

令和 2（2020）年度スケトウダラ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
開発調査センター

参画機関：北海道立総合研究機構釧路水産試験場、北海道立総合研究機構栽培水産試験場、北海道立総合研究機構函館水産試験場、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、福島県水産資源研究所、茨城県水産試験場、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（沖合底びき網漁業および沿岸漁業の CPUE）をチューニング指数としたコホート解析により推定した。資源量（0 歳以上の総重量）は、1981～2011 年漁期（4 月～翌年 3 月）には 909 千～1,400 千トンの範囲で安定して推移していたが、2012 年漁期以降は減少傾向にある。2019 年漁期の資源量は 866 千トンであった。親魚量は 1981～2009 年漁期にかけて 151 千～322 千トンの範囲で安定して推移していたが、2010 年漁期に急増し、2012 年漁期には 562 千トンに達した。その後、2018 年漁期には 266 千トンまで減少したが、2019 年漁期は増加し 302 千トンであった。加入量（0 歳魚の資源尾数）は、1981 年級群以降 4 億～54 億尾の範囲で変動しており、30 億尾を上回った年級群（卓越年級群）は、1981、1991、1994、1995、2005 および 2007 年に発生した。2007 年以降では、2009 年級群の加入量が 26 億尾と比較的高豊度であった一方で、2010 年級群および 2015 年級群の加入量は 5 億尾以下と評価期間を通して最も低い水準であった。近年では 2019 年漁期に 5 歳魚となった 2014 年級群、および 3 歳魚となった 2016 年級群の加入量が比較的多く、また調査船調査の結果から 2017 年級群の加入量も高いと考えられることから、今後、短期的には資源量・親魚量の減少は抑制されると考えられる。

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」では、本系群の再生産関係式にはホッケー・スティック型再生産関係（HS）が適用されている。最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量（SBmsy）は、適用した再生産関係に基づき 220 千トンと推定された。この基準に従うと、本系群の 2019 年漁期の親魚量は SBmsy を上回る。また漁獲圧は MSY を実現する水準（Fmsy）を下回る。親魚量の動向は近年 5 年間（2015～2019 年漁期）の推移から「横ばい」と判断される。

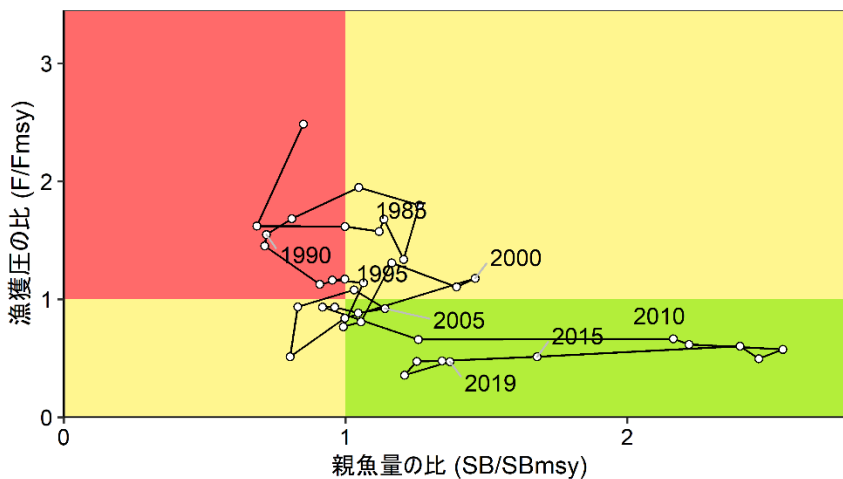
本系群では、管理基準値や将来予測など、資源管理方針に関する検討会の議論をふまえて最終化される項目については管理基準値等に関する研究機関会議において提案された値を暫定的に示した。

項目	値	説明
現在の環境下において MSY を実現する水準		
SBmsy	220 千トン	最大持続生産量 MSY を実現する親魚量
Fmsy	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧 (F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳, 8 歳, 9 歳, 10 歳以上) =(0.02, 0.02, 0.08, 0.14, 0.37, 0.61, 0.68, 0.68, 0.68, 0.68, 0.68)	
%SPR (Fmsy)	19 %	Fmsy に対応する %SPR
MSY	176 千トン	最大持続生産量 MSY
2019 年漁期の親魚量と漁獲圧		
SB2019	302 千トン	2019 年漁期の親魚量
F2019	2019 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, 7 歳, 9 歳, 10 歳以上) =(0.00, 0.00, 0.02, 0.08, 0.19, 0.17, 0.51, 0.21, 0.21, 0.38, 0.38)	
%SPR (F2019)	36.2 %	2019 年漁期の %SPR
%SPR (F2015-2019)	36.1 %	現状 (2015~2019 年漁期) の漁獲圧に対応する %SPR
MSY を実現する水準に対する比率		
SB2019/ SBmsy	1.37	最大持続生産量を実現する親魚量に対する 2019 年漁期の親魚量の比
F2019/ Fmsy	0.47	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2019 年漁期の漁獲圧の比*

*2019 年漁期の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して算出し求めた比率

再生産関係：ホッカー・スティック型（自己相関なし）

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



漁期年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F/Fmsy	漁獲割合 (%)
2016	815	296	100	0.48	12
2017	872	276	93	0.48	11
2018	1,035	266	76	0.36	7
2019	866	302	90	0.47	10
2020	995	270	110	0.47	11
2021	1,011	340	—	—	—

2020年漁期、2021年漁期の値は将来予測に基づいた推定値である。

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	主要港漁業種別水揚量（北海道～茨城（6）道県） 北海道沖合底びき網漁業漁獲成績報告書（水産庁） 太平洋北区沖合底びき網漁業漁獲成績報告書（水産庁） 生物情報収集調査（水研、北海道～茨城県（6）道県）
資源量指標値 ・産卵量指標値 ・加入量指標値 ・親魚量指標値	スケトウダラ卵・仔魚分布調査（12～3月、水研） ・リングネット スケトウダラ仔稚魚春季定量調査（4月、水研） ・計量魚探、フレームトロール スケトウダラ音響トロール調査（6～7月、水研）* ・計量魚探、トロール 道東太平洋スケトウダラ資源調査（11月、北海道） ・計量魚探、トロール マダラ・スケトウダラ新規加入量調査およびズワイガニ分布調査（4月、水研）、マダラ・スケトウダラ新規加入量調査（4～12月、岩手県～福島県（3）県） ・計量魚探、トロール 北海道沖合底びき網漁業 年齢別標準化 CPUE（水研）** ・北海道沖合底びき網漁業漁獲成績報告書、生物情報収集調査 スケトウダラ産卵来遊群分布調査（8～9月、北海道） ・計量魚探、トロール 北海道すけとうだら固定式刺し網漁業 CPUE（北海道） ・漁獲成績報告書から得られる資源量指標値** ・操業日誌から得られる標準化 CPUE**

自然死亡係数 (M)	3 歳以上には年当たり 0.25 を仮定 (Widrig (1954) の方法) 2 歳には 0.3、1 歳には 0.35、0 歳には 0.4 を仮定
漁獲努力量	北海道沖合底びき網漁業漁獲成績報告書 (水産庁) 北海道すけとうだら固定式刺し網漁獲成績報告書 (北海道)

*は直近 3 年間の加入量の推算に用いた加入量指標値である。

**はコホート解析におけるチューニング指数である。

年齢別・漁期年別漁獲尾数は、主要水揚港での漁法別・時期別の漁獲物サンプルから推定した年齢組成情報に基づき算出した。道東海域の沖合底びき網漁業 (以下、「沖底」という) の年齢別漁獲尾数は、2015 年漁期まではオッタートロール漁法 (以下、「オッタートロール」という) の漁獲物サンプルから得られた年齢組成情報、2016 年漁期以降はオッタートロールに加えてかけまわし漁法 (以下、「かけまわし」という) の漁獲物サンプルから得られた年齢組成情報も用いて算出した。なお、本系群に関する漁期は 4 月～翌年 3 月であり、年齢の起算日も 4 月 1 日としている。

2. 生態

(1) 分布・回遊

本系群は、常磐から北方四島にかけての太平洋岸に分布している (図 2-1)。主産卵場は噴火湾周辺海域であるが (Nishimura et al. 2002)、金華山周辺海域、道東海域および択捉島周辺海域にも産卵場が存在すると考えられている (児玉ほか 1988、Tsuji 1989、濱津・八吹 1995、ヴェリカノフ 2013)。主産卵場である噴火湾周辺海域で発生した卵のうち、噴火湾内へ輸送された個体については湾内で仔稚魚期を過ごした後、多くが道東海域や北方四島水域へ移動する (Nakatani 1988、本田ほか 2003、Honda et al. 2004)。また、これらの海域で未成魚期を過ごした多くの個体は、成熟すると噴火湾周辺海域へ産卵回遊するが、産卵が終了すると再び道東海域や北方四島水域へ索餌回遊し、以後、この産卵回遊と索餌回遊を繰り返す。なお、東北太平洋岸に分布する本系群の多くは、噴火湾周辺海域で発生した個体と考えられている (小林 1985、金丸 1989)。親潮の勢力が強かった 1980 年代には東北海域が本系群の成育場として機能することで加入量が比較的安定していたことが指摘されている (Shida et al. 2007)。

(2) 年齢・成長

各年齢における尾叉長 (4 月 1 日時点) と体重 (漁期平均) を図 2-2 に示す。本系群はおおよそ 4 歳で 40cm、7 歳で 50cm に達する。寿命については明らかとなっていない。道東海域の漁獲物には稀に 20 歳を越える個体が含まれている。なお、ベーリング海での最高齢は 28 歳と推定されている (Beamish and McFarlane 1995)。

(3) 成熟・産卵

本系群では、おおむね 3 歳で成熟を開始し、4 歳で大部分の個体が成熟する (図 2-3)。50%成熟体長は雌で体長 36～41cm、雄で 33～38cm であり、分布密度や成長の良し悪しに

より年変動する (Hamatsu and Yabuki 2007)。また、主産卵場である噴火湾周辺海域における産卵期は 12 月～翌年 3 月で、産卵盛期は 1、2 月である (前田ほか 1981、尹 1981)。

本系群の加入量変動要因については、資源量推定等高精度化推進事業などにおいて現在も調査中である。本系群の再生産構造には、1980 年代や 1990 年代の 10 年規模の海洋環境変動の影響が指摘されている (Hamatsu et al. 2004)。また、豊度の高い年級群の発生には、冬季の高水温 (Funamoto 2007、Funamoto et al. 2013、2014) や、仔魚期の体長 (Funamoto et al. 2013) の重要性が指摘されている。実際に、冬季の噴火湾周辺海域の水温が例年よりも高かった 1991、1995、2000 年や、仔魚期のサイズが大きかった 2005、2007 年には高豊度の年級群が生み出されたのに対し、水温が低く仔稚魚期におけるサイズが小型であった 2010、2011 年には年級群豊度が低い。ただし、高水温下であったにもかかわらず加入量は少ない年級群や (例えば 1997 年級群)、大型であったにもかかわらず加入量はさほど多くない年級群もあり (例えば 2008 年級群)、水温や体長などから加入量を予測するには更なる検討が必要である。

(4) 被捕食関係

餌生物は、主にオキアミ類や橈脚類をはじめとする浮遊性甲殻類であるが、小型魚類、イカ類、底生甲殻類および環形動物なども摂餌している (前田ほか 1983、Yamamura et al. 2002)。本種を餌とする捕食者として、道東海域ではマダラ、アブラガレイ、イトヒキダラ等が報告されているほか、大型魚による共食いもみられる (Yamamura 2004、Yamamura and Nobetsu 2011)。また、海獣類の餌生物としても重要である (Tamura and Fujise 2002)。前述のとおり、共食いや他種による捕食圧が高いと考えられる本系群については、仔魚期のサイズが大きい場合に高豊度の加入が得られる可能性が示唆されている (Funamoto et al. 2013)。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

本系群は、沖底のほか、すけとうだら固定式刺し網漁業 (以下、「刺し網」という) や定置網漁業 (以下、「定置網」という) などの沿岸漁業でも漁獲されている。沖底にはオッタートロールとかけまわしが含まれる。1980 年代には北方四島水域や東北太平洋岸における漁獲量も多かったが、近年の主漁場は北海道の渡島・胆振地方と十勝・釧路地方である。渡島・胆振地方においては沿岸漁業が主体であり、主漁期は 10 月～翌年 1 月である。一方、十勝・釧路地方においては沖底が主体であり、主漁期は 9 月～11 月である。なお、千島列島南西海域では、ロシアの大型トロール船が操業を行っているが、その詳細は不明である。

本系群は TAC 制度により管理されている。2010 年漁期からは、大量来遊発生時に一時的に ABC を超えた TAC を翌年以降分から先行利用する制度が導入された。また、近年では 2013 年、2014 年、および 2015 年漁期に TAC の期中改訂による漁獲枠の拡大も行われている。噴火湾周辺海域では、2007 年漁期以降、一部の漁期年を除き、刺し網を対象とした行政指導による漁期、漁獲量および漁獲努力量の調整を実施している。沖底でも TAC などを考慮した操業調整が行われている。

根室半島の漁獲については、2011 年漁期以降、落石地区を除く根室市の漁獲量のうち、底建網と小定置の漁獲量をスケトウダラ根室海峡に、それら以外を太平洋系群に加算して

いる。2010年漁期以前については、根室市の全漁獲量を太平洋系群に加算した。

(2) 漁獲量の推移

本系群の漁獲量を図3-1と表3-1に示す。漁獲量は2000年代前半に200千トン台から急減し、2002年漁期には109千トンまで落ち込んだが、その後、増加に転じ、2005年漁期から2014年漁期はTAC規制なども働き143千～175千トンの範囲で安定して推移していた。しかし、2015～2018年漁期は減少傾向となり、2018年漁期には77千トンまで減少した。2019年漁期は増加に転じ、90千トンであった。漁獲量に占める各海域の比率は、2004年漁期から2013年漁期まで、襟裳以西で道東よりも多い傾向が続いていたが、2014年漁期以降は道東の漁獲量が襟裳以西を上回っている。北方四島水域では、日本とロシアとの地先沖合漁業協定に基づき沖底による漁獲が行われてきた。平成27年の日ロ漁業委員会により同水域でのスケトウダラの割当量は大幅に減少し、2015年漁期以降の漁獲実績はない。韓国漁船による漁獲は1987年漁期から始まり、1998年漁期には漁獲量が75千トンに達したが、新日韓漁業協定に基づき1999年漁期で終了した(表3-1)。

年齢別漁獲尾数を図3-2と補足資料4に示す。1980年代には0、1歳魚の漁獲が多かったが、これらは主に東北太平洋岸において漁獲されたもので、同海域の漁獲量の減少に伴い1990年代以降は少ない状態が続いている。また、1990年代には2、3歳魚の漁獲が多かったのに対し、2000年代後半以降は、漁獲の中心が4歳以上となっている。2019年漁期も4歳以上の割合が過半を占め(62%)、特に5歳魚(2014年級群)の割合が高いが(22%)。ただし、3歳魚(2016年級群)の割合も近年10年間では最も高く25%を占めていた。

(3) 漁獲努力量

漁獲量が総漁獲量に占める割合の大きい漁業は、北海道を根拠地とする(以下、「北海道根拠」という)沖底と襟裳以西海域の刺し網である。2019年漁期は、北海道根拠の沖底が総漁獲量の62%、襟裳以西海域の刺し網が総漁獲量の29%を漁獲した。これら漁業の漁獲努力量を図3-3、3-4、3-5と表3-2に示す。

北海道根拠の沖底の漁獲努力量として、スケトウダラの有漁操業の網数の推移を図3-3に示した。襟裳以西海域のかけまわしについては、2000～2012年漁期は4千網前後で推移していたが、2013～2014年漁期に操業隻数の減少に伴い減少し、2015年漁期以降は2.5千網前後で推移している。道東海域と北方四島水域のかけまわしについては1980年代以降減少傾向を示したが、2003年漁期以降は横ばい傾向にある。これらの海域のオッターロールについては1980年代以降減少傾向を示した後、2000～2006年漁期には横ばい傾向となったが、2007～2016年漁期は再び減少傾向を示した。2016年漁期以降は1.1千～1.3千網で推移している。スケトウダラを主体とした操業での漁獲努力量として、1日の総漁獲量に占めるスケトウダラ漁獲量の割合が50%以上の操業での網数の推移を図3-4に示した。この操業における漁獲努力量は、襟裳以西海域のかけまわしでは1996年漁期以降漸減傾向である一方、道東海域のかけまわしでは1996～2004年漁期の増減の後には漸増傾向にある。道東海域のオッターロールについては2000年漁期以降漸増傾向を示したが、2007年漁期以降は減少傾向にある。

襟裳以西海域の刺し網の漁獲努力量として、刺し網の漁獲成績報告書に記載された、南か

やべ、鹿部、およびいぶり中央漁業協同組合による使用反数の月別集計値を図 3-5 に示した。なお、刺し網の仕様は漁業協同組合ごとに異なるため、網の長さで反数を補正した。集計対象とした漁区は、ほぼ毎年使用されている 179、182～194 および 197 番漁区に限定した。集計期間は、TAC による操業規制などで 2 月以降は操業しなかった漁期年があるため、10 月～翌年 1 月に限定した。操業記録のある 2003 年漁期以降において、使用反数の合計値は 2007 年漁期まで漸増した後、2008～2010 年度にかけて急減し、その後は漸減傾向にある。

4. 資源の状況

(1) 資源評価の方法

Pope (1972) の式を用いたコホート解析により、1981～2019 年漁期の資源量を推定した。計算には 1981 年漁期以降の漁期年で集計した年齢別漁獲尾数と年齢別平均体重を用い、北海道根拠の沖底の年齢別標準化 CPUE (3～7 歳) と沿岸漁業の CPUE (刺し網漁業の漁獲成績報告書から得られる資源量指標値、および刺し網漁業の操業日誌から得られる標準化 CPUE) の変動と、それぞれの CPUE に対応する資源量の変動が合うように年齢別の漁獲係数 (F 値) を推定した。F 値の推定の安定化のため、その大きさに応じてペナルティを課す推定方法 (リッジ VPA ; Okamura et al., 2017) を用いた (詳細は補足資料 2 を参照)。なお、本系群の 0～2 歳魚は漁獲の主対象ではないため、コホート解析では、直近 3 年間の年級群の加入量の推定精度は低いと考えられる。そのため、昨年度の評価までは最近年の 0～2 歳魚を構成する年級群には、その前の 5 年間の加入量推定値の平均値を仮定していた。今年度の評価からは、2017～2019 年級群の資源尾数についてはスケトウダラ音響トロール調査で得られた 1 歳魚の現存量指標値を用いた調査結果による推定を行った (補足資料 2)。

(2) 資源量指標値の推移

2003 年漁期以降の襟裳以西海域における刺し網の資源量指標値を図 4-1 に示す。この刺し網の資源量指標値は、前述した刺し網の漁獲努力量を基に月別・漁区別 CPUE を算出し、それらを月別に合算したものである。各月の資源量指標値は、各月に漁場を通過する魚群量を表していると考えられるため、10 月～翌年 1 月の資源量指標値の合計値を、漁期全体における産卵親魚の来遊量の指標とみなした。刺し網の資源量指標値の合計値は、2010 年漁期をピークに 2016 年漁期まで減少傾向にあった。その後は横ばいで推移したが、2019 年漁期は 2018 年漁期からやや増加した。

2010 年漁期以降については、渡島と胆振地区の刺し網船団の代表船 (18 隻) から操業日誌を収集し、操業日ごとの操業位置 (緯度・経度)、使用した網数 (反)、漁獲量等のデータを用いて標準化 CPUE (資源量指標値) を算出した。この値についても、漁獲成績報告書から得られる上述の指標とは別の面からみた産卵親魚の来遊量の指標として扱った。標準化 CPUE も 2016 年漁期まで減少傾向にあったが、2017 年漁期および 2018 年漁期は 2015 年漁期並みの値となった。2019 年漁期には 2018 年漁期からやや増加した (図 4-2)。

北海道根拠の沖底の年齢別標準化 CPUE を図 4-3 に示す。これは漁獲成績報告書にて報告された 1 日の総漁獲量に占めるスケトウダラ漁獲量の割合が 50%以上の日別・漁船別の操業情報と、年齢査定の結果に基づき、1999 年以降のひと網当たりの漁獲尾数について、デルタ型 2 段階モデルを用いて年齢別 (3～7 歳) に標準化 CPUE を算出したものである (詳

細は補足資料 2 および標準化 CPUE についての文書 (FRA-SA2020-SC03-101) を参照)。3 歳魚の CPUE は 2003 年漁期および 2008 年漁期に高く、これらはそれぞれ 2000 年級群および 2005 年級群に相当する。4 歳魚 CPUE では 1999 年漁期および 2009 年漁期に高く、これらは 1995 年級群および 2005 年級群に相当する。1995 年級群および 2005 年級群は、5 歳では 2000 年漁期および 2010 年漁期、6 歳では 2001 年漁期および 2011 年漁期、7 歳では 2002 年漁期および 2012 年漁期と、他の年齢でも高い CPUE を示した。一方、年齢を経てから他に比べて高い CPUE が示される年級群もみられた (たとえば 2007 年級群および 2009 年級群)。2012 年漁期に低い 3 歳魚 CPUE を示した 2010 年級群は、その後いずれの年齢でも低い CPUE を示した。近年 5 年間の加入群では、2014 年級が 2018 年漁期に 4 歳魚、2019 年漁期に 5 歳魚として漁獲され、それぞれ他の年級群に比べてやや高い CPUE を示している。なお、まだ 3 歳魚時点の情報に限られるが、2016 年級群は近年 5 年間の年級群のなかでは最も高い 3 歳魚 CPUE を示している。

(3) 資源量と漁獲量の推移

コホート解析によって推定した加入量 (0 歳魚の資源尾数)、資源量、および親魚量を図 4-4、4-5、4-6、4-7 と表 4-1 に示す (詳細は補足資料 4 参照)。

加入量は、1981 年漁期以降 4 億~54 億尾で変動したと推定された (図 4-4、表 4-1)。その中で、加入量が 30 億尾を上回った年級群を卓越年級群とすると、1981、1991、1994、1995、2005 および 2007 年級群が卓越年級群となった。また、1982、1988、1989 および 2000 年級群も 27 億~29 億尾という高い加入量を示し、卓越年級群に次ぐ豊度の高い年級群と考えられた。近年では 2009 年級群が比較的高豊度である 26 億尾と推定されたのに対し、2010 年級群および 2015 年級群の加入量は、5 億尾以下と評価期間を通して最も低い水準となっている。2008 年以降、卓越年級群の発生はみられない。近年では 2019 年漁期に 5 歳魚となった 2014 年級群、および 3 歳魚となった 2016 年級群の加入量が比較的多く、それぞれ 17 億尾および 19 億尾と推定された。直近 3 年の加入量 (2017~2019 年級群) は、コホート解析による推定精度が低いと考えられるため、6~7 月のすけとうだら音響トロール調査で得られた現存量指標値とコホート解析で推定された資源尾数との関係に基づき線形外挿により推算した。ここで 2017 年級群は調査で得られた現存量指標値が非常に高く、その加入量は 24 億尾と推算された。一方、2018 年級群および 2019 年級群については、調査で得られた現存量指標値が低く、それぞれ 10 億尾および 9 億尾と推算された。親魚量に対する加入量の比 (再生産成功率 RPS) は概ね加入量と類似した変動パターンを示した (図 4-4)。

資源量 (0 歳以上の総重量) および資源尾数 (0 歳以上の総尾数) は、1981~2011 年漁期には 909 千~1,400 千トン・41 億~93 億尾の範囲で推移していた。資源尾数は前述の卓越年級群やそれに次ぐ豊度の高い年級群が発生した漁期年に、資源量はその 1~2 年後に増加する傾向にあった (図 4-5、4-6、表 4-1)。2012 年漁期から資源量は減少に転じ、2014 年漁期以降は 2018 年漁期を除き 800 千トン台で推移している。2019 年漁期は 866 千トンと推定された。

親魚量は、その漁期年の初期資源量のうち成熟しているものに相当し、前年の冬に産卵し、その漁期年の年級群を生み出した親魚量を示す。1981~2009 年漁期の親魚量は 151 千~322 千トンの範囲で安定して推移していたが、2010 年漁期以降急増し、2012 年漁期には 562 千

トンに達した（図 4-7、表 4-1）。その後、減少に転じ、2018 年漁期には 266 千トンになった。2019 年漁期は増加し 302 千トンと推定された。2010 年漁期から 2012 年漁期にかけての親魚量の急増は、卓越年級群である 2005 および 2007 年級群の産卵加入による。これらの卓越年級群は 2015 年漁期および 2017 年漁期に 10+歳に、比較的高豊度であった 2009 年級群も 2019 年漁期に 10+歳になるなど、高豊度年級の高齢化が進んでいる。近年の資源量・親魚量の減少の原因としては、これらの高豊度年級が減少したこと、2008 年以降には卓越年級群の発生が確認されていないこと、および、特に 2010、2011、2015 年級群の豊度が低いことが挙げられる。

コホート解析に使用した自然死亡係数（M）の値が資源計算に与える影響をみるため、3 歳以上の M である 0.25 を ± 0.05 で変化させた場合（2 歳以下の M についても連動）の 2018 年漁期の資源量と親魚量を推定した。2018 年漁期の資源量および親魚量は、ともに M が大きくなると増加し、M が小さくなると減少した（図 4-8）。

漁獲係数 F の推移は年齢によって変動パターンが異なるが、2010 年漁期以降はいずれの年齢の F 値も低下し、特に 6 歳以上の高齢魚でも低い F 値で安定して推移している（図 4-9）。漁獲割合は、200 千トン台の漁獲量がみられた 2000 年代前半までは 20%前後で推移していたが、2006 年漁期から 2012 年漁期までは 11～13%の範囲で安定して横ばい傾向であった（図 4-10、表 4-1）。その後、資源量が減少に転じた 2013 年漁期からは 2 年連続で上昇して 2014 年漁期に 18%となったが、2015 年漁期以降は漁獲量の減少に伴い漁獲割合も低下に転じ、2018 年漁期には 7%となった。2019 年漁期は 10%と推定された。

前述の通り、これまでは直近 3 年の加入量をその前 5 年間の加入量推定値の平均値で仮定しており、昨年度の評価では 2016～2018 年漁期の加入量は 2011～2015 年漁期の加入量の平均値である 10.0 億尾としていた。このうち、2016 年級群の加入量については本年度の評価ではコホート計算による推定値となり、19.4 億尾に上方修正された。また、本年度の評価からは直近 3 年の加入量（2017～2019 年級群）を調査船調査の結果を用いた推算値に変更した。その結果、2017 年級群の加入量は 23.9 億尾に大きく上方修正された。2018 年級群については、昨年度の仮定値からの大きな変化はない。2016～2018 年漁期については資源量推定値もそれぞれ上方修正されたが、その多くは 2016 年級群および 2017 年級群の加入量の上方修正による。これらの修正は 0～3 歳魚に限定されるため、2016～2018 年漁期の親魚量の推定には影響しない。本年度の資源評価では、2017 年漁期および 2018 年漁期の親魚量が昨年度の評価結果からそれぞれ 5 千トンだけ下方修正されたが、これは 2019 年漁期の情報の追加に起因すると考えられる。

項目	値	備考
SB2019	302 千トン	2019 年漁期の親魚量
F2019	2019 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, 7 歳, 8 歳, 9 歳, 10 歳以上) = (0.00, 0.00, 0.02, 0.08, 0.19, 0.17, 0.51, 0.21, 0.21, 0.38, 0.38)	
U2019	10 %	2019 年漁期の漁獲割合

(4) 加入量あたり漁獲量 (YPR)、加入量あたり親魚量 (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 4-11 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な値となる。1981 年漁期以降、%SPR は増減をくりかえしながらも概ね増加傾向にある。2011 年漁期以降、30%以上で推移するようになり、2018 年漁期は 42%まで上昇した。2019 年の %SPR は 36%と推定された。現状の漁獲圧として近年 5 年間 (2015～2019 年漁期) の平均 F 値から %SPR を算出すると 36.1%となった。

現状の漁獲圧に対する YPR と %SPR の関係を図 4-12 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」において MSY を実現する F (Fmsy) の推定に用いた値 (境ほか 2019) を用いた。なお、後述する Fmsy は %SPR に換算すると 19%に相当する。Fmsy の選択率は平成 30 (2018) 年度の資源評価で推定された 2013～2017 年漁期の年齢別 F 値に基づくが、本年度の資源評価からプラスグループを 8 歳以上から 10 歳以上に延長しているため、8 歳、9 歳、10 歳以上の選択率は、上記の選択率の 8 歳以上の値と同じとした。年齢別平均体重についても Fmsy 算出時の値を使用し、8 歳、9 歳、10 歳以上の年齢別平均体重については、Fmsy 算出時の 8 歳以上の平均体重と同値とした。現状の漁獲圧 (F2015-2019) は Fmsy や F30%SPR、F0.1 を下回る。

項目	値	備考
%SPR (F2019)	36.2 %	2019 年漁期の %SPR
%SPR (F2015-2019)	36.1 %	現状 (2015～2019 年漁期) の漁獲圧に対応する %SPR

(5) 再生産関係

親魚量 (重量) と加入量 (尾数) の関係 (再生産関係) を図 4-13 に示す。上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」において、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が適用されている (境ほか 2019)。ここで、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は考慮していない。再生産関係式の各パラメータを下表に示す。ホッカー・スティックの折れ点は親魚量 151 千トンに位置する (下表のパラメータ b)。この親魚量以上であれば平均的には 19 億尾程度の加入量が得られると期待される。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.
ホッカー・スティック型	最小二乗法	無	12.455	150,944	0.532

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

(6) 現在の環境下において MSY を実現する水準

現在 (1981 年漁期以降) の環境下において最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量

(SBmsy)、および MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) として、上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」において示された推定値 (境ほか 2019) を下表に示す。

項目	値	備考
SBmsy	220 千トン	最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量
Fmsy	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧 (F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳, 8 歳, 9 歳, 10 歳以上) = (0.02, 0.02, 0.08, 0.14, 0.37, 0.61, 0.68, 0.68, 0.68, 0.68, 0.68)	
%SPR (Fmsy)	19 %	Fmsy に対応する %SPR
MSY	176 千トン	最大持続生産量 MSY

(7) 資源の水準・動向および漁獲圧の水準

MSY を実現する親魚量 (SBmsy) と漁獲の強さ (Fmsy もしくは Umsy) を基準にした神戸プロット (神戸チャート) を図 4-14 および補足資料 6 に示す。漁獲圧 (F) の比 (F/Fmsy) は、各年の F の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して求めた値と、各年の F 値との比である。本系群における F は、2001 年漁期以降、2004 年漁期以外は Fmsy を下回っており、2019 年漁期の F は Fmsy の半分程度 (0.47 倍) である。また、親魚量は、2009 年漁期以降は SBmsy を上回っており、2019 年漁期の親魚量は SBmsy の 1.37 倍である。親魚量の動向は、近年 5 年間 (2015~2019 年漁期) の推移から横ばいと判断される。

項目	値	備考
SB2019/SBmsy	1.37	最大持続生産量を実現する親魚量に対する 2019 年漁期の親魚量の比
F2019/Fmsy	0.47	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2019 年漁期の漁獲圧の比*

* 2019 年漁期の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して算出し求めた比率

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

5. 資源評価のまとめ

本系群の資源量は、1981 年漁期以降大きく落ち込むことなく推移しており、2019 年漁期の親魚量は MSY を実現する水準を上回る。本系群では卓越年級群を含む豊度の高い年級群が発生した後に資源量が増加する傾向にあるため、引き続き親魚量を高豊度の年級群が発生し得る適正な水準に維持し、持続的な利用を図ることが必要である。本系群への漁獲圧は MSY を実現する水準を下回っており、資源状態に対し過剰な漁獲圧を与えている状況ではない。

近年 10 年間は卓越年級群が発生したことを示す情報が得られておらず、2010 年級、2011 年級、および 2015 年級など、特に加入量が低い年級群が散発したことから、資源量・親魚量ともに減少が続いた。しかし、2016 年級群が比較的高い加入量であると推定され、また調査船調査から 2017 年級群の加入量も高いと考えられることから、今後、短期的には資源量・親魚量の減少は抑制されると考えられる。これらの年級群を適切な漁獲圧で利用することで、資源の維持・回復が期待される（補足資料 8）。

6. その他

TAC 以外の管理方策として、北海道では未成魚保護のため資源管理協定に基づく体長制限（体長 30cm または全長 34cm）が実施されている。この協定では、制限体長未満の個体が漁獲物の 20%を超える場合に、漁場移動などの措置を講じることとなっている。このため、北海道では 0～2 歳魚の漁獲量は非常に少ない。このような若齢魚を含む未成魚の保護は、産卵親魚の確保に効果があると考えられるため、引き続き実施することが望ましい。本系群の資源量は、卓越年級群を含む豊度の高い年級群が発生した後に増加する傾向がみられる。今後も豊度の高い年級群の発生が見込めるように、親魚量を維持することが重要である。

7. 引用文献

- Beamish, R. J. and G.A. McFarlane (1995) A discussion of the importance of aging errors, and an application to walleye pollock: the world's largest fishery. In *Recent developments in fish otolith research*, pp.545-565.
- Funamoto, T. (2007) Temperature-dependent stock-recruitment model for walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) around northern Japan. *Fish. Oceanogr.*, **16**, 515-525.
- Funamoto, T., O. Yamamura, T. Kono, T. Hamatsu and A. Nishimura (2013) Abiotic and biotic factors affecting recruitment variability of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) off the Pacific coast of Hokkaido, Japan. *Fish. Oceanogr.*, **22**, 193-206.
- Funamoto, T., O. Yamamura, O. Shida, K. Itaya, K. Mori, Y. Hiyama and Y. Sakurai (2014) Comparison of factors affecting recruitment variability of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Pacific Ocean and the Sea of Japan off northern Japan. *Fish. Sci.*, **80**, 117-126.
- 濱津友紀・八吹圭三 (1995) 北海道東部太平洋沿岸に分布するスケトウダラ *Theragra chalcogramma* の産卵回遊と産卵場. 北海道区水産研究所研究報告, **59**, 31-41.
- Hamatsu, T., K. Yabuki and K. Watanabe (2004) Decadal changes in reproduction of walleye pollock off the Pacific coast of northern Japan. *Fish. Oceanogr.*, **13**(Suppl. 1), 74-83.
- Hamatsu, T. and K. Yabuki (2007) Density effects on the length at maturity of walleye pollock *Theragra chalcogramma* off the Pacific coast of northern Japan in the 1990s. *Fish. Sci.*, **73**, 87-97.
- 本田 聡・志田 修・山村織生 (2003) 沿岸親潮域のスケトウダラとその生活史. 沿岸海洋研究, **41**, 41-49.
- Honda, S., T. Oshima, A. Nishimura and T. Hattori (2004) Movement of juvenile walleye pollock,

- Theragra chalcogramma, from a spawning ground to a nursery ground along the Pacific coast of Hokkaido, Japan. *Fish. Oceanogr.*, **13**(Suppl. 1), 84-98.
- 金丸信一 (1989) スケトウダラ東北海区群と北海道近海群の関係. 漁業資源研究会議 北日本底魚部会報, **22**, 39-54.
- 小林時正 (1985) I-2 スケトウダラ漁業とその資源の利用. 漁業資源研究会議報, **24**, 47-62.
- 児玉純一・永島 宏・小林徳光 (1988) 金華山周辺海域に生息するスケトウダラ資源について. 第9回東北海区底魚研究チーム会議会議報告, 24-31.
- 前田辰昭・高橋豊美・上野元一 (1981) 噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ成魚群の生活年周期. *日水誌*, **47**, 741-746.
- 前田辰昭・高橋豊美・上野元一 (1983) 噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ成魚群の生活期別生態について. *日水誌*, **49**, 577-585.
- Nakatani, T. (1988) Studies on the early life history of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in Funka Bay and vicinity, Hokkaido. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **35**, 1-46.
- Nishimura, A., T. Hamatsu, K. Yabuki and O. Shida (2002) Recruitment fluctuations and biological response of walleye pollock in the Pacific coast of Hokkaido. *Fish. Sci.*, **68**(Suppl.), 206-209.
- 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**(9), 2427-2436.
- Pope, J. G. (1972) An investigation of accuracy of virtual population analysis using Cohort Analysis. *Res. Bull. int. comm. Northw. Atlant. Fish.*, **9**, 65-74.
- 境 磨・山下夕帆・千村昌之・石野光弘 (2019) 平成 31 (2019) 年度スケトウダラ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.
https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_suketou_p.pdf (last accessed 15 October 2019)
- Shida, O., T. Hamatsu, A. Nishimura, A. Suzaki, J. Yamamoto, K. Miyashita and Y. Sakurai (2007) Interannual fluctuations in recruitment of walleye pollock in the Oyashio region related to environmental changes. *Deep-Sea Res. II*, **54**, 2822-2831.
- Tamura, T. and Y. Fujise (2002) Geographical and seasonal changes of the prey species of minke whale in the Northwestern Pacific. *ICES J. Mar. Sci.*, **59**, 516-528.
- Tsuji, S. (1989) Alaska pollock population, *Theragra chalcogramma*, of Japan and its adjacent waters, I: Japanese fisheries and population studies. *Mar. Behav. Physiol.*, **15**, 147-205.
- ヴェリカノフ, A. Ya. (2013) オホーツク海南西部と国後島と択捉島沿岸におけるスケトウダラの分布特性と資源動向. 「オホーツクの生態系とその保全」 桜井泰憲, 大島慶一郎, 大泰司紀之編, 北海道大学出版, 札幌市, 131-138.
- Widrig, T. M. (1954) Method of estimating fish populations, with application to Pacific sardine. *Fish. Bull. U.S.*, **56**, 141-166.
- Yamamura, O. (2004) Trophodynamic modeling of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the Doto area, northern Japan: model description and baseline simulations. *Fish. Oceanogr.* **13**(Suppl. 1), 138-154.
- Yamamura, O., S. Honda, O. Shida and T. Hamatsu (2002) Diets of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Doto area, northern Japan: ontogenetic and seasonal variations. *Mar. Ecol.*

Prog. Ser., **238**, 187-198.

Yamamura O and T. Nobetsu (2011) Food habits of threadfin hakeling *Laemonema longipes* along the Pacific coast of northern Japan. *J. Mar. Bio. Assoc. UK*, 1-9.

尹 泰憲 (1981) 北海道噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ雌魚の生殖周期. *北大水産彙報*, **32**, 22-38.

(執筆者：境 磨、千村昌之、石野光弘、河村眞美、成松庸二、貞安一廣)



図 2-1. スケトウダラ太平洋系群の分布域と産卵場
Honda et al. (2004) より転載

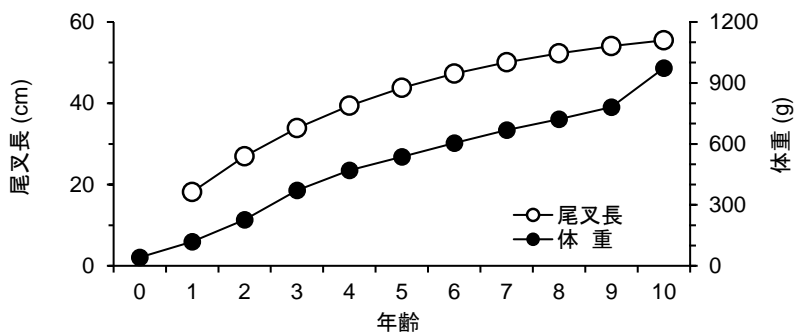


図 2-2. 年齢と成長 (10 歳の体重は 10 歳以上の平均値)

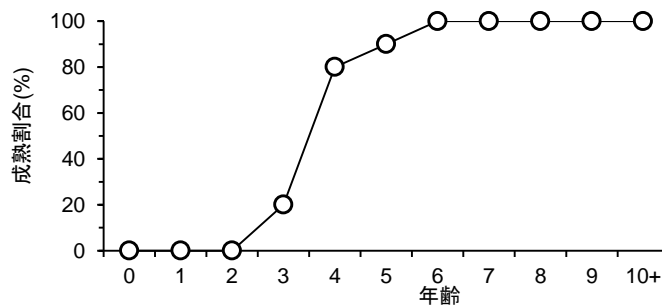


図 2-3. 年齢別成熟割合

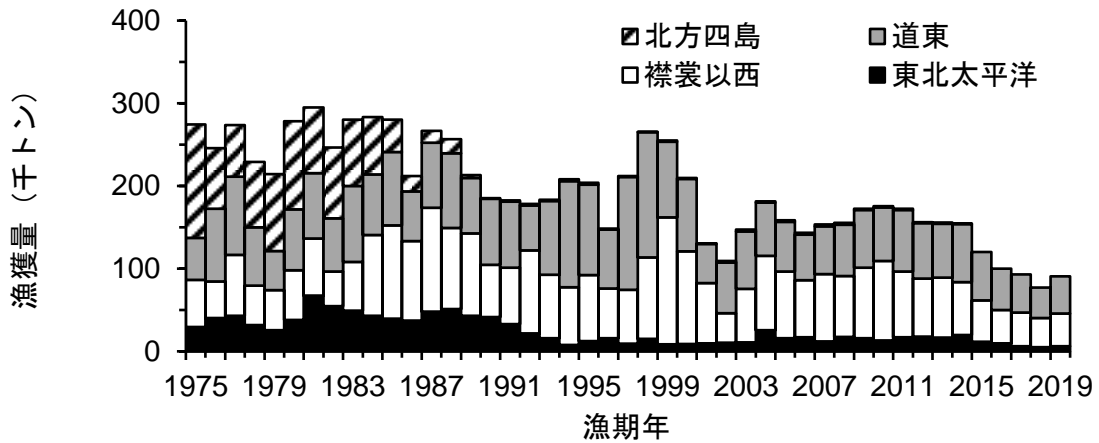


図 3-1. 海域別漁獲量

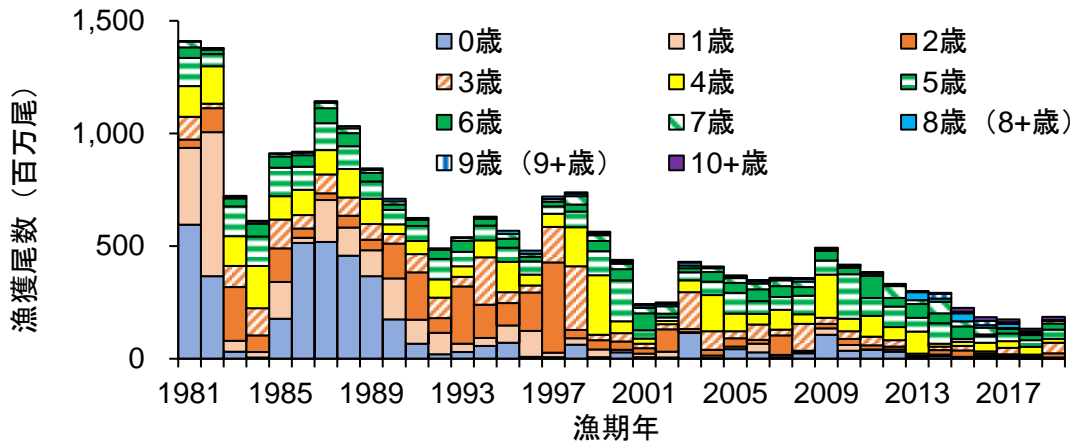


図 3-2. 年齢別漁獲尾数

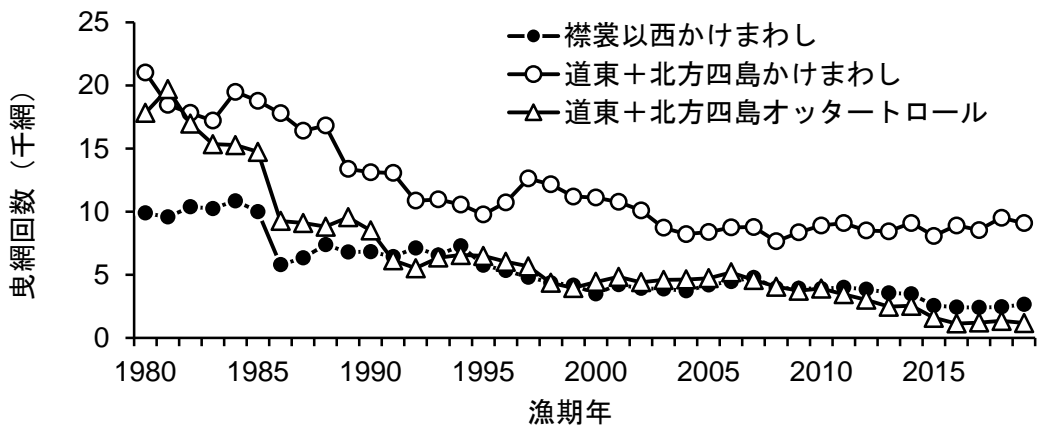


図 3-3. 北海道根拠の沖底でのスケトウダラ有漁網数
月別・船別・漁区別集計値に基づく

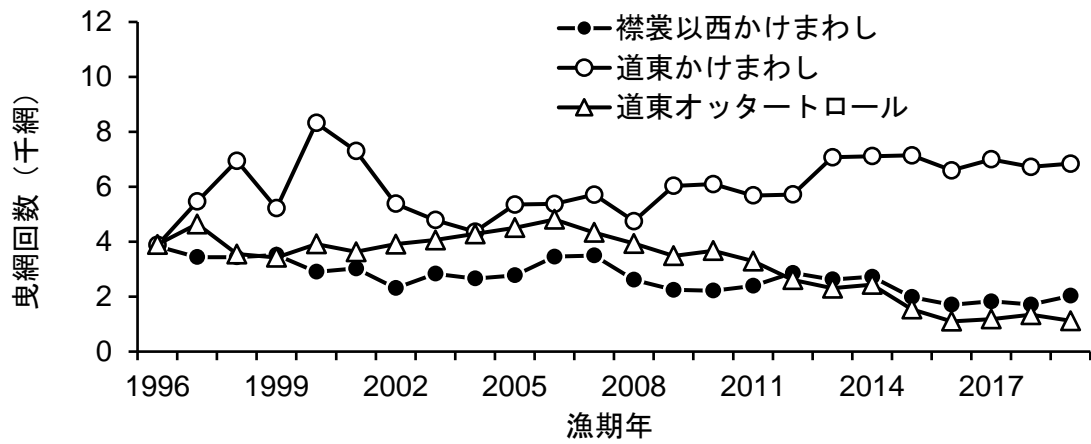


図 3-4. 北海道根拠の沖底での 1 日の総漁獲量に占めるスケトウダラ漁獲量の割合が 50% 以上の操業での網数
日別・船別・漁区別集計値に基づく

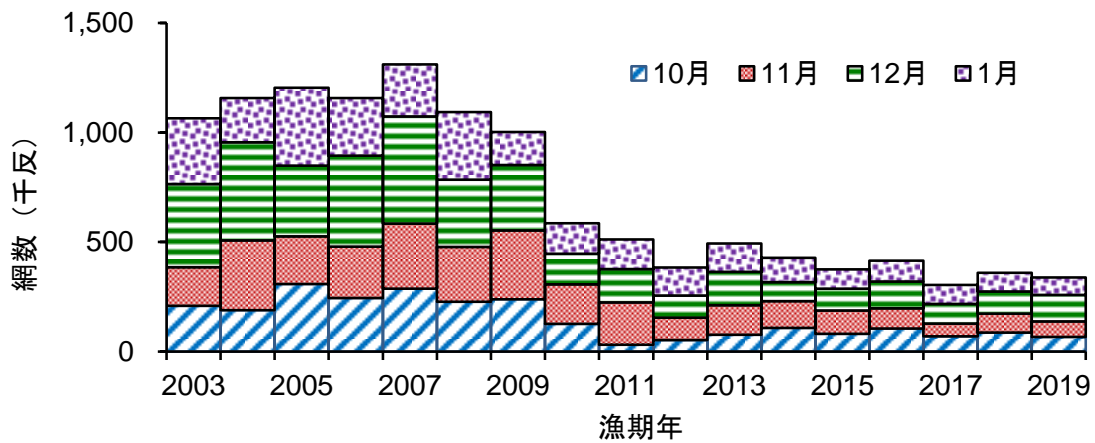


図 3-5. 襟裳以西海域におけるすけとうだら固定式刺し網の網数 (補正值)

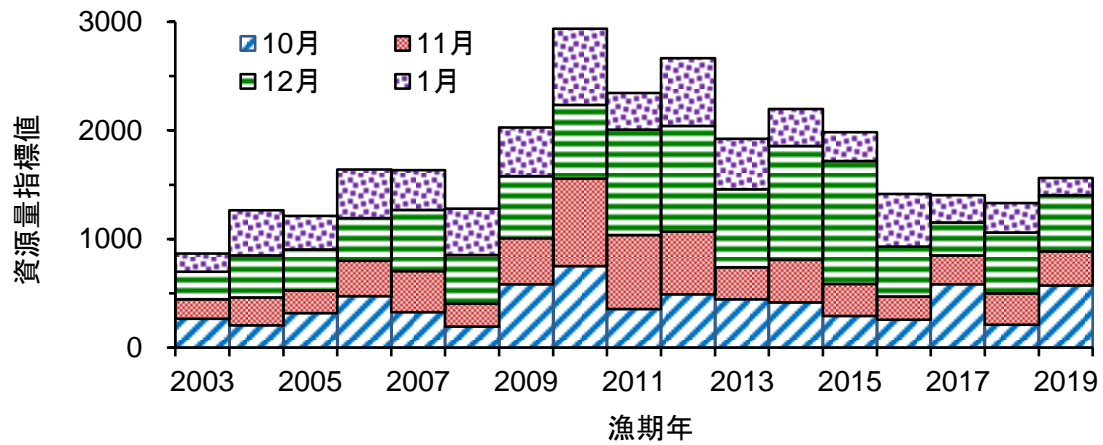


図 4-1. 漁獲成績報告書から算出した襟裳以西海域におけるすけとうだら固定式刺し網の資源量指標値

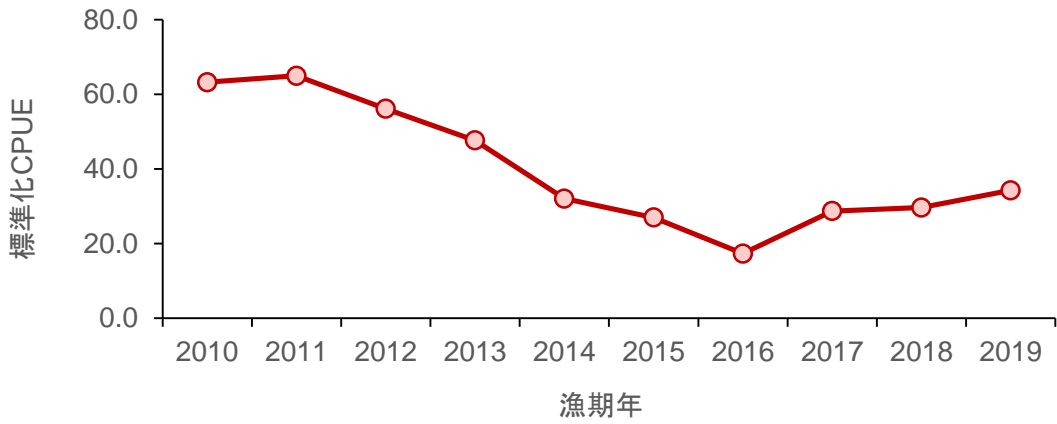


図 4-2. 操業日誌に基づく襟裳以西海域のすけとうだら固定式刺し網の標準化 CPUE

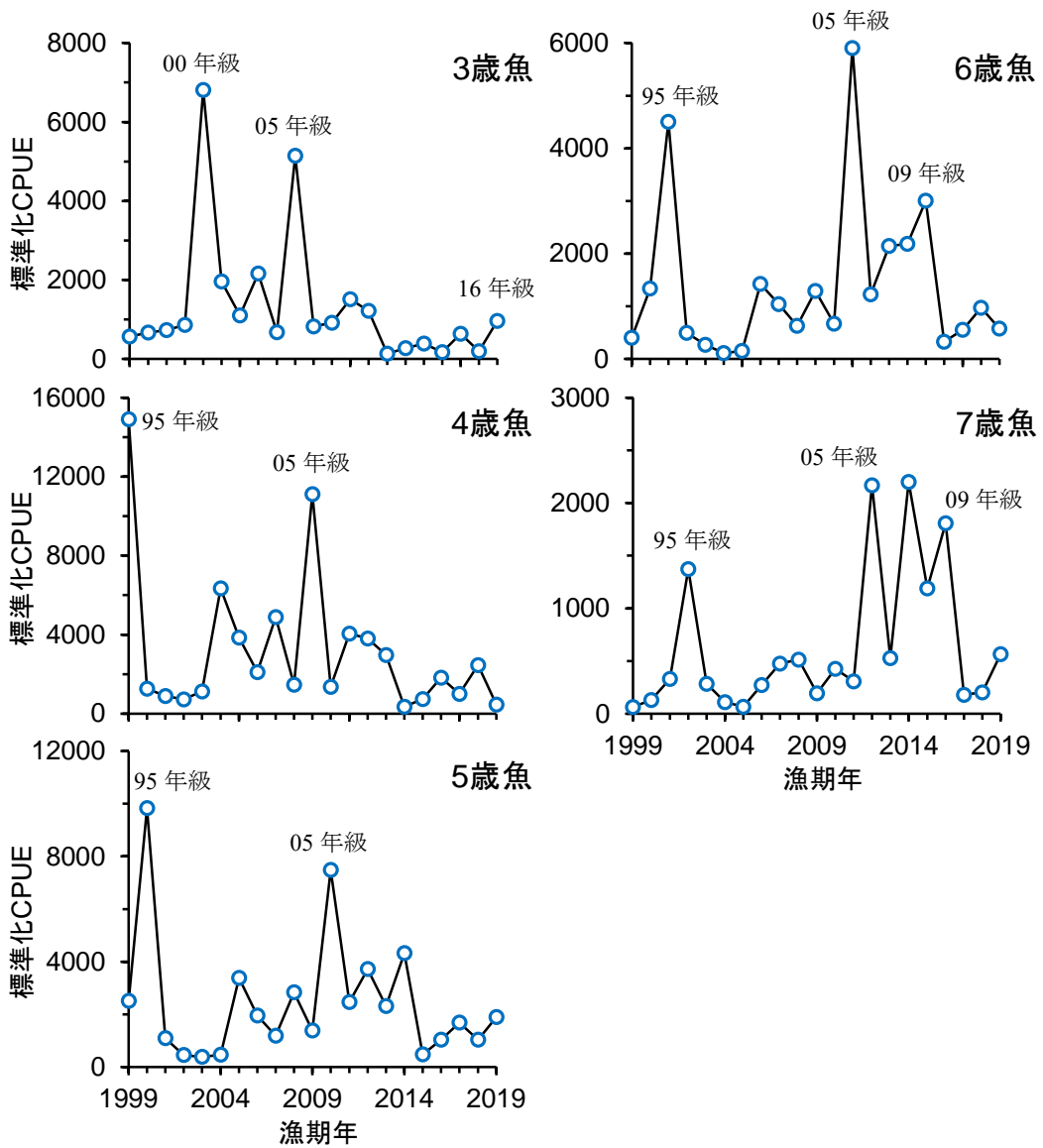


図 4-3. 北海道根拠の沖底の年齢別標準化 CPUE

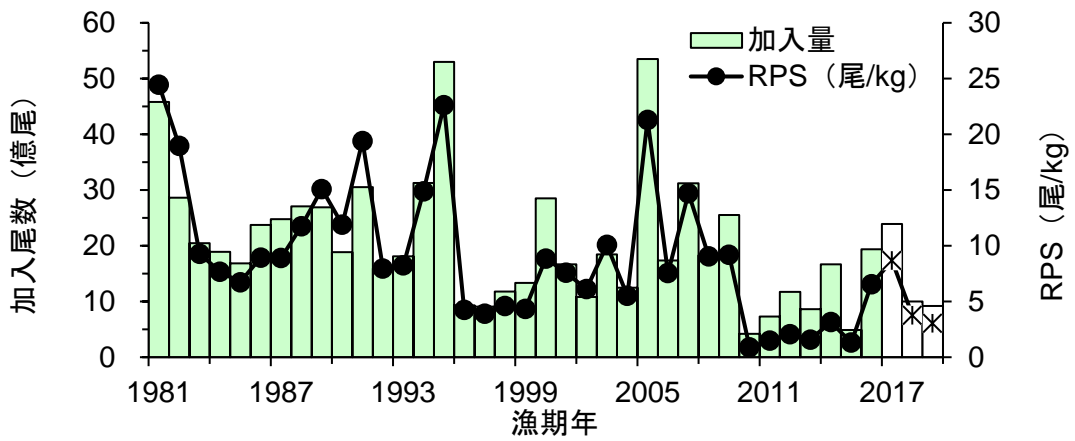


図 4-4. 加入量（0 歳魚の資源尾数）と再生産成功率（RPS）の推移
 調査からの推算値を与えた加入量（白抜き部分）に対応する再生産成功率は*で示した

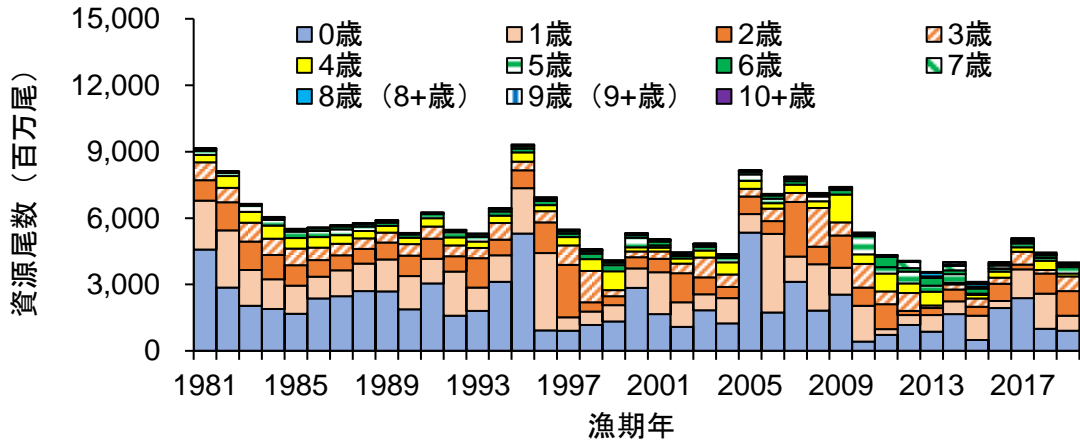


図 4-5. 年齢別資源尾数の推移

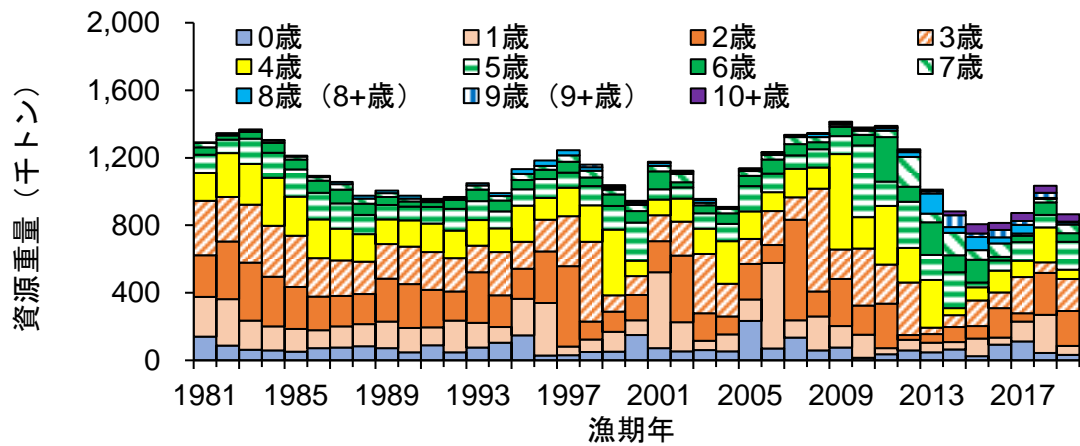


図 4-6. 年齢別資源重量の推移

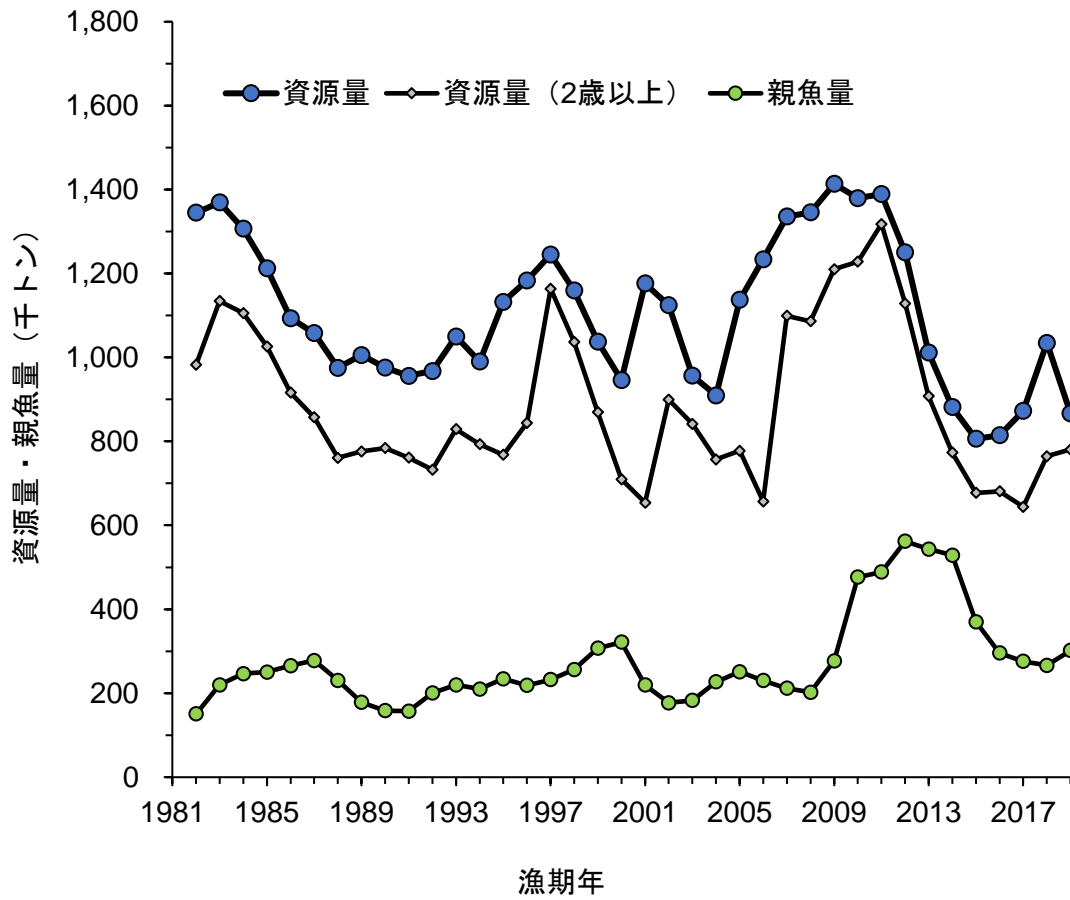


図 4-7. 資源量 (0 歳以上の総重量および 2 歳以上の総重量)、および親魚量の推移

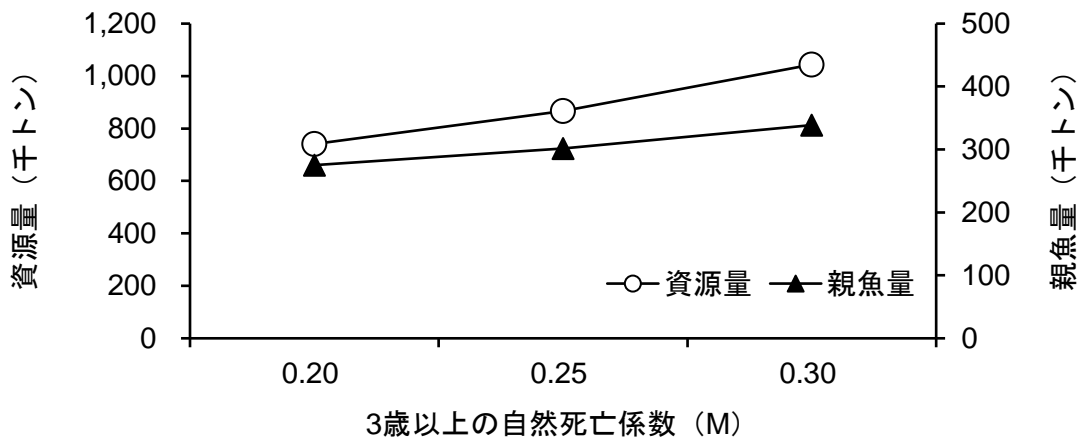


図 4-8. 資源量と親魚量に対する自然死亡係数 M の影響 (2019 年漁期の資源量と親魚量)

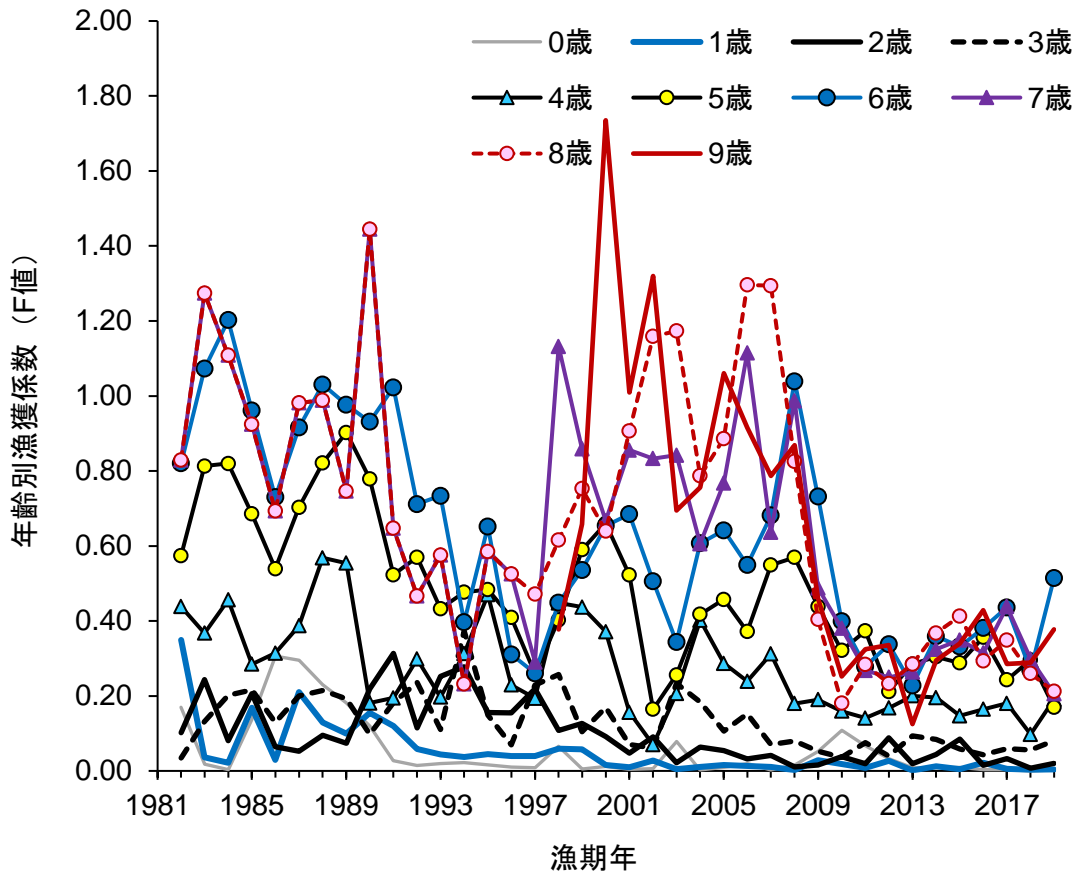


図 4-9. 各年齢の F の経年推移
10 歳以上の F は 9 歳と同じである。

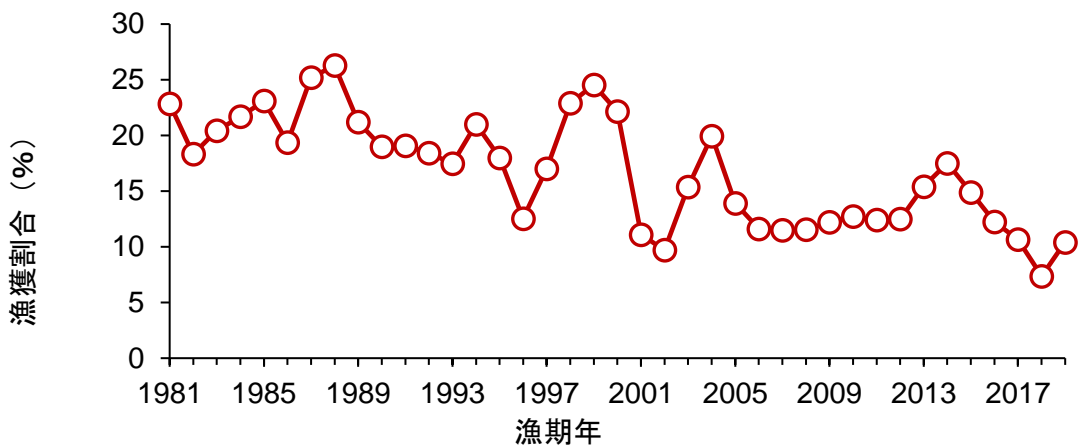


図 4-10. 漁獲割合の経年推移

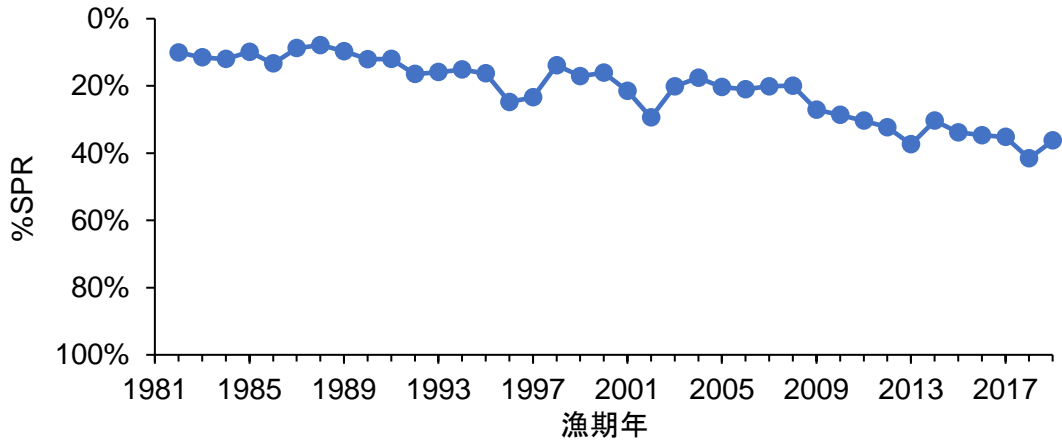


図 4-11. 各漁期年の F における %SPR の経年推移
 %SPR は漁獲がないときの親魚量に対する漁獲があるときの親魚量の割合を示し、F が高い（低い）と %SPR は小さく（大きく）なる。

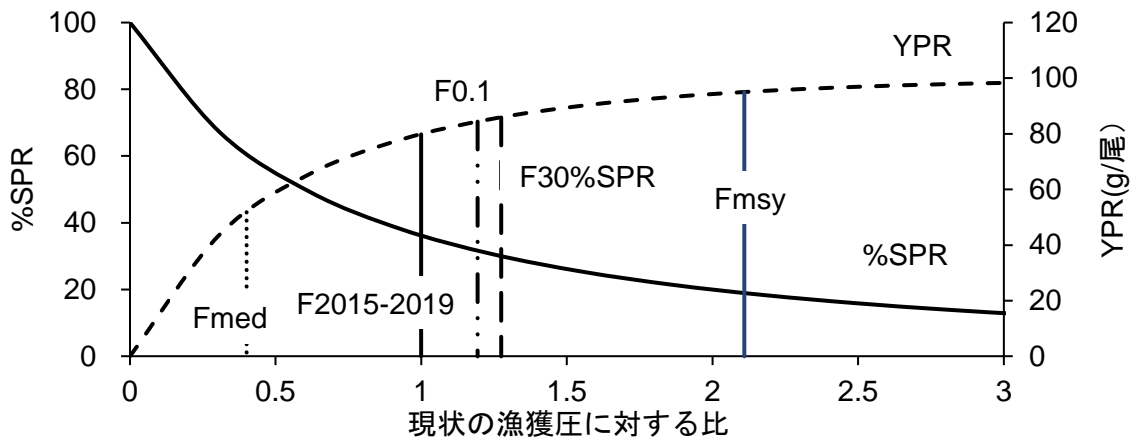


図 4-12. 現状の漁獲圧に対する YPA と %SPR の関係

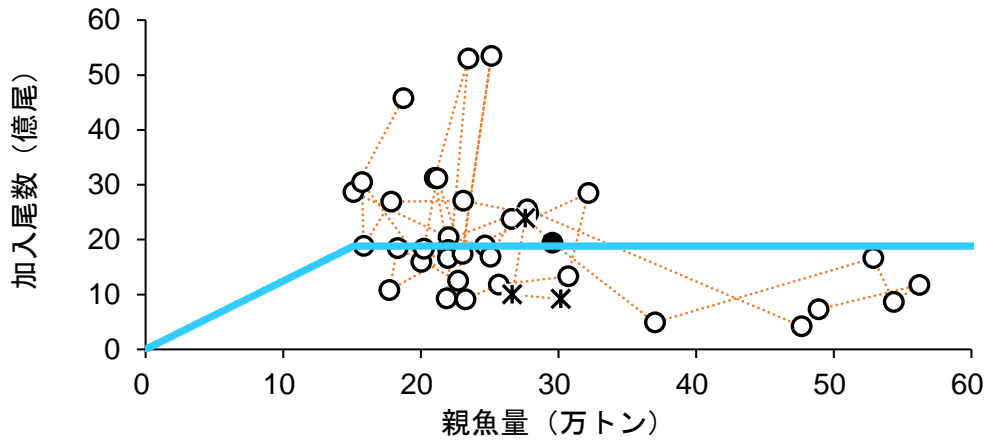


図 4-13. 親魚量と加入量の関係（再生産関係）

青線は平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（境ほか 2019）で適用された再生産関係式。*の加入量は調査からの推算値。
今回の資源評価で新たに推定された 2016 年級群を●で示す。

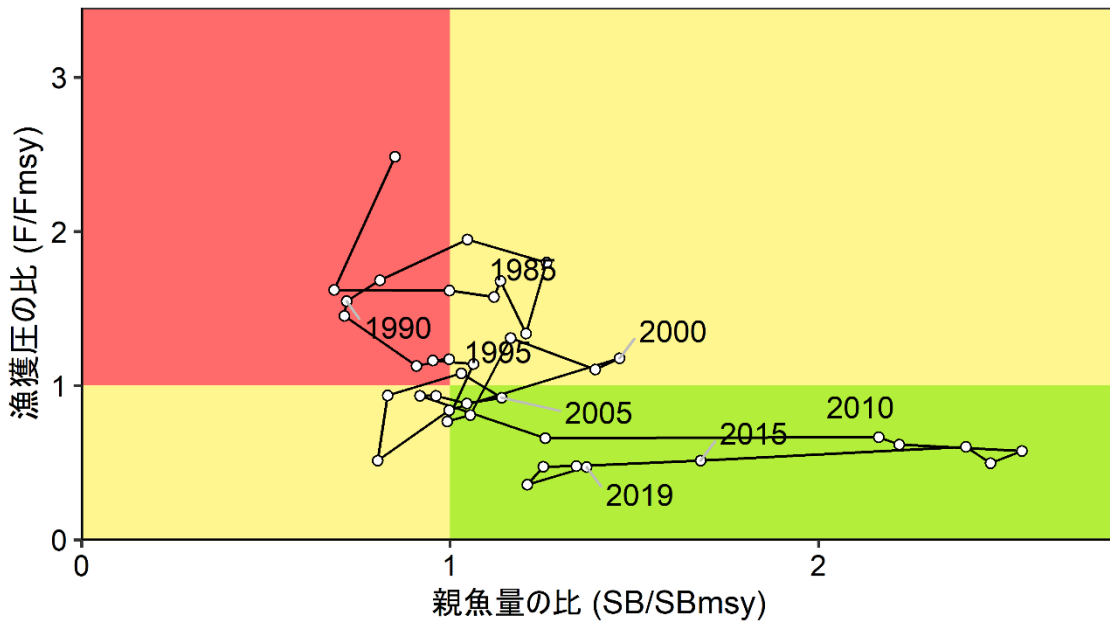


図 4-14. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy) および MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) に対する、親魚量および漁獲圧の関係（神戸プロット）

表 3-1. スケトウダラ太平洋系群の海域別漁獲量（漁期年集計：トン）

漁期年	東北太平洋			襟裳以西			
	海域計	沖底	沿岸漁業	海域計	沖底	沿岸漁業	韓国漁船
1975	29,157			57,186			
1976	40,065			44,458			
1977	42,829			73,709			
1978	31,796			47,458			
1979	25,400			48,616			
1980	37,769			60,093			
1981	67,423	53,327	14,096	68,803	8,311	60,492	0
1982	54,378	41,886	12,492	42,075	7,955	34,120	0
1983	49,258	38,304	10,954	58,815	8,205	50,610	0
1984	42,763	27,482	15,281	97,802	9,582	88,220	0
1985	39,477	29,388	10,089	112,697	13,233	99,464	0
1986	37,052	24,099	12,953	96,051	11,831	84,220	0
1987	47,845	36,053	11,792	125,863	14,215	97,395	14,253
1988	51,047	41,971	9,076	98,087	7,803	77,649	12,634
1989	43,007	35,475	7,532	99,528	9,987	81,837	7,704
1990	41,375	35,913	5,462	63,088	11,204	49,041	2,842
1991	32,788	28,361	4,427	68,169	14,745	53,424	0
1992	21,403	19,447	1,956	100,428	18,559	81,869	0
1993	15,734	14,347	1,387	76,792	14,312	62,480	0
1994	7,689	6,939	750	69,814	23,115	46,699	0
1995	12,222	11,526	696	79,766	24,725	55,041	0
1996	15,734	14,914	820	60,219	13,473	46,746	0
1997	9,078	8,662	416	65,201	13,339	51,861	0
1998	14,911	14,303	607	98,684	17,417	81,267	0
1999	8,293	7,591	702	153,609	29,195	124,414	0
2000	8,901	8,280	621	111,787	21,799	89,988	0
2001	9,403	9,048	355	72,872	19,947	52,925	0
2002	10,175	9,179	996	36,006	15,405	20,601	0
2003	10,813	8,736	2,077	64,749	19,866	44,883	0
2004	25,432	23,844	1,588	90,095	20,261	69,833	0
2005	15,839	14,045	1,793	80,401	19,885	60,516	0
2006	16,817	14,567	2,250	69,043	19,846	49,197	0
2007	11,716	10,791	925	81,395	27,072	54,323	0
2008	17,440	14,738	2,702	73,552	21,741	51,812	0
2009	15,847	14,070	1,777	85,251	19,305	65,945	0
2010	12,998	12,175	822	96,103	19,086	77,017	0
2011	16,781	16,304	477	79,577	19,846	59,731	0
2012	17,687	17,215	472	70,114	20,109	50,004	0
2013	16,400	15,293	1,108	72,467	20,244	52,223	0
2014	19,752	18,220	1,532	63,929	21,541	42,388	0
2015	11,428	10,778	650	49,908	16,024	33,885	0
2016	9,697	9,303	394	40,308	14,756	25,552	0
2017	6,134	5,681	453	40,615	9,234	31,381	0
2018*	4,911	4,537	374	35,155	10,554	24,601	0
2019*	6,221	5,472	750	39,385	12,362	27,023	0

漁期年は4月～翌年3月

東北太平洋の沿岸漁業：茨城県～青森県（大間町～階上町）、2001年漁期以前は年集計

襟裳以西の沿岸漁業：知内町～えりも町えりも

*2018、2019年漁期は暫定値

表 3-1. スケトウダラ太平洋系群の海域別漁獲量（漁期年集計：トン）（続き）

漁期年	道東				北方四島	全海域		合計
	海域計	沖底	沿岸漁業	韓国漁船	沖底	日本漁船	韓国漁船	
1975	50,893				137,145	274,381		274,381
1976	87,657				73,591	245,771		245,771
1977	94,744				62,291	273,573		273,573
1978	70,766				78,939	228,959		228,959
1979	47,027				93,002	214,045		214,045
1980	73,666				106,621	278,149		278,149
1981	78,986	75,326	3,660	0	79,553	294,765	0	294,765
1982	64,197	60,012	4,185	0	85,856	246,506	0	246,506
1983	91,975	83,470	8,505	0	79,868	279,916	0	279,916
1984	73,093	67,031	6,062	0	69,696	283,354	0	283,354
1985	88,621	79,431	9,190	0	39,124	279,919	0	279,919
1986	60,113	53,349	6,764	0	18,517	211,733	0	211,733
1987	78,658	58,540	4,700	15,418	14,106	236,801	29,671	266,472
1988	90,147	64,198	3,400	22,549	17,089	221,187	35,183	256,370
1989	66,955	55,894	2,369	8,692	3,647	196,741	16,396	213,137
1990	79,786	61,399	3,011	15,376	1,011	167,041	18,218	185,259
1991	79,748	61,724	2,621	15,403	1,603	166,906	15,403	182,309
1992	54,515	32,396	3,133	18,986	1,851	159,211	18,986	178,197
1993	89,097	54,609	1,768	32,721	1,751	150,653	32,721	183,374
1994	128,104	68,152	2,937	57,015	2,433	151,026	57,015	208,041
1995	109,375	44,689	7,841	56,845	2,350	146,869	56,845	203,714
1996	71,292	31,803	4,080	35,409	1,037	112,874	35,409	148,283
1997	136,633	86,156	3,711	46,766	1,007	165,153	46,766	211,919
1998	151,551	71,301	5,725	74,525	313	190,934	74,525	265,459
1999	91,398	77,005	5,316	9,076	1,425	245,649	9,076	254,725
2000	87,840	81,155	6,685	0	1,041	209,568	0	209,568
2001	47,346	42,487	4,859	0	805	130,426	0	130,426
2002	61,130	59,606	1,524	0	1,757	109,069	0	109,069
2003	69,406	67,457	1,949	0	2,146	147,114	0	147,114
2004	64,149	58,487	5,662	0	1,759	181,435	0	181,435
2005	60,145	53,442	6,703	0	1,883	158,268	0	158,268
2006	54,954	50,467	4,487	0	2,432	143,246	0	143,246
2007	58,009	53,384	4,625	0	2,430	153,549	0	153,549
2008	61,852	57,297	4,554	0	2,409	155,254	0	155,254
2009	69,574	63,756	5,818	0	1,828	172,499	0	172,499
2010	64,889	60,283	4,606	0	1,485	175,474	0	175,474
2011	74,303	70,549	3,754	0	1,579	172,239	0	172,239
2012	67,127	61,911	5,216	0	1,244	156,172	0	156,172
2013	65,437	60,959	4,478	0	1,519	155,823	0	155,823
2014	70,256	65,424	4,832	0	400	154,337	0	154,337
2015	58,667	55,812	2,855	0	0	120,003	0	120,003
2016	49,742	46,601	3,141	0	0	99,748	0	99,748
2017	46,170	42,563	3,607	0	0	92,919	0	92,919
2018*	36,884	34,965	1,919	0	0	76,950	0	76,950
2019*	44,786	43,300	1,485	0	0	90,392	0	90,392

漁期年は4月～翌年3月

道東の沿岸漁業：えりも町庶野～根室市、2011年度以降の根室市は落石地区以外の底建網と小定置を除く

*2018、2019年漁期は暫定値

表 3-2. 北海道根拠の沖底の漁獲量、漁獲努力量

漁期年	スケトウダラ有漁操業					
	襟裳以西		道東+北方四島			
	かけまわし		かけまわし		オッタートロール	
	漁獲量 千トン	網数 千網	漁獲量 千トン	網数 千網	漁獲量 千トン	網数 千網
1980	13.3	9.9	57.7	21.0	96.2	17.8
1981	7.9	9.6	35.4	18.5	121.2	19.7
1982	7.7	10.4	25.0	17.8	115.8	17.0
1983	7.8	10.3	25.4	17.2	114.8	15.4
1984	9.2	10.9	26.1	19.5	123.0	15.3
1985	12.5	10.0	21.8	18.8	96.4	14.7
1986	14.1	5.8	21.9	17.8	50.6	9.3
1987	13.2	6.3	20.6	16.4	50.4	9.1
1988	7.5	7.4	17.9	16.8	61.7	8.8
1989	9.4	6.8	9.5	13.4	48.9	9.6
1990	10.0	6.8	9.9	13.1	51.4	8.5
1991	13.3	6.4	19.8	13.1	42.5	6.1
1992	16.7	7.1	11.2	10.9	22.5	5.5
1993	13.3	6.6	17.0	11.0	38.9	6.4
1994	21.9	7.3	22.2	10.6	47.4	6.6
1995	24.2	5.8	15.3	9.8	30.3	6.5
1996	13.0	5.3	8.1	10.7	24.4	6.0
1997	13.1	4.8	21.9	12.6	65.0	5.7
1998	16.5	4.4	27.7	12.2	43.6	4.4
1999	28.3	4.2	28.4	11.2	49.8	4.0
2000	21.6	3.5	39.4	11.1	42.5	4.4
2001	19.8	4.2	23.2	10.8	20.0	4.8
2002	15.2	3.9	26.3	10.1	35.0	4.4
2003	19.7	3.9	25.4	8.7	44.0	4.6
2004	19.9	3.7	21.3	8.2	38.7	4.6
2005	19.8	4.2	24.1	8.4	31.0	4.7
2006	19.7	4.5	23.4	8.8	29.3	5.2
2007	26.7	4.8	21.6	8.8	34.0	4.6
2008	21.7	4.0	26.4	7.7	32.9	4.1
2009	19.0	3.9	31.0	8.4	34.3	3.7
2010	19.0	3.9	31.2	8.9	30.3	3.9
2011	19.8	4.0	37.9	9.1	34.1	3.5
2012	20.1	3.9	38.0	8.5	24.8	3.0
2013	20.2	3.6	44.3	8.4	18.1	2.5
2014	21.5	3.5	45.4	9.1	20.3	2.5
2015	15.8	2.6	44.0	8.1	11.8	1.6
2016	14.7	2.4	36.7	8.9	9.9	1.1
2017	9.2	2.4	33.0	8.5	9.5	1.2
2018	10.5	2.5	26.7	9.5	8.3	1.3
2019*	12.4	2.7	33.6	9.1	9.7	1.2

漁期年は4月～翌年3月。

スケトウダラ有漁操業：スケトウダラが漁獲された操業。

*2019年漁期は暫定値。

表 3-2. 北海道根拠の沖底の漁獲量、漁獲努力量、CPUE (続き)

漁期年	1日の総漁獲量に占めるスケトウダラ漁獲量の割合が50%以上の操業								
	襟裳以西			道東					
	かけまわし			かけまわし			オッタートロール		
	漁獲量 千トン	網数 千網	CPUE トン/網	漁獲量 千トン	網数 千網	CPUE トン/網	漁獲量 千トン	網数 千網	CPUE トン/網
1996	12.4	3.8	3.3	6.7	3.9	1.7	22.5	3.9	5.8
1997	12.4	3.4	3.6	19.5	5.5	3.6	64.4	4.6	13.9
1998	16.4	3.4	4.8	25.8	6.9	3.7	41.7	3.5	11.8
1999	28.2	3.5	8.0	26.8	5.2	5.1	48.8	3.4	14.3
2000	21.4	2.9	7.4	38.0	8.3	4.6	41.6	3.9	10.6
2001	19.5	3.0	6.5	21.3	7.3	2.9	19.4	3.6	5.3
2002	15.0	2.3	6.5	23.4	5.4	4.4	34.6	3.9	8.9
2003	19.3	2.8	6.8	22.7	4.8	4.7	43.7	4.1	10.8
2004	19.7	2.7	7.4	18.9	4.4	4.3	38.7	4.3	9.0
2005	19.3	2.8	6.9	22.0	5.3	4.1	31.0	4.5	6.9
2006	19.6	3.5	5.7	20.2	5.4	3.8	29.2	4.8	6.1
2007	26.4	3.5	7.5	18.2	5.7	3.2	33.9	4.3	7.8
2008	19.4	2.6	7.4	23.3	4.7	4.9	32.8	3.9	8.3
2009	16.6	2.2	7.4	28.6	6.0	4.7	34.2	3.5	9.8
2010	16.9	2.2	7.6	26.2	6.1	4.3	30.3	3.7	8.2
2011	17.6	2.4	7.3	31.5	5.7	5.5	34.1	3.3	10.4
2012	19.8	2.9	6.9	31.9	5.7	5.6	24.7	2.6	9.5
2013	20.1	2.6	7.7	41.3	7.1	5.8	18.0	2.3	7.8
2014	21.4	2.7	7.9	43.9	7.1	6.2	20.3	2.4	8.3
2015	15.2	2.0	7.7	42.5	7.1	6.0	11.8	1.5	7.6
2016	14.5	1.7	8.5	34.2	6.6	5.2	9.9	1.1	9.0
2017	9.0	1.8	4.9	31.5	7.0	4.5	9.5	1.2	8.1
2018	10.3	1.7	6.0	24.8	6.7	3.7	8.3	1.3	6.2
2019*	12.1	2.0	6.0	31.9	6.8	4.7	9.6	1.1	8.6

漁期年は4月～翌年3月。

*2019年漁期は暫定値。

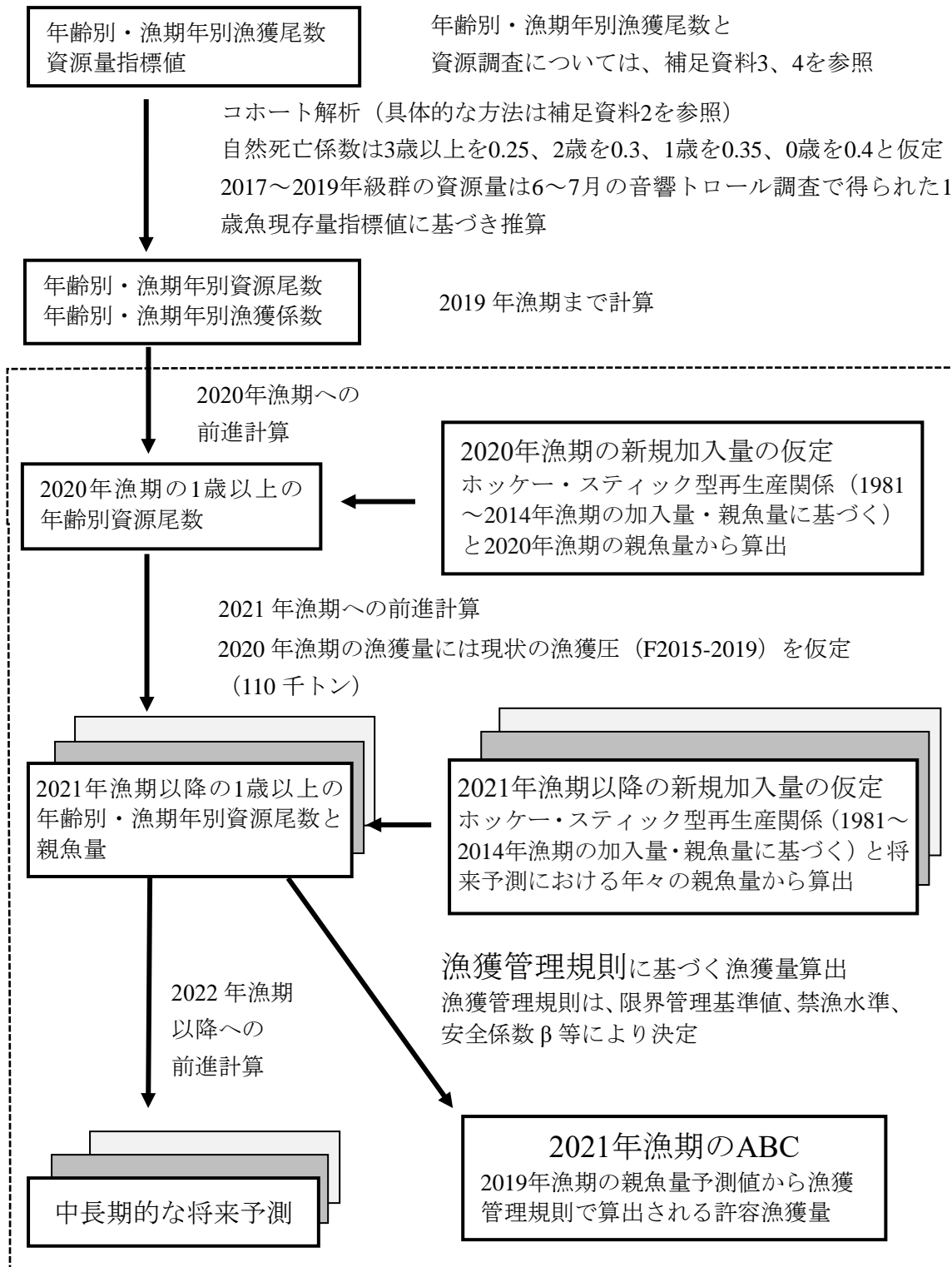
表 4-1. 資源解析結果

漁期年	漁獲量 (千トン)	資源量 (千トン)	2歳魚以上の 資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	0歳加入尾数 (億尾)	漁獲割合 (%)	%SPR	再生産成功率 (尾/kg)
1981	295	1,291	915	187	45.8	23	7	24.4
1982	247	1,345	983	151	28.6	18	10	19.0
1983	280	1,369	1,134	220	20.4	20	11	9.3
1984	283	1,307	1,106	246	18.9	22	12	7.7
1985	280	1,212	1,026	250	16.9	23	10	6.7
1986	212	1,093	916	266	23.7	19	13	8.9
1987	266	1,058	857	278	24.8	25	9	8.9
1988	256	975	761	231	27.1	26	8	11.7
1989	213	1,006	776	178	26.9	21	10	15.1
1990	185	976	784	158	18.8	19	12	11.9
1991	182	956	761	157	30.5	19	12	19.4
1992	178	967	732	200	15.9	18	16	8.0
1993	183	1,050	829	220	18.1	17	16	8.2
1994	208	990	793	210	31.3	21	15	14.9
1995	204	1,132	768	234	53.0	18	16	22.6
1996	148	1,183	844	219	9.3	13	25	4.2
1997	212	1,245	1,164	232	9.1	17	23	3.9
1998	265	1,159	1,037	256	11.8	23	14	4.6
1999	255	1,038	869	307	13.3	25	17	4.3
2000	210	946	709	322	28.5	22	16	8.9
2001	130	1,176	654	220	16.6	11	21	7.6
2002	109	1,124	899	177	10.8	10	29	6.1
2003	147	956	842	183	18.4	15	20	10.1
2004	181	909	757	227	12.5	20	18	5.5
2005	158	1,137	778	251	53.5	14	20	21.3
2006	143	1,234	657	230	17.4	12	21	7.5
2007	154	1,336	1,099	212	31.2	11	20	14.7
2008	155	1,346	1,086	202	18.3	12	20	9.1
2009	172	1,413	1,210	277	25.5	12	27	9.2
2010	175	1,379	1,228	477	4.2	13	29	0.9
2011	172	1,389	1,318	489	7.3	12	30	1.5
2012	156	1,250	1,129	562	11.7	12	32	2.1
2013	156	1,012	908	543	8.6	15	37	1.6
2014	154	882	773	529	16.6	18	30	3.1
2015	120	806	677	370	4.9	15	34	1.3
2016	100	815	681	296	19.4	12	35	6.6
2017	93	872	644	276	23.9	11	35	8.7
2018	76	1,035	765	266	10.0	7	42	3.7
2019	90	866	781	302	9.2	10	36	3.0

漁期年は4月～翌年3月。

2017～2019年漁期の0歳加入尾数は仮定値。2017～2019年漁期の資源量、漁獲割合、%SPR、および再生産成功率は当該仮定値の影響を受ける。

補足資料1 資源評価の流れ



※ 点線枠内は、資源管理方針に関する検討会における管理基準値や漁獲管理規則等（赤字）の議論を踏まえて作成 <http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SignHyoka/Kokai/>される（https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/index.html）。

補足資料 2 資源量計算方法

(1) コホート計算

年齢別・年別漁獲尾数および年齢別平均体重を、各海域における漁獲物の年齢組成や漁獲量を基に算出した(補足資料 4)。韓国船の漁獲物年齢組成に関しては詳しい情報がないが、日本の沖底船と漁場が重なることから、日本の沖底船のそれと同じとした。資源量や親魚量などを推定する際に用いる年齢別体重については、データが存在する 1989 年漁期以降に関しては、年別の値を用いたが、データが存在しない 1988 年漁期以前に関しては、1989～1993 年漁期の平均値を用いた(補足表 2-1)。年齢分解が困難な高齢魚はプラスグループとしてまとめた。プラスグループとする年齢は、1997 年以前は 8 歳魚以上(8+歳)、1998 年は 9 歳魚以上(9+歳)、1999 年以降は 10 歳魚以上(10+歳)とした。

年齢別資源尾数、資源重量、漁獲係数は、これらの情報に基づき、コホート解析により推定した。コホート解析では、スケトウダラの生活史に基づき 4 月を起点とし、0 歳～10+歳の年齢別に各値を求めた。年齢別資源尾数(N)の計算には Pope (1972) の式を用い、プラスグループの資源尾数については平松(1999)の方法を用いた。3 歳以上の自然死亡係数(M)は、道東海域における沖底の CPUE と漁獲努力量を基に、Widrig (1954) の方法により推定した(補足表 2-2)。一方、3 歳未満の M は、一般に若齢魚の M が高齢魚のそれよりも高いことを考慮して推定した。資源評価によって推定する資源量は、漁期年が始まる 4 月 1 日における初期資源量であるが、4 月は産卵終了直後である。そのため、ある漁期年の初期資源量の内、成熟しているものをその漁期年の年級群を産み出した親魚量とした。つまり、2019 年漁期の親魚量とは、2018 年漁期末に産卵を行った親魚量であり、2019 年級群を産み出した親魚量のことである。よって、親魚量の計算には、補足表 2-3 に示した成熟割合(図 2-3 の成熟割合を 1 歳分高齢にずらした割合)を用い、各漁期年の初期資源量と、この成熟割合の積により親魚量を算出した。

近年、本系群の 0～2 歳魚は漁獲の主対象ではないため、その漁獲尾数は各年級群の豊度に応じたものとはならない可能性が高く、まだ 0～2 歳魚の漁獲尾数の情報しかない直近 3 年間の年級群の加入量のコホート解析による推定精度は低いと考えられる。したがって、最近年の 0～2 歳魚を構成する 2017～2019 年級群については、6～7 月に実施しているスケトウダラ音響トロール調査の結果から推算することとした(後述)。

チューニングには、北海道根拠の沖底の年齢別標準化 CPUE (3～7 歳：補足表 2-4) と刺し網の漁績から得られる資源量指標値および操業日誌から得られる標準化 CPUE (補足表 2-5) を用いた。沖底 CPUE が各年齢の漁期中央の資源尾数と、刺し網の資源量指標値と標準化 CPUE が漁期中央の親魚量と合うように最近年の 3 歳～10+歳の年齢別 F を探索的に求めた。0～2 歳については、前述の通り調査結果に基づき推算された資源尾数と漁獲尾数から求めた。資源量推定の具体的な計算式は以下のとおりである。

各年の年齢別資源尾数 $N_{a,y}$ は、各年の年齢別漁獲尾数および自然死亡係数から (1) 式により計算した。

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

ここで、 $N_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は y 年 a 歳魚の漁獲尾数、 M_a は a 歳魚の自然死亡係数である。なお、後述の $F_{a,y}$ は y 年漁期の a 歳の F 、 m_a は a 歳における成熟割合、 $w_{a,y}$ は y 年漁期 a 歳における体重である。

1997～1999 年にかけてプラスグループとする年齢を延長しているため、1996 年以前の 7 歳および 8+歳の資源尾数はそれぞれ(2)、(3)式、1999 年以降の 9 歳および 10+歳の資源尾数はそれぞれ(4)、(5)式により求めた。1997 年、1998 年のプラスグループは、それぞれ翌年のプラスグループが延長されるため、(1)式と同じになる。

$$N_{7,y} = \frac{C_{7,y}}{C_{7,y}+C_{8+,y}} N_{8+,y+1} \exp(M_7) + C_{7,y} \exp\left(\frac{M_7}{2}\right) \quad (2)$$

$$N_{8+,y} = \frac{C_{8+,y}}{C_{7,y}+C_{8+,y}} N_{8+,y+1} \exp(M_{8+}) + C_{8+,y} \exp\left(\frac{M_{8+}}{2}\right) \quad (3)$$

$$N_{9,y} = \frac{C_{9,y}}{C_{9,y}+C_{10+,y}} N_{10+,y+1} \exp(M_9) + C_{9,y} \exp\left(\frac{M_9}{2}\right) \quad (4)$$

$$N_{10+,y} = \frac{C_{10+,y}}{C_{9,y}+C_{10+,y}} N_{10+,y+1} \exp(M_{10+}) + C_{10+,y} \exp\left(\frac{M_{10+}}{2}\right) \quad (5)$$

最新の資源評価の最終年 Y の 3 歳～10+歳の年齢別資源尾数 $N_{a,Y}$ は最近年の年齢別漁獲係数 $F_{a,Y}$ および年齢別漁獲尾数 $C_{a,Y}$ を用いて (6) 式より求めた。

$$N_{a,Y} = \frac{C_{a,Y} \exp\left(\frac{M_a}{2}\right)}{(1 - \exp(-F_{a,Y}Y))} \quad (6)$$

漁獲係数 F は、チューニングにより推定する最近年以外は (7) 式により求めた。ただし、プラスグループの F については、その資源尾数を (1) 式で求める 1997 年および 1998 年を除き、プラスグループより 1 歳下の年齢の F と等しいとした。

$$F_{a,y} = -\ln\left(1 - \frac{C_{a,y} \exp\left(\frac{M_a}{2}\right)}{N_{a,y}}\right) \quad (7)$$

最近年の F は、最近年における 3～9 歳魚の F は、リッジ VPA (Okamura et al. 2017) の手法に準じて推定した。なお、0 歳～2 歳の F 値は直近 3 年間の加入量に調査からの推算値を与えていることからコホート計算の前進法により得られた年齢別資源尾数(後述)と年齢別漁獲尾数から算出した。また 10+歳の F 値は 9 歳の F 値と同じと仮定した。リッジ VPA は F の大きさに応じてペナルティを課すことで、推定の不安定性を軽減させる手法である。チューニング指標値への適合度を示す尤度 L (負の対数尤度 $-\ln L$ として定義) と F の二乗値へのペナルティを重みづけした目的関数を (8) 式で定義し、これを最小化するように F を推定した。その際、特にレトロスペクティブバイアスの強い 3 歳の F 値と、それ以外の年齢(4 歳～9 歳)の F 値とでペナルティの重みを η により変える手法を用いた。それぞれの λ および η は、レトロスペクティブ解析により得られる親魚量および各年齢 F 値(3 歳～9 歳)の推定値の差が最小になる値を探索して用いた。なお、(8) 式の α は λ および η の探索を容

易にするためにペナルティ項に便宜的に与える重みであり、本解析では $\alpha=20$ とした。レトロスペクティブ解析による推定値間の差の指標には (9) (10) 式に示した平方二乗誤差率 (RMSPE: Root Mean Square Percentage Error) を用いた。

$$-(1-\lambda)\ln L + \alpha\lambda \left[(1-\eta) \sum_{a=4}^9 F_{a,Y}^2 + \eta F_{3,Y}^2 \right] \quad (8)$$

$$RMSPE_{SSB'} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=Y-i}^n \left(\frac{SSB'_k{}^{R_i} - SSB'_k}{SSB'_k} \right)^2} \quad (9)$$

$$RMSPE_{F_a'} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=Y-i}^n \left(\frac{F_{a,k}{}^{R_i} - F_{a,k}'}{F_{a,k}'} \right)^2} \quad (10)$$

$$SSB'_y = \sum_{a=0}^{10+} N_{a,y} \times m_a \times w_{a,y} \quad (11)$$

ここで R_i は i 年分のレトロスペクティブ計算の値であることを示す。また、 n は推定値の差を比較する範囲であり、本解析ではコホート年数分だけ比較するため $n=11$ とした。親魚量は (11) 式で定義される。すなわち、RMSPE は前年のデータを用いた推定結果と、最新データを i 年分落とした場合とでのコホート年数分の推定値の差を割合として示したものとイえる。レトロスペクティブ計算においてデータを遡る年数は 5 年とし、 λ ($0 \leq \lambda < 1$) および η ($0 \leq \eta \leq 1$) の組み合わせは親魚量および各年齢 F 値のレトロスペクティブ年数分の RMSPE の平均値が最小となる値を、まずそれぞれ 0.05 区切りで探索し、最小となった組み合わせの周囲をさらに 0.005 区切りで探索して得た。なお、最小化させる負の対数尤度 $-\ln L$ は以下の (12) 式で定義した (Hashimoto et al., 2018)。指標値と資源尾数あるいは親魚量との間にはべき乗関係を仮定した。

$$\begin{aligned} -\ln L = & \sum_a \sum_y \left[\frac{[\ln I_{a,y} - (b_a \ln D_{a,y} + \ln q_a)]^2}{2\sigma_a^2} - \ln \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_a} \right) \right] \\ & + \sum_y \left[\frac{[\ln J_y - (b' \ln S_y + \ln q')]^2}{2\sigma'^2} - \ln \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma'} \right) \right] \\ & + \sum_y \left[\frac{[\ln K_y - (b'' \ln S_y + \ln q'')]^2}{2\sigma''^2} - \ln \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma''} \right) \right] \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、 $I_{a,y}$ は y 年漁期の a 歳の CPUE (補注 1)、 $D_{a,y}$ は y 年漁期の漁期中央における a 歳の資源尾数、 J_y は刺し網による資源量指標値、 K_y は刺し網による標準化 CPUE (補注 2)、 S_y は漁期中親魚量である。 $D_{a,y}$ と S_y はそれぞれ (13) および (14) 式により求めた。漁期中親魚量の計算には補足表 2-6 に示した漁期中成熟割合 (図 2-3 の成熟割合) を用いた。

$$D_{a,y} = N_{a,y} \exp \left(-\frac{M_a + F_{a,y}}{2} \right) \quad (13)$$

$$S_y = \sum_{a=0}^{10+} D_{a,y} \times m'_a \times w_{a,y} \quad (14)$$

ここで、 m'_a は a 歳における漁期中成熟割合である。 b_a および q_a は a 歳に関する係数、 b' 、 b'' 、 q' 、 q'' はそれぞれの指標値に対応する係数であり、以下の (15) ~ (20) 式により求めた。 σ_a 、 σ' 、 σ'' は推定パラメータ（最近年の各年齢 F 値と同時推定）である。

$$q_a = \exp \left(\frac{1}{n} \sum_y \ln(I_{a,y}) - \frac{b_a}{n} \sum_y \ln(D_{a,y}) \right) \quad (15)$$

$$b_a = \frac{\sum_y (\ln(I_{a,y}) - \frac{1}{n} \sum_y \ln(I_{a,y})) (\ln(D_{a,y}) - \frac{1}{n} \sum_y \ln(D_{a,y}))}{\sum_y (\ln(D_{a,y}) - \frac{1}{n} \sum_y \ln(D_{a,y}))^2} \quad (16)$$

$$q' = \exp \left(\frac{1}{n} \sum_y \ln(J_y) - \frac{b'}{n} \sum_y \ln(S_y) \right) \quad (17)$$

$$b' = \frac{\sum_y (\ln(J_y) - \frac{1}{n} \sum_y \ln(J_y)) (\ln(S_y) - \frac{1}{n} \sum_y \ln(S_y))}{\sum_y (\ln(S_y) - \frac{1}{n} \sum_y \ln(S_y))^2} \quad (18)$$

$$q'' = \exp \left(\frac{1}{n} \sum_y \ln(K_y) - \frac{b''}{n} \sum_y \ln(S_y) \right) \quad (19)$$

$$b'' = \frac{\sum_y (\ln(K_y) - \frac{1}{n} \sum_y \ln(K_y)) (\ln(S_y) - \frac{1}{n} \sum_y \ln(S_y))}{\sum_y (\ln(S_y) - \frac{1}{n} \sum_y \ln(S_y))^2} \quad (20)$$

ここで、 n は各チューニング指標値のデータの年数である。チューニング指標値の期間は、沖底の年齢別標準化 CPUE については 1999 年漁期以降、刺し網漁業の資源量指標値と標準化 CPUE はそれぞれ 2003 年漁期以降、2010 年漁期以降である。各チューニング指標値と予測値との残差プロットについては補足図 2-1 に、 b_a 、 q_a 、 b' 、 b'' 、 q' 、 q'' 、 σ_a 、 σ' 、 σ'' の推定結果については補足表 2-7 に示した。また、チューニング後のコホート解析による資源解析結果の詳細は補足資料 4 に示した。なお、探索の結果、本解析に使用した λ は 0.540、 η は 0.945 である（補足資料 5）。

(2) 直近 3 年間の加入量

2017~2019 年級群については前述の通り 6~7 月のスケトウダラ音響トロール調査の結果を用いて推算した。使用した調査データは、再解析が終了した 2006 年度調査以降の 1 歳魚の現存尾数指標値から 2005 年級群および 2007 年級群を除いたものである。この指標値とコホート計算の 1 歳魚資源尾数推定値とを、2017 年度までのデータについて各々対数変換し線形関係式を求め、これに直近 3 年間の調査（2018 年度~2020 年度）の 1 歳魚の現存尾数指標値を当てはめることで、2017~2019 年級の 1 歳魚における資源尾数を線形外挿して求めた。ここから、2017~2019 年漁期の 0 歳魚の資源尾数、および 2019 年漁期の 2 歳魚の資源尾数を、それぞれコホート解析の後進計算（(1) 式）および前進計算（(21) 式）により求めた。なお、各年齢 F 値は (7) 式で求めた。

$$N_{a+1,y+1} = (N_{a,y} \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) - C_{a,y}) \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) \quad (21)$$

調査での現存尾数指標値とコホート解析での資源尾数推定値との関係および線形関係式を補足図 2-2 に示す。線形外挿された 2017~2019 年級の 1 歳魚時点の資源尾数は、それぞれ 1,597 百万尾、668 百万尾、および 613 百万尾であった。また、後進計算により推算された 0 歳魚時点での資源尾数（加入量）は、それぞれ 2,390 百万尾、997 百万尾、および 918 百万尾であった。

(3) 再生産関係と最大持続生産量 MSY の推定について

再生産関係式の適用と最大持続生産量 (MSY) を実現する水準の推定の詳細については、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」の報告書(境ほか 2019) を参照されたい。ここで、MSY を実現する水準の推定には、適用した再生産関係と、平成 30 年度我が国周辺水域の漁業資源評価での将来予測に用いた各種設定が使用された。すなわち、再生産関係は、資源評価で推定された 1981~2014 年級群の加入量および親魚量に基づくホッカー・スティック型とし、自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重および漁獲の選択率がシミュレーションの条件付けに用いられた。また、選択率は、各年齢の漁獲係数 (F 値) の 2013~2017 年漁期の平均値 (すなわち平成 30 年度資源評価での $F_{current}$) に基づくものとし、漁獲物の平均体重には 2013~2017 年漁期における平均値が用いられた (補足表 2-8)。以上の条件および使用した再生産関係の下で行われたシミュレーションにおいて、平衡状態における漁獲量を最大化する漁獲係数が F_{msy} 、そのときの親魚量が SB_{msy} 、平衡状態で最大化された漁獲量の平均値が最大持続生産量 (MSY) として推定された。

補注 1. 沖合底曳き網漁業の年齢別標準化 CPUE

沖底の年齢別標準化 CPUE は、以下の手順により算出した。

- 1) 道東を釧路以東 (沖底漁業小海区 31~35) と釧路以西 (同 30、36、37)、襟裳以西を浦河・静内沖 (同 28、29) と鶴川・登別・臼尻・恵山沖 (同 24~27) にそれぞれ分割し、これらの 4 海域の沖底漁獲物に対応した年齢組成推定用サンプルが得られている年・月を漁法ごと (オッターロール・かけまわし) に抽出する。
- 2) 抽出された年・月・漁法について、漁船ごとに沖底漁獲成績報告書からスケトウダラの漁獲が 50%以上の操業日の操業情報を抽出する。
- 3) 年・月・漁法・海域別の年齢組成データが、同時期・海域・漁法のスケトウダラ狙いの漁獲物年齢組成を反映していると見做し、年齢別の漁獲量・努力量データを求める。
- 4) スケトウダラ狙いの漁獲情報であっても、年齢によりゼロキャッチが生じる場合があるため、デルタ型 2 段階モデル (Lo et al. 1992) を標準化に使用する。これは第 1 段階として、ゼロキャッチデータの割合について二項分布を用いた一般化線形モデル (GLM) により推定し、次に第 2 段階として非ゼロキャッチデータに対数正規分布を仮定した GLM を適用し、最終的に非ゼロキャッチデータの割合と非ゼロキャッチ部分の応答変数 (CPUE) を掛け合わせることで標準化 CPUE を得る方法である。フルモデルの説明変数として、第 1 段階では、漁期年、月、年齢、漁法、および海域を、第 2 段階では、漁期年、月、年齢、漁法、船 ID、馬力を用い、主効果および交互作用について BIC を

用いた変数選択を行い最終的なモデルを得る。先行研究例 (Rodríguez-Marín et al. 2003) に従い、最終的なモデルでは、年齢別の CPUE の年トレンドを得るため、漁期年と年齢の交互作用項について最小二乗平均 (lsmean) を算出する。

5) 最終的に選択されたモデルは昨年度と同じものとなった。モデル式は以下の通り；

[第 1 段階]： $positive\ rate \sim Intercept + Year + Age + Area + Year \times Age + error\ term,$

[第 2 段階]： $\log(CPUE) \sim Intercept + Year + Age + Area + Month + VesselID + Year \times Age + Age \times Month + Age \times Area + error\ term$

ここで Year は漁期年、Age は年齢、Month は月、VesselID は船 ID、Area は海域である。標準化における詳細は標準化 CPUE に関する文書 (FRA-SA2020-SC03-101) を参照のこと。

補注 2. 刺し網漁業の標準化 CPUE (操業日誌)

刺し網漁業の標準化 CPUE (操業日誌) は、以下の方法により算出した (函館・栽培水産試験場 印刷中)。

- 1) データとなる操業日誌は、2010 年度より渡島、及び胆振地区のスケトウダラ刺し網船団の代表船 (18 隻) が、操業日ごとの操業位置 (緯度・経度)、使用した網数 (反)、漁獲量 (kg) を記録したものをを用いた。
- 2) CPUE の標準化には正規分布を仮定した一般化線形モデルを利用し、応答変数に対数変換した船別日別の CPUE を、説明変数に年、月、漁具の中央部の水深、漁具の浸漬日数、根拠港、操業エリアを用いた。CPUE は操業エリア、月、水深ごとに年変動パターンに違いが見られたので、これらの説明変数はそれぞれ年との交互作用項としてモデル化した。操業データの中には漁獲が 0 であったデータも含まれたため、応答変数は CPUE に定数項を加えたものを対数変換したものとした。この定数項には、平均 CPUE の 10% の値を与えた (constant)。

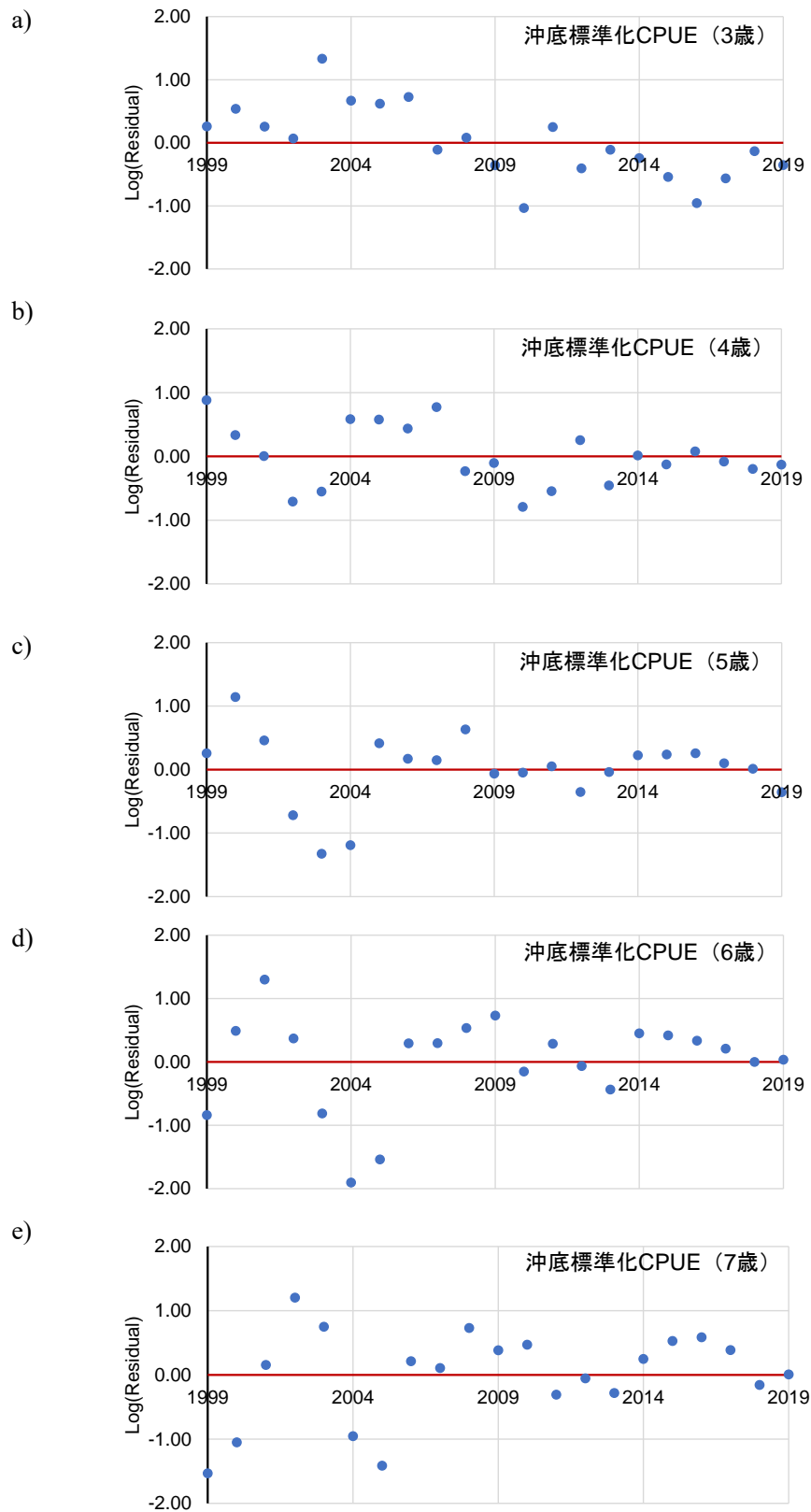
$$\log(CPUE + constant) \sim Intercept + Year + Month + Area + Depth + Duration + Port + Year \times Month + Year \times Area + Year \times Depth + error\ term$$

ここで、CPUE は船別日別の漁獲量 (kg) を努力量 (網長) で割った値、Year は操業日誌の記録が行われた 2010～2019 年漁期、Month は 10～翌年 2 月とした (年によっては 2 月以前に操業が終了していることもある。Area は沖底漁区を基準とした操業エリア、Depth は漁具の中央における水深 (7 階級：～100m、～150m、～200m、～250m、～300m、～350m、～400m)、Duration は漁具の浸漬日数 (1～3 日)、Port は根拠港である)。すべての説明変数はカテゴリカル変数として用いた。

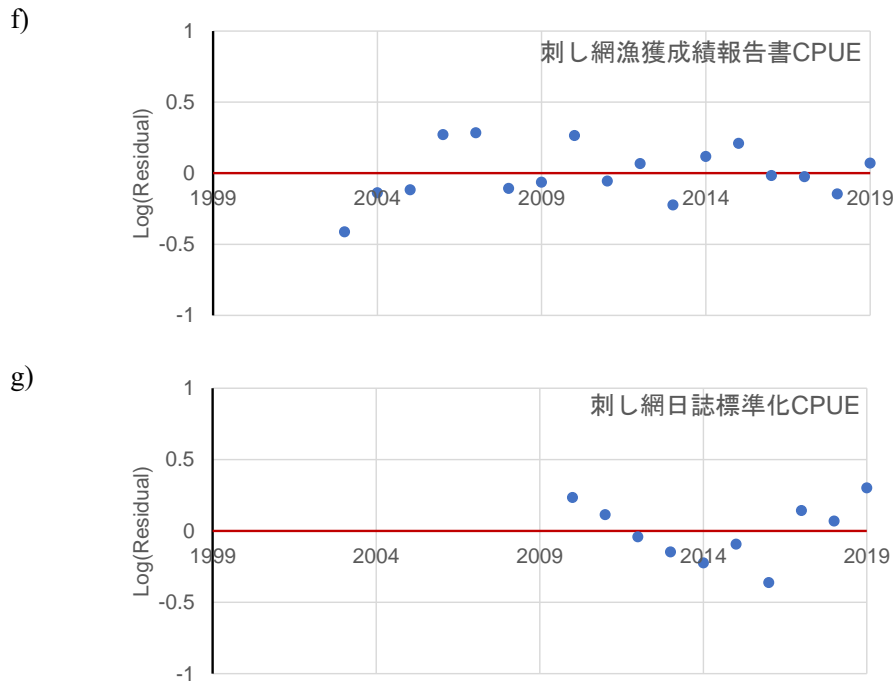
引用文献

Hashimoto, M., H. Okamura, M. Ichinokawa, K. Hiramatsu, and T. Yamakawa (2018) Impact of the nonlinear relationship between abundance and its index in a tuned virtual population analysis.

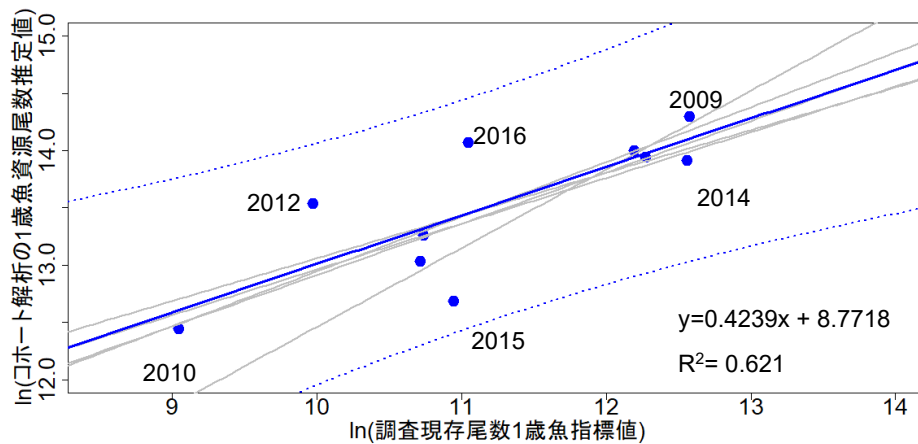
- Fish. Sci. **84**(2), 335-347.
- 平松一彦 (1999) VPA の入門と実際. 水産資源管理談話会報, **20**, 9-28.
- Lo, N.C., L. D. Jacobson, and J. L. Squire. (1992) Indices of relative abundance from fish spotter data based on delta-lognormal models, Can. J. Fish. Aqua. Sci., **49**, 2515-2526.
- Mohn, R. (1999) The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data. ICES J. Mar. Sci., **56**, 473-488.
- Okamura, H., Y. Yamashita and M. Ichinokawa (2017) Ridge virtual population analysis to reduce the instability of fishing mortalities in the terminal year. ICES J. Mar. Sci., **74**(9), 2427-2436.
- Pope, J. G. (1972) An investigation of accuracy of virtual population analysis using Cohort Analysis. Res. Bull. int. comm. Northw. Atlant. Fish., **9**, 65-74.
- Rodríguez-Marín, E., H. Arrizabalaga, M. Ortiz, C. Rodríguez-Cabello, G. Moreno, and L.T. Kell (2003) Standardization of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, catch per unit effort in the baitboat fishery of the Bay of Biscay (Eastern Atlantic). ICES J. Mar. Sci., **60** (6), 1216-1231.
- 境 磨・山下夕帆・千村昌之・石野光弘 (2019) 平成 31 (2019) 年度スケトウダラ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.
https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_suketou_p.pdf (last accessed 15 October 2019)
- 田中栄次 (2012) 新訂水産資源解析学. 成山堂書店, 東京.
- Widrig, T. M. (1954) Method of estimating fish populations, with application to Pacific sardine. Fish. Bull. U.S., **56**, 141-166.
- 函館・栽培水産試験場 (印刷中) スケトウダラ (道南太平洋海域) . 2020 年度水産資源管理会議評価書, 北海道立総合研究機構水産研究本部.



補足図 2-1. 各チューニング指標値の残差プロット



補足図 2-1 (続き) . 各チューニング指標値の残差プロット



補足図 2-2. 調査での現存尾数指標値とコホート解析での資源尾数推定値との関係、線形関係式 (太実線) および 95%予測区間 (点線)

調査データ (2006~2020 年度の指標値) と、コホート解析で推定される 2016 年級までの 1 歳魚時点の資源尾数について、両情報を対数変換の上で線形関係を検討した。ただし、調査により卓越年級としての豊度が捉えられなかった 2005 年級および 2007 年級は解析から除いた。プロットに添えた年号はそのプロットに対応した年級群を示す。得られた関係式から、直近 3 年級 (2017~2019 年級群) の資源量を推算した。なお灰色細実線は 5 年分のレトロスペクティブ解析でそれぞれ推定される関係式を示しており、いずれの関係も点線で示される 95%予測区間の範囲内に収まっている。

補足表 2-1. 年齢別平均体重 (g)

漁期年	1988以前	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0歳	31	27	25	29	30	42	33	28	29	32	41	39	53	44	49	32
1歳	106	109	96	95	94	138	79	106	89	85	121	158	97	238	155	76
2歳	267	332	284	246	248	227	264	222	221	201	258	300	304	297	301	216
3歳	405	453	419	409	400	343	338	397	368	338	335	347	432	467	461	395
4歳	489	492	539	452	464	500	435	525	485	452	400	459	473	530	565	470
5歳	564	585	618	529	538	547	526	536	557	541	476	520	526	583	586	517
6歳	639	682	662	594	612	643	607	591	632	639	522	549	591	626	639	625
7歳	788	819	820	806	718	777	686	641	583	738	639	605	651	680	705	682
8歳 (8+歳)	999	879	1,030	1,024	841	1,222	881	782	814	869	740	658	758	727	783	738
9歳 (9+歳)											828	689	843	717	831	840
10歳												751	902	1,302	1,037	1,198

漁期年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	42	44	40	43	32	30	37	48	50	54	38	48	48	46	43	35
1歳	88	152	143	89	96	105	84	141	139	76	77	95	124	91	142	80
2歳	213	265	184	242	188	189	208	236	160	164	165	183	227	224	274	185
3歳	349	422	359	316	347	300	318	393	381	308	313	402	341	379	391	284
4歳	463	460	453	455	417	449	431	433	480	464	479	477	461	479	497	462
5歳	510	525	530	527	512	542	524	502	505	530	548	539	559	598	556	564
6歳	579	575	594	595	615	590	636	576	579	565	611	603	634	646	660	668
7歳	646	625	642	665	682	700	696	749	655	614	632	638	650	721	720	762
8歳 (8+歳)	695	675	686	661	692	687	770	761	909	719	653	654	713	739	739	784
9歳 (9+歳)	787	711	755	796	749	684	837	1,020	853	785	742	712	727	788	761	791
10歳	997	968	994	982	1,110	713	1,152	1,085	1,062	884	1,063	819	797	807	832	840

補足表 2-2. 自然死亡係数 M

年齢	0	1	2	3	4	5	6	7	8 (8+)	9 (9+)	10+
M	0.4	0.35	0.3	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

プラスグループを 1997 年以前は 8 歳以上、1998 年は 9 歳、1999 年以降は 10 歳以上とした。
いずれの場合も自然死亡係数は 0.25 である。

補足表 2-3. 親魚量計算に用いた年齢別成熟割合 (%)

年齢	0	1	2	3	4	5	6	7	8 (8+)	9 (9+)	10+
成熟割合	0	0	0	0	20	80	90	100	100	100	100

プラスグループを 1997 年以前は 8 歳以上、1998 年は 9 歳、1999 年以降は 10 歳以上とした。
いずれの場合も成熟割合は 100%である。

補足表 2-4. 沖底の年齢別標準化 CPUE (チューニング指標値)

標準化CPUE (ひと網当たりの漁獲尾数に基づく)											
漁期年	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
3歳	569	672	733	860	6,811	1,966	1,104	2,161	675	5,147	824
4歳	14,908	1,274	899	731	1,129	6,350	3,854	2,108	4,891	1,473	11,124
5歳	2,513	9,826	1,088	457	382	468	3,377	1,947	1,192	2,830	1,380
6歳	405	1,338	4,506	494	270	113	156	1,427	1,045	632	1,293
7歳	64	131	330	1,373	285	109	68	274	475	513	194

漁期年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
3歳	918	1,510	1,218	136	272	393	171	642	197	966
4歳	1,366	4,047	3,814	2,963	348	741	1,820	1,010	2,462	465
5歳	7,485	2,464	3,721	2,318	4,322	478	1,037	1,689	1,032	1,896
6歳	673	5,904	1,230	2,146	2,187	3,006	327	553	970	580
7歳	427	307	2,170	527	2,202	1,190	1,810	181	203	566

補足表 2-5. 刺し網の CPUE (チューニング指数)

資源量指標値											
漁期年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
漁獲量/反(kg)	867	1,265	1,215	1,641	1,635	1,279	2,028	2,937	2,344	2,666	
標準化CPUE								63	65	56	

漁期年	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
漁獲量/反(kg)	1,922	2,199	1,984	1,415	1,404	1,332	1,563
標準化CPUE	48	32	27	17	29	30	34

補足表 2-6. チューニングにおいて年度中央親魚量計算に用いた年齢別成熟割合

年齢	0	1	2	3	4	5	6	7	8 (8+)	9 (9+)	10+
成熟割合	0	0	0	20	80	90	100	100	100	100	100

プラスグループを 1997 年以前は 8 歳以上、1998 年は 9 歳、1999 年以降は 10 歳以上とした。
いずれの場合も成熟割合は 100%である。

補足表 2-7. 係数 b と q、および σ の推定結果

年齢 a	b_a	q_a	σ_a	b'	q'	σ'
3	1.281	8.449×10^{-09}	0.566	0.771	8.513×10^{-02}	0.186
4	1.329	1.340×10^{-08}	0.463			
5	1.132	8.888×10^{-07}	0.550			
6	1.084	2.428×10^{-06}	0.732	b''	q''	σ''
7	1.022	7.203×10^{-06}	0.704	1.198	6.672×10^{-06}	0.199

補足表 2-8. 最大持続生産量 (MSY) を実現する水準の推定に用いたパラメータ値 (境ほか 2019)

年齢	自然死亡 係数	成熟率	平均重量 (g)	選択率 (注 1)	F _{current} (注 2)
0	0.40	0.0	47	0.026	0.007
1	0.35	0.0	96	0.025	0.007
2	0.30	0.0	195	0.111	0.032
3	0.25	0.0	348	0.200	0.059
4	0.25	0.2	472	0.548	0.160
5	0.25	0.8	555	0.906	0.265
6	0.25	0.9	612	0.996	0.291
7	0.25	1.0	651	1.000	0.292
8+歳	0.25	1.0	696	1.000	0.292

注 1 : MSY を実現する水準の推定の際に使用した選択率は、平成 30 年度資源評価での F_{current} の選択率 (2013~2017 年漁期の平均 F の選択率) である。

注 2 : 平成 30 年度資源評価での F_{current} (2013~2017 年漁期の平均 F 値)

補足資料 3 調査船調査の結果と周辺情報

(1) スケトウダラ音響トロール調査

(開発調査センター・北海道区水産研究所：6～7月)

北海道太平洋岸における1、2歳魚の現存量を把握するために、計量魚群探知機とトロールネットによる調査を実施している。調査は1996年から実施しているが、現在の調査海域にまで調査規模が拡大されたのは2001年以降である。2018年度より過去の調査データについて魚探反応の割当等の見直しに取り組んでいる。本稿では再解析が終了した2006年度調査以降のデータについて記載する(補足図3-1)。本調査から推定された1歳魚の現存尾数は、卓越年級群である2005および2007年級群については平均的な値もしくは低い値となっているが、それ以外の年級群については資源評価に基づく年級群豊度と類似した傾向となっている。資源評価で加入量に本調査からの推算値を与えた年級のうち、2017年級群については、データを見直した期間の中で最も高い1歳魚の現存尾数が得られている。当該年級群については2019年度調査でも高い2歳魚現存尾数として捉えられており、今後の資源利用を支える年級群となることが期待される。ただし、前述の通り、特に卓越年級群である2005および2007年級群について、本調査では十分に年級群豊度を捉えられなかった等の不確実性があることに注意が必要である。この不確実性の原因として、近年、北方四島水域が1、2歳時の成育場となっている可能性が考えられる。

(2) 道東太平洋スケトウダラ資源調査

(北海道立総合研究機構釧路水産試験場：11月)

11月の道東海域における0歳魚の現存量を把握するため、トロールネットによる漁獲調査を実施している。トロールによる0歳魚のCPUEについて卓越年級群で1995年、2005年、2007年級群についてみると、1995年級群は高い値、2005年級群は最高値であったが、2007年級群は低い値であり、卓越年級群の中でも結果に違いが認められる(補足図3-2)。近年では、2015年級群について高い値が見られるが、当該年級群については本年度の資源評価では2010年級群並みの低豊度と推定されており、その結果の解釈には注意を要する。2017年級群については、本調査でも前述のスケトウダラ音響調査と同様に高い値が見られる。

(3) スケトウダラ卵・仔魚分布調査

(北海道区水産研究所：12～3月)

北海道太平洋岸(道南～道東海域)におけるスケトウダラ卵・仔魚の現存量を把握するため、リングネット(口径80cm)による調査を実施している。スケトウダラの卵と仔魚は、噴火湾周辺海域から道東海域にかけて広く採集されるが、道東海域での採集量は少ない。補足図3-1に噴火湾周辺海域で採集された1網当たりの平均卵数を示す。卵数は2000年代以降急増し、2010年漁期にピークに達した。しかし、その後は急減しており、2015～2019年漁期の卵数は、2000年代以降では最低レベルにある。卵数が産卵親魚の来遊量を反映していると仮定すると、噴火湾周辺への来遊量は、2010年漁期前後のピークは過ぎたと考えられる。なお、2000年代以降、海域別では胆振沿岸の割合が比較的高い傾向にある。

(4) スケトウダラ仔稚魚春季定量調査

(北海道区水産研究所：4月)

噴火湾周辺海域における仔魚の現存量を把握するため、計量魚群探知機とフレームトロールネットによる調査を実施している。本調査では、比較的高豊度の年級群であった 2009 年級群や、過去最低の加入であった 2010 年級群については仔魚の魚探反応量でも高い、および低い値となった。卓越年級群である 2005 および 2007 年級群については、仔魚の魚探反応量が低い、もしくは平均的な値となっており、かならずしも魚探反応量が加入動向と一致しない（補足図 3-4）。なお 2020 年度の調査は中止となった。

(5) スケトウダラ産卵親魚来遊調査（北海道立総合研究機構函館水産試験場：8～9月）

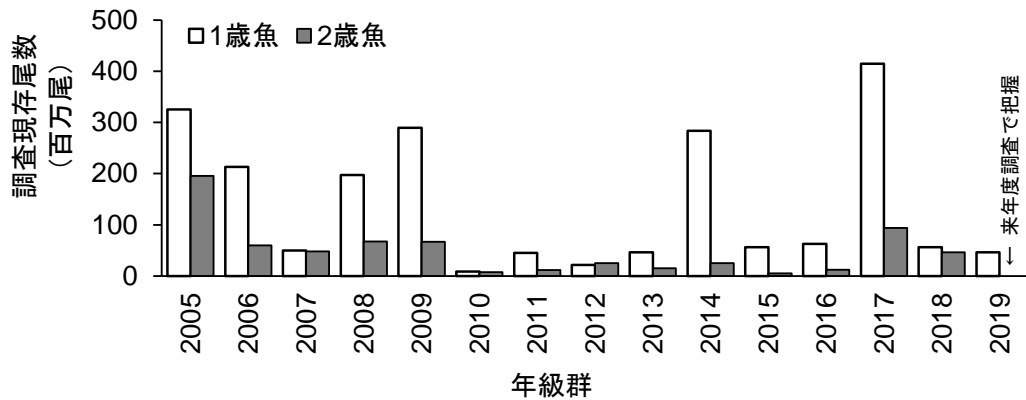
主産卵場である噴火湾周辺海域における来遊親魚量を把握するために、計量魚群探知機とトロールネットによる調査を実施している。親魚の魚探反応量は、2009～2011 年漁期に高い値を示した後、2012、2013 年漁期には大きく減少した。その後、2014 年漁期には高い値が観察されたが、その原因として例年よりも早く親魚が産卵場へ来遊した可能性が考えられている。2015 年漁期に魚探反応量が再び減少して以降は、2018 年漁期に一旦低下した以外は概ね 2019 年漁期まで横ばい傾向である（補足図 3-5）。

(6) マダラ・スケトウダラ新規加入量調査およびズワイガニ分布調査（東北区水産研究所：4月）、マダラ・スケトウダラ新規加入量調査（岩手県水産技術センター：4～6月、宮城県水産技術総合センター：5～7月、福島県水産海洋研究センター・福島県水産資源研究所：7～12月）

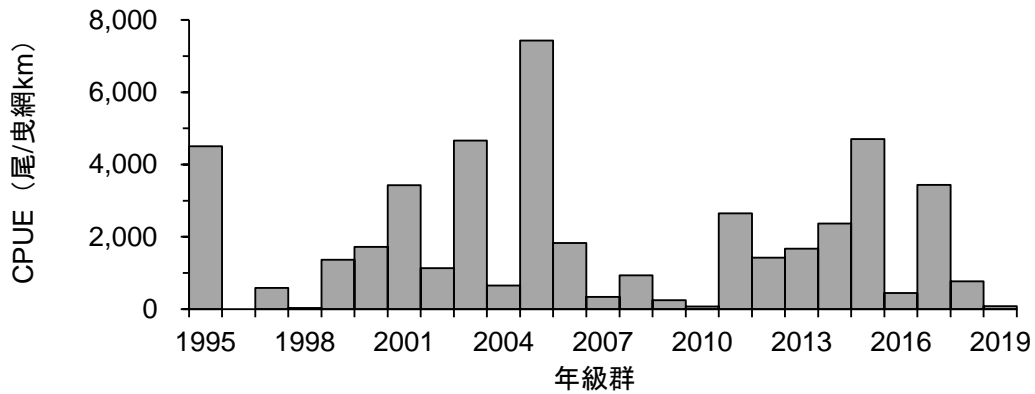
東北海域における 0、1 歳魚の現存量を把握するために、主に着底トロールを用いた調査を実施している。1980 年代は、東北海域も本系群の重要な成育場となっていたが、1990 年代以降は道東海域以東が主要な成育場となっているため、東北海域における現存量から本系群の加入量を推測するのは難しいと考えられる。1 例として、10 月の東北海域における 0 歳魚の現存量を補足図 3-6 に示す。卓越年級群である 2005 および 2007 年級群については、0 歳魚現存量は平均的な値もしくは低い値となっている。2015～2018 年級群の現存量は平均以下の値で推移していたが、2019 年級群は平均を上回った。

(7) 千島列島南西海域でのロシアの TAC

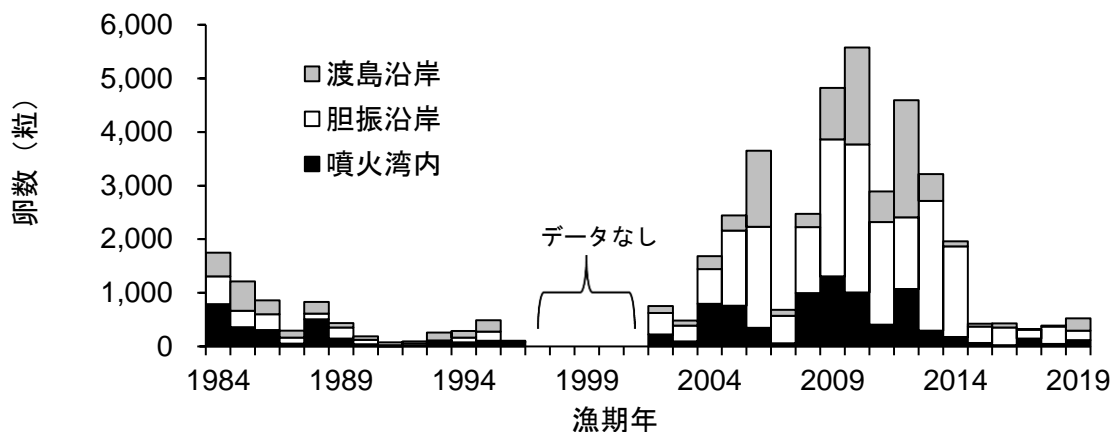
千島列島南西海域ではロシアの大型トロール船が操業しているが、漁獲量や漁獲物の特性などの詳細な情報は得られていない。補足図 3-7 にこれらの海域を含む海区に設定されたロシアの TAC を示す（ロシアでの海区名：南クリル）。この海区の TAC は 2009 年以降急増し、2011 年以降は 89 千～115 千トンの範囲にある。この TAC が当該海域の資源量を反映したものと仮定すると、その資源状況は 2020 年も良好な状況にあると考えられる。



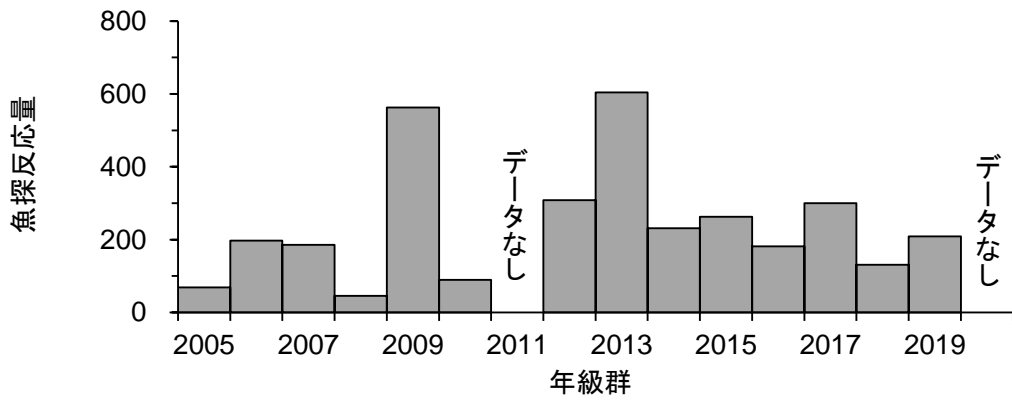
補足図 3-1. スケトウダラ音響トロール調査 (6~7月) で推定された北海道太平洋岸における1、2歳魚の現存尾数



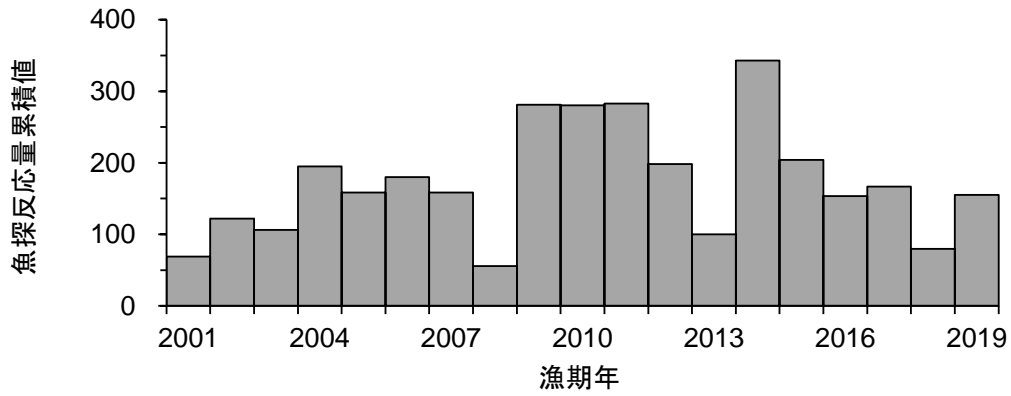
補足図 3-2. 道東太平洋スケトウダラ資源調査 (11月) における道東海域での0歳魚のトロールCPUE



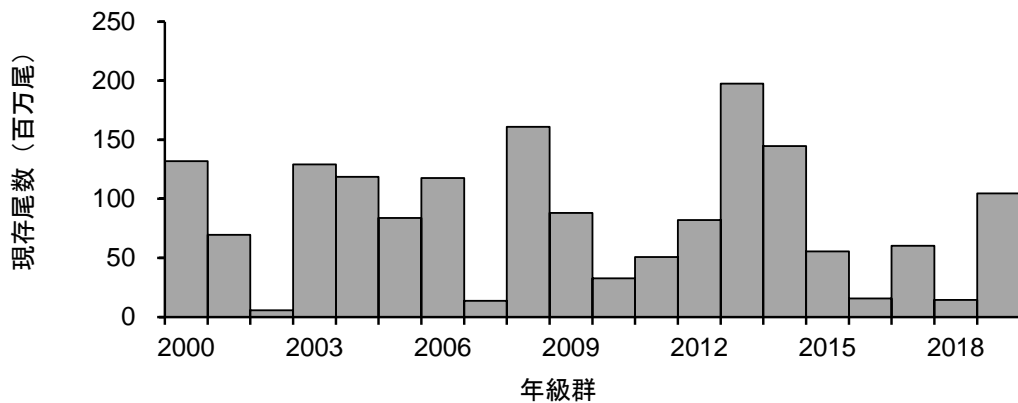
補足図 3-3. スケトウダラ卵・仔魚分布調査 (12~3月) における噴火湾周辺海域での卵の採集数



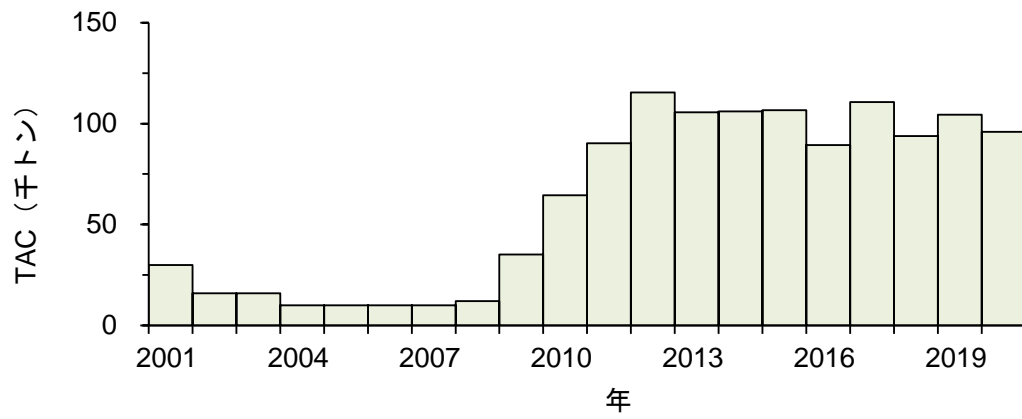
補足図 3-4. スケトウダラ仔稚魚春季定量調査（4月）における噴火湾周辺海域における仔魚の魚探反応量



補足図 3-5. スケトウダラ産卵親魚来遊調査（8～9月）における噴火湾周辺海域での親魚の魚探反応量



補足図 3-6. マダラ・スケトウダラ新規加入量調査における東北海域での0歳魚現存尾数



補足図 3-7. ロシア連邦が設定している漁業海区名「南クリル」におけるスケトウダラの TAC 数量

補足資料5 リッジVPAのペナルティ項の重みの探索について

本系群のコホート解析のチューニングでは、昨年度の評価から最終年のF値の推定を年齢別に行っており、また、推定の不安定性の軽減のためリッジVPAの手法(Okamura et al. 2017)を導入している。リッジVPAでは、最終年の年齢別F値を最尤推定する際に、チューニング指標値への適合度を示す尤度L(負の対数尤度 $-\ln L$ として定義)とFの二乗値へペナルティを重みづけした目的関数を用いて、推定の不安定性を軽減させる。通常は(1)式のように各年齢のF値の二乗値に一律にペナルティ λ を与えるが、本系群では3歳のF値のレトロスペクティブバイアスが特に強いため、(2)式を用いて特にバイアスの強い3歳のF値とそれ以外の年齢(4~9歳)のF値とで、ペナルティの重みを変える手法を用いている。ペナルティの重み λ および η はともに0~1の値をとる。 α は λ および η の探索を容易にするために便宜的に与える重みであり、本年度の解析から追加した。用いた α は20である。

$$-(1-\lambda)\ln L + \lambda \sum_{a=3}^9 F_{a,2019}^2 \quad (1)$$

$$-(1-\lambda)\ln L + \alpha \lambda [(1-\eta) \sum_{a=4}^9 F_{a,2019}^2 + \eta F_{3,2019}^2] \quad (2)$$

※ 補足資料2の(8)式を再掲

最終的に選択した λ と η は、親魚量と年齢別F値(3~9歳)のレトロスペクティブ解析による推定値間の差が最小になる値を探索して求めた。用いた指標は以下の(3)(4)式示される平方二乗誤差率(RMSPE: Root Mean Square Percentage Error)である。

$$RMSPE_{SSB'} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=Y-i}^n \left(\frac{SSB'_k{}^{R_i} - SSB'_k}{SSB'_k} \right)^2} \quad (3)$$

$$RMSPE_{F_a'} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=Y-i}^n \left(\frac{F_{a,k}{}^{R_i} - F_{a,k}'}{F_{a,k}'} \right)^2} \quad (4)$$

※ 補足資料2の(9)(10)式を再掲

ここで R_i は*i*年分のレトロスペクティブ計算の値であることを示す。また、 n は推定値の差を比較する範囲であり、本解析ではコホート年数分だけ比較するため $n=11$ とした。レトロスペクティブ計算においてデータを遡る年数は5年とした。なお、昨年度は親魚量と年齢別F値の他、%SPRも含めて、以下の(5)式で定義されるレトロスペクティブバイアス ρ (Mohn 1999)を指標としたが、これは、 ρ は一定方向のバイアスを検出するには有効であるものの、推定のばらつき具合を表現するには十分ではない。

$$\rho_{SSB'} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P \frac{SSB'_{Y-i}{}^{R_i} - SSB'_{Y-i}}{SSB'_{Y-i}} \quad (5)$$

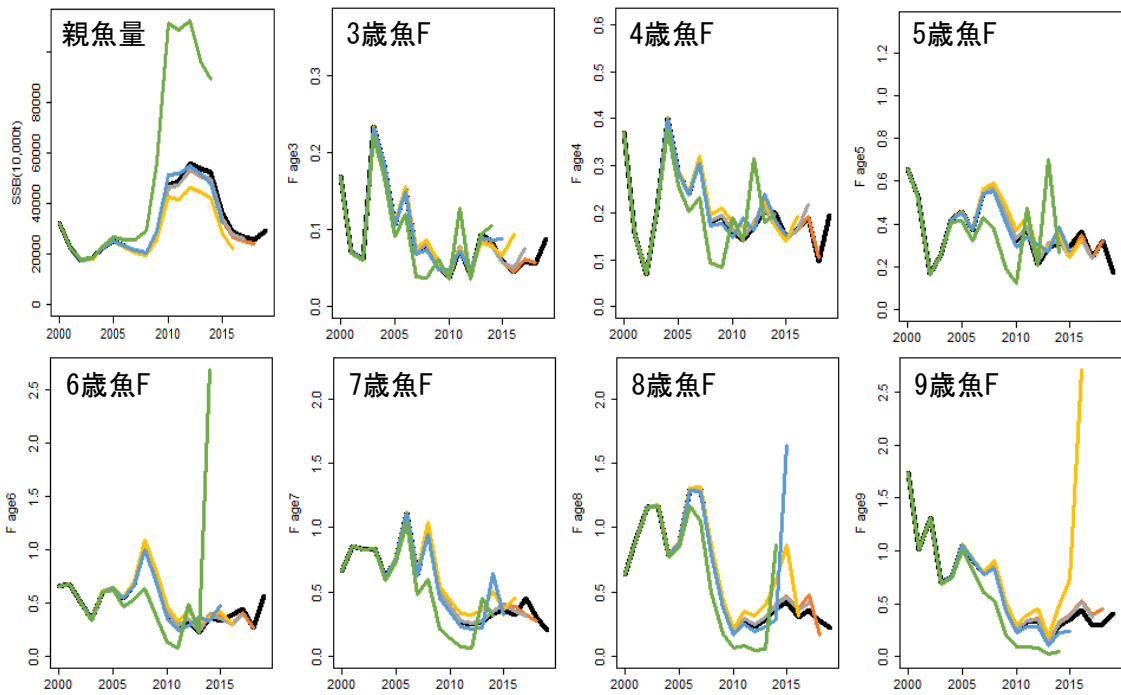
※ 親魚量のレトロスペクティブバイアス ρ の計算する場合の例

ペナルティの λ ($0 \leq \lambda < 1$) および η ($0 \leq \eta \leq 1$) の組み合わせは、まずそれぞれ0~1の

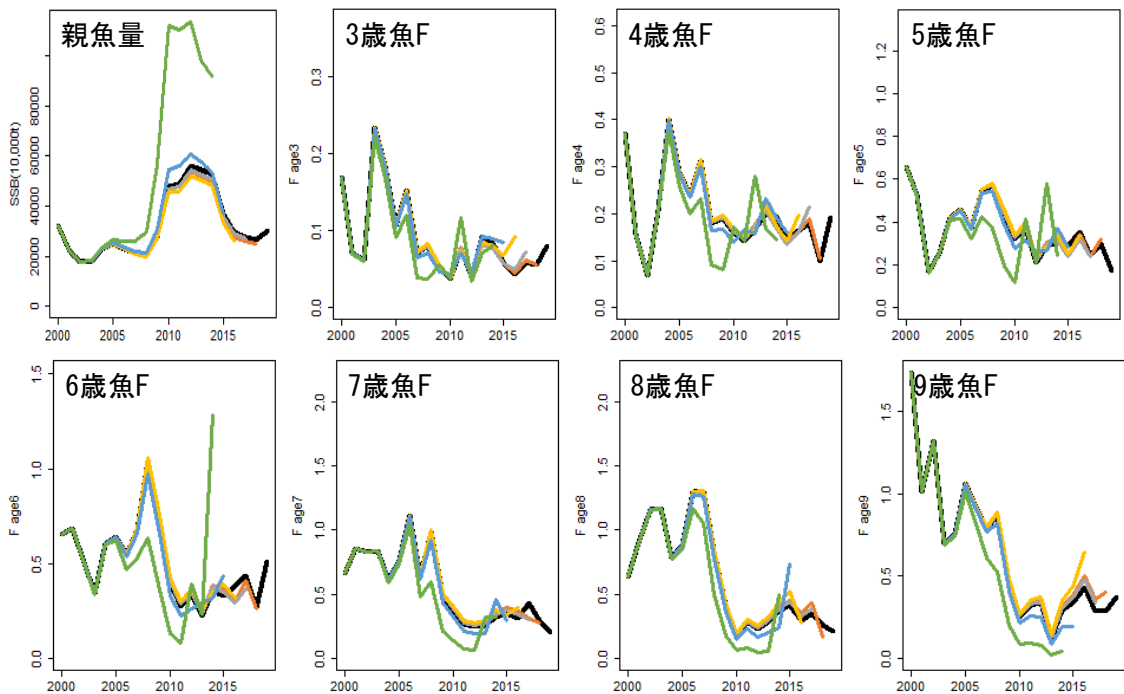
範囲において 0.05 区切りで探索し、親魚量および各年齢 F 値の RMSPE の平均が最小となった組み合わせの周囲をさらに 0.005 区切りで探索して得た。補足表 5-1 に 0.05 区切りでの探索結果、補足表 5-2 に 0.005 区切りでの探索結果を示す。探索の結果、 λ が 0.540、 η が 0.945 の場合に親魚量および年齢別 F 値の RMSPE の平均が最小 (0.199) となった。なお、ペナルティを与えない場合の親魚量および年齢別 F 値の RMSPE の平均は 0.309 であり、ペナルティを与えることでレトロスペクティブ解析での推定値のばらつきが抑えられたが、データを 5 年抜いた場合の親魚量推定値および 6 歳魚 F 値の逸脱は抑えるには至らなかった (補足図 5-1 および 5-2)。RMSPE の平均が最小になる場合、および、RMSPE の平均が最小から 2 番目、3 番目の場合について、ペナルティを与えない場合を含めて親魚量および年齢別 F 値の各 RMSPE、および推定される最終年の親魚資源量を補足表 5-3 に示す。RMSPE の平均が最小になるペナルティを与えた場合 (λ が 0.540、 η が 0.945) は、最小から 2 番目 (λ が 0.505、 η が 0.930)、および 3 番目 (λ が 0.555、 η が 0.950) の場合と比べて親魚量および年齢別 F 値のいずれの RMSPE もペナルティを与えない場合よりも推定値のばらつきが小さくなっており、安定した推定ができているものと考えられる。なお、それぞれのペナルティを与えた場合での最終年 (2019 年漁期) の親魚量推定値の差は千トン未満であった。

引用文献

- Mohn, R. (1999) The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data. *ICES J. Mar. Sci.*, **56**, 473-488.
- Okamura, H., Y. Yamashita and M. Ichinokawa (2017) Ridge virtual population analysis to reduce the instability of fishing mortalities in the terminal year. *ICES J. Mar. Sci.*, **74**(9), 2427-2436.



補足図 5-1. リッジ VPA のペナルティによるレトロスペクティブ解析結果
ペナルティを与えなかった場合の結果を示す。



補足図 5-2. リッジ VPA のペナルティによるレトロスペクティブ解析結果の比較
ペナルティ λ を 0.540、 η を 0.945 とした場合の結果を示す。

補足表 5-1. パナデルイスと η を 0.05 刻みで変化させた場合の親魚量・年齢別 F 値の RMSPE (平方二乗誤差率) の平均値。

RMSPE	Lambda																			
	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95
Eta	0.309	0.227	0.213	0.228	0.236	0.252	0.270	0.258	0.296	0.300	0.337	0.329	0.374	0.442	0.672	0.960	1.120	1.244	6.363	10.123
	0.309	0.225	0.219	0.226	0.237	0.257	0.251	0.267	0.277	0.282	0.308	0.331	0.392	0.385	0.631	0.889	1.179	1.442	3.456	1.2E+08
	0.309	0.226	0.218	0.234	0.236	0.268	0.250	0.285	0.283	0.333	0.301	0.347	0.367	0.418	0.415	0.876	0.996	1.531	3.356	1.1E+08
	0.309	0.228	0.220	0.229	0.231	0.244	0.236	0.270	0.268	0.307	0.302	0.380	0.442	0.392	0.402	0.752	0.947	1.255	3.233	5E+08
	0.309	0.227	0.225	0.225	0.228	0.241	0.257	0.289	0.302	0.277	0.306	0.302	0.342	0.379	0.467	0.658	0.847	1.109	1.437	1.9E+09
	0.309	0.228	0.220	0.220	0.252	0.243	0.256	0.260	0.283	0.266	0.304	0.292	0.339	0.352	0.377	0.624	0.797	1.264	1.362	2.3E+08
	0.309	0.220	0.228	0.233	0.223	0.235	0.247	0.279	0.257	0.263	0.297	0.289	0.365	0.337	0.403	0.589	0.779	1.035	1.288	Inf
	0.309	0.222	0.222	0.229	0.233	0.225	0.249	0.245	0.273	0.257	0.284	0.282	0.331	0.394	0.344	0.459	0.723	0.955	1.213	8.216
	0.309	0.224	0.229	0.220	0.235	0.246	0.256	0.257	0.255	0.268	0.267	0.303	0.294	0.320	0.326	0.522	0.719	0.970	1.136	7.699
	0.309	0.226	0.229	0.224	0.238	0.225	0.257	0.276	0.257	0.253	0.284	0.279	0.294	0.331	0.333	0.417	0.606	0.846	1.354	7.190
	0.309	0.225	0.224	0.216	0.227	0.228	0.236	0.233	0.245	0.273	0.269	0.272	0.287	0.309	0.364	0.389	0.403	0.753	1.123	6.676
	0.309	0.306	0.224	0.221	0.237	0.226	0.230	0.239	0.254	0.248	0.275	0.260	0.283	0.286	0.317	0.325	0.424	0.706	1.042	6.145
	0.309	0.293	0.227	0.217	0.222	0.230	0.233	0.228	0.233	0.241	0.263	0.256	0.270	0.281	0.310	0.333	0.411	0.639	0.949	3.521
	0.309	0.307	0.228	0.223	0.211	0.221	0.226	0.229	0.240	0.241	0.240	0.250	0.282	0.291	0.300	0.322	0.432	0.574	0.826	1.355
	0.309	0.321	0.232	0.218	0.217	0.218	0.234	0.225	0.219	0.225	0.236	0.256	0.283	0.263	0.288	0.305	0.348	0.384	0.821	1.183
	0.309	0.309	0.222	0.218	0.226	0.220	0.226	0.225	0.225	0.234	0.229	0.223	0.253	0.242	0.267	0.311	0.312	0.468	2.591	3.893
	0.309	0.304	0.231	0.221	0.224	0.228	0.214	0.221	0.222	0.230	0.232	0.231	0.240	0.238	0.244	0.308	0.281	0.314	2.339	3.417
	0.309	0.323	0.234	0.223	0.230	0.225	0.215	0.221	0.216	0.221	0.234	0.229	0.234	0.230	0.239	0.258	0.268	0.381	0.354	3.050
	0.309	0.315	0.240	0.231	0.230	0.237	0.225	0.227	0.220	0.215	0.219	0.218	0.224	0.227	0.229	0.238	0.239	0.248	0.306	2.379
	0.309	0.335	0.250	0.232	0.228	0.235	0.233	0.230	0.219	0.223	0.229	0.207	0.211	0.209	0.218	0.213	0.210	0.223	0.254	0.302
1	0.309	0.370	0.292	0.287	0.294	0.288	0.291	0.282	0.281	0.281	0.296	0.290	0.279	0.285	0.293	0.275	0.282	0.274	0.270	0.273

補足表 5-2. パナルテイスと η を 0.005 刻みで変化させた場合の親魚量・年齢別 F 値の RMSPE (平方二乗誤差率) の平均値。 0.05 刻みで最小となった組み合わせの周囲を更に探索した

RMSPE	Lambda																				
	0.500	0.505	0.510	0.515	0.520	0.525	0.530	0.535	0.540	0.545	0.550	0.555	0.560	0.565	0.570	0.575	0.580	0.585	0.590	0.595	0.600
0.905	0.214	0.213	0.212	0.215	0.213	0.214	0.213	0.219	0.214	0.214	0.216	0.221	0.224	0.218	0.227	0.228	0.219	0.238	0.225	0.224	0.221
0.910	0.211	0.211	0.213	0.213	0.217	0.216	0.216	0.220	0.217	0.215	0.215	0.215	0.216	0.219	0.217	0.217	0.221	0.217	0.228	0.233	0.221
0.915	0.210	0.217	0.223	0.217	0.218	0.219	0.224	0.216	0.225	0.218	0.217	0.219	0.220	0.219	0.218	0.217	0.220	0.219	0.225	0.225	0.213
0.920	0.211	0.216	0.208	0.208	0.216	0.217	0.219	0.220	0.220	0.220	0.219	0.219	0.220	0.220	0.221	0.216	0.218	0.218	0.216	0.220	0.232
0.925	0.212	0.209	0.218	0.219	0.215	0.218	0.217	0.211	0.224	0.223	0.222	0.222	0.222	0.220	0.218	0.222	0.218	0.218	0.221	0.216	0.220
0.930	0.208	0.202	0.209	0.215	0.209	0.211	0.215	0.213	0.214	0.214	0.215	0.224	0.224	0.224	0.223	0.219	0.219	0.222	0.222	0.226	0.217
0.935	0.207	0.207	0.211	0.207	0.209	0.207	0.216	0.216	0.215	0.221	0.217	0.214	0.214	0.218	0.224	0.224	0.223	0.216	0.225	0.220	0.227
0.940	0.207	0.208	0.210	0.208	0.208	0.209	0.206	0.211	0.212	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.214	0.217	0.213	0.209	0.211	0.213	0.210
0.945	0.227	0.218	0.209	0.209	0.209	0.208	0.210	0.209	0.199	0.210	0.210	0.212	0.213	0.215	0.215	0.215	0.215	0.211	0.207	0.211	0.207
0.950	0.229	0.220	0.221	0.211	0.209	0.209	0.207	0.210	0.213	0.210	0.207	0.202	0.212	0.211	0.214	0.215	0.209	0.214	0.208	0.205	0.211
0.955	0.222	0.229	0.225	0.220	0.216	0.213	0.209	0.209	0.208	0.210	0.208	0.211	0.211	0.212	0.213	0.214	0.215	0.213	0.214	0.206	0.204
0.960	0.223	0.226	0.224	0.231	0.229	0.216	0.218	0.210	0.209	0.208	0.219	0.214	0.210	0.211	0.213	0.214	0.214	0.214	0.213	0.215	0.205
0.965	0.231	0.226	0.226	0.226	0.225	0.223	0.221	0.219	0.215	0.211	0.209	0.209	0.214	0.207	0.207	0.210	0.213	0.214	0.214	0.214	0.214
0.970	0.228	0.231	0.232	0.229	0.225	0.223	0.234	0.226	0.221	0.218	0.214	0.211	0.212	0.210	0.208	0.208	0.208	0.207	0.207	0.214	0.216
0.975	0.239	0.228	0.232	0.233	0.226	0.226	0.225	0.230	0.233	0.224	0.220	0.215	0.215	0.212	0.220	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209
0.980	0.238	0.242	0.234	0.232	0.235	0.234	0.230	0.228	0.226	0.238	0.223	0.231	0.221	0.217	0.218	0.213	0.212	0.212	0.211	0.211	0.211
0.985	0.233	0.232	0.234	0.241	0.235	0.248	0.230	0.232	0.231	0.228	0.229	0.229	0.227	0.229	0.221	0.226	0.217	0.214	0.214	0.214	0.215
0.990	0.238	0.238	0.248	0.238	0.247	0.247	0.243	0.242	0.237	0.238	0.234	0.233	0.233	0.233	0.227	0.219	0.224	0.223	0.221	0.217	0.220
0.995	0.242	0.259	0.253	0.259	0.260	0.255	0.260	0.250	0.252	0.246	0.247	0.244	0.241	0.243	0.240	0.233	0.241	0.233	0.231	0.230	0.229

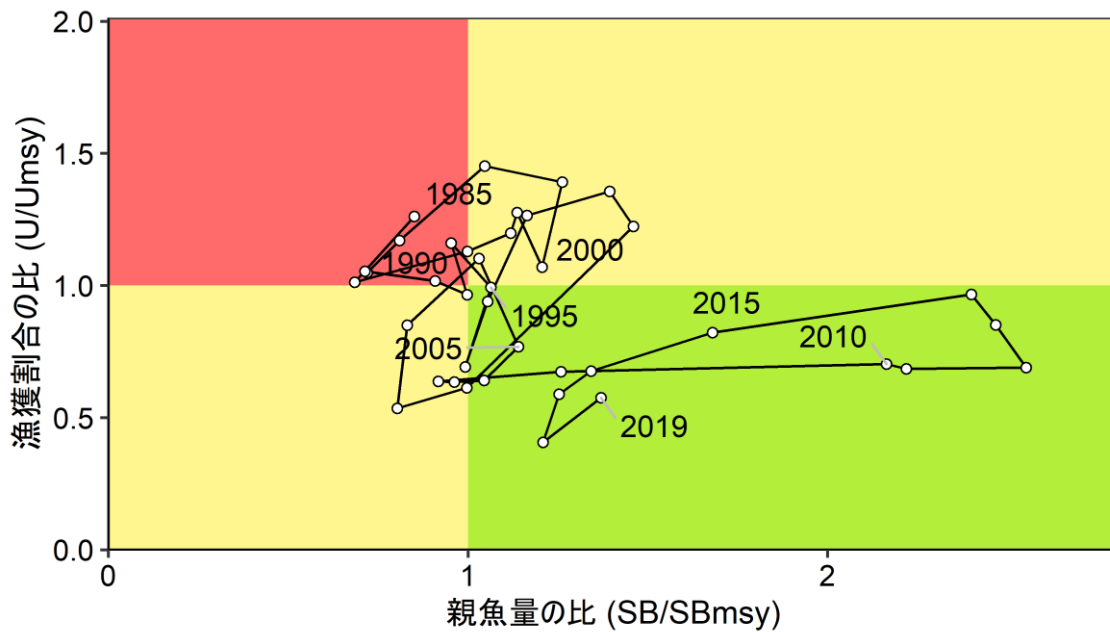
補足表 5-3. レトロスペクティブ解析において親魚量および年齢別 F 値の平方二乗誤差率 (RMSPE) の平均が最小、最小から 2 番目、および 3 番目となるペナルティ λ および η と、その際の各数値の RMSPE、および最終年 (2019 年漁期) の親魚量推定値

λ	η	RMSPE									Estimated
		Average	SSB	F age3	F age4	F age5	F age6	F age7	F age8	F age9	SSB2019
0	0	0.309	0.215	0.200	0.144	0.190	0.509	0.256	0.434	0.522	293.9
0.540	0.945	0.199	0.203	0.192	0.129	0.151	0.258	0.193	0.227	0.242	301.8
0.505	0.930	0.202	0.245	0.198	0.131	0.148	0.222	0.197	0.229	0.245	302.4
0.555	0.950	0.202	0.258	0.192	0.130	0.151	0.249	0.197	0.233	0.246	301.6

補足資料 6 漁獲割合に基づく神戸プロット

MSY を実現する親魚量 (SBmsy) と漁獲割合 (Umsy) を基準にした神戸プロットを下図に示す。本系群における親魚量は 2009 年漁期以降、SBmsy を上回る。漁獲割合 (U) は 2005 年漁期以降、Umsy を下回る (補足図 6-1)。

項目	値	備考
SBmsy	220 千トン	最大持続生産量 MSY を実現する親魚量
Umsy	18%	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲割合
U2019	10%	2019 年漁期の漁獲割合
U2019/ Umsy	0.575	最大持続生産量を実現する漁獲割合に対する 2019 年漁期の漁獲割合の比



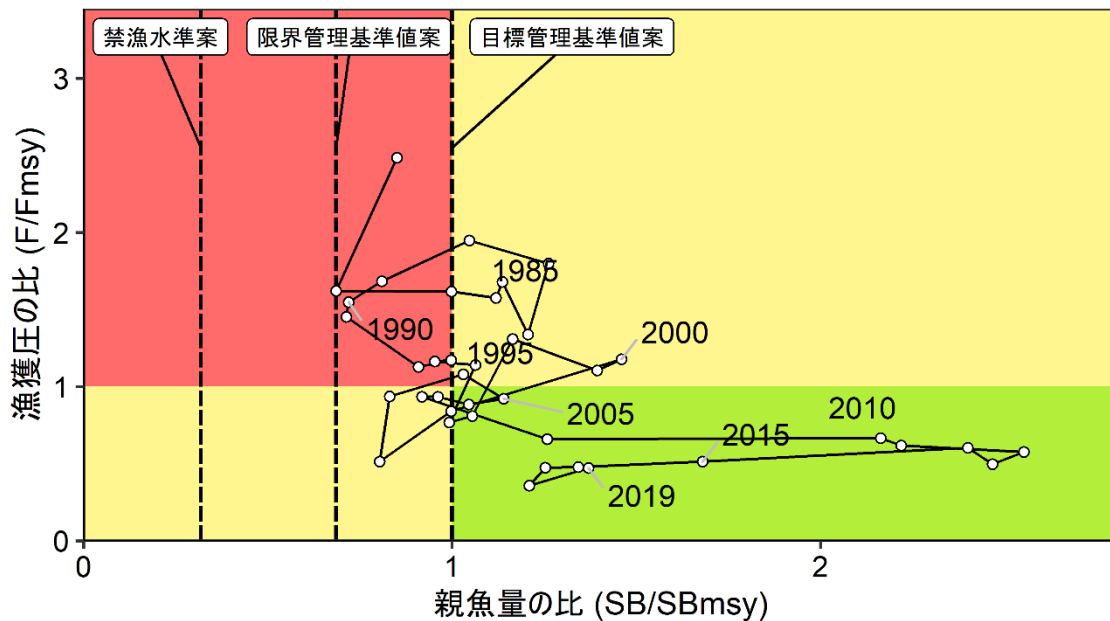
補足図 6-1. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy) および MSY を実現する漁獲割合 (Umsy) に対する、親魚量および漁獲割合の関係 (神戸プロット)

補足資料 7 管理基準値案と禁漁水準案

本系群の管理基準値案と禁漁水準案について以下に示す。

項目	値	備考
SBtarget 案	220 千トン	最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy)
SBlimit 案	151 千トン	これまで観測された最小親魚量 (SBmin)
SBban 案	70 千トン	漁獲管理規則案 ($\beta=0.8$) で 10 年間漁獲しながら 50% の確率で目標管理基準値案まで回復する親魚量の閾値

平成 31 年 4 月に開催された研究機関会議により、目標管理基準値 (SBtarget) 案には MSY を実現する親魚量 (SBmsy : 220 千トン)、限界管理基準値 (SBlimit) 案には歴史的に観察されたことのある最低親魚量 (SBmin : 151 千トン)、禁漁水準 (SBban) 案には安全係数 β を 0.8 とした漁獲管理規則案 (補足資料 8) で漁獲を続けた場合に 10 年間で目標管理基準値案へ 50% の確率で回復する閾値 (70 千トン) を用いることが提案されている。この限界管理基準値案は、これまで Blimit として用いられてきた「豊度の高い年級群の発生が期待できる最低水準の親魚量 (1982 年級群が発生した親魚量 151 千トン)」と同値である。詳細は「平成 31 (2019) 年度スケトウダラ太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書」を参照されたい。



補足図 7-1. 管理基準値案と親魚量および漁獲割合の関係 (神戸プロット)

補足資料 8 漁獲管理規則案に対応した将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した 2019 年漁期の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2020～2051 年漁期までの将来予測計算を行った（補足資料 9）。将来予測における加入量は、各年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。2020 年漁期の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2015-2019）から仮定した。現状の漁獲圧は、管理基準値案を算出したときと同じ選択率や生物パラメータ（平均体重等）の条件下で、今年度評価における 2015-2019 年漁期の漁獲圧に対応する%SPR を与える F 値とした。2021 年漁期以降の漁獲圧には、各年に予測される親魚量をもとに下記の漁獲管理規則案で定められる漁獲圧を用いた。

(2) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則（HCR）案は、目標管理基準値案以上に親魚量を維持・回復できる確率を勘案して、親魚量に対応した漁獲圧（F）等を定める漁獲シナリオ案である。「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 系資源の管理規則では、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げるとともに、漁獲圧の上限となる F_{msy} には安全係数となるチューニングパラメータ β を乗じるものを提示している。補足図 8-1 に平成 31 年 4 月に開催された研究機関会議により提案された漁獲管理規則案を示す。ここでは例として、安全係数 β を研究機関会議からの推奨値である 0.8 とした場合を示した。

(3) 2021 年漁期の予測値

漁獲管理規則案を用いた将来予測に従い、2021 年漁期の漁獲量を試算した。安全係数 β を 0.8 とした場合の 2021 年漁期の漁獲量の平均値は 195 千トンとなった。なお、2021 年漁期に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも限界管理基準値案を上回り、平均 340 千トンと見込まれた。そのため、漁獲管理規則案で定められた 2021 年漁期の漁獲圧は、 F_{msy} に安全係数 β を乗じたものとなる。

2021 年漁期の親魚量（予測平均値）：340 千トン			
項目	2021 年漁期の 漁獲量 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2015-2019)	2021 年漁期の 漁獲割合 (%)
漁獲管理規則案に研究機関会議が提案した β を使用した場合			
$\beta=0.8$	195	1.69	19
その他の方策（安全係数 β に提案とは異なる値を使用した場合など）			
$\beta=1.0$	233	2.11	23
$\beta=0.9$	214	1.90	21
$\beta=0.7$	175	1.48	17

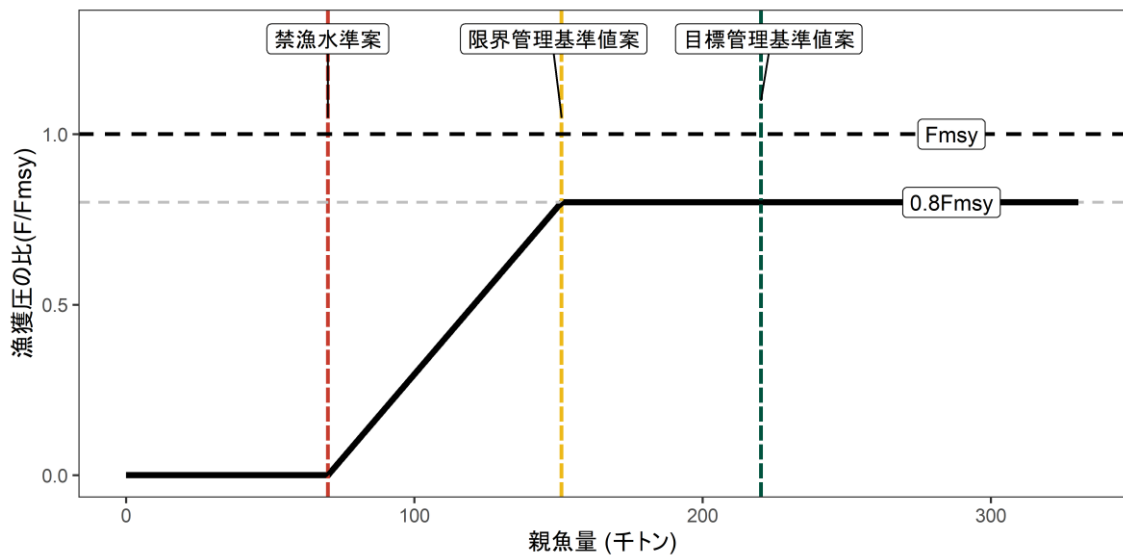
$\beta=0.6$	153	1.27	15
$\beta=0.5$	131	1.05	13
$\beta=0$	0	0	0
F2015-2019	125	1.00	12

(4) 2022 年以降の予測値

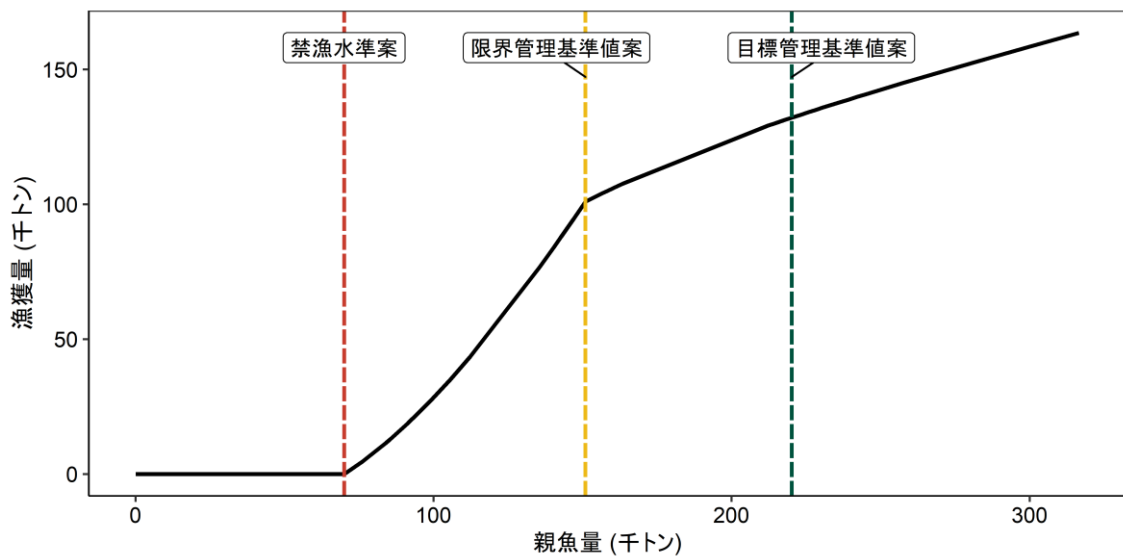
漁獲管理規則案（補足図 8-1）に基づく中長期的な将来予測の結果を補足図 8-2 および補足表 8-1、8-2 に示す。漁獲管理規則案に基づく管理を 10 年間継続した場合、2031 年漁期の親魚量の予測値は、 β を 0.8 とした場合には平均 277 千トンである（80%信頼区間は 192 千トン～376 千トン）。予測値が目標管理基準値案を上回る確率は 77%、限界管理基準値案を上回る確率は 99%、禁漁水準案を上回る確率は 100%である。本系群では、直近では 2016 年級群が比較的高豊度と推定されるほか、2017 年級群の豊度も高いと仮定される。そのため、短期的には親魚量・資源量は下げ止まると予測されるが、2018～2019 年級群の豊度は低いと仮定されることには注意を要する。今後、再生産関係で予測される平均的な加入が発生すれば、中長期的には親魚量は高い確率で目標管理基準値案以上に維持されることが期待される。

考慮している不確実性： 加入量					
項目	2031 年漁期の親魚量 (千トン)	80% 信頼区間 (千トン)	2031 年漁期に親魚量が以下の 管理基準値案等を上回る確率 (%)		
			SBtarget 案	SBlimit 案	SBban 案
漁獲管理規則案に研究機関会議が提案した β を使用した場合					
$\beta=0.8$	277	192-376	77	99	100
その他の方策（安全係数 β に提案とは異なる値を使用した場合など）					
$\beta=1.0$ (Fmsy)	220	149-304	43	89	100
$\beta=0.9$	247	169-338	60	95	100
$\beta=0.7$	312	220-420	90	100	100
$\beta=0.6$	355	252-475	97	100	100
$\beta=0.5$	408	293-542	99	100	100
$\beta=0$	1,064	826-1336	100	100	100
F2015-2019	424	306-562	100	100	100

a)

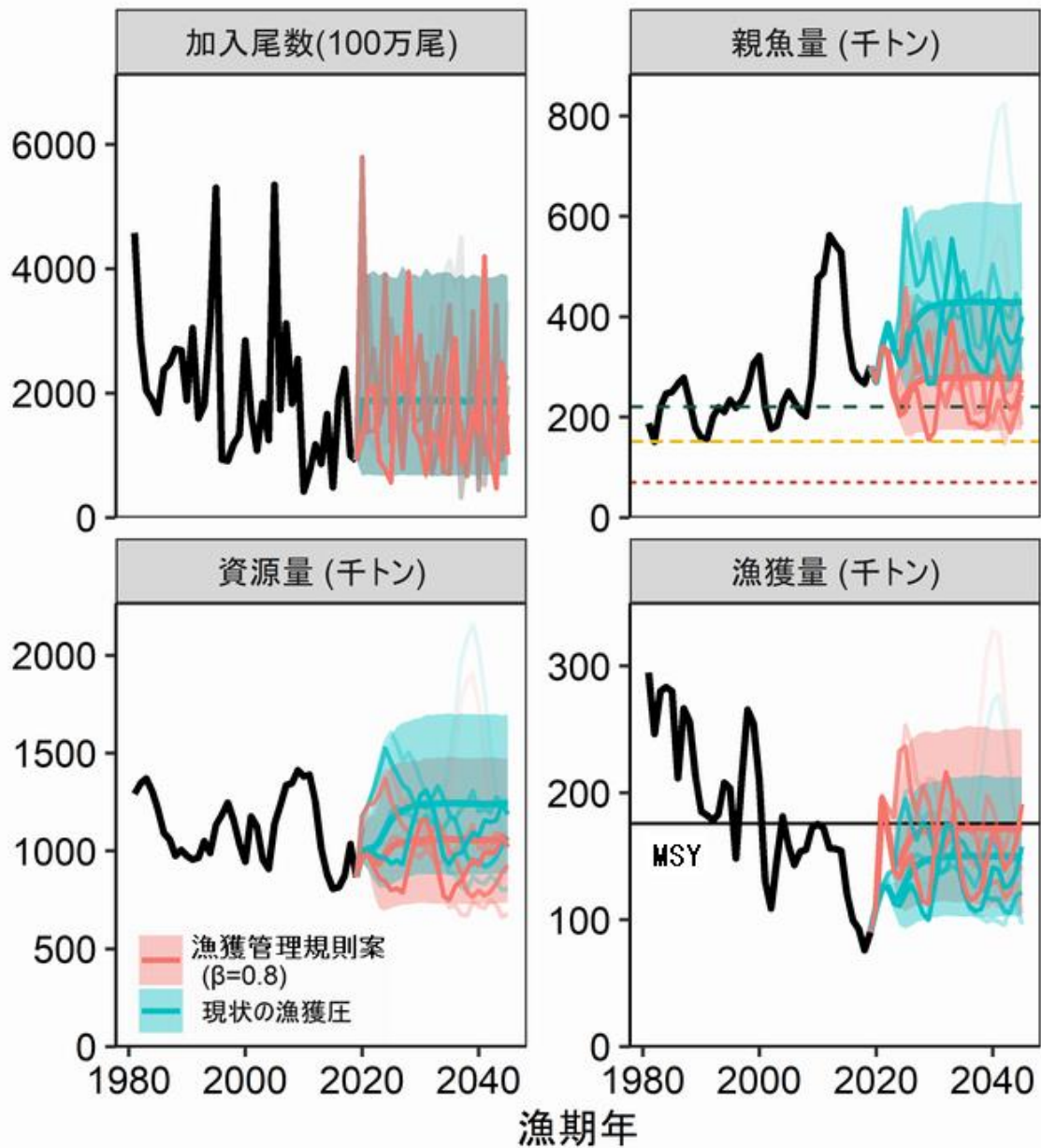


b)



補足図 8-1. 漁獲管理規則案 (β を 0.8 とした場合のものを示す)

目標管理基準値 (SBtarget) 案はホッカー・スティック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) 案は歴史的に観察されたことのある最低親魚量、禁漁水準 (SBban) 案には安全係数 β を 0.8 とした漁獲管理規則案で漁獲を続けた場合に 10 年間で目標管理基準値案へ 50% の確率で回復する閾値を用いている。黒破線は Fmsy、灰色破線は 0.8Fmsy、黒太線は漁獲管理規則案、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案をそれぞれ示す。上図 a) が縦軸を漁獲圧にした漁獲管理規則案の模式図を示し、下図 b) では縦軸を漁獲量として、それぞれの親魚量の下で漁獲管理規則案により期待される漁獲量を示した。漁獲する年の年齢組成により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。



補足図 8-2. 漁獲管理規則案 ($\beta=0.8$) を用いた場合と現状の漁獲圧 (F2015-2019) で漁獲を続けた場合とでの将来予測の比較

太実線は平均値、網掛けは 80%信頼区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤点線は禁漁水準案を示す。2020 年漁期の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2015-2019) により仮定した。例示に用いた漁獲管理規則案の β は 0.8 である。

補足表 8-2. 将来の親魚量 (a) および漁獲量 (b) の平均値の推移

β を 0~1.0 で変更した場合および現状の漁獲圧を継続した場合の将来予測の結果を示す。2020 年漁期の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2015-2019) により仮定した。2021 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

(a) 親魚量の平均値

(千トン)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	302	270	340	299	207	174	198	212	219	222	222	220	220	221	222
0.9	302	270	340	314	226	193	218	233	242	246	247	247	247	248	249
0.8	302	270	340	329	248	215	241	258	268	274	276	276	277	278	279
0.7	302	270	340	345	271	241	268	287	300	307	311	311	312	314	315
0.6	302	270	340	363	298	270	301	322	338	347	352	354	355	357	358
0.5	302	270	340	381	327	305	339	365	384	396	403	406	408	412	413
0.4	302	270	340	400	360	345	386	416	440	457	468	473	476	483	483
0.3	302	270	340	420	397	392	441	479	511	534	549	558	564	576	576
0.2	302	270	340	442	438	448	509	558	600	633	656	670	680	704	704
0.1	302	270	340	465	484	513	592	656	714	762	797	821	839	890	890
0.0	302	270	340	488	535	590	694	781	862	933	989	1031	1064	1176	1183
F2015-2019	302	270	340	386	336	315	350	377	397	411	419	422	424	429	429

※ 黄色網掛けは目標管理基準値案を下回ることを示す。

(b) 漁獲量の平均値

(千トン)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	90	110	233	189	152	153	166	173	176	177	176	175	176	176	177
0.9	90	110	214	181	148	149	162	169	173	174	174	174	175	175	175
0.8	90	110	195	171	144	145	157	165	168	170	171	171	172	172	172
0.7	90	110	175	160	138	139	151	159	163	165	166	166	167	167	168
0.6	90	110	153	146	130	132	143	151	155	158	159	160	161	161	161
0.5	90	110	131	130	119	122	133	141	145	149	150	151	152	153	153
0.4	90	110	107	112	105	109	120	127	132	136	138	139	140	141	141
0.3	90	110	83	90	87	92	102	109	114	118	120	122	123	125	125
0.2	90	110	56	64	65	70	78	84	89	92	95	97	98	100	100
0.1	90	110	29	34	36	40	45	49	53	55	57	59	60	63	63
0.0	90	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2015-2019	90	110	125	126	116	119	130	138	142	146	147	148	149	150	150

補足資料 9 将来予測方法

将来予測での各年の加入量は、平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において適用されたホッケー・スティック型再生産関係式と各年の親魚量とで算出される値を用いた。なお、再生産関係のパラメータ推定に使用するデータは、平成 30 (2018) 年度の資源評価に基づく親魚量・加入量とし、最適化方法には最小二乗法を用いている。加入量の残差の自己相関は考慮していない。詳細は「平成 31 (2019) 年度スケトウダラ太平洋系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書」を参照されたい。

将来予測における漁獲係数 F は、「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」における 1 系資源の管理規則に基づき算出される値を用いた。将来予測に用いたパラメータは補足表 9-1 に示す。将来予測では、上記会議において MSY を実現する水準の推定シミュレーションで用いた選択率（すなわち、平成 30 (2018) 年度の資源評価での将来予測に用いた 2013～2017 年漁期の平均年齢別 F 値に基づく選択率）を引き続き使用するが、昨年度の資源評価からプラスグループを 8 歳以上から 10 歳以上に延長しているため、8 歳、9 歳、10 歳以上の選択率は、これまでの 8 歳以上の選択率と同値とした。年齢別平均体重についても、平成 31 年度研究機関会議で推定された F_{msy} の計算時の仮定との一貫性を保つため、 F_{msy} 算出時の値と同一とした。そのため、8 歳、9 歳、10 歳以上の年齢別平均体重は、 F_{msy} 算出時の 8 歳以上の平均体重と同値とした。

将来の資源量の推定は、(1) 式で示したコホート解析の前進法より行った。10 歳以上のプラスグループについては、前年の 9 歳と 10 歳以上から前進させた。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M_a) \quad (1)$$

年齢別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 値に基づき (2) 式により予測した。なお、2020 年漁期の F 値は、現状の漁獲圧 ($F_{2015-2019}$) を与えた。 $F_{2015-2019}$ は、上記の選択率の下で 2015～2019 年漁期の年齢別の平均 F 値と同じ漁獲圧を与える F 値を %SPR 換算し探索的に求めた。

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

補足表 9-1. 将来予測で用いたパラメータ

年齢	選択率 (注 1)	Fmsy (注 2)	F2015-2019 (注 3)	平均体重 (g) (注 4)	自然死亡 係数	成熟 割合
0 歳	0.026	0.017	0.008	47	0.40	0.0
1 歳	0.025	0.017	0.008	95	0.35	0.0
2 歳	0.111	0.075	0.036	194	0.30	0.0
3 歳	0.200	0.136	0.064	349	0.25	0.0
4 歳	0.548	0.371	0.176	473	0.25	0.2
5 歳	0.906	0.614	0.291	555	0.25	0.8
6 歳	0.996	0.675	0.320	612	0.25	0.9
7 歳	1.000	0.678	0.322	651	0.25	1.0
8 歳	1.000	0.678	0.322	740	0.25	1.0
9 歳	1.000	0.678	0.322	740	0.25	1.0
10+歳	1.000	0.678	0.322	740	0.25	1.0

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）。ただし、8、9、10+歳の値は、当該選択率の 8+歳の値と同値とした。

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）。ただし、8、9、10+歳の値は、当該選択率の 8+歳の値と同値とした。

注 3： 上記の選択率の下で、今回の資源評価で推定された 2015～2019 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 2020 年漁期の漁獲量の仮定に使用した。

注 4： 平成 31 年度研究機関会議で推定された F_{msy} の計算時の仮定との一貫性を保つため、年齢別平均体重は F_{msy} 算出時の値と同一とした。8 歳、9 歳、10 歳以上の年齢別平均体重は、 F_{msy} 算出時の 8 歳以上の平均体重と同値とした。

補足資料 10. 再生産関係式、管理基準値案、将来予測等の更新

1. はじめに

本系群の第1回資源管理方針に関する検討会（令和2年8月20～21日開催）において、目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案、および漁獲管理規則案と、これらに基づく将来予測結果について、最新の資源評価結果に基づく諸数値に単純更新することが求められた。また、2031年漁期に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率が50%となる具体的な安全係数 β の値を示すことが求められた。

そこで本資料では、まず、本年度の資源評価で推定された親魚量と加入量に基づき再生産関係式の数値を更新し、次に、更新した再生産関係式に基づき管理基準値案、水準案、および漁獲管理規則案を、資源管理目標等に関する研究機関会議（平成31年4月19日開催）で用いたのと同様の方法を用いて再計算した結果を示した。また、更新したこれらの数値に基づく将来予測結果を示した。将来予測においては、親魚量が目標管理基準値案を上回る確率が50%となる β として、0.9～1.0の範囲において0.01刻みでの検討も行った。

平成31年4月に開催した研究機関会議での提案は、当時の最新の資源評価結果（平成30年度の資源評価の結果）に基づく。これに対し、本資料で使用する資源評価結果は令和2年度資源評価（案）によるものである。最新の資源評価（案）では、平成30年度の資源評価に比べて、資源量等が評価される年が2年分増えている。また、昨年度の資源評価（令和2年度資源評価）より、コホート解析のプラスグループを8歳+から10歳+へ延長している。

2. 再生産関係

本系群の再生産関係式として、研究機関会議ではホッケー・スティック型（HS型）の再生産関係式の使用が提案されている。関係式のパラメータ推定には最小二乗法を使用し、加入量の予測値に対する観測値の残差に自己相関を考慮したモデルは使用していない。この再生産関係式について、最新の資源評価結果に基づき1981～2016年漁期の加入量（加入尾数）と親魚量を用いてパラメータを更新したところ、従来提案値からホッケー・スティックの傾き（下表のパラメータa）がわずかに変化した（下表および補足図10-1）。更新した関係式においても、ホッケー・スティックの折れ点は親魚量151千トンに位置した（下表のパラメータb）。この親魚量以上で平均的に得られる加入量は18億尾程度である（更新前の関係式では19億尾程度）。なお、平成31年の研究機関会議での提案時と同様に、加入量がコホート解析から直接推定されない近年3年分のデータ（2017～2019年漁期）は再生産関係式の推定に用いなかった。

提案	再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.
研究機関会議案 （平成31年）	ホッケー・ スティック型	最小二乗法	無	12.455	150,944	0.532
今回の更新値	ホッケー・ スティック型	最小二乗法	無	11.795	150,944	0.580

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

本系群では歴史的に親魚量が低水準の際の加入量の低下を捉えた情報が無く、ベバートン・ホルト型 (BH 型) およびリッカー型 (RI 型) の再生産関係式では、HS 型再生産関係式の場合と比べて、親魚量が減少しても加入量の予測値の低下が緩やかな関係式となる (補足図 10-2)。平成 31 年度の研究機関会議では、過去に観察されたことがない低い親魚量において、加入量が保守的ではない外挿値になる関係式では、将来予測に基づく適切な資源利用を図るうえでリスクとなると判断され、HS 型再生産関係を提案することが了承された。今回更新された加入量および親魚量のデータからも、この判断の変更を要するような情報はない。また、再生産関係式のパラメータ推定の最適化方法として、最小二乗法と最小絶対値法とで比較しても、両手法で得られた関係式の補正赤池情報量基準 (AICc) の差は 0.16 と非常に小さく、あえて最適化方法を変更する必要は認められない (補足表 10-1)。また加入量の予測値に対する観測値の残差には自己相関がみられず、再生産関係の検討に自己相関を積極的に考慮する必要は認められない (補足図 10-3)。そのため、令和 2 年度の資源評価結果に基づく今回の更新では、再生産関係式の型、最適化方法、および自己相関の取り扱いについて平成 31 年度の研究機関会議から変更を行わなかった (補足図 10-4)。

3. 目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案

平成 31 年の研究機関会議では、本系群の目標管理基準値案として最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy)、限界管理基準値案として歴史的に観察されたことのある最低親魚量 (SBmin)、禁漁水準案として、管理基準値案に従い規定される漁獲管理規則案での漁獲の下でも 10 年間で目標管理基準値まで 50%以上の確率で回復する親魚量水準が推奨されている。令和 2 年度の資源評価を用いてこれらの数値を更新した結果を下表および補足表 10-2 に示す。

提案	項目	値	備考
研究機関会議案 (平成 31 年)	目標管理 基準値案	220 千トン	最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy)
	限界管理 基準値案	151 千トン	これまで観測された最小親魚量 (SBmin)
	禁漁 水準案	70 千トン	漁獲管理規則案 ($\beta=0.8$) で 10 年間漁獲しながら 50%の確率で目標管理基準値案まで回復する親魚量の閾値
今回の更新値	目標管理 基準値案	228 千トン	最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy)
	限界管理 基準値案	151 千トン	これまで観測された最小親魚量 (SBmin)
	禁漁 水準案	60 千トン	漁獲管理規則案 ($\beta=0.8$) で 10 年間漁獲しながら 50%の確率で目標管理基準値案まで回復する親魚量の閾値

目標管理基準値案となる SBmsy は、平成 31 年の研究機関会議案と同様に、平均世代時間 (8.46 年) の 20 倍の年数のシミュレーション期間後を平衡状態と仮定し、平衡状態における平均漁獲量が最大化される F 値を Fmsy、その Fmsy で漁獲した場合の平衡状態での平均親魚量を SBmsy として算出した。シミュレーションには令和 2 年度資源評価結果に基づき更新した再生産関係 (前述) を用いた。用いた選択率は、2015~2019 年漁期の F 値の年齢別平均に基づく。シミュレーションに用いたその他の生物パラメータ等の設定は捕捉表 10-3 に示した。様々に F 値を変えた場合の平衡状態における親魚量、およびこれに対する年齢別漁獲量の平均値を補足図 10-5 に示す。ここでは、親魚量の資源水準が高いほど、平均的に漁獲される高齢魚の比率が高くなる傾向がみられる。平均漁獲量が最大化される SBmsy は平成 31 年度の研究機関会議での案から 8 千トン増加し、228 千トンに更新された。

限界管理基準値案となる SBmin は、令和 2 年度の資源評価でも 151 千トンであった。これは、かつて Blimit として用いられてきた「豊度の高い年級群の発生が期待できる最低水準の親魚量 (1982 年級群が発生した親魚量 151 千トン)」と同じものである。

禁漁水準案として、候補となる親魚量を 5 千トン~150 千トンの間で変化させ、これらをそれぞれ漁獲管理規則の禁漁水準とした漁獲管理で資源回復を図った場合に、10 年後に目標管理基準値案へ 50%以上の確率で回復する値を探索するシミュレーションを行った。回復開始時点の個体群の年齢組成、年齢別平均体重、および選択率は 1981~2019 年漁期の観察値からランダムに選び、回復期間中の漁獲圧は、その年ごとの親魚量から漁獲管理規則案に基づき与えた。シミュレーションの試行回数は漁獲シナリオや回復開始時点の親魚量水準ごとに 10000 回である。平成 31 年の研究機関会議での提案と同様に、 β が 0.8 の場合に 10 年間で 50%以上の確率で目標管理基準値案へ回復する親魚量を探索したところ、60 千トンが禁漁水準案として更新された (補足表 10-2、補足表 10-4)。なお、 β が 0.8 の場合に 10 年間で 50%以上の確率で限界管理基準値への回復する親魚量の閾値は 30 千トンであった (補足表 10-2、補足表 10-5)。

4. 神戸プロット

更新された目標管理基準値案 (SBmsy) と、その時の漁獲割合 Umsy もしくは漁獲圧 Fmsy を基準にした神戸プロットをそれぞれ補足図 10-6 に示す。本系群における漁獲圧 (F 値) は 2001 年漁期以降 2004 および 2008 年漁期を除き MSY を実現する漁獲圧を下回っていたと判断される。また漁獲割合 (U) を基準にすると、2001 年漁期以降、2004 および 2014 年漁期を除き MSY を与える水準を下回っていたと判断される。親魚量は 2009 年漁期以降、目標管理基準値案 (SBmsy) を上回っている。

5. 漁獲管理規則案

漁獲管理規則は、目標管理基準値案以上に親魚量を維持・回復できる確率を勘案して、親魚量に対応した漁獲圧 (F) 等を定めるルールである。「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 系資源の管理規則では、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げるとともに、漁獲圧の上限となる Fmsy には安全係数 β を乗じるものを提示している。更新された限界管理基準値案および禁漁水準案に基づく、平成 31 年度の研究機関会議での提案から禁漁水準案が 70 千トンから 60 千トンに更新され

ているため、親魚量が限界管理基準値案を下回った場合に漁獲圧を削減させる傾きがわずかに緩やかになっている。安全係数 β に標準値である 0.8 を用いた漁獲管理規則案を補足図 10-7 に例示した。

6. 将来予測

(1) 将来予測の設定

更新した再生産関係式および漁獲管理規則案を用いて将来予測結果を更新した。将来予測は令和 2 年度資源評価で推定した 2019 年漁期の資源量から、コホート計算を 2020～2051 年漁期まで前進させた。将来予測における加入量は、各年の親魚量から予測される値を更新した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。2020 年漁期の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2015-2019*) から仮定した。現状の漁獲圧は、2015～2019 年漁期の F 値の年齢別の平均値であり、SBmsy の算出に用いた選択率と同じである。その他、将来予測に用いたその他の生物パラメータ等の設定は補足表 10-2 に示した。2021 年漁期以降の漁獲圧には、各年に予測される親魚量をもとに更新した漁獲管理規則案で定められる漁獲圧を用いた。計算に用いた数式は、補足資料 9 を参照されたい。

(2) 2021 年漁期の予測値

更新した漁獲管理規則案を用いた将来予測に従い、2021 年漁期の親魚量および漁獲量を試算した。2021 年漁期に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも限界管理基準値案を上回り、平均 350 千トンと見込まれた。そのため、漁獲管理規則案で定められた 2021 年漁期の漁獲圧は、Fmsy に安全係数 β を乗じたものとなる。安全係数 β を 0.8 とした場合の 2021 年漁期の漁獲量の平均値は 189 千トンとなった。

2021 年漁期の親魚量 (予測平均値) : 350 千トン			
項目	2021 年漁期の 漁獲量 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2015-2019*)	2021 年漁期の 漁獲割合 (%)
$\beta=1.0$	226	2.08	22
$\beta=0.9$	208	1.88	20
$\beta=0.8$	189	1.67	18
$\beta=0.7$	169	1.46	16
$\beta=0.6$	148	1.25	14
$\beta=0.5$	127	1.04	12
$\beta=0$	0	0	0
F2015-2019*	122	1.00	12

F2015-2019*は、令和 2 年度資源評価に掲載した F2015-2019 と選択率が異なる。F2015-2019 は平成 31 年度の研究機関会議で MSY 管理基準値の推定に用いた選択率の下で 2015～2019 年漁期の F 値の年齢別平均値と同じ漁獲圧を与える F 値を %SPR 換算して求めたものである。F2015-2019*は 2015～2019 年漁期の F 値の年齢別平均値である。両者の %SPR は同一で

ある。

(3) 2022 年漁期以降の予測値

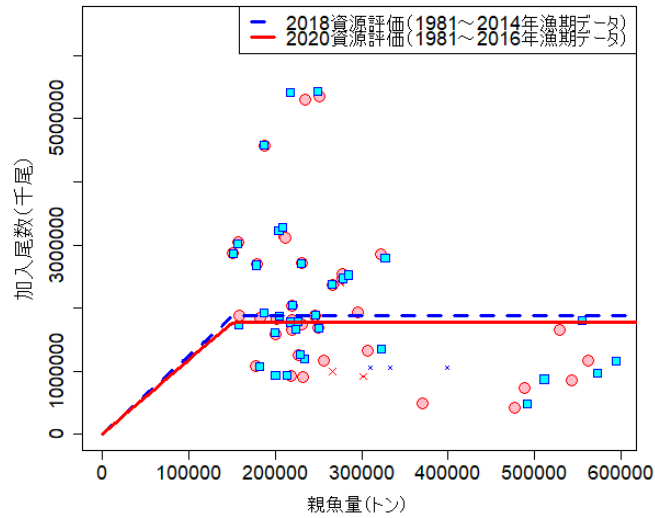
更新した漁獲管理規則案に基づく中長期的な将来予測の結果を補足図 10-8、補足表 10-6、および補足表 10-7 に示す。漁獲管理規則案に基づく管理を 10 年間継続した場合、2031 年漁期の親魚量の予測値は、 β を 0.8 とした場合には平均 284 千トンである（80%信頼区間は 190 千トン～398 千トン）。予測値が目標管理基準値案を上回る確率は 72%、限界管理基準値案を上回る確率は 98%、禁漁水準案を上回る確率は 100%である。令和 2 年度資源評価で示されているように、本系群では、直近では 2016 年級群が比較的高豊度と推定されるほか、2017 年級群の豊度も高いと推算される。そのため、短期的には親魚量・資源量の減少は下げ止まると予測されるが、2018～2019 年級群の豊度は低いとされることには注意を要する。今後、再生産関係で予測される平均的な加入が発生すれば、中長期的には親魚量は高い確率で目標管理基準値案以上に維持されることが期待されるが、短期的には親魚量が目標管理基準値案を下回る可能性も考えられる。平成 31 年度の研究機関会議報告書で示しているように、短期的に親魚量が目標管理基準値案を下回る確率を 50%以下にするには、 β を 0.7 以下にすることが必要と考えられる。親魚量が限界管理基準値案を下回るリスクを避けるためには、 β を 0.9 以上にすることは推奨されない。

考慮している不確実性： 加入量					
項目	2031 年漁期の親魚量 (千トン)	80% 信頼区間 (千トン)	2031 年漁期に親魚量が以下の 管理基準値案等を上回る確率 (%)		
			SBtarget 案	SBlimit 案	SBban 案
$\beta=1.0$ (Fmsy)	232	153-327	44	91	100
$\beta=0.9$	256	170-359	58	96	100
$\beta=0.8$	284	190-398	72	98	100
$\beta=0.7$	318	215-441	85	99	100
$\beta=0.6$	359	246-494	94	100	100
$\beta=0.5$	411	286-559	98	100	100
$\beta=0$	1,063	808-1355	100	100	100
F2015-2019*	423	295-573	99	100	100

7. 10年後に目標管理基準値案を上回る確率が50%になる β

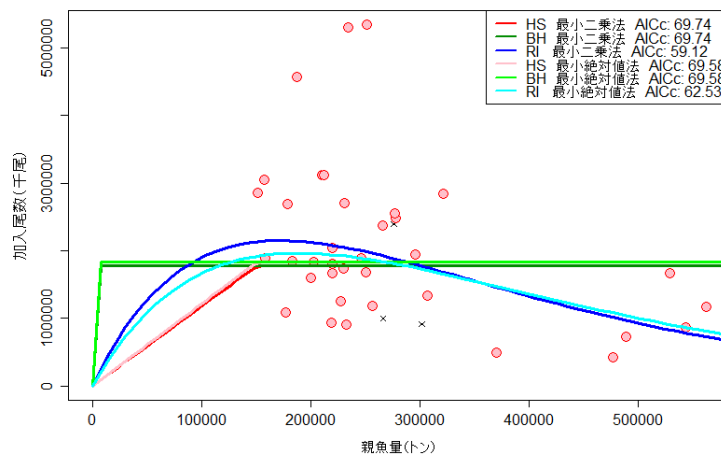
将来予測において、安全係数 β を0.9~1.0の範囲において0.01単位刻みで検討した結果、 β を0.95とした場合に2031年漁期の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率が概ね50%となった(表10-8および表10-9)。なお0.95の前後でさらに細かく β を変更してみたが、 β が0.952~0.948の範囲では2031年漁期の親魚量が目標管理基準値を上回る確率は50%、 β が0.945~0.951の範囲では51%となった。これらの β の範囲($\beta=0.945\sim0.958$)では、2021および2022年漁期に予測される平均漁獲量の最大値と最小値は2300トンおよび1000トンとそれぞれ千トン単位の違いが見られたが、2023年漁期以降は毎年数百トン単位での推定の差が生じるのみであった。

平成31年度の研究機関会議報告書で示されたように、安全係数 β に0.9以上などの高い値を用いることは推奨されない。今回更新した将来予測結果でも、 β に高い値を用いると親魚量が短期的に目標管理基準値案を下回る可能性が高くなり、限界管理基準値案を下回る確率も上昇する。例えば、 β を0.95とした場合には、短期的に親魚量が減少し、2024年漁期には目標管理基準値案を高い確率で下回ることが予測される。また、2025年漁期および2026年漁期に、限界管理基準値案をも下回る確率が10%以上と予測される(補足表10-8)。安全係数 β の値を大きくして高い漁獲圧をかける場合は、資源の減少リスクも高くなることに注意が必要である。このようなリスクは可能な限り避ける必要があると考えられる。



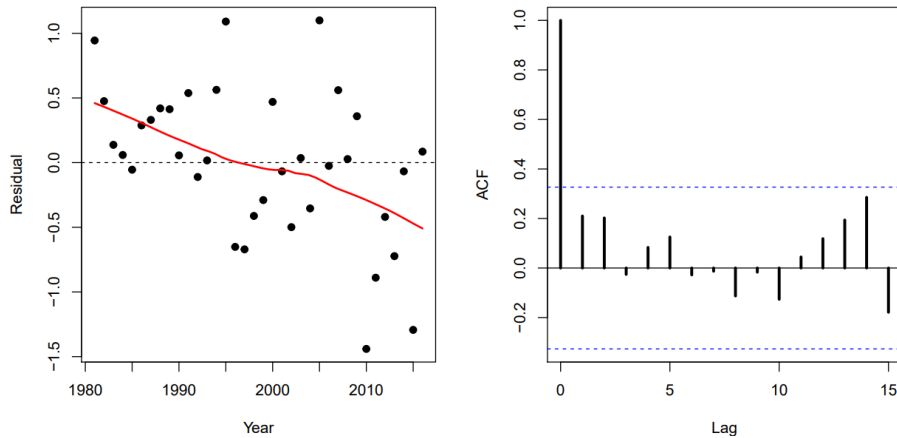
補足図 10-1. ホッケー・スティック再生産関係式の推定結果の比較

青四角は令和元年度資源評価での親魚量・加入量、赤丸は令和2年度の資源評価での親魚量・加入量を示す。×印は加入量がコホート解析からの直接推定に依らないため、再生産関係式の推定に用いていない直近3年間のデータである。青破線は平成31年の研究機関会議で提案された関係式、赤実線は令和2年度の資源評価での親魚量・加入量に基づき更新された関係式である。

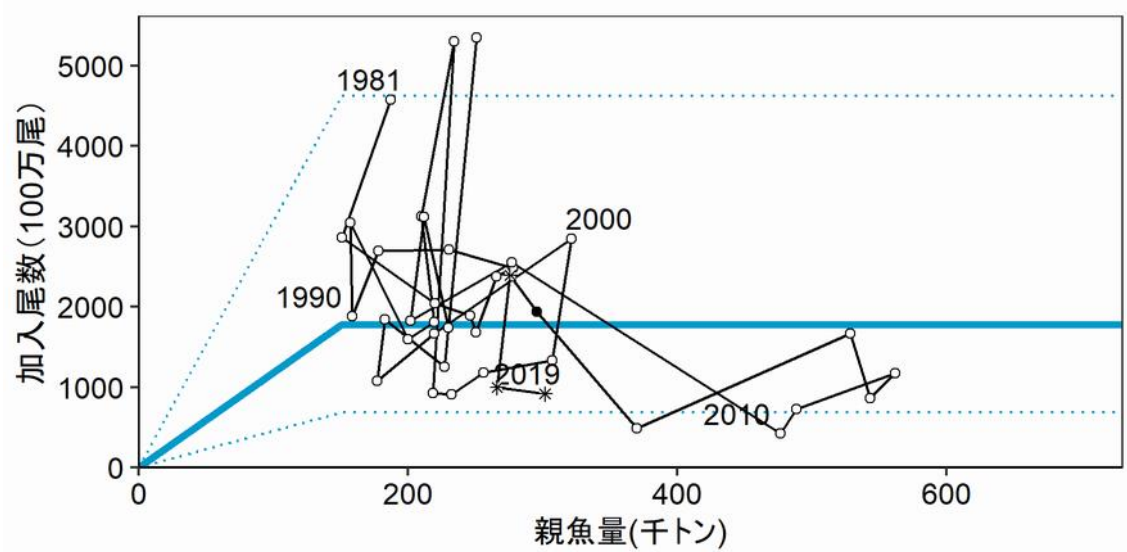


補足図 10-2. 各再生産関係式の比較

ホッケー・スティック型 (HS)、リッカー型 (RI)、ベバートン・ホルト型 (BH) の再生産関係式を、最小二乗法および最小絶対値法により当てはめた。図中右上の数値は、補正赤池情報量基準 (AICc) の値である。赤丸は分析に使用した親魚量・加入尾数 (1981～2016 年漁期)、×印はコホート解析からの直接推定に依らないため分析に使用しなかった情報 (2017～2019 年漁期) である。



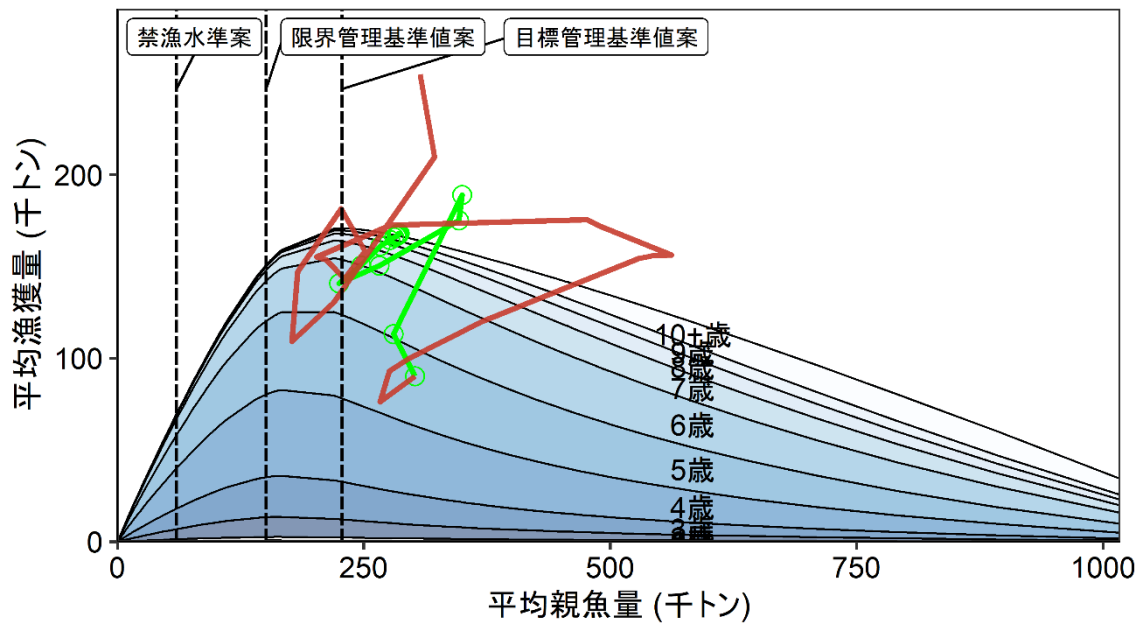
補足図 10-3. ホッケ－・スティック型再生産関係における残差トレンドと自己相関プロット
 最小二乗法によりホッケ－・スティック型再生産関係式を当てはめた結果に基づく。
 右図の自己相関プロットの青破線は 95%信頼区間を示す。



補足図 10-4. 更新した再生産関係式（親魚量と加入量の関係）

令和 2 年度の資源評価で推定された 1981～2016 年漁期の親魚量および加入尾数から推定したホッケ－・スティック型再生産関係式。加入量が調査船調査からの推算値である 2017～2019 年漁期のデータ（*印）は再生産関係式の推定には用いなかった。今回の資源評価で新たに推定された 2016 年級群は●で示した。

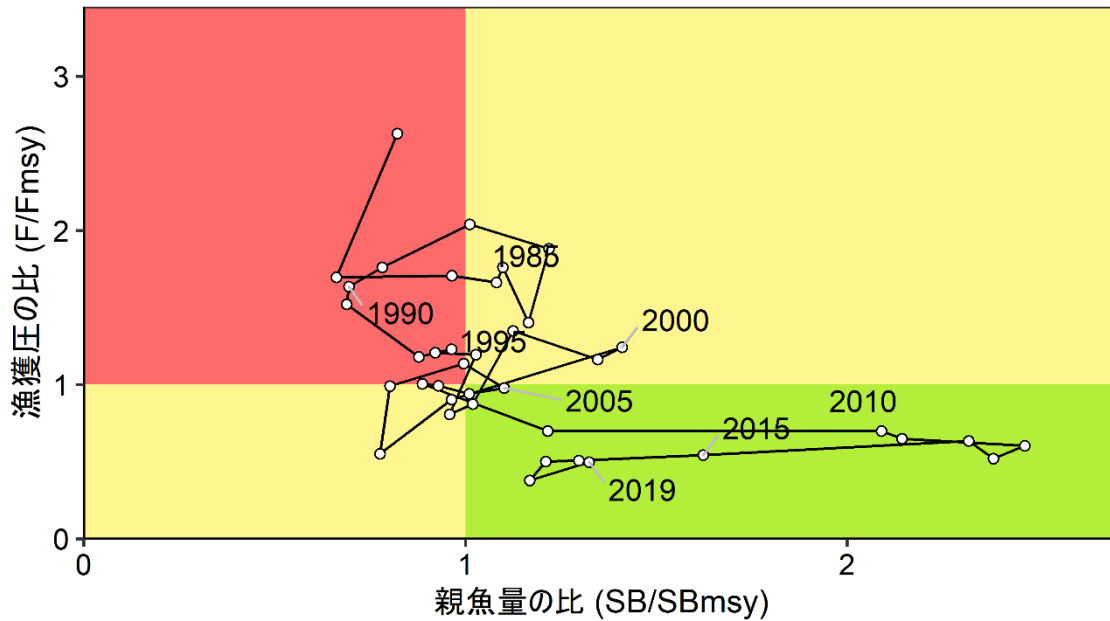
図中の点線は親魚量と加入量の 90%が含まれると推定される範囲である。



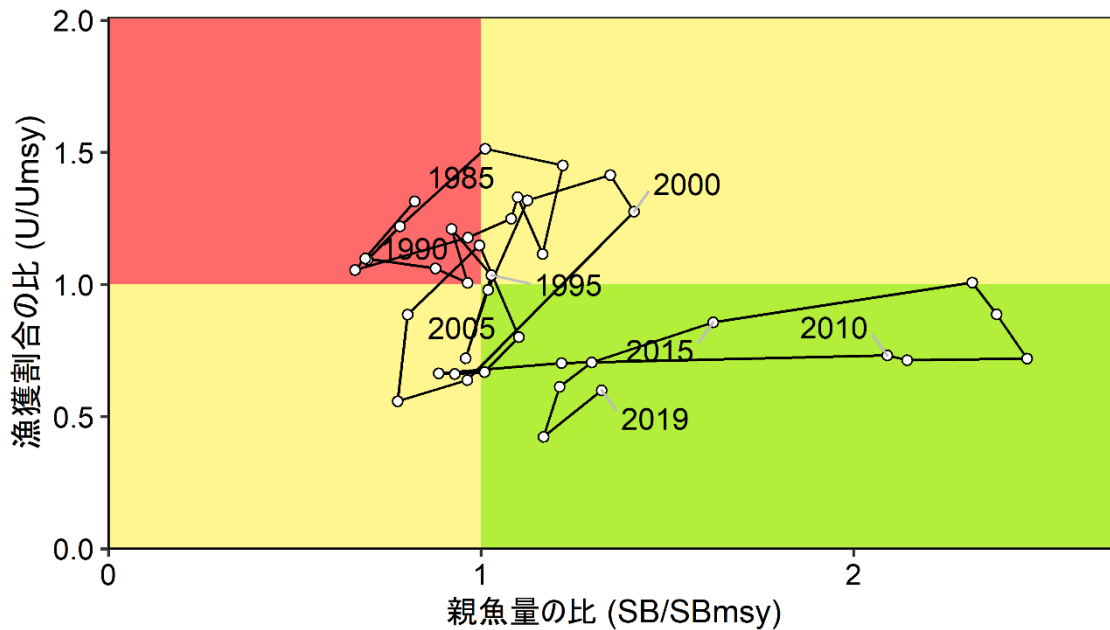
補足図 10-5. 管理基準値案と年齢別漁獲量曲線の関係

将来予測シミュレーションにおける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案の位置関係を示す。赤実線は令和2年度の資源評価により推定された親魚量と漁獲量との関係を、緑実線は提案する管理基準値案に基づく漁獲管理規則案 ($\beta=0.8$) で漁獲を行った場合の将来予測での平均親魚量と平均漁獲量の推移の一例である。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 1179 千トンである。

a) 縦軸を F_{msy} と各年の F の比にした場合



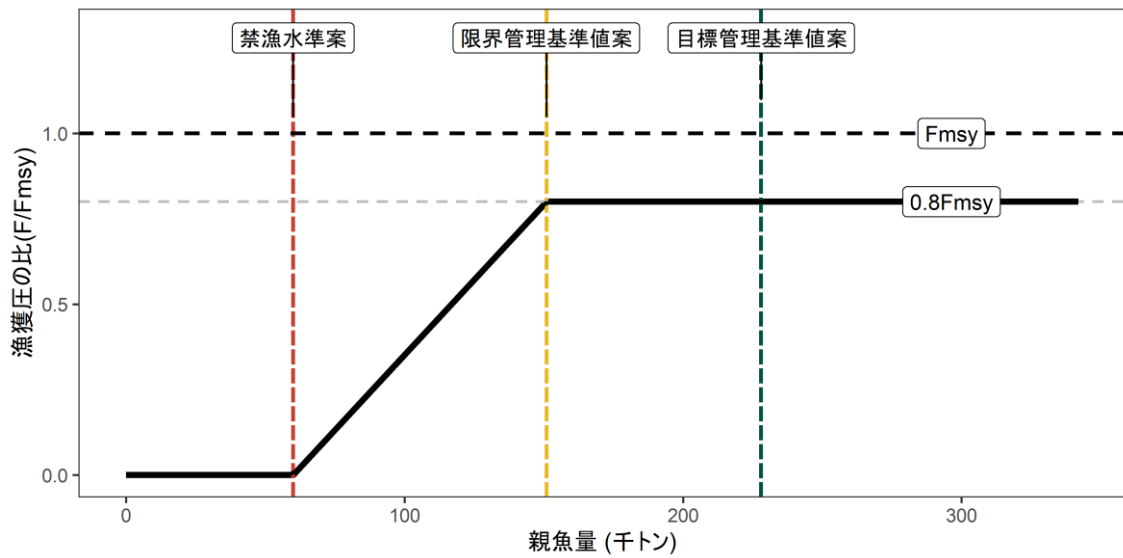
b) 縦軸を U_{msy} と各年の U の比にした場合



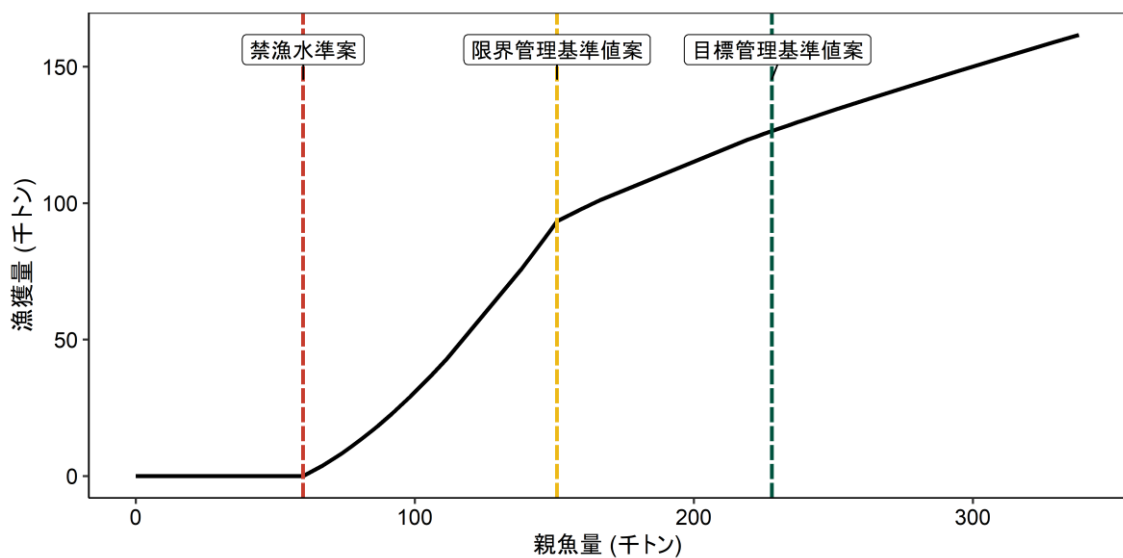
補足図 10-6. 更新された最大持続生産量に関する管理基準値を基準にした神戸プロット

上図 (a) は最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SB_{msy}) および MSY を実現する漁獲圧 (F_{msy}) に対する親魚量および漁獲圧 (F 値) の関係を、下図 (b) は F 値の代わりに漁獲割合 (U) を用いた場合の関係を示す。

a)

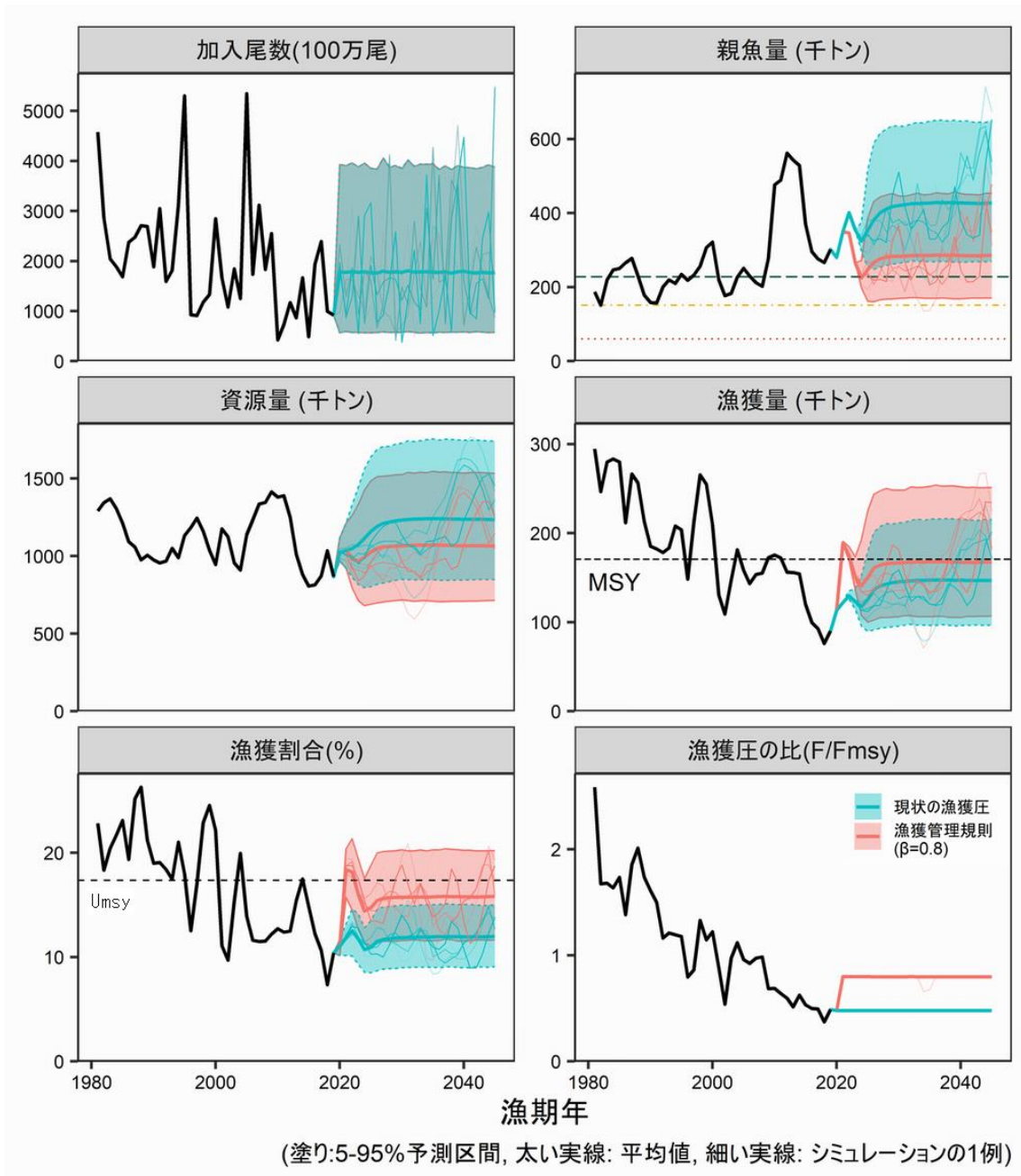


b)



補足図 10-7. 漁獲管理規則案 (β を 0.8 とした場合のものを示す)

目標管理基準値案はホッケー・スティック再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値案は歴史的に観察されたことのある最低親魚量を、禁漁水準案には安全係数 β を 0.8 とした漁獲管理規則案で漁獲を続けた場合に 10 年間で目標管理基準値案へ 50% の確率で回復する閾値を用いている。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は漁獲管理規則案、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案をそれぞれ示す。上図 a) が縦軸を漁獲圧にした漁獲管理規則案の模式図を示し、下図 b) では縦軸を漁獲量として、それぞれの親魚量の下で漁獲管理規則案により期待される漁獲量を示した。漁獲する年の年齢組成により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。



補足図 10-8. 漁獲管理規則案 (β=0.8) を用いた場合と現状の漁獲圧 (F2015-2019*) で漁獲を続けた場合とでの将来予測の比較

太実線は平均値、網掛けは 90%信頼区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄点線は限界管理基準値案、赤点線は禁漁水準案を示す。2020 年漁期の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2015-2019* : 2015~2019 年漁期の F 値の年齢別平均値) により仮定した。例示に用いた漁獲管理規則案の β は 0.8 である。

補足表 10-1. 再生産関係式の検討結果

再生産関係式	最適化法	自己 相関	a	b	S.D.	AICc	データ数
ホッケー・スティック	最小二乗法	無	11.795	150,944	0.580	69.74	36
リッカー	最小二乗法	無	33.988	5.82x10 ⁻⁶	0.501	59.12	36
ベバートン・ホルト	最小二乗法	無	1.18x10 ⁷	6.636	0.580	69.74	36
ホッケー・スティック	最小絶対値法	無	12.172	150,944	0.581	69.58	36
リッカー	最小絶対値法	無	28.275	5.30x10 ⁻⁶	0.506	62.53	36
ベバートン・ホルト	最小絶対値法	無	4.44x10 ¹⁹	2.42x10 ¹³	0.581	69.58	36

推奨する再生産関係を太字とした。S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標で、対数残差の標準偏差（Standard Deviation、平均二乗誤差の平方根）である。

補足表 10-2. 各管理基準値案における平衡状態のときの平均親魚量、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量（SB0）に対する比、平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、現状の漁獲圧（F2015-2019*）に対する努力量の比の関係、および MSY を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数（Fmsy）

項目	説明	親魚量 (千トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (千トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲 割合	努力量 の比
目標管理 基準値案	MSY を実現する 親魚量（SBmsy）	228	0.193	171	19.7	0.17	2.08
限界管理 基準値案	これまで観測された 最小親魚量（SBmin）	151	0.128	151	15.2	0.19	2.71
禁漁水準案	漁獲管理規則案（β=0.8）で 漁獲しながら 50%の確率で 10 年後に目標管理基準値案 に回復する親魚量の閾値	60	0.051	70	13.2	0.20	3.10
—	漁獲管理規則案（β=0.8）で 漁獲しながら 50%の確率で 10 年後に限界管理基準値案 に回復する親魚量の閾値	30	0.025	36	12.6	0.21	3.22
MSY を実現 する漁獲圧 (Fmsy)	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳, 8 歳, 9 歳, 10+歳) = (0.009, 0.017, 0.067, 0.124, 0.326, 0.565, 0.805, 0.670, 0.637, 0.717, 0.717)						

F2015-2019*は 2015～2019 年漁期の F 値の年齢別平均値である。

補足表 10-7. 将来の親魚量 (a) および漁獲量 (b) の平均値の推移

β を 0~1.0 で変更した場合および現状の漁獲圧を継続した場合の将来予測の結果を示す。2020 年漁期の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2015-2019*) により仮定した。2021 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

なお、F2015-2019*は 2015~2019 年漁期の F 値の年齢別平均値である。

(a) 親魚量の平均値

(千トン)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	302	280	350	317	224	183	205	223	231	233	234	232	232	233	234
0.9	302	280	350	331	244	202	224	243	252	255	256	255	256	257	258
0.8	302	280	350	346	266	225	247	267	277	281	284	284	284	285	286
0.7	302	280	350	362	290	251	274	296	308	313	316	317	318	319	320
0.6	302	280	350	379	317	281	306	330	345	352	357	358	359	362	362
0.5	302	280	350	397	348	317	345	372	390	400	406	409	411	414	415
0.4	302	280	350	416	381	358	391	423	447	460	469	473	476	483	483
0.3	302	280	350	436	419	407	446	486	517	536	549	556	562	573	573
0.2	302	280	350	457	461	464	515	565	607	634	654	667	677	699	699
0.1	302	280	350	479	508	532	598	665	723	763	795	818	835	884	884
0.0	302	280	350	502	560	613	702	792	876	938	989	1030	1063	1174	1180
F2015-2019*	302	280	350	401	354	324	353	382	401	411	418	421	423	427	427

※ 黄色網掛けは目標管理基準値案を下回ることを示す。

(b) 漁獲量の平均値

(千トン)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	90	113	226	193	158	148	156	168	172	172	172	171	172	172	173
0.9	90	113	208	185	155	145	154	165	168	170	170	170	170	170	171
0.8	90	113	189	175	151	141	150	161	164	166	166	167	167	167	168
0.7	90	113	169	163	145	136	145	155	159	161	162	162	163	163	163
0.6	90	113	148	150	136	129	137	148	152	154	155	156	156	157	157
0.5	90	113	127	133	126	120	128	139	143	145	147	147	148	149	149
0.4	90	113	104	114	111	108	115	126	130	133	135	136	137	138	138
0.3	90	113	80	92	93	91	98	108	113	116	118	119	120	122	122
0.2	90	113	54	66	69	69	75	84	88	91	93	95	96	99	99
0.1	90	113	28	35	39	40	44	49	53	55	57	58	59	62	62
0.0	90	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2015-2019*	90	113	122	130	123	117	125	136	141	143	144	145	146	147	147

補足表 10-8. 親魚量が目標管理基準値案 (a)、限界管理基準値案 (b) を上回る確率

β を 0.91~0.99 の間を 0.01 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2020 年漁期の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2015-2019*) により仮定した。2021 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

なお、F2015-2019*は 2015~2019 年漁期の F 値の年齢別平均値である。

(a) 親魚量が目標管理基準値案を上回る確率

(%)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
0.99	100	100	100	100	0	5	29	39	44	46	47	46	46	47	47
0.98	100	100	100	100	0	6	30	40	45	47	48	47	47	48	48
0.97	100	100	100	100	100	6	31	41	47	48	49	49	48	49	49
0.96	100	100	100	100	100	7	32	43	48	49	50	50	49	50	50
0.95	100	100	100	100	100	8	33	44	49	50	51	51	51	51	52
0.94	100	100	100	100	100	9	34	45	50	51	52	52	52	53	53
0.93	100	100	100	100	100	9	35	46	51	53	54	54	54	54	55
0.92	100	100	100	100	100	10	36	47	52	54	55	55	55	55	56
0.91	100	100	100	100	100	11	37	48	53	55	56	57	57	57	57

(b) 親魚量が限界管理基準値案を上回る確率

(%)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
0.99	100	100	100	100	100	100	82	88	91	91	91	91	92	91	92
0.98	100	100	100	100	100	100	83	89	91	92	92	92	92	92	92
0.97	100	100	100	100	100	100	84	89	92	92	92	92	93	92	93
0.96	100	100	100	100	100	100	85	90	92	92	93	93	93	93	93
0.95	100	100	100	100	100	100	86	90	93	93	93	93	94	93	94
0.94	100	100	100	100	100	100	87	91	93	93	93	94	94	94	94
0.93	100	100	100	100	100	100	88	92	94	94	94	94	95	94	95
0.92	100	100	100	100	100	100	89	92	94	94	94	95	95	95	95
0.91	100	100	100	100	100	100	90	93	95	95	95	95	95	95	96

補足表 10-9. 将来の親魚量 (a) および漁獲量 (b) の平均値の推移

β を 0~1.0 で変更した場合および現状の漁獲圧を継続した場合の将来予測の結果を示す。2020 年漁期の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2015-2019*) により仮定した。2021 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

なお、F2015-2019*は 2015~2019 年漁期の F 値の年齢別平均値である。

(a) 親魚量の平均値

(千トン)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
0.99	302	280	350	318	226	185	207	225	233	235	236	234	234	235	236
0.98	302	280	350	319	228	187	209	227	235	237	238	236	236	237	238
0.97	302	280	350	321	230	189	210	229	237	239	240	238	238	240	241
0.96	302	280	350	322	232	190	212	231	239	241	242	241	241	242	243
0.95	302	280	350	324	234	192	214	233	241	244	245	243	243	244	245
0.94	302	280	350	325	236	194	216	234	243	246	247	245	245	247	248
0.93	302	280	350	327	238	196	218	236	245	248	249	248	248	249	250
0.92	302	280	350	328	240	198	220	239	247	250	251	250	250	252	253
0.91	302	280	350	330	242	200	222	241	249	253	254	253	253	254	255

※ 黄色網掛けは目標管理基準値案を下回ることを示す。

(b) 漁獲量の平均値

(千トン)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
0.99	90	113	224	192	158	148	156	168	171	172	172	171	172	172	173
0.98	90	113	222	192	157	147	155	168	171	172	171	171	171	172	172
0.97	90	113	220	191	157	147	155	168	171	172	171	171	171	172	172
0.96	90	113	219	190	157	147	155	167	170	171	171	171	171	171	172
0.95	90	113	217	189	156	146	155	167	170	171	171	171	171	171	172
0.94	90	113	215	188	156	146	155	167	170	171	171	170	171	171	172
0.93	90	113	213	188	156	146	155	166	169	170	170	170	171	171	172
0.92	90	113	211	187	156	145	155	166	169	170	170	170	170	171	171
0.91	90	113	210	186	155	145	154	165	169	170	170	170	170	170	171