムウォークを仮定し、 $\rho_{\beta 2}$ については負の値が推定されたため、 $\rho_{\beta 2} = 0$ と固定し各年を独立と仮定し、各年の効果 (β) を推定した。時空間効果 (ε) については、遭遇確率のモデルでは相関係数が0.9よりも高く推定されたため $\rho_{\varepsilon 1} = 1$ と固定したランダムウォークを仮定し、遭遇時の CPUE を予測するモデルでは1次の自己相関を仮定して推定した ($\rho_{\varepsilon 2} = 0.65$)。

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

$$r_1(i) = \text{logit}^{-1}p_1(i) \quad (28)$$

$$r_2(i) = a_i \times \log^{-1}p_2(i) \quad (29)$$

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

$$\Pr(b_i = B) = \begin{cases} 1 - r_1(i) & \text{if } B = 0 \\ r_1(i) \times g\{B|r_2(i), \sigma_m^2(c)\} & \text{if } B > 0 \end{cases} \quad (30)$$

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

漁具能率に影響する共変量 Q として、昨年度は北上期 CPUE では表面海水温 (SST) と水深 50m 水温 (T50)、秋季 0 歳魚 CPUE および秋季 1 歳魚 CPUE では SST と水深 30m 水温 (T30) を使用したが、両変数の相関が比較的高く (北上期 : $r = 0.69$ 、秋季 : $r = 0.67$)、係数の推定値の信頼性や予測の安定性を下げる可能性が考えられた。そのため、これら 2 変数を用いた主成分分析を行い、直交する第 1 主成分 (PC1) と第 2 主成分 (PC2) を解析に使用した。両方の調査データにおいて、PC1 が両方に共通する要素、PC2 が両方の水温の差を表しており、第 1 主成分の寄与率が 80% を超えていた (補足図 4-1)。PC1 と PC2 の二乗項と交互作用項を含め、AICc 基準で総当たりのモデル選択を行った。その結果、PC1 とその二乗項はすべての解析の上位モデルに選ばれやすい一方で、PC2 や PC1 と PC2 の交互作用項は北上期 CPUE と秋季 1 歳 CPUE で選ばれやすかった (補足表 4-1)。AICc 最小の変数を用いたモデルを使用し、資源量指標値を算出した。VAST の資源量指標値は各年における各位置の相対卵密度を $d(x, c, t) = r_1^*(x, c, t) \times r_2^*(x, c, t)$ で計算し (r^* は式 11、12 から第 4 項を除いたものから式 20、21 を用いて得られる)、各ノットの面積と密度を掛け合わせた値の総和を存在量として求められるが、今回の解析では密度は CPUE (尾/網/60 分) であるため、総和を面積の合計値で割った値を標準化 CPUE (尾/網/60 分) として算出した。

$$I(t) = \frac{\sum_{s=1}^{n_s} (a(s) \times d(s, t))}{\sum_{s=1}^{n_s} a(s)} \quad (31)$$

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

VAST で推定された各年の局所密度の分布を補足図 4-2 から 4-4 に示す。秋季調査から推定された 1 歳魚の分布の変化が顕著に見られており、2018 年以前は北緯 41 度・東経 145 度

付近にあった重心が、2019年以降急激に北東方向に移動していることが明らかになった（補足図 4-4 上段）。いずれの指標も 2023 年の値は前年から減少しており、特に秋季 0 歳 CPUE の減少は顕著であり 2013 年以降で最低であった（補足図 4-5）。R パッケージの DHARMA（Hartig 2022）を使用しモデル診断を行ったところ、いずれの解析においても Q-Q プロットは理論上の予測線の上に観測値が載っており、コルモゴロフ-スミルノフ検定において有意差は検出されなかった（補足図 4-6 上段）。

(2) たもすくい CPUE の標準化

神奈川県のともすくい漁業のデータ（2003～2020 年）および静岡県（2014～2022 年）のデータを使用した。たもすくい CPUE（kg/時間/人）のデータも 0 以上の連続値であり、昨年は (1) と同様の二項分布（logit リンク）とガンマ分布（log リンク）の混合モデルを使用した。しかし、ガンマ分布の代わりに Tweedie 分布を使用することで AICc が 290 以上減少することが判明したため、二項分布と Tweedie を合わせたゼロ過剰（zero inflated）Tweedie 分布モデルを使用した。解析には、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。2007～2009 年と 2013 年は、すべてのデータで漁獲があったため、二項分布モデルの年効果を 1 次の自己相関に基づくランダム効果で推定した。また、R パッケージの glmmTMB（Brooks et al. 2017）を使用し、二項分布モデルと Tweedie 分布モデルを同時に扱い、パラメータ推定と変数選択を一括して行った。R パッケージの MuMIn（Bartoń 2022）を使用し、AICc 規準で総当たりの変数選択を行った。

変数選択の結果、AICc が最小となったモデルの二項分布については県以外のすべての変数が選択され、Tweedie 分布については県と船以外の変数が選択された。このモデルを使用し、各変数のすべての組み合わせにおいて予測 CPUE を算出し、年ごとに予測 CPUE を平均した値を標準化した資源量指標値とした。連続変数である表面海水温に関しては、最小値と最大値を細かく分割し、そのときの予測値を求めた。標準化 CPUE は、ノミナル CPUE と似た傾向を示したが、2020 年はノミナル CPUE よりも標準化 CPUE の方が低かった（補足図 4-5 左下）。2023 年の値は前年よりも減少し、2018 年以降減少傾向が続いている Q-Q プロットでは、理論上の予測線から観測値がやや外れており、コルモゴロフ-スミルノフ検定において有意差が検出された（補足図 4-6 左下）。

(3) 産卵量の標準化

水産資源研究所が開発してきた卵稚仔データベースでは年間を通じた産卵量を、平均孵化日数や平均残存率で補正した各月の平均卵密度データを用いて、マサバの産卵量の標準化を行った。同様のデータはすでにウルメイワシ太平洋系群で使用されている（渡邊ら 2022）。補正の式は以下で表される：

$$E_{y,m,i} = \left(\frac{1}{\bar{S}} \frac{D_{y,m}}{d_{y,m,i}} \right) \bar{X}_{y,m,i} \quad (32)$$

$E_{y,m,i}$ は年 y 月 m 区画 i における月平均卵密度、 \bar{S} は卵の平均生残率、 $D_{y,m}$ は y 年 m 月の日数、 $d_{y,m,i}$ は年 y 月 m 区画 i における平均孵化日数である。平均孵化日数は卵採集時の水温や卵の発生ステージおよび卵発生速度 (Uehara and Mitani 2009) を用いて算出される (渡部 1983)。解析期間はマサバ産卵量が発見されたことのある 1 月から 7 月とした。空間分布の年変化だけではなく季節変化も推定する VAST の「季節モデル」 (Thorson et al. 2020) を使用した。

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

$$\beta(t) = \mu_\beta + \beta_m(m_t) + \beta_y(y_t) + \beta_t(t) \quad (33)$$

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

$$\beta_t(t) \sim \begin{cases} N(0, \sigma_\beta^2), & \text{if } t = 1 \\ N(\rho_\beta \beta_t(t-1), \sigma_\beta^2), & \text{if } t > 1 \end{cases} \quad (34)$$

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

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

解析の結果、マサバの卵密度は毎年 3~5 月の間に高く、産卵時期が遅くなるに連れて卵密度の重心は北東方向に移動していることが明らかになった (補足図 4-7)。標準化産卵量はノミナル産卵量よりもやや高い値が推定され (補足表 2-2)、2023 年の値は解析を行った 2005 年以降で最低であった (補足図 4-5 中央下)。Q-Q プロットでは、理論上の予測線上に観測値が載っており、コルモゴロフ-スミルノフ検定において有意差は検出なかった (補足図 4-6 右下)。

引用文献

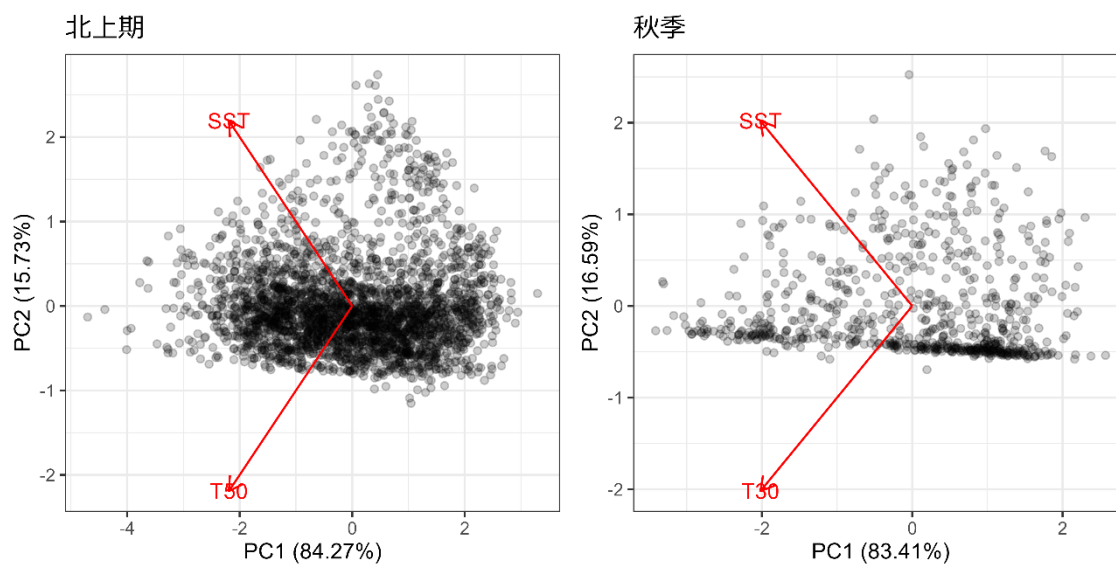
- Bartoń, K. (2022) MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.46.0., <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>.
- Brooks, M. E., K. Kristensen, K. J. van Benthem, A. Magnusson, C. W. Berg, A. Nielsen, H. J. Skaug, M. Maechler and B. M. Bolker (2017) glmmTMB: Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal*, **9**, 378-400.
- Grüss, A., J. F. Walter III, E. A. Babcock, F. C. Forrestal, J. T. Thorson, M. V. Lauretta and M. J. Schirripac (2019) Evaluation of the impacts of different treatments of spatio-temporal variation in catch-per-unit-effort standardization models. *Fish. Res.*, **213**, 75–93.
- Hartig, F. (2022) DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level/Mixed) Regression Models. R package version 0.4.5. <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>.
- Kanamori, Y., A. Takasuka, S. Nishijima and H. Okamura (2019). Climate change shifts the spawning ground northward and extends the spawning period of chub mackerel in the western North Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **624**, 155-166.
- Kristensen, K., A. Nielsen, C. E. Berg, H. Skaug and B. M. Bell (2016) TMB: automatic differentiation and Laplace approximation. *J. Stat. Softw.*, **70**, 1–21.
- Lo, N. C. H., L. D. Jacobson and J. L. Squire (1992) Indices of relative abundance from fish spotter data based on delta-lognormal models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**, 2515-2526.
- Thorson, J. T. (2017) Three problems with the conventional delta-model for biomass sampling data, and a computationally efficient alternative. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **75**, 1369-1382.
- Thorson, J. T. (2019) Guidance for decisions using the Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) package in stock, ecosystem, habitat and climate assessments. *Fish. Res.*, **210**, 143-161.
- Thorson, J. T. and LAK. Barnett (2017) Comparing estimates of abundance trends and distribution shifts using single- and multispecies models of fishes and biogenic habitat. *ICES J. Mar. Sci.*, **74**, 1311-1321.
- Thorson, J. T. and K. Kristensen (2016) Implementing a generic method for bias correction in statistical models using random effects, with spatial and population dynamics examples. *Fish. Res.*, **175**, 66-74.
- Thorson, J. T., C. F. Adams, E. N. Brooks, L. B. Eisner, D. G. Kimmel, C. M. Legault, L. A. Rogers and E. M. Yasumiishi (2020) Seasonal and interannual variation in spatio-temporal models for index standardization and phenology studies. *ICES J. Mar. Sci.*, **77**, 1879-1892.
- Uehara, S. and T. Mitani (2009) Effect of temperature on the development of eggs and the daily pattern of spawning of round herring *Etrumeus teres*. *Fish. Sci.*, **75**, 159-165.
- 渡部奏輔 (1983) 卵数法. 水産資源の解析と評価. 石井丈夫編, 恒星社厚生閣. 東京, 9-22pp.
- 渡邊千夏子・安田十也・渡井幹雄・宇田川美穂・井元順一・木下順二 (2022) 令和3 (2021) 年度ウルメイワシ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 28pp, <https://abchan.fra.go.jp/>.
- 由上龍嗣・井須小羊子・渡邊千夏子・上村泰洋・古市 生・渡部亮介・金森由妃 (2020) 令和元 (2019) 年度ゴマサバ太平洋系群の資源評価. 令和元年度我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 40pp, <http://abchan.fra.go.jp/>.

補足表 4-1. 北上期 CPUE、秋季 0 歳魚 CPUE、秋季 1 歳魚 CPUE の二項分布モデルおよびガンマ分布モデルにおける変数選択の結果.

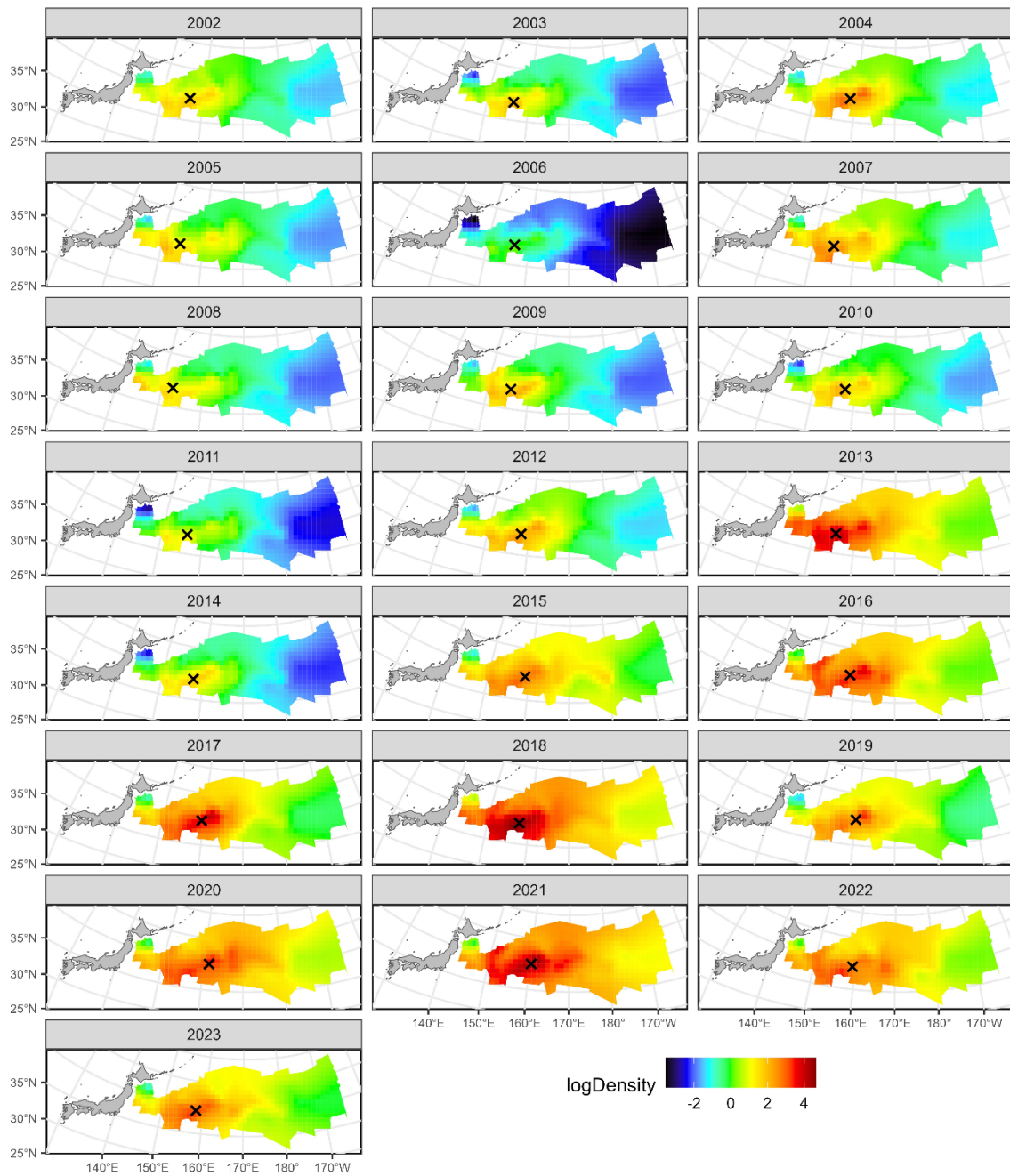
順位	PC1	PC1 ²	PC2	PC2 ²	PC1:PC2	パラメータ数	対数尤度	AICc	ΔAICc
<u>北上期</u>									
1	B,G	B	B,G	B	B	58	-4245.74	8609.88	0
2	B,G	B	B,G	B,G	B	59	-4244.84	8610.17	0.28
3	B,G	B,G	B,G	B	B	59	-4245.13	8610.73	0.85
4	B,G	B,G	B,G	B,G	B	60	-4244.28	8611.13	1.24
5	B,G	B	B,G		B	57	-4247.43	8611.17	1.29
<u>秋季 0 歳</u>									
1	B,G	B,G				47	-2559.87	5220.3	0
2	B,G	B,G	B			48	-2559.58	5221.99	1.69
3	B,G	B,G	G			48	-2559.84	5222.52	2.23
4	B,G	B,G	G		G	49	-2558.79	5222.71	2.41
5	B,G	B,G	B		B	49	-2558.96	5223.06	2.77
<u>秋季 1 歳</u>									
1	B,G	G	B		B	16	-1454.4	2941.56	0
2	B,G	G	B,G	G	B	18	-1452.36	2941.67	0.11
3	B,G	B,G	B		B	17	-1453.55	2941.94	0.38
4	B,G	B,G	B,G	G	B	19	-1451.5	2942.06	0.5
5	B,G	G	B,G		B	17	-1453.72	2942.29	0.73

PC1, PC2 は第 1 主成分と第 2 主成分をそれぞれ表す (補足図 4-1 参照)。

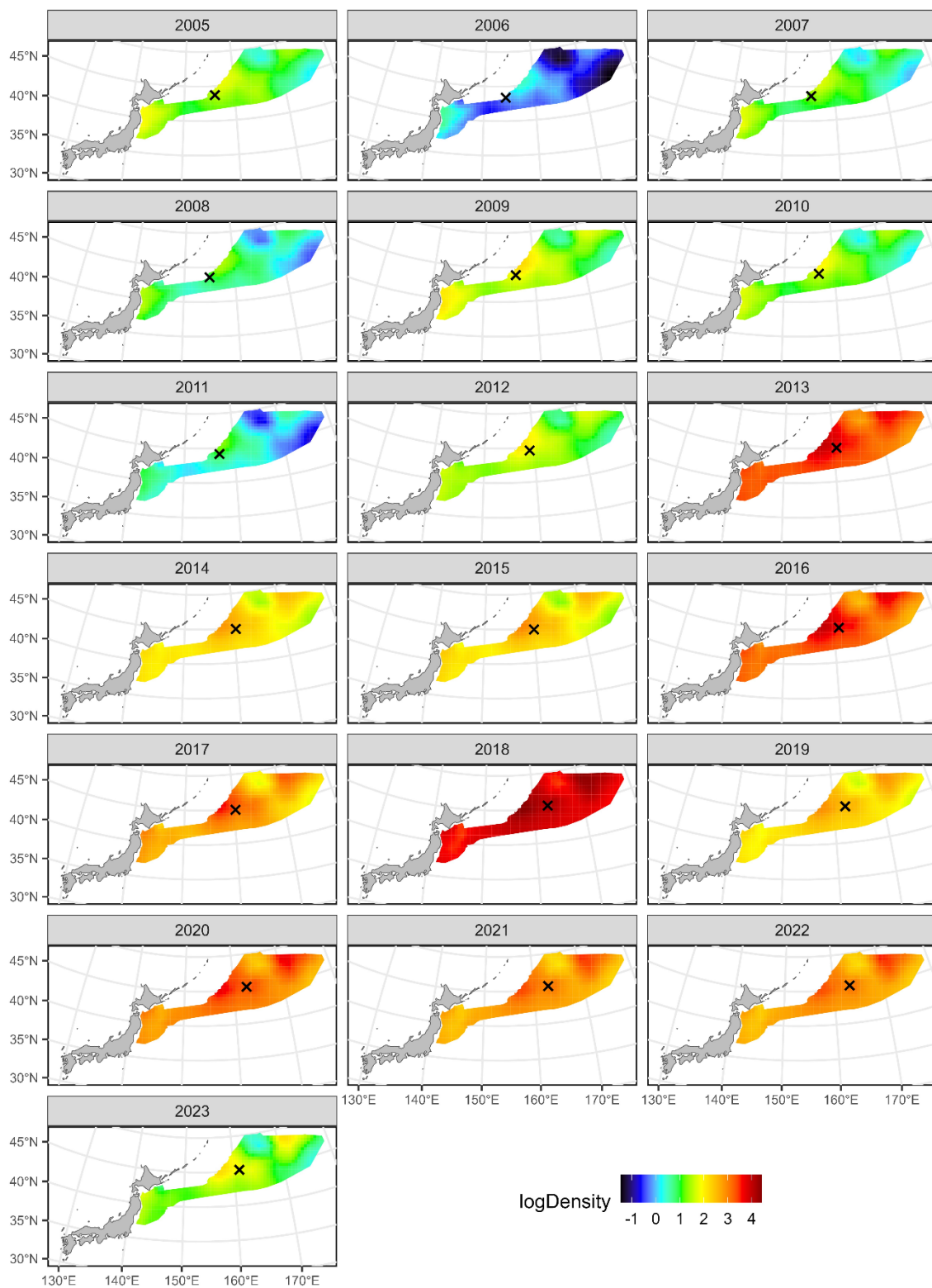
B は二項分布で、G はガンマ分布で各変数が選ばれたことを表す。



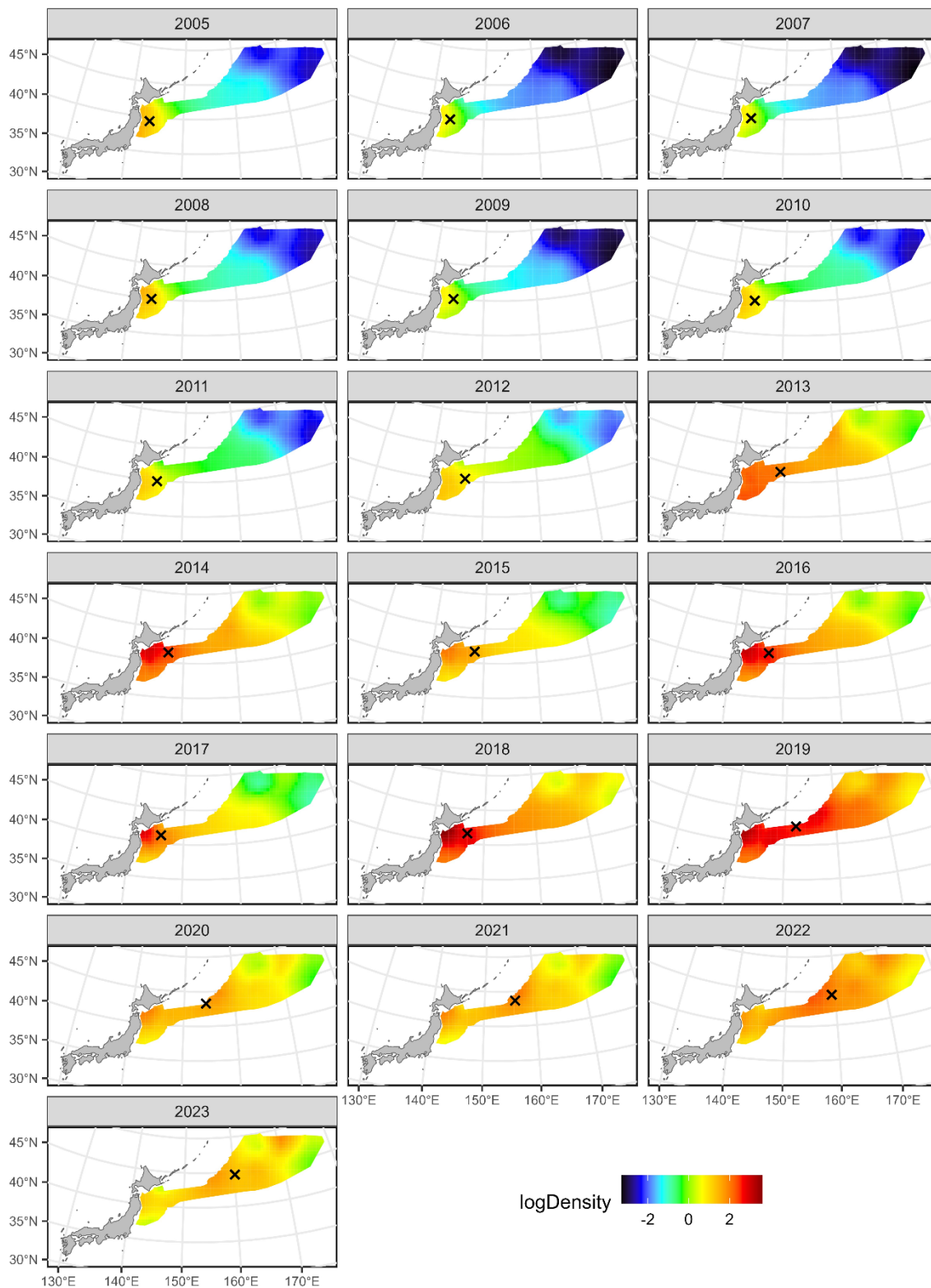
補足図 4-1. 北上期調査データ (左) および秋季調査データ (右) において海面表水温 (SST) と水深 50m 水温 (T50) あるいは水深 30m 水温 (T30) を主成分分析した結果



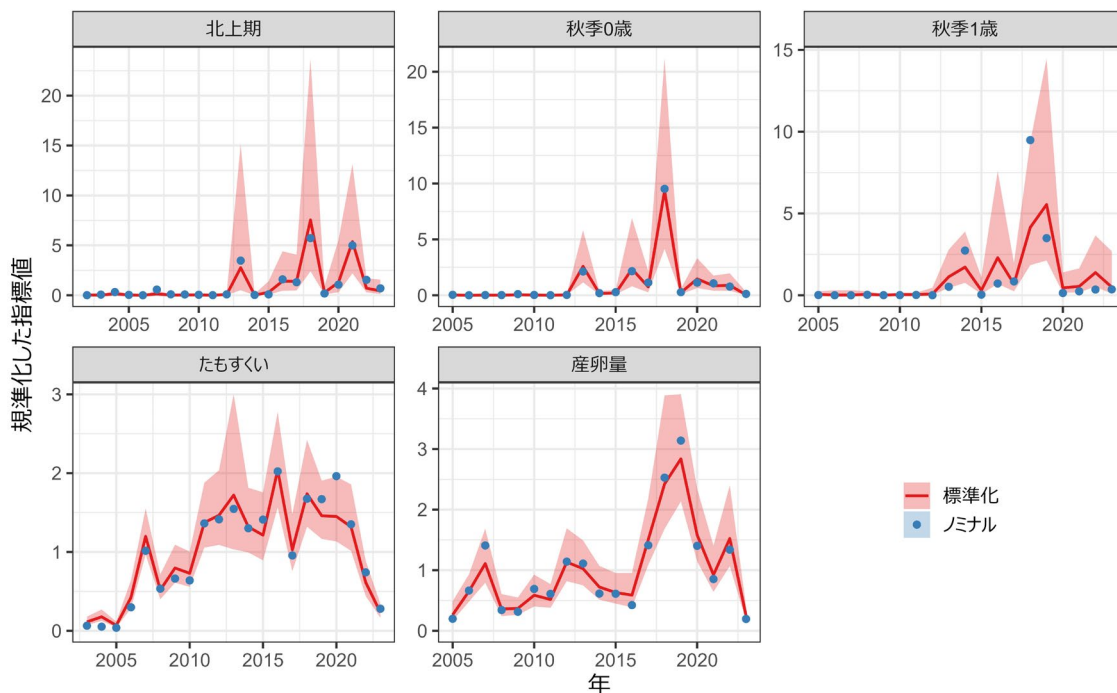
補足図 4-2. 北上期調査データから推定された各年の 0 歳魚の相対密度
 ×印は分布の重心を表す。



補足図 4-3. 秋季調査データから推定された各年の 0 歳魚の相対密度
 ×印は分布の重心を表す。

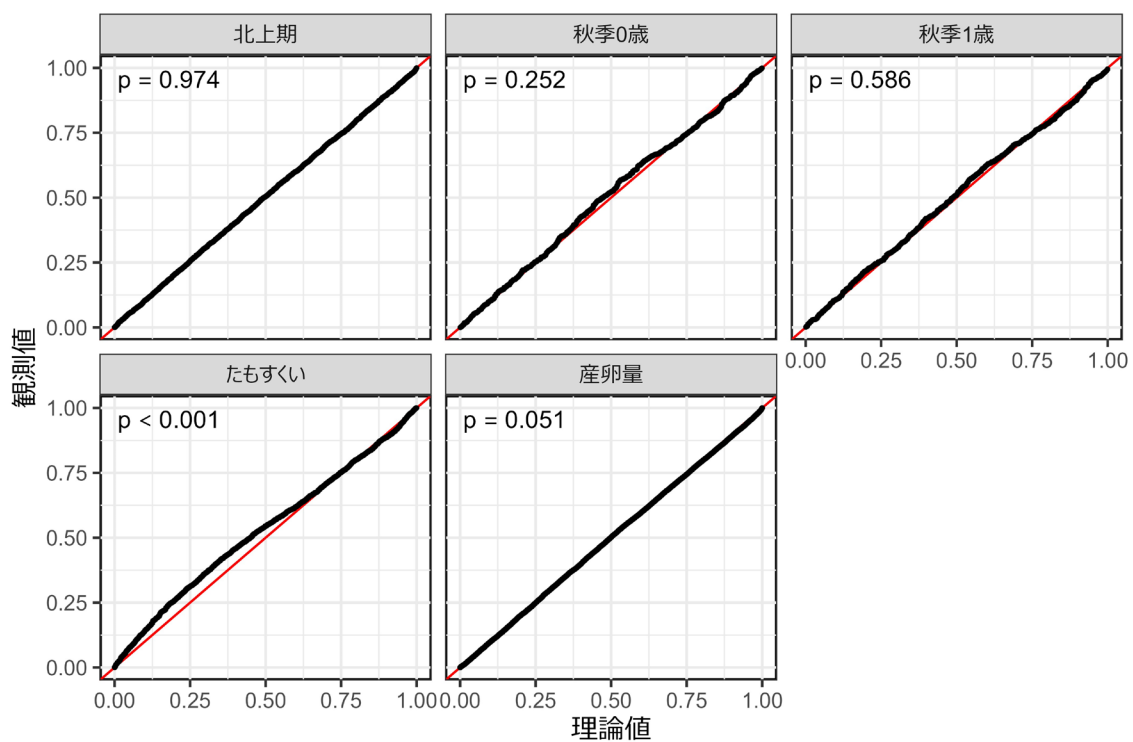


補足図 4-4. 秋季調査データから推定された各年の 1 歳魚の相対密度
赤い×印は分布の重心を表す。



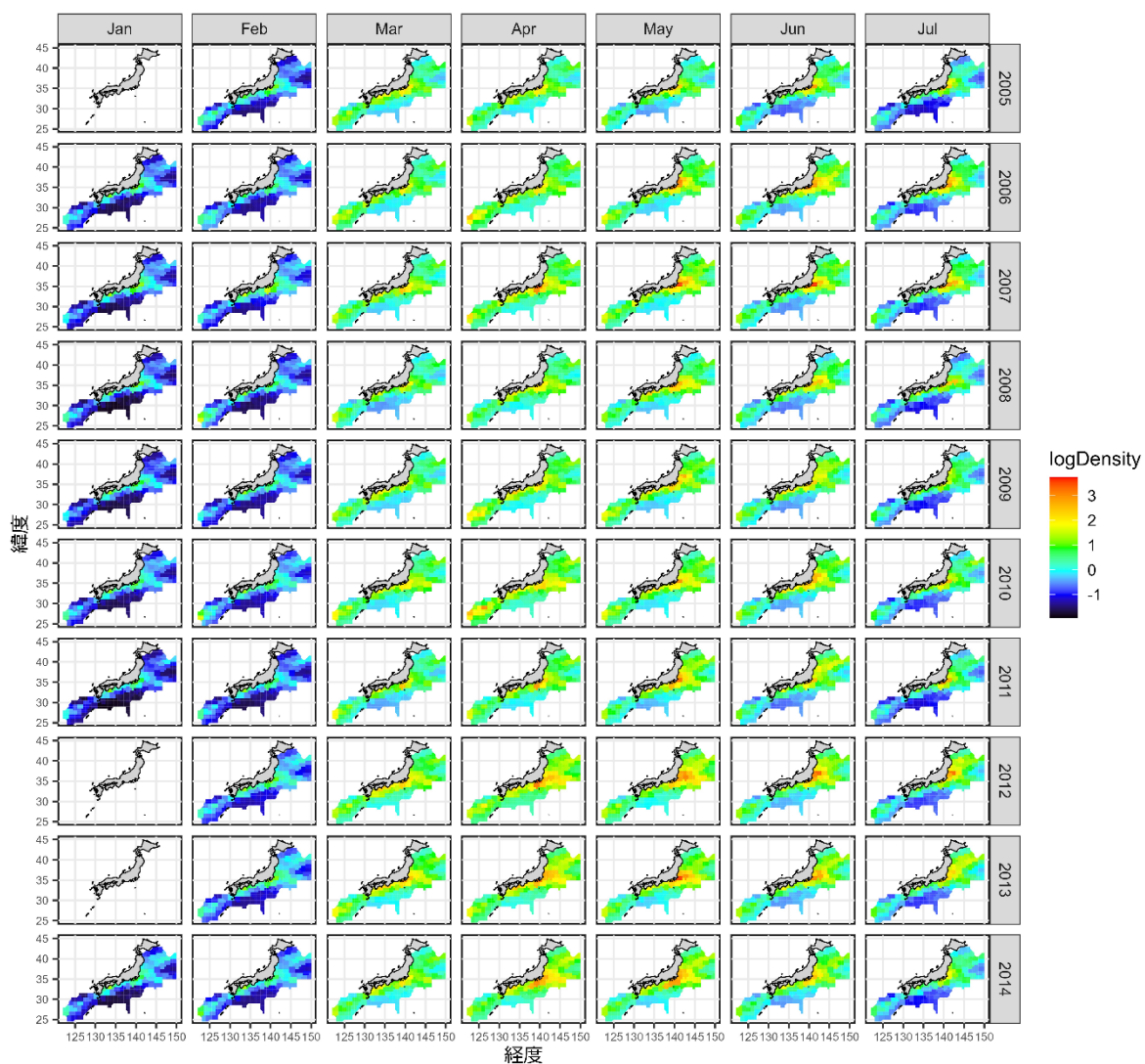
補足図 4-5. 北上期 CPUE (左上)、秋季 0 歳魚 CPUE (中央上)、秋季 1 歳魚 CPUE (右上)、たもすくい CPUE (左下)、産卵量の経年変化

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

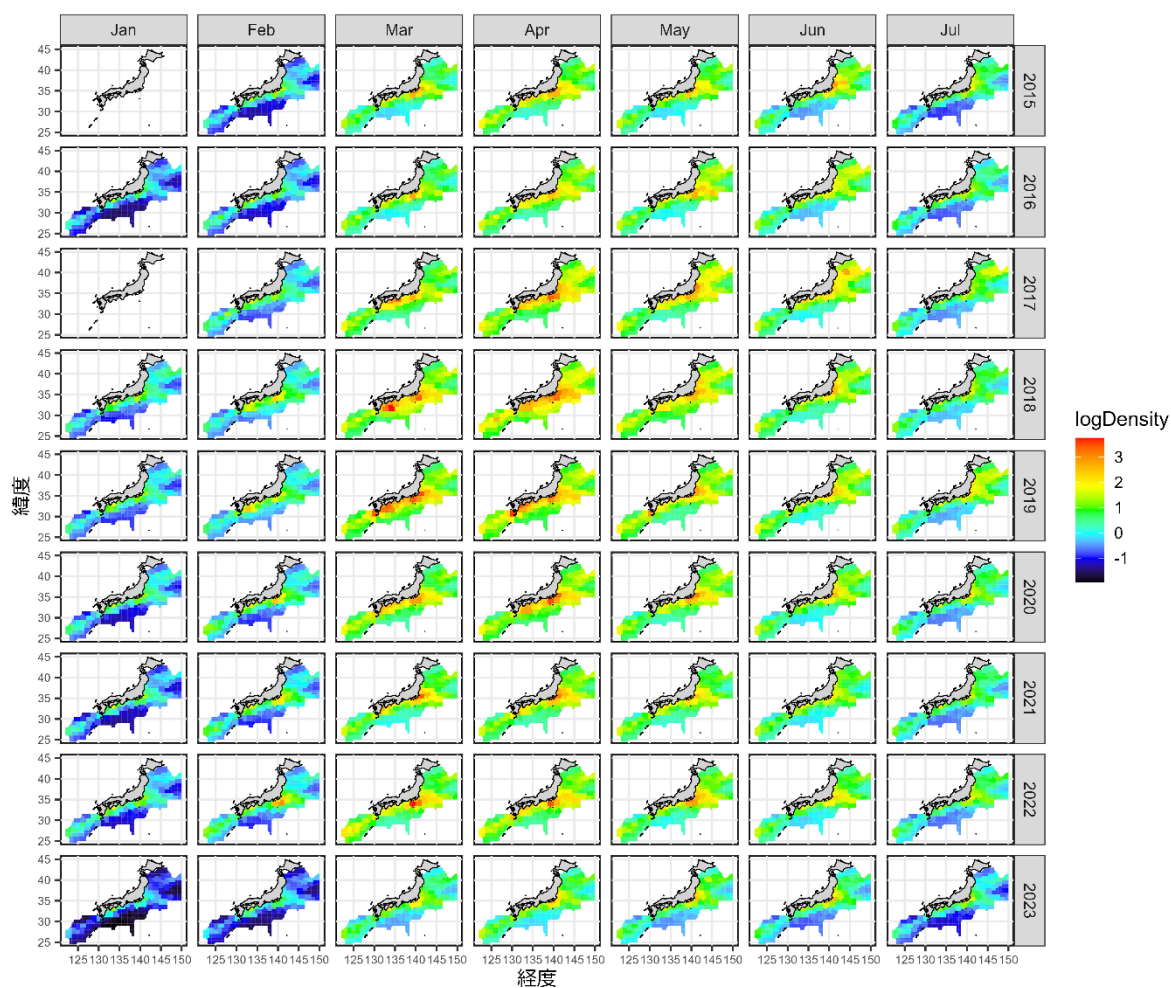


補足図 4-6. 各資源量指標値の解析における標準化残差（0-1 の範囲に規準化した残差）の Q-Q プロット

左上にコルモゴロフ-スミルノフ検定における p 値を示す。



補足図 4-7a. 2005～2014 年（行）の 1～7 月（列）に推定されたマサバ卵密度
 すべてのサンプルでマサバ卵が発見されなかった年・月の密度はゼロとした。



補足図 4-7b. 2015～2023 年（行）の 1～7 月（列）に推定されたマサバ卵密度
 すべてのサンプルでマサバ卵が発見されなかった年・月の密度はゼロとした。

補足資料 5 各種調査・資料の概要

1) 移行域幼稚魚調査

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

2) 北西太平洋北上期浮魚類資源調査・道東三陸沖加入量把握調査

北西太平洋北上期浮魚類資源調査は東北水研・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。道東三陸沖加入量把握調査は中央水研（当時）により 2019 年に開始。太平洋におけるスルメイカの加入量を把握するために、7 月の本邦沿岸から東経 155°E の移行域～親潮域で中層トロール漁獲試験を実施。それぞれの調査の 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

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

4) 北西太平洋秋季浮魚類資源調査

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

加入量指数を求めた。

また近年では資源量の増加に伴い 1 歳以上も沖合域に分布するようになったことと、耳石による年齢査定を行ったため、中層トロールの年齢別 CPUE が利用可能になったことから、今年度資源評価において 1 歳魚 CPUE を 1 歳魚資源尾数の指標値として使用した（補足表 2-2、補足資料 4）。

5) 冬春季常磐海域まき網漁況調査（未成魚越冬群指数）

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

6) 北部まき網漁業の有効努力量、資源量指数

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

7) 卵稚仔調査

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

8) たもすくい漁業の CPUE

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

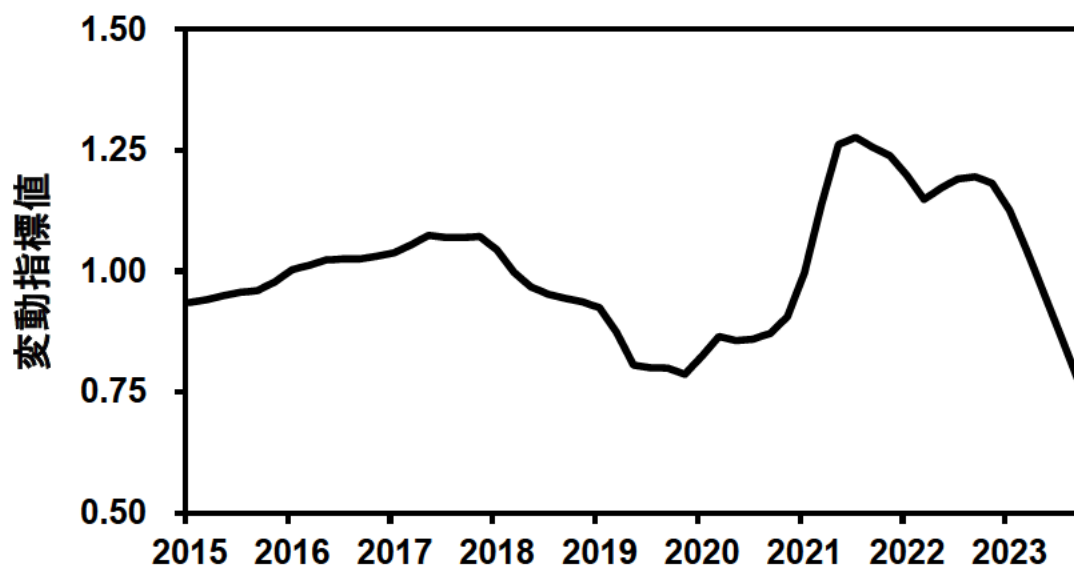
補足資料 6 北西太平洋における外国漁船の漁獲動向について

2014 年以降、北西太平洋公海域（NPFC 条約海域）では中国を中心とした外国漁船がさば類を漁獲しているが、その漁獲動向の把握が重要な課題となっている。

平成 26 年度から水産資源調査・評価推進事業の一環として、米国 NOAA・NASA が運用している Suomi NPP 衛星の VIIRS センサーが夜間に北西太平洋の上空にて取得した可視光データを用いて灯光を利用する漁船の位置を推定している（Miller et al. 2012）。今年度は夜間可視光データから灯光漁船の位置を抽出し、北西太平洋の北緯 35 度～45 度、NPFC 条約海域の境界線～東経 160 度を解析海域として、灯光漁船の推定隻数を経年的に整理し始めた。2015 年 1 月～2023 年 9 月の中長期的な変動パターンを観察するため、統計解析により推定隻数の月積算値から 12 ヶ月の周期成分と各月の残差を引いた傾向成分を算出した。人工衛星の観測頻度や気象の影響を考慮して、傾向成分を相対的な評価が可能な変動指標値に変換した（補足図 6-1）。今後、マサバを漁獲する灯光漁船を同じく北西太平洋にて操業を行うサンマ漁船やいか釣り漁船と識別することが望まれる。また、灯光漁船の操業位置、輝度レベル、海洋環境データの比較解析を行うことにより、より高度な外国漁船の漁獲動向が推定可能になると期待される。

引用文献

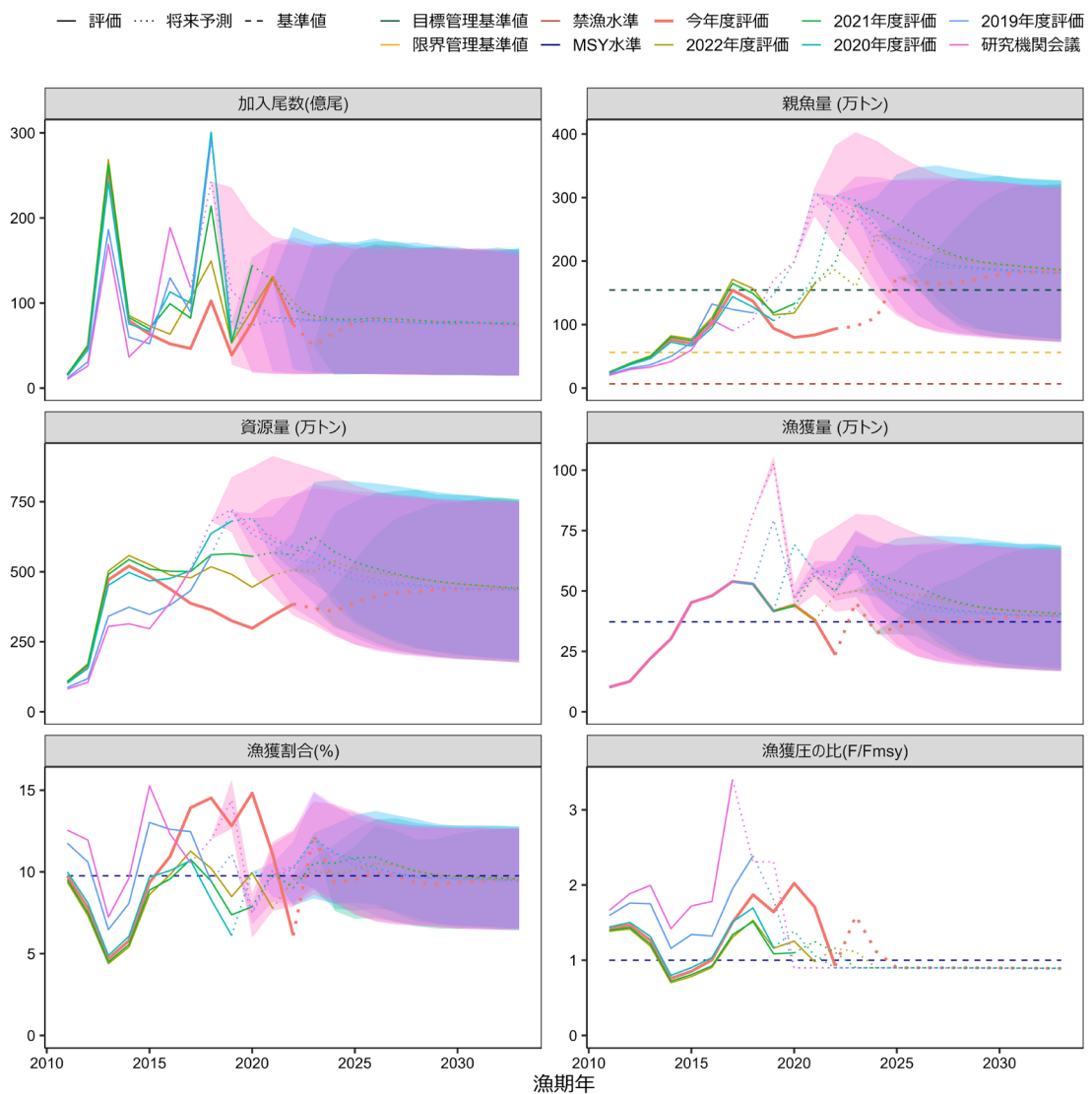
Miller, S. D., S. P. Mills, C. D. Elvidge, D. T. Lindsey, T. F. Lee and J. D. Hawkins (2012) Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, **109**, 15706-15711.



補足図 6-1. 北西太平洋の解析海域における灯光漁船の変動指標値（2015 年 1 月～2023 年 9 月）

補足資料 7 過年度評価結果との比較

2018 年度（研究機関会議で使用した評価年度）以降の資源評価による各種推定値を比較した（補足図 7-1、補足表 7-1）。特に 2022 年度および今年度の評価において、2016、2018 年漁期の加入量の方修正が大きく、これに伴い資源量および親魚量も下方修正となっている。これは 2016、2018 年級群の各種加入量指標値が高い値であったものの、これらの年級群が産卵親魚として加入する年の親魚量指標値が期待されたほどは高い値とならなかったことが主な要因と考えられる。特に 2023 年の標準化産卵量、たもすくい標準化 CPUE の値が極めて低く、今年度評価における資源量および親魚量の下方修正の幅が大きかった。



補足図 7-1. 加入量、親魚量、資源量、漁獲量、漁獲割合、漁獲圧の比 (F/Fmsy) の比較
 桃：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、水色：2020 年度資源評価、緑：2021 年度資源評価、茶：2022 年度資源評価、橙：今年度資源評価。
 いずれも $\beta=0.9$ の場合。評価部分は実線、将来予測部分は点線とした。

補足表 7-1. 評価年度別の各年の加入量、親魚量および資源量

(a) 加入量 (億尾)

加入量	漁期年									
評価年度	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
2018	169	37	60	189	118					
2019	186	60	52	130	89	292				
2020	242	76	67	113	100	301	58			
2021	262	83	69	99	82	214	53	144		
2022	268	85	73	63	106	149	53	92	131	
2023	252	79	63	52	47	103	39	77	130	75

(b) 親魚量 (万トン)

親魚量	漁期年									
評価年度	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
2018	33	42	60	107	91					
2019	37	50	72	132	124	119				
2020	46	72	66	95	144	127	106			
2021	50	80	75	107	165	149	119	133		
2022	51	82	77	111	171	157	115	118	164	
2023	48	76	70	101	154	137	94	80	84	93

(c) 資源量 (万トン)

資源量	漁期年									
評価年度	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
2018	305	314	297	390	509					
2019	341	374	348	381	433	560				
2020	452	498	467	476	504	637	681			
2021	491	543	509	502	501	561	565	555		
2022	503	558	525	488	478	518	491	445	488	
2023	471	521	484	439	387	364	325	298	344	385