

令和 3（2021）年度ソウハチ日本海南西部系群の 管理基準値等に関する研究機関会議資料

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

要 約

本系群の令和 2 年度の資源評価データを用いて、再生産関係および管理基準値案等を検討した。2019 年までの親魚量と加入尾数の情報に基づき、本系群の再生産関係式の候補として最小二乗法により推定された残差の自己相関を考慮したホッケー・スティック型再生産曲線の適用を提案する。目標管理基準値として再生産関係に基づき算出される SB_{msy} (41 百トン) を、限界管理基準値として $SB_{0.6msy}$ (16 百トン) を、禁漁水準として $SB_{0.1msy}$ (2 百トン) を、それぞれ提案する。目標管理基準値案 (SB_{msy}) を達成する漁獲圧 (F_{msy}) は、現状 (2018～2020 年の漁獲係数の平均) の 1.10 倍である。

(本資料における、再生産関係および MSY や F_{msy} 、 SB_{msy} については、令和 2 年度の資源評価結果に基づき、令和 3 年 3 月 1 日に開催されたマダラ本州日本海北部系群、ムシガレイ日本海南西部系群、ソウハチ日本海南西部系群に関する研究機関会議で議論され、令和 3 年 3 月 26 日にソウハチ日本海南西部系群の簡易版として公表されている。ただし、令和 3 年度、本系群の資源量指標値が資源密度指数から標準化 CPUE に変更されたため、再生産関係および MSY や F_{msy} 、 SB_{msy} を令和 2 年度の資源評価に用いた年齢別漁獲尾数と標準化 CPUE によるコホート解析結果に基づき再計算した値に更新した。その新たなコホート解析結果を本資料の最後に示す。将来予測および漁獲管理規則については、上述の再生産関係と令和 3 年度資源評価により更新されたデータを元に作成されている。)

親魚量 (百トン)	現状の 親魚量に 対する比	初期親魚量 に対する比	期待できる 平均漁獲量 (百トン)	現状の漁獲圧 (2018～2020 年) に対する比*	説 明
目標管理基準値案					
41	0.76	0.17	28	1.10	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					
16	0.29	0.07	17	1.52	MSY の 60%が 得られる漁獲量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
2	0.04	0.01	3	1.63	MSY の 10%が 得られる漁獲量 (SB0.1msy)
2020 年					
55	1.00	0.19	28**	—	2020 年の値

* 現状の漁獲圧における年齢別選択率に基づき管理基準値案および水準案を計算する際の、現状の年齢別漁獲係数に乗じる係数を示す。現状の漁獲圧は 2018～2020 年の漁獲係数の平均値である。

** 2020 年の実際の漁獲量（暫定値）を示す。

1. 再生産関係

1-1) 使用するデータセット

本系群の再生産関係式の設定は、「令和3（2021）年度漁獲管理規則およびABC算定のための基本指針」（FRA-SA2021-ABCWG02-01）に従い、以下のデータセットを使用して実施した。解析にはRパッケージfrasyr（v2.2.0.0、コミット番号65a53bf）を用いた。frasyrで用いた計算式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和3年度研究機関会議版）（FRA-SA2021-ABCWG01-02）」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
再生産関係・神戸チャート	令和2年度ソウハチ日本海系群の資源評価（水産庁・水産機構）
資源量・親魚量	令和3年度ソウハチ日本海南西部系群の資源評価（水産庁・水産機構）

1-2) 再生産関係の検討

本系群の最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量の算出および将来予測計算に使用する再生産関係として、ホッケ－・スティック（HS）型再生産関係、リッカー（RI）型再生産関係およびベバートン・ホルト（BH）型再生産関係を仮定した場合について検討した（補足資料1）。再生産関係の検討には1997～2018年の親魚量と1年後（1998～2019年）の1歳魚時点での加入量を用い、最適化法には最小二乗法および最小絶対値法を用いた。

得られた再生産関係の候補を補正赤池情報量規準（AICc）が小さい順に表1に示した。最小絶対値法と比較して、最小二乗法を用いた場合のAICcが総じて低くなった。最小二乗法の中ではBH型、RI型、HS型再生産関係の順にAICcが低かったが、これらのAICcの差（ $\Delta AICc$ ）は1.2とわずかであった。これは本系群の親子関係に明瞭な密度効果が認められないためであると考えられ、そのような資源でも現実的な再生産関係が得られるHS型を採用することとした（「再生産関係の決定に関するガイドライン（FRA-SA2020-ABCWG01-03）」、2b）。

なお、本系群ではいずれの最適化法・関係式を用いても残差の自己相関が認められたため、最終的なモデルでは残差の自己相関を考慮した（ガイドライン、3h）。自己相関係数の推定には、HS型を用いた場合でも推定値が安定し、バイアスがより小さい二段階推定法を採用した（技術ノート3.2、補足資料1）。

1-3) 再生産関係の候補

本系群の再生産関係として、最小二乗法により推定された残差の自己相関を考慮したHS（図1）を候補として提案する。本系群では観察された親魚量の範囲内における加入量が大きく変化しないため、HSの折れ点（b）は過去最低親魚量として推定され、自己相関係数は0.571、加入量の残差標準偏差（s.d.）は0.255であった。また、初期親魚量SB0（漁獲がない状態における親魚量）における平均加入尾数R0は44百万尾、スティーブネスh（HS型では、 $1-b/SB0$ として定義）は0.893であった。

以降のMSYを実現する親魚量（SBmsy）の計算および将来予測には、本再生産関係を用

いた。

2. 管理基準値

2-1) データセットおよび計算方法

MSY に対応する管理基準値案等の算出には、「令和 3 (2021) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2021-ABCWG02-01)」の 1 系資源の管理規則に従い、1-3) で候補とした再生産関係と、令和 2 (2020) 年度の資源評価で用いた各種設定および生物パラメータ (自然死亡係数、年齢別平均体重および年齢別成熟率) を使用した (表 2)。解析には、再生産関係の推定と同様に R パッケージ *frasyr* を用いた。

管理基準値等を達成する漁獲圧と現状の漁獲圧の比は、令和 3 (2021) 年度資源評価における現状の漁獲圧の %SPR を基準に計算した。管理基準値等を達成する漁獲圧と現状の漁獲圧との比較は、令和 3 (2021) 年度資源評価における現状の漁獲圧 (F2018-2020、図 2) に基づいて行った。また、漁獲管理規則案に基づく資源評価の将来予測においても、この F2018-2020 を現状の漁獲圧として使用した。

本系群では、シミュレーションによって推定された世代時間 (5.8 年) の 20 倍を基準に、将来予測開始から 116 年後を平衡状態と仮定し、平衡状態における平均漁獲量の最大値を MSY、MSY が達成される際の親魚量を SBmsy、MSY が得られる F 値を Fmsy とした。

2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

本系群の目標管理基準値 (SBtarget) として MSY 水準における親魚量 (SBmsy : 41 百トン)、限界管理基準値 (SBlimit) として MSY の 60% の漁獲が得られる親魚量 (SB0.6msy : 16 百トン)、禁漁水準 (SBban) として MSY の 10% の漁獲が得られる親魚量 (SB0.1msy : 2 百トン) を用いることを提案する。これらはいずれも ABC 算定のための基本指針における標準値である。

各基準値案について、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、平衡状態の時の平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、現状の漁獲圧に対する比、および MSY を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数 (Fmsy) を表 3 に示す。目標管理基準値として提案する SBmsy は SB0 の 17% に相当し、この親魚量において期待できる平均漁獲量 (MSY) は 28 百トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧 (MSY を実現する漁獲圧 : Fmsy) の、現状の漁獲圧に対する比 (Fmsy/F2018-2020) は 1.10 で、この時の漁獲割合 (Umsy) は 30% である。限界管理基準値として提案する SB0.6msy および禁漁水準として提案する SB0.1msy は、それぞれ SB0 の 7%、1% である。

さまざまに 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図 3 に示す。親魚量が限界管理基準値案以下の場合には、漁獲物は 2 歳が主体であるが、親魚量が目標管理基準値案よりも多いと 3 歳魚以上の比率が高くなる傾向がみられる。

なお、本系群ではこれまで資源の回復措置をとる閾値 (Blimit) として過去最低親魚量の 24 百トンを設定してきた。補足資料 2 では、参考情報として従来の Blimit を限界管理基準値案とした場合の将来予測結果 (2-5 で後述) を SB0.6msy を用いた場合と比較した。

2-3) 神戸プロット

目標管理基準値案である SB_{msy} と、その時の漁獲圧 F_{msy} を基準にした神戸プロットを図 4 に示す。これまで本系群の漁獲圧 (F) は F_{msy} の前後で周期的に変動しており、2015 年以降は F_{msy} を下回っていた。親魚量も SB_{msy} に対して周期的に変動しており、2014 年から 2019 年にかけては SB_{msy} を下回っていたが、2020 年は上回った。現状の親魚量 (2020 年の親魚量 5,475 トン) に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案の比は、それぞれ 0.76、0.29 および 0.04 である (要約表)。

2-4) 漁獲管理規則案

本資料で提案する漁獲管理規則は、限界管理基準値案および禁漁水準案となる親魚量を閾値として漁獲管理の基礎となる漁獲係数 (F 値) を変えるルールであり、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。 F 値の上限は F_{msy} に調整係数 β を乗じたものである。限界管理基準値案および禁漁水準案に標準値を用いた場合 (すなわち、 SB_{limit} は $SB_{0.6msy}$ 、 SB_{ban} は $SB_{0.1msy}$ の場合) の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を図 5a に、この漁獲管理規則案で漁獲した場合に期待できる平均的な漁獲量との関係を図 5b に示す。図に例示した漁獲管理規則案は、いずれも β に標準値である 0.8 を用いた。

2-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

(1) 調整係数 β に標準値を用いた場合

限界管理基準値案・禁漁水準案に標準値を用い、調整係数 β を標準値の 0.8 とした漁獲管理規則案 (図 5a) で将来予測した場合の加入量、親魚量、資源量、漁獲量、漁獲割合および漁獲圧の比 (F/F_{msy}) の推移を図 6 に示す。なお、今回の将来予測では、漁獲管理規則案による漁獲の制御は 2022 年から開始し、2021 年の漁獲量は予測される漁獲量と現状の漁獲圧 ($F_{2018-2020}$) から仮定した。

予測される 2022 年の親魚量は限界管理基準値案を上回っているため、漁獲管理規則案に従い、まず βF_{msy} で漁獲される。 βF_{msy} は $F_{2018-2020}$ を上回っているため、漁獲管理規則に従った場合の漁獲量と漁獲割合は $F_{2018-2020}$ で漁獲を続けた場合よりもわずかに高い水準で推移する。いずれの場合でも親魚量は SB_{msy} を上回る水準で推移する。

(2) 調整係数 β を変えた場合

漁獲管理規則案を用いた将来予測について、調整係数 β を 0.0~1.0 の間で 0.1 間隔で変えた場合の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、禁漁水準案を上回る確率、親魚量平均値の推移、および漁獲量平均値の推移を表 4~8 に示した。それぞれの表には、現状の漁獲圧 ($F_{2018-2020}$) で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。

前述の通り、直近の親魚量は目標管理基準値 (SB_{msy}) を上回っているため、漁獲管理規則に基づく漁獲圧は βF_{msy} となる。 β を標準値の 0.8 とした場合、管理開始から 10 年を経た 2032 年の親魚量が目標管理基準値を上回る確率は 84% である。 β を 0.9、1.0 に引き上げた場合はそれぞれ 65%、42% となった (表 4、9)。一方で、2032 年に親魚量が限界管理基

準値・禁漁水準を上回る確率は、いずれの β を用いても 100%であった（表 5、6）。2023 年以降の親魚量は β が低い程多くなった（表 7）。 β を 0.8～1.0 の間で変化させた場合の平均漁獲量は、2022 年に最大 600 トンの差があるものの、2032 年にはいずれも約 27 百トンとなった（表 8）

3. まとめ

本資源では、資源評価で推定された 1997～2018 年の親魚量と 1 年後（1998～2019 年）の 1 歳魚時点での加入量に基づき、再生産関係モデルに自己相関を考慮したホッケ－・スティック型再生産関係式を適用し、そのパラメータを最小二乗法により推定することを提案する。

目標管理基準値案は MSY を実現する資源水準と定められていることから、上記の再生産関係から推定される SBmsy（41 百トン）とすることを提案する。限界管理基準値案、禁漁水準案については、標準値である SB0.6msy（16 百トン）、SB0.1msy（2 百トン）をそれぞれ提案する。

現在の本系群の親魚量は目標管理基準値を上回っている。MSY を実現する漁獲割合は 30%、漁獲圧は F2018-2020 の 1.10 倍である（表 3）。調整係数 β が 0.9 以下の漁獲圧であれば、将来的に 60%以上の確率で親魚量が MSY 水準に維持されると予測された（表 4）。

4. 今後の検討事項

本系群では、観察された親魚量の範囲内において加入量の変動傾向は不明瞭である。再生産関係として HS 型再生産関係式を適用したが、親魚の観測範囲内において加入量が一定であると便宜的に仮定していることに留意する必要がある（ガイドライン 3b）。今後、データが追加されることで再生産関係式が変化しうる点には注意が必要である。

5. 引用文献

ABCWG (2021) 令和 3 (2021) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2021-ABCWG02-01.

ABCWG (2021) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 3 年度). FRA-SA2021-ABCWG01-02.

ABCWG (2021) 再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 3 年度). FRA-SA2021-ABCWG01-03.

（執筆者：飯田真也、吉川 茜、八木佑太、藤原邦浩）

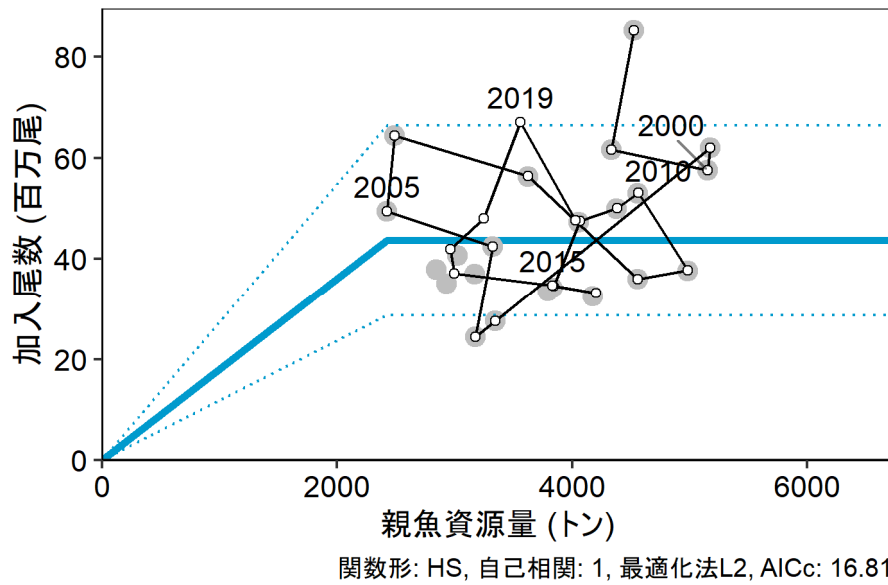


図 1. 再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮したホッケ-スティック (HS) 型再生産関係式を用い、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。灰色の丸印は分析に使用した 1997～2018 年の親魚量と翌年 (1998～2019 年) の 1 歳時点での加入量を示す。図中の再生産関係式 (青実線) 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。白抜きの丸印は、令和 3 (2021) 年度資源評価で得られた 1997～2019 年の親魚量と翌年 (1998～2020 年) の 1 歳時点での加入量である。図中の数字は 1 歳魚が加入した年を示す。

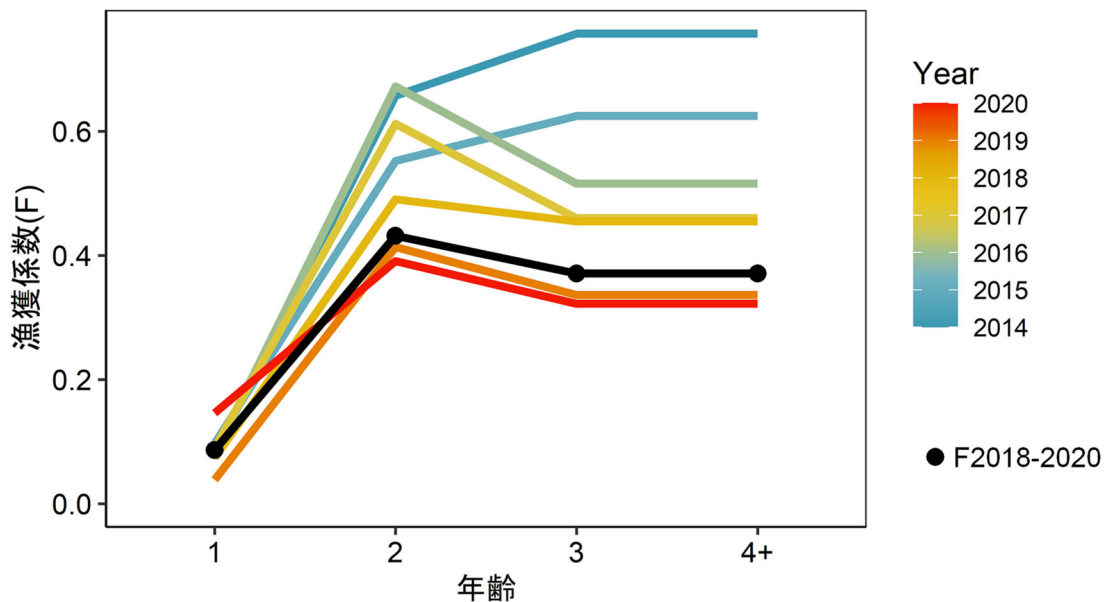


図 2. 年別年齢別漁獲係数 (F 値)

黒丸は現状の漁獲圧 (F2018-2020) であり、2018～2020 年の F 値の平均である。

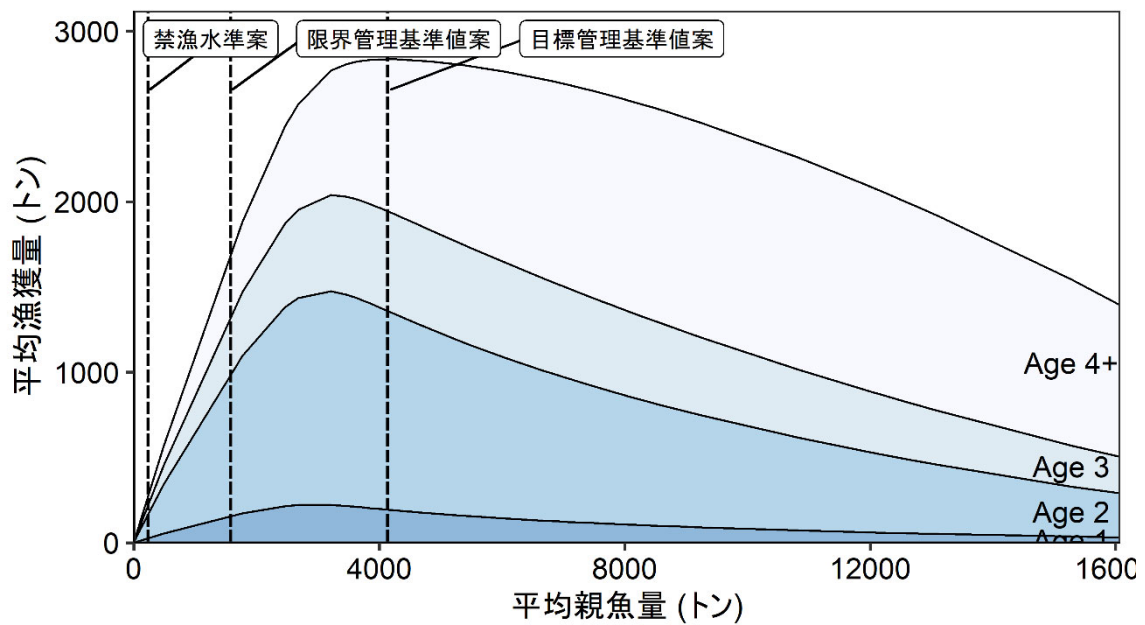


図 3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、平均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。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 22,957 トンである。

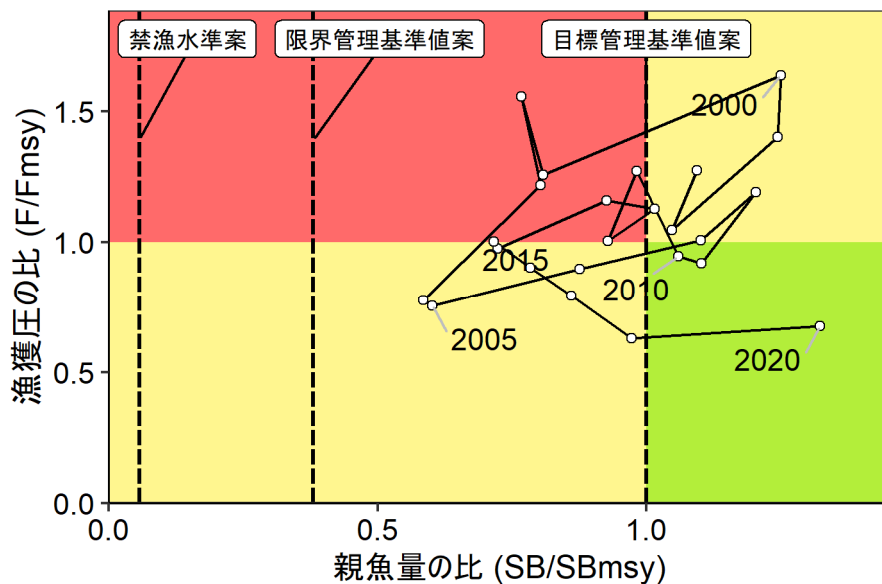
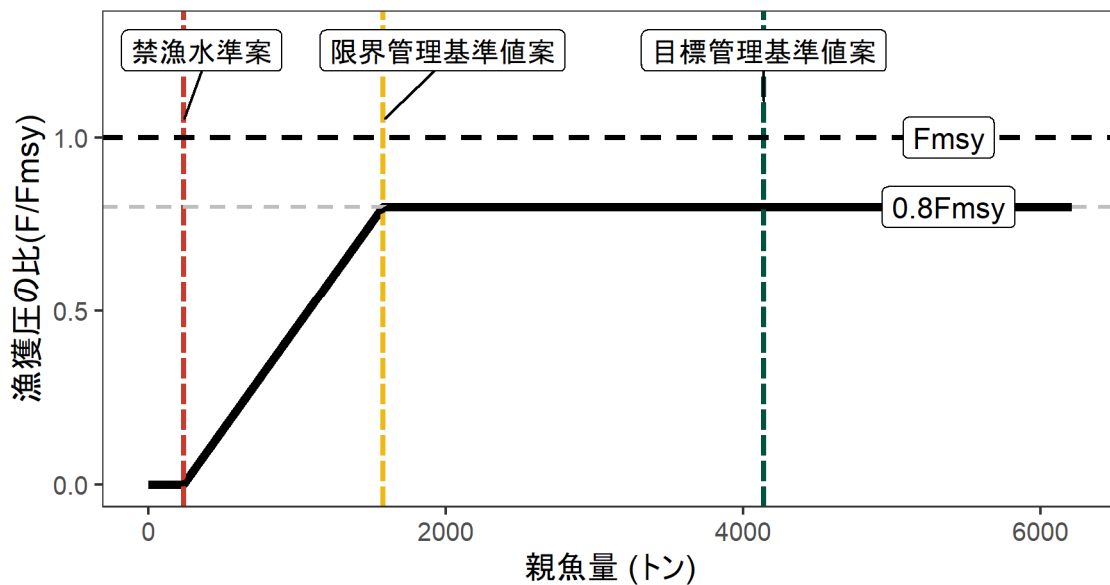


図 4. 神戸プロット

縦軸は各年の漁獲圧 F の F_{msy} との比である。図中の目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案には、それぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。

a) 縦軸を漁獲圧で示した場合



b) 縦軸を漁獲量で示した場合

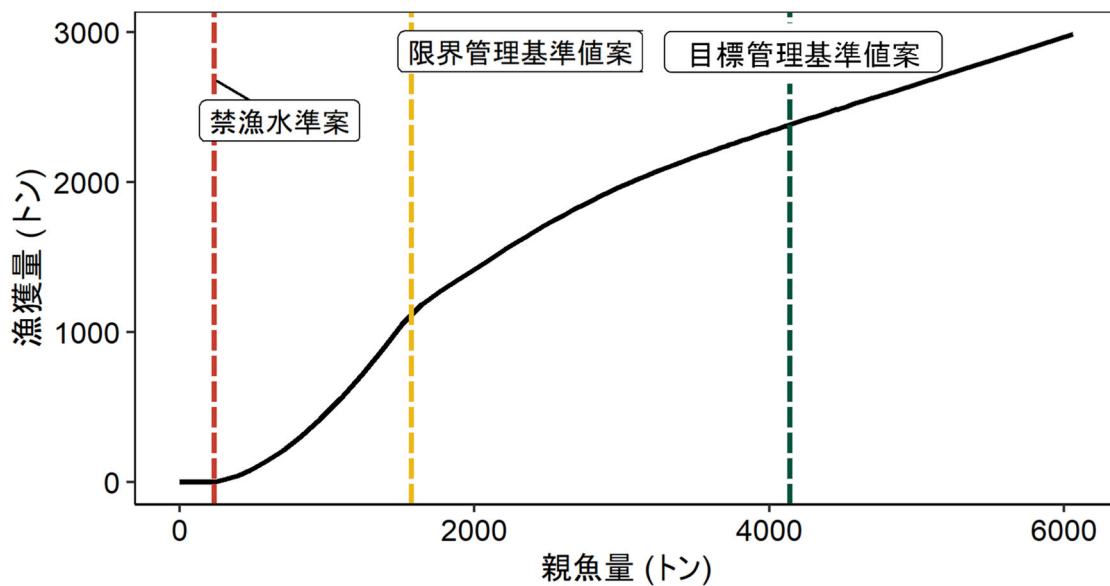


図 5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は HS 再生産関係に基づき算出した SBmsy である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) には、それぞれ標準値を用いている。調整係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は HCR、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示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。

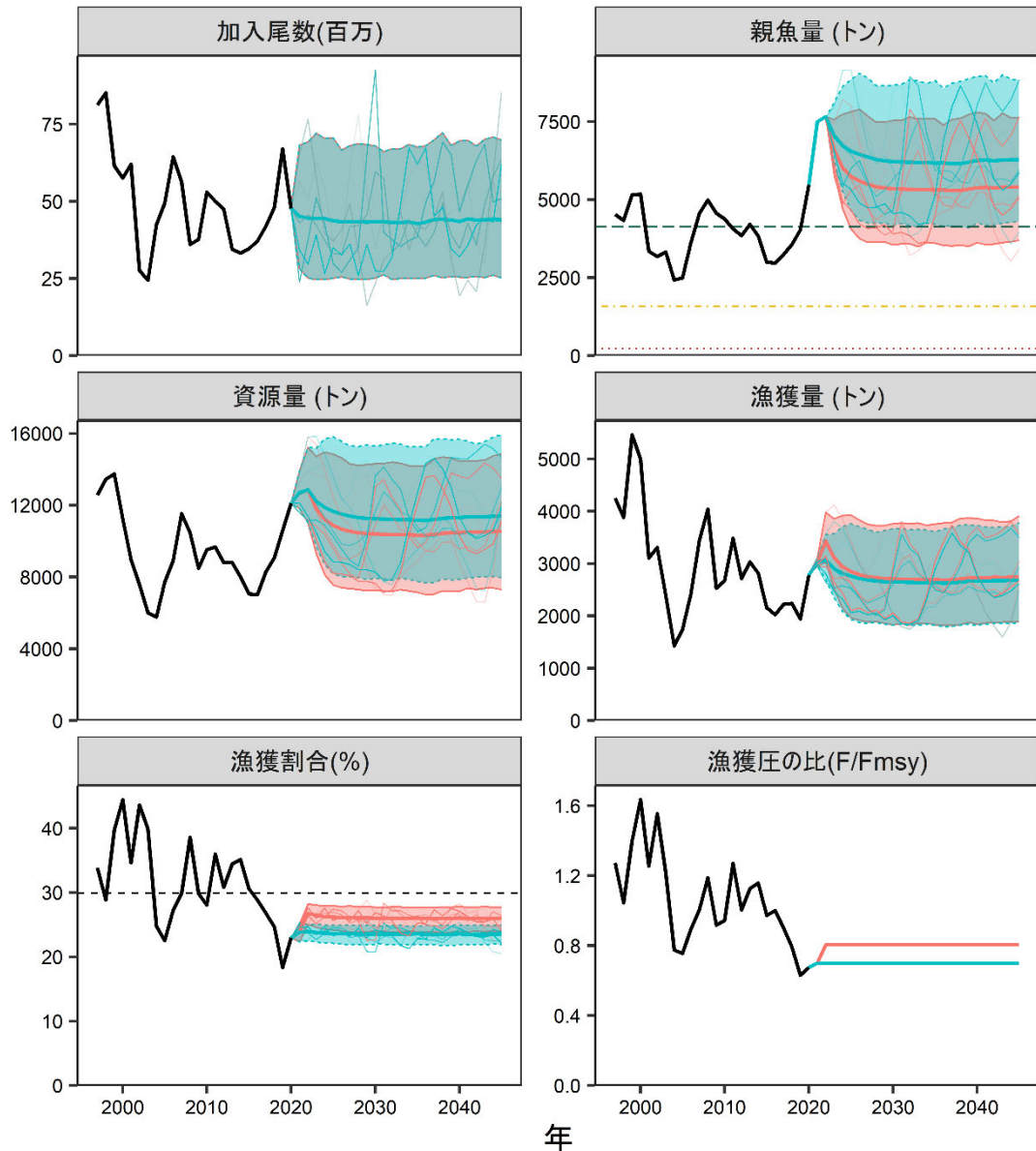


図 6. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

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案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2021 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2018-2020) により仮定し、2022 年以降の漁獲は漁獲管理規則案 (図 5) に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。

表 1. 候補となる再生産関係

再生産関係式	最適化法	AICc	$\Delta AICc$	s.d.	データ数
BH	最小二乗法	15.6	-	0.250	22
RI	最小二乗法	16.2	0.6	0.253	22
HS	最小二乗法	16.8	1.2	0.255	22
BH	最小絶対値法	17.3	1.7	0.254	22
RI	最小絶対値法	17.5	1.9	0.255	22
HS	最小絶対値法	19.5	3.9	0.269	22

提案する再生産関係を太字で示した。自己相関パラメータの推定には、再生産関係式のパラメータと分けて推定する二段階推定法を用いた。そのため、ここに示した AICc は自己相関を考慮しないモデルの AICc である。

表 2. MSY 管理基準値の算出および将来予測に用いた各種パラメータ

年齢	自然死亡係数	成熟率	平均体重 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (F2018-2020)
1	0.30	0	56.6	0.18	0.09
2	0.30	0	96.2	1.21	0.43
3	0.30	1	140.5	1.00	0.37
4 歳以上	0.30	1	282.4	1.00	0.37

現状の漁獲圧 (F2018-2020) は 2018～2020 年の平均値である。

表 3. 各種管理基準値案の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 (F2018-2020: 2018～2020 年の F 値の平均値) に対する努力量の比、および最大持続生産量 (MSY) を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数 (Fmsy)

管理基準値案	説明	親魚量 (百トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (百トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲 割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBmsy	41	0.17	28	18	0.30	1.10
限界管理基準値案	SB0.6msy	16	0.07	17	11	0.36	1.52
禁漁水準案	SB0.1msy	2	0.01	3	10	0.37	1.63
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(1 歳, 2 歳, 3 歳, 4+歳) = (0.09, 0.65, 0.53, 0.53)					

表 4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	100	100	100	100	86	60	53	47	46	44	43	42	42	44	42
0.9	100	100	100	100	97	82	73	70	67	66	64	65	65	65	63
0.8	100	100	100	100	99	94	88	86	84	84	85	83	84	85	83
0.7	100	100	100	100	100	99	96	95	96	96	95	95	95	95	95
0.6	100	100	100	100	100	100	100	99	99	100	99	99	99	99	99
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2018-2020	100	100	100	100	100	99	96	96	96	96	95	96	96	96	95

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため F2018-2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 5. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2018-2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため F2018-2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 6. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2018-2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため F2018-2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 7. 将来の平均親魚量の推移（百トン）

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	55	75	77	59	49	45	43	42	41	41	41	41	41	41	41
0.9	55	75	77	63	55	51	49	48	47	47	47	46	46	47	47
0.8	55	75	77	66	60	57	56	55	54	54	53	53	53	54	54
0.7	55	75	77	70	67	65	64	63	63	62	62	62	62	62	62
0.6	55	75	77	74	74	74	74	73	73	72	72	72	72	72	72
0.5	55	75	77	78	82	84	85	85	85	84	84	84	84	85	85
0.4	55	75	77	83	90	95	98	99	100	100	100	100	100	101	100
0.3	55	75	77	88	100	108	113	116	118	118	119	119	119	120	120
0.2	55	75	77	93	111	123	132	137	140	142	143	143	144	146	146
0.1	55	75	77	98	123	141	154	162	167	171	174	175	176	181	181
0.0	55	75	77	104	136	161	180	193	202	208	213	217	220	228	229
F2018-2020	55	75	76	70	67	65	64	64	63	62	62	62	62	62	62

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため F2018-2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 8. 将来の平均漁獲量の推移（百トン）

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	28	30	41	34	31	29	28	28	28	27	27	27	27	28	28
0.9	28	30	38	33	30	29	28	28	28	27	27	27	27	28	27
0.8	28	30	34	31	29	28	28	28	27	27	27	27	27	27	27
0.7	28	30	31	29	28	28	27	27	27	27	27	27	27	27	27
0.6	28	30	27	27	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
0.5	28	30	23	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
0.4	28	30	19	20	21	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23
0.3	28	30	15	16	18	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20
0.2	28	30	10	12	13	14	15	15	16	16	16	16	16	16	16
0.1	28	30	5	6	7	8	9	9	9	9	10	10	10	10	10
0.0	28	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2018-2020	28	30	31	29	28	28	27	27	27	27	26	26	26	27	27

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため F2018-2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 9. 予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

β	10 年後の 目標達成 確率	予測平均親魚量 (トン)		予測平均漁獲量 (トン)			リスク(10 年間に 1 度でも 起きる確率)		
	親魚資源 量が目標 管理基準 値案を上 回る	5 年後	10 年後	0 年後	5 年後	10 年後	親魚量 が現在 の水準 を下回 る	親魚量 が限界 管理基 準値を 下回る	漁獲量 が半減 する
		2027 年	2032 年	2022 年	2027 年	2032 年			
1	42%	4,190	4,050	4,081	2,784	2,731	0%	0%	0%
0.9	65%	4,789	4,636	3,766	2,776	2,724	0%	0%	0%
0.8	84%	5,494	5,331	3,433	2,751	2,700	0%	0%	0%
0.7	95%	6,328	6,165	3,081	2,702	2,656	0%	0%	0%
0.6	99%	7,319	7,177	2,710	2,618	2,583	0%	0%	0%
0.5	100%	8,502	8,419	2,318	2,485	2,466	0%	0%	0%
0.4	100%	9,920	9,962	1,903	2,281	2,287	0%	0%	0%
0.3	100%	11,630	11,907	1,466	1,979	2,014	0%	0%	0%
0.2	100%	13,698	14,398	1,004	1,539	1,599	0%	0%	0%
0.1	100%	16,213	17,643	516	904	968	0%	0%	0%
0	100%	19,284	21,950	0	0	0	0%	0%	0%

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した結果をまとめた。

漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度（0 年後）の 2022 年の値と、5 年および 10 年管理を行った後の値（2027 年および 2032 年）を示した。

補足資料 1 再生産関係式のモデル診断結果について

最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量の算出および将来予測計算に使用する再生産関係として、ホッケー・スティック型再生産関係 (HS ; Clark et al. 1985)、ベバートン・ホルト型再生産関係 (BH ; Beverton and Holt 1957) およびリッカー型再生産関係 (Ricker 1954) を検討対象の候補とした。R_yをy年当初の加入量、B_yをy年当初の親魚量、A_{min}を加入年齢 (本資源の場合にはA_{min} = 1) としたときのそれぞれの再生産関係式の数式は以下の通りである。

$$R_y = \begin{cases} ab & \text{if } B_{y-A_{min}} > b \\ aB_{y-A_{min}} & \text{if } B_{y-A_{min}} \leq b \end{cases} \quad (\text{Hockey stick, HS})$$

$$R_y = \frac{aB_{y-A_{min}}}{(1 + bB_{y-A_{min}})} \quad (\text{Beverton Holt, BH})$$

$$R_y = aB_{y-A_{min}} \exp(-bB_{y-A_{min}}) \quad (\text{Ricker, RI})$$

いずれの再生産関係式でも、推定するパラメータは a および b の 2 つである。再生産関係の検討の際には、推定された再生産曲線からの加入量の残差標準偏差 (S.D.) も併せて算出した (「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 3 年度研究機関会議版) (FRA-SA2021-ABCWG01-02)」)。また、「再生産関係の決定に関するガイドライン (FRA-SA2021-ABCWG01-03)」に基づきモデル選択を行なった。

まず各再生産関係の予測力 (AICc) を比較したところ、最小二乗法を用いた場合の AICc が総じて低くなったことから、最小二乗法による最適化を用いることとした (ガイドライン、3a)。一方で、最小二乗法により推定された各再生産関係 (HS 型、RI 型、BH 型) の AICc の差は 1.2 以内とわずかであった (本文表 1)。これは本系群の親魚量と加入尾数の変動の範囲が狭く、いずれの関係式を用いても同程度に適合しているためであると考えられた (補足図 1-1)。ブートストラップ解析の結果では RI 型・BH 型を当てはめた場合のばらつきが非常に大きくなった (補足図 1-2)。このように明瞭な密度効果が認められない資源では、現実的な再生産関係が得られる HS 型再生産曲線を当てはめることが推奨されている (ガイドライン、2b)。よって、本系群においては HS 型再生産曲線の採用を提案する。推定された再生産関係式のパラメータを補足表 1-1 に示す。

本系群ではいずれの最適化法・関係式を用いても残差の自己相関が認められたため (補足図 1-3)、残差の自己相関を考慮した (ガイドライン 3h)。自己相関係数の推定には、HS 型を用いた場合でも推定値が安定し、バイアスがより小さい二段階推定法を採用した (技術ノート 3.2)。

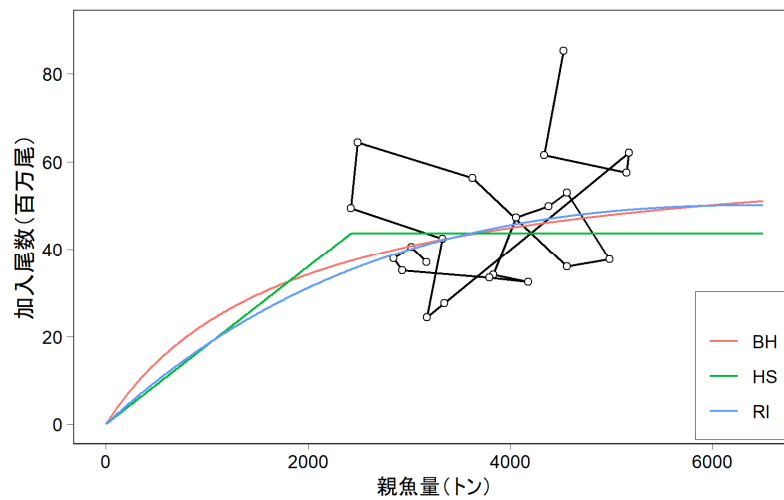
なお、本系群では直近の資源量にレトロスペクティブバイアスがあるため (吉川ほか 2020)、直近 1~3 年分のデータを除いたデータセットを用いた推定結果についても検討した (ガイドライン 1c)。データを取り除いた場合でも AICc は最小二乗法を用いた方が小さく (補足図 1-4)、RI 型・BH 型は HS 型よりも不安定な結果を示した (補足図 1-5)。また、いずれの最適化法・再生産関係式の組み合わせでも、加入量の残差に対して自己相関を考慮すると AICc (技術ノート 3.2 における式 (9) の尤度に基づく) が小さくなり、残差の自己相関が認められた (補足図 1-6)。さらに、RI 型、BH 型ではデータを取り除くとパラメータの推定値が変化するのに対し、HS 型のパラメータはデータを取り除いた場合でも変化しな

いことが確かめられた（補足図 1-7）。以上より、直近年の不確実性に対しても頑健な HS 型を本系群の再生産関係式として採用した。

HS 型のモデル診断結果を補足図 1-8～1-9 に示す。HS 型を適用した場合の残差分布は、正規分布からの有意な逸脱は認められなかった（Shapiro-Wilk 検定 $P = 0.754$ 、Kolmogorov-Smirnov 検定 $P = 0.802$ 、補足図 1-8）。また、推定されたパラメータは、残差のブートストラップ解析（補足図 1-9）においても頑健であった。二段階推定により自己相関を考慮した結果、残差の 1 年差の自己相関は解消されていた（補足図 1-3）。

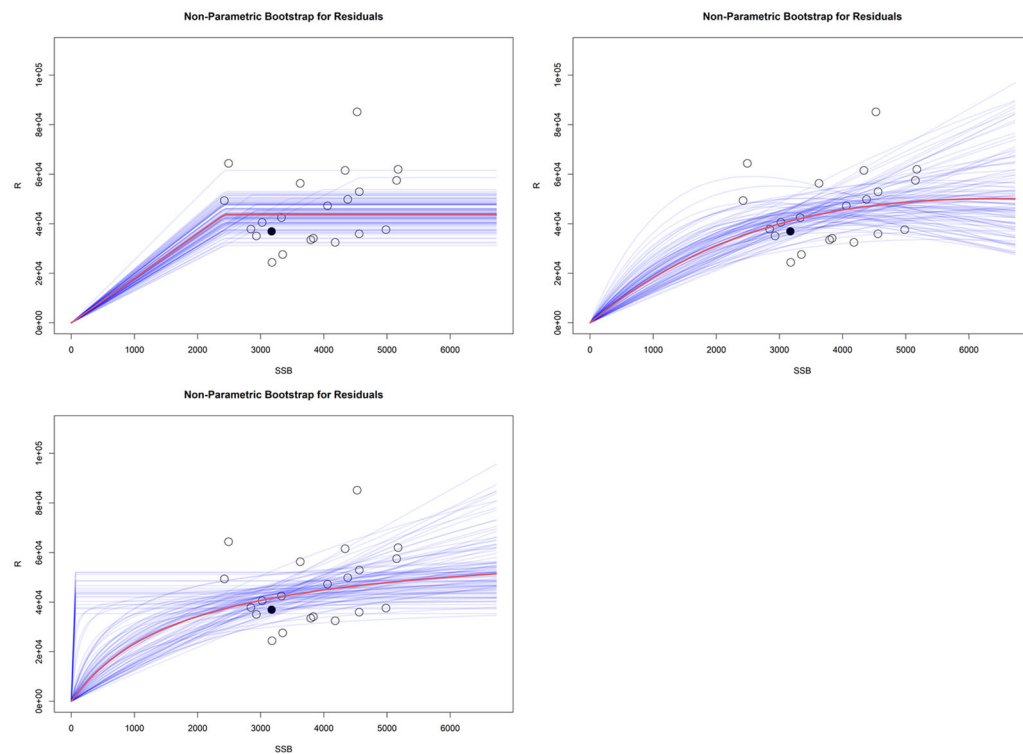
引用文献

- ABCWG (2021) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和 3 年度）. FRA-SA2021-ABCWG01-02.
- ABCWG (2021) 再生産関係の決定に関するガイドライン（令和 3 年度）. FRA-SA2021-ABCWG01-03.
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957) On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Clark C. W., A. T. Charles, J. R. Beddington, and M. Mangel (1985) Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Mar. Resou. Econ.*, **2**, 25-53.
- Ricker W. E. (1954) Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **11**, 559–623.
- 吉川 茜・飯田真也・八木佑太・藤原邦浩 (2020) 令和元年度ソウハチ日本海系群の資源評価. 令和元年度我が国周辺水域の漁業資源評価
(http://abchan.fra.go.jp/digests2020/html/2020_66.html)



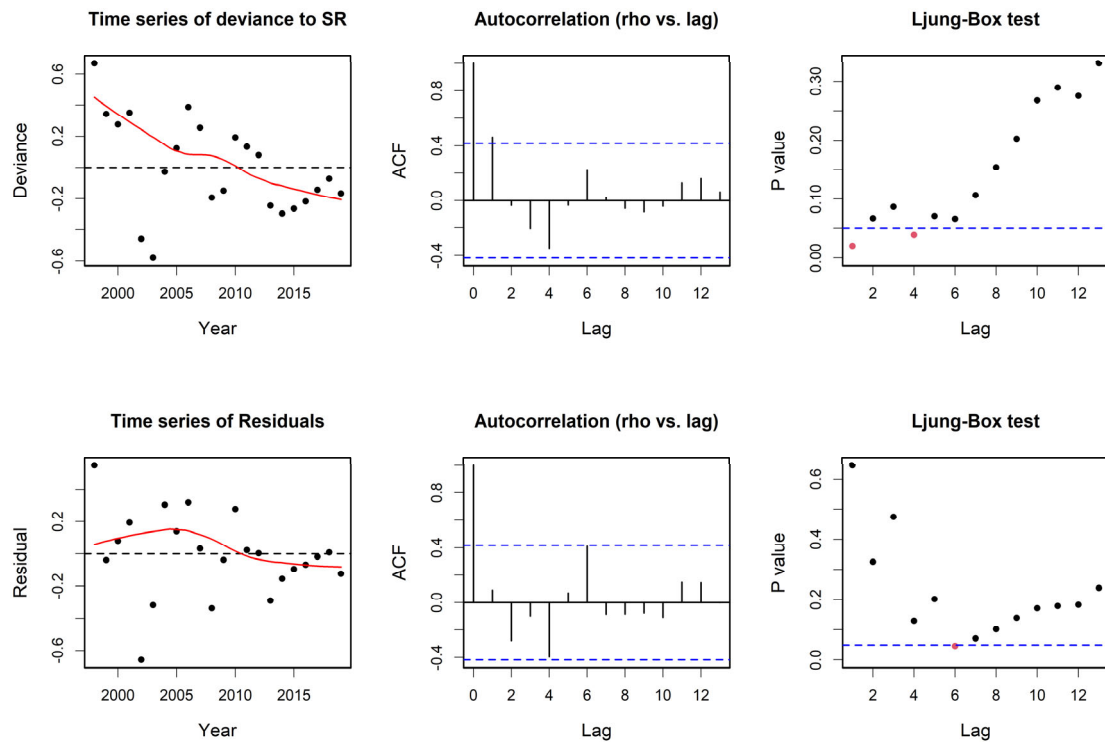
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産曲線

HS 型（緑）、RI 型（青）、BH 型（赤）の再生産関係式を、それぞれ自己相関を考慮した最小二乗法により当てはめた。白丸および黒線は 1997～2018 年の親魚量と 1 年後の加入尾数の関係を示す。



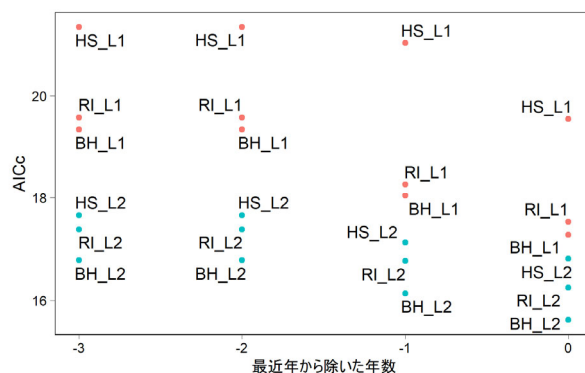
補足図 1-2. 各モデルの残差ブートストラップ解析の結果

一例として、自己相関を考慮した最小二乗法により当てはめた HS 型（左上）、RI 型（右上）、BH 型（左下）における、残差のリサンプリングによるブートストラップ解析（試行回数 100 回）の結果を示す。



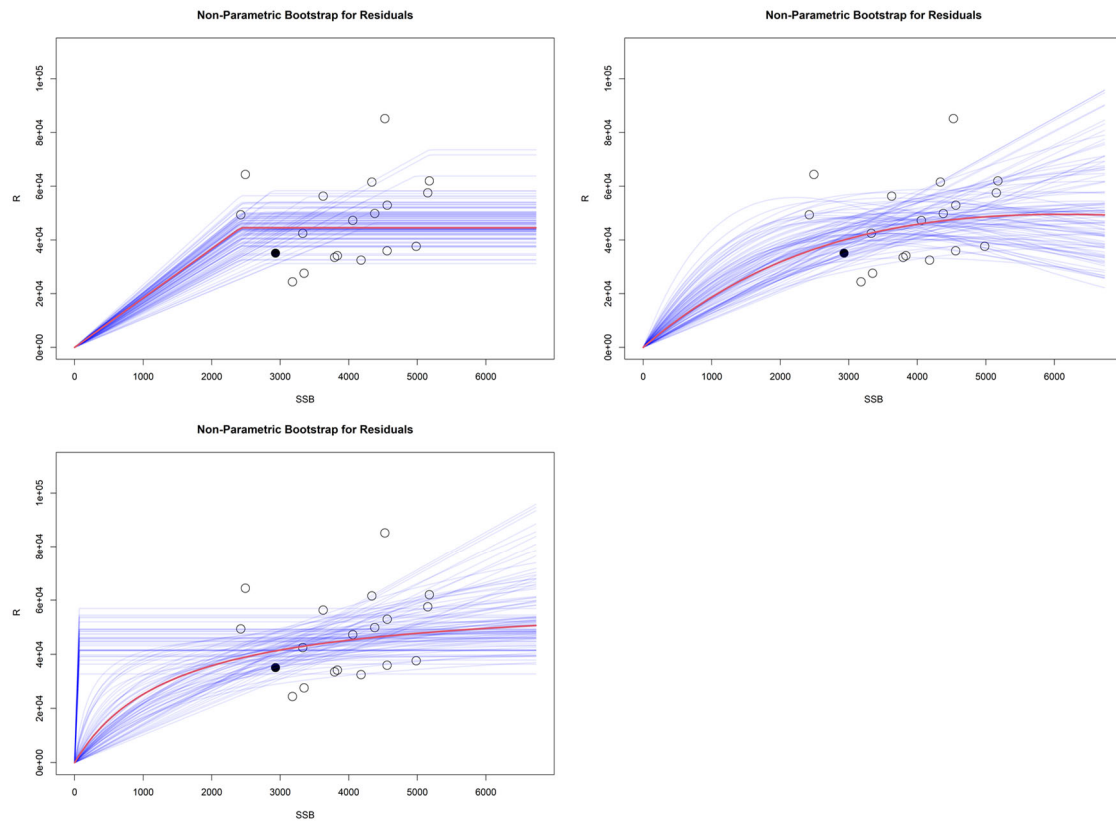
補足図 1-3. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、自己相関を考慮する前（上段）および二段階推定で考慮（下段）した時の残差（residual）のトレンド（左図）、自己相関プロット（中央図）、および Ljung-Box 検定における P 値（右図）

残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値（縦軸）の青色の点線は 5%水準を表す。一例として HS 型の結果を示したが、他の最適化法・再生産関係式を用いた場合でも、同様に 1 年差の自己相関が認められた。



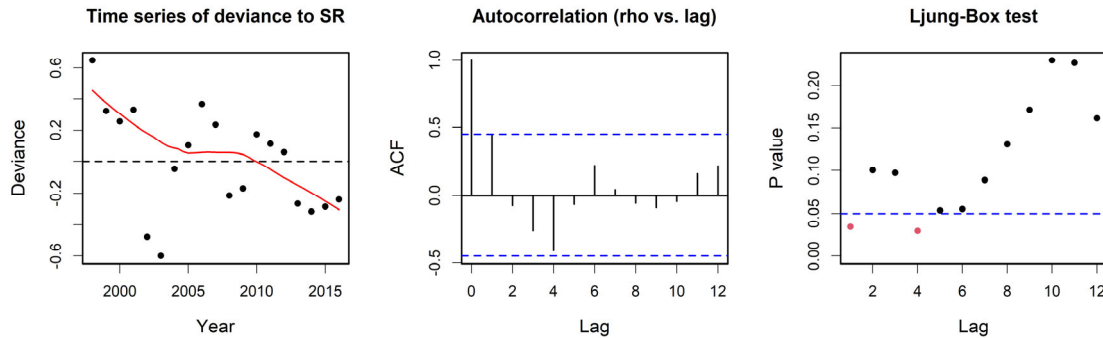
補足図 1-4. 直近年からデータを 1～3 年ずつ除いた場合の AICc

L1: 最小絶対値法 L2: 最小二乗法。ここに示した AICc は自己相関を考慮しないモデルの AICc である。

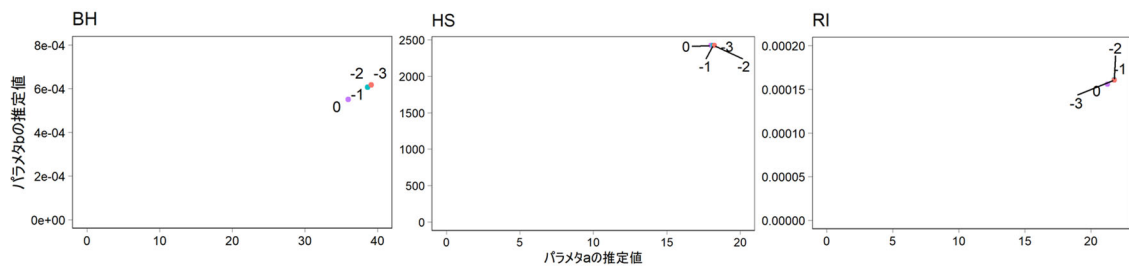


補足図 1-5. 直近 3 年分（2017～2019 年）のデータを除いた時の各モデルの残差ブートストラップ解析の結果

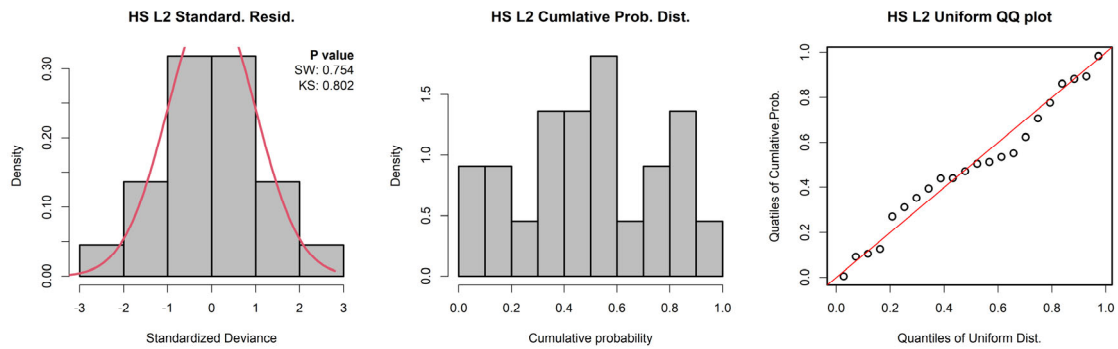
一例として自己相関を考慮した最小二乗法により当てはめた HS 型（左上）、RI 型（右上）、BH 型（左下）における、残差のリサンプリングによるブートストラップ解析（試行回数 100 回）の結果を示す。直近 1～2 年分のデータを除いた場合でも同様の結果が得られた。



補足図 1-6. 直近 3 年分（2017～2019 年）のデータを除いた時の残差（residual）のトレンド（左図）、自己相関プロット（中央図）、および Ljung-Box 検定における P 値（右図）一例として、最小二乗法によって最適化された HS 型において、自己相関を考慮しなかった場合の診断結果を示す。赤の実線は平滑化した残差を、青の点線は 95%信頼区間を示す。直近 1～2 年分のデータを除いた場合や、他の最適化法・再生産関係式を用いた場合でも、同様に 1 年差の自己相関が大きい傾向が認められた。

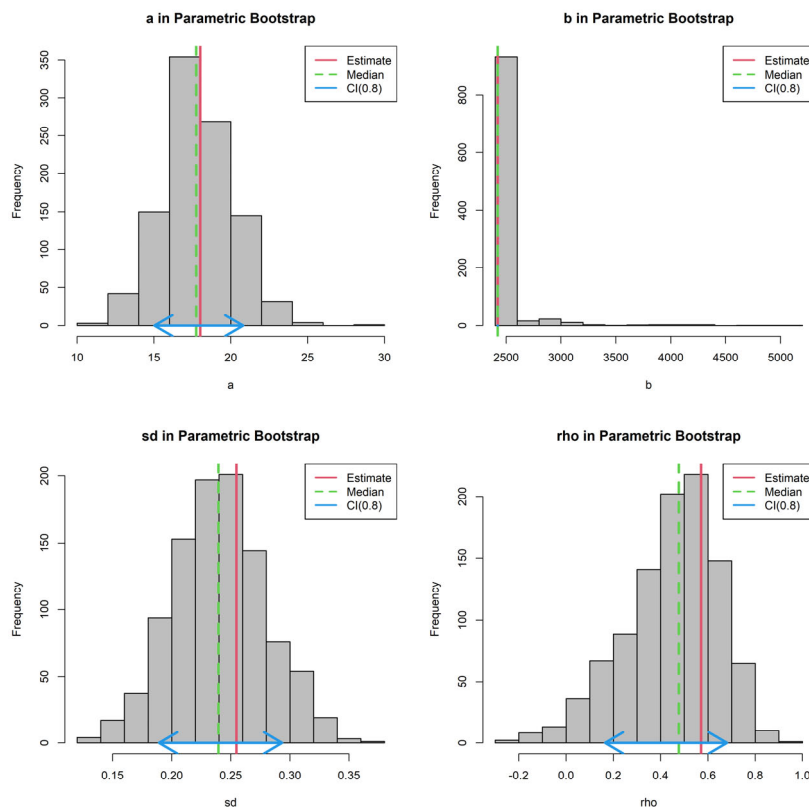


補足図 1-7. 直近年からデータを 1～3 年ずつ除いた場合の各モデルの推定パラメータ 自己相関を考慮した最小二乗法により当てはめた BH 型（左）、HS 型（中央）、RI 型（右）における、直近年のデータを除いた場合のパラメータ a、b の推定値を示す。



補足図 1-8. HS 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差の分布と正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）

残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。



補足図 1-9. ホッカー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線）

赤の実線は推定値を、緑の破線はデータに基づく中央値を、青の矢印は 80%信頼区間を示す（試行回数 1,000 回）。

補足表 1-1. MSY 管理基準値案算出に使用した再生産関係式における各パラメータ推定値

再生産関係式	最適化法	自己 相関	a	b	S.D.	ρ	R0	h	データ 数
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	有	18.012	2423.602	0.255	0.571	43655	0.893	22
リッカー (RI)	最小 二乗法	有	21.258	0.000	0.253	0.544	29604	1.369	22
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	有	35.971	0.001	0.250	0.547	61814	0.824	22
ホッケー・ スティック (HS)	最小 絶対値法	有	11.654	5174.964	0.269	0.554	60307	0.835	22
リッカー (RI)	最小 絶対値法	有	17.781	0.000	0.255	0.546	41998	1.186	22
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 絶対値法	有	19.385	0.000	0.254	0.545	108872	0.716	22

推奨する再生産関係式を太字とした。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。 ρ は二段階推定法により求めた自己相関パラメータである。R0はSB0のときの平均加入尾数（万尾）、hは0.2SB0になったときのR0に対する加入の比（スティープネス）である。

補足資料 2 従来の限界管理基準値について

本系群の従来の資源評価では、限界管理基準値に相当する資源の回復措置をとる閾値（Blimit）として過去最低親魚量（SBmin）の 24 百トンを用いていた。新たに限界管理基準値案として提案する SB0.6msy では基準が 16 百トンに引き下げられるため（補足表 2-1）、本資料では限界管理基準値案として SBmin を適用した場合の将来予測を行い、SB0.6msy を用いた場合と比較した（補足表 2-2）。いずれの限界管理基準値案を用いても各管理基準値を達成する確率・平均親魚量・平均漁獲量に差異はなかった。よって、本系群では限界管理基準値案として ABC 算定のための基本指針における標準値である SB0.6msy を提案する。

なお、この将来予測は現在の資源水準（親魚量が SBmsy を達成している）に基づいている点には留意が必要である。親魚量がこれまで観察されることがないような水準まで減少した場合、SBmin を用いた場合はより迅速に回復に向けた漁獲制御を開始することができる。そのため、保守的な管理が求められる場合には SBmin を限界管理基準値案に用いることも考えられる。

補足表 2-1. 限界管理基準値案の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、漁獲割合、および現状の漁獲圧（F2018-2020）に対する比

管理基準値案	説明	親魚量 (百トン)	SB0 に対 する比	平均漁獲量 (百トン)	漁獲 割合	現状の 漁獲圧に 対する比
限界管理基準値案	SB0.6msy	16	0.07	17	0.36	1.52
限界管理基準値案	SBmin	24	0.10	24	0.35	1.44

補足表 2-2. 限界管理基準値案を SB0.6msy または SBmin としたときの将来予測結果の比較
親魚量が目標管理基準値案・限界管理基準値案を上回る確率、平均親魚量、平均漁獲量を示す。調整係数 β は 0.8 とした。

項目	限界管理基準値案	2021	2026	2032
目標管理基準値を上回る確率(%)	SB0.6msy	100	88	84
	SBmin	100	88	84
限界管理基準値を上回る確率(%)	SB0.6msy	100	100	100
	SBmin	100	100	100
平均親魚量(トン)	SB0.6msy	7,493	5,595	5,331
	SBmin	7,493	5,595	5,331
平均漁獲量(トン)	SB0.6msy	3,023	2,789	2,700
	SBmin	3,023	2,789	2,700

年齡別漁獲尾数 (百万尾)

年齢別漁獲重量 (トン)

年齡別漁獲係數

年齡別資源尾数 (百万尾)

年齢別資源重量 (トン)

年齢別親魚量 (トン)

年齢別平均体重 (g)

年齢別選択率

[illegible]

年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1歳	0.9	5.4	7.6	7.4	2.5	2.2	2.8	2.5	3.1	2.9	2.2
2歳	8.5	9.7	16.2	11.2	13.8	9.7	8.3	9.8	10.0	9.5	9.6
3歳	5.3	3.5	4.8	4.2	4.8	4.3	3.6	3.4	2.8	3.2	3.2
4歳以上	3.6	3.4	3.5	2.8	3.2	4.2	2.6	2.1	2.2	2.3	2.0
計	18.4	22.0	32.2	25.6	24.2	20.4	17.2	17.8	18.1	17.9	17.0

年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1歳	45	280	390	350	126	130	146	134	184	162	120
2歳	753	861	1,430	1,002	1,359	933	815	860	1,009	957	832
3歳	721	491	668	589	689	617	525	444	410	468	407
4歳以上	1,012	1,041	994	773	858	1,135	673	584	620	652	582
計	2,531	2,672	3,483	2,713	3,032	2,815	2,159	2,022	2,222	2,239	1,942

年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1歳	0.03	0.13	0.20	0.20	0.09	0.08	0.10	0.09	0.10	0.09	0.07
2歳	0.55	0.54	0.78	0.56	0.82	0.67	0.57	0.71	0.67	0.57	0.52
3歳	0.58	0.52	0.65	0.53	0.56	0.77	0.64	0.54	0.50	0.53	0.42
4歳以上	0.58	0.52	0.65	0.53	0.56	0.77	0.64	0.54	0.50	0.53	0.42
単純平均	0.44	0.43	0.57	0.46	0.51	0.57	0.49	0.47	0.44	0.43	0.36

年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1歲	38	53	50	47	34	32	34	35	38	41	37
2歲	23	27	35	30	29	23	22	22	24	25	28
3歲	14	10	12	12	13	9	9	9	8	9	11
4歲以上	10	10	9	8	9	9	6	6	7	7	7
計	84	100	105	97	84	74	71	73	76	82	82

年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1歲	1,854	2,735	2,545	2,228	1,751	1,887	1,772	1,892	2,243	2,238	2,045
2歲	2,062	2,397	3,057	2,714	2,820	2,225	2,177	1,968	2,408	2,565	2,381
3歲	1,897	1,402	1,631	1,656	1,862	1,335	1,284	1,228	1,202	1,324	1,372
4歲以上	2,662	2,976	2,426	2,175	2,317	2,457	1,646	1,616	1,819	1,847	1,961
計	8,475	9,511	9,659	8,773	8,749	7,904	6,880	6,704	7,673	7,974	7,759

年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1歲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2歲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3歲	1,897	1,402	1,631	1,656	1,862	1,335	1,284	1,228	1,202	1,324	1,372
4歲以上	2,662	2,976	2,426	2,175	2,317	2,457	1,646	1,616	1,819	1,847	1,961
計	4,560	4,379	4,057	3,831	4,178	3,792	2,930	2,844	3,021	3,172	3,333

年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1歲	49	52	51	47	51	58	53	54	59	55	55
2歲	89	88	88	89	98	96	98	88	101	101	86
3歲	135	142	139	142	145	143	146	132	147	146	129
4歲以上	278	304	280	275	272	273	261	275	280	281	287

[illegible]