

令和 4（2022）年度キンメダイ太平洋系群の 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

令和 4 年度における本系群の資源評価データを用いて、関東沿岸から伊豆諸島周辺海域における再生産関係および管理基準値案等を検討した。本系群の再生産関係式の候補として、資源評価により推定された 2000～2020 年の親魚量と加入量の情報に対して、加入の残差の自己相関を考慮しないホッケ－・スティック（HS）型再生産関係の適用を提案する。HS 型再生産関係のパラメータ推定方法には最小二乗法を使用する。目標管理基準値として、再生産関係に基づき算出される SBmsy（24.3 千トン）を、限界管理基準値として、SB0.6msy（12.8 千トン）を提案する。禁漁水準として、SB0.1msy（2.0 千トン）を提案する。目標管理基準値案（SBmsy）を達成する漁獲圧（Fmsy）は、現状（2016～2021 年の漁獲係数の平均）の 0.98 倍である。

親魚量 (千トン)	現状の親魚量* ¹ 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 (千トン)	現状の漁獲圧 に対する比* ²	説 明
目標管理基準値案					
24.3	1.05	0.22	4.7	0.98	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					
12.8	0.56	0.12	2.8	1.12	MSY の 60%の漁獲 が得られる親魚量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
2.0	0.09	0.02	0.5	1.20	MSY の 10%の漁獲 が得られる親魚量 (SB0.1msy)
2021 年					
23.1	1.00	0.21	3.8	—	2021 年の値

*¹ 現状の親魚量とは 2021 年の親魚量である。

*² 現状の漁獲圧とは 2016～2021 年を平均した漁獲圧である。現状の漁獲圧に対する比とは、各管理基準値案および水準案を達成する漁獲圧が現状の漁獲圧に対して何倍に相当するかを示す係数である。なお、年齢別選択率は現状の漁獲圧における年齢別選択率に基づく。

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 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」に従い、関東沿岸から伊豆諸島周辺海域において資源評価を実施した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（v2.2.0.3）を用いた。frasyr で用いた式の詳細は「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 4 年度研究機関会議版）（FRA-SA2022-ABCWG02-04）」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
資源量・親魚量・ 加入尾数・漁獲係数	令和 4 年度キンメダイ太平洋系群の資源評価(水産庁・水産機構)

1-2) 再生産関係の検討

本系群の管理基準値案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（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。最適化方法として、最小二乗法および最小絶対値法を候補とした（補足資料 1）。また、加入量の残差について自己相関の考慮の有無でモデルより比較した。自己相関パラメータを推定する際は、再生産関係式のパラメータと同時に推定する手法（同時推定法）と別々に推定する方法（二段階推定法）を用いた。再生産関係の検討には、資源評価で推定された 2000～2020 年の加入量および当該年級の親魚量に基づき、直近の 2021 年の推定結果は、加入量の不確実性が高いと考えられることから使用しなかった。再生産関係の検討候補を表 1 に示す。

補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると、最小絶対値法より最小二乗法の方が、また自己相関を考慮しない場合より自己相関を考慮する場合の方が、当てはまりが良い傾向がある。同一の推定方法、自己相関を考慮の有無においては、HS 型、BH 型および RI 型の当てはまりは同程度であった（表 1、補足資料 1）。しかし、BH 型および RI 型は、推定された親魚量の極大値が過去の親魚量の範囲外に位置することから、その生物学的な妥当性を検証する材料は少ないと考え、現状では便宜的再生産関係を仮定する HS 型が適当と考えられた。また、自己相関を考慮した場合、いずれの再生産関係においても自己相関係数が 0.9 以上という非常に高い値が推定された（補足表 1-1）。高い自己相関係数を加味した再生産関係をもとに将来予測を実施すると、直近の加入量が低いため、将来的な加入量も HS 型で加入が一定となる水準より低い状態が長期にわたり継続するとの結果となった（補足資料 2）。本系群では、産卵期から稚仔魚期において夏季の黒潮流路など海洋環境によっても着底量が大きく変化し、時として卓越年級群が出現することが知られている（米沢ほか 2011、亘ほか 2017）。米沢ら（2011）は 1991 年級群、1997 年級群などが卓越年級群であった推定している。したがって、自己相関を考慮することで統計的な説明力は高くなるものの、突発的な高豊度の加入が確認されている本系群の特徴とは、必ずしも一致しない。一方、自己相関

を仮定しない HS 型の再生産においては、将来的な加入量は直近の過去の加入による影響を受けないことを仮定していることから、今後、直近よりも高い加入量が発生するシミュレーション結果も得られている（図 7）。また、資源評価に用いた年齢別漁獲尾数は、年によらず同一の Age length key で得られたものである（FRA-SA2022-SC02-01）。そのため、ある年に前後の年級群よりも高水準の加入群が出現しても、高水準の加入年級群の資源尾数が前後の年級群に振り分けられることによって、再生産関係における加入量推定値からの残差の大きさが実際より過小に推定される一方、自己相関は過大に見積もられている可能性が考えられる。したがって、今後の加入動向を十分注視する必要はあるものの、生物過程によりもたらされる加入量の自己相関の程度は推定されたものよりもはるかに小さいと考え、本系群の再生産関係の候補としては自己相関無しの HS 型再生産関係式を用いることが適当と考えられる。

1-3) 再生産関係の候補

本系群の再生産関係の候補としては、「再生産関係の決定に関するガイドライン（FRA-SA2022-ABCWG02-05）」の a（予測力）、b（便宜的仮定）および d（外挿の回避）の基準に従い、最小二乗法で最適化した自己相関を考慮しない HS 型再生産関係式を提案する（図 1、表 1）。

2. 管理基準値

2-1) データセットおよび計算方法

最大持続生産量（MSY）に対応する管理基準値案等の算出、および将来予測は、「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-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 4 年度の資源評価に用いた各種設定（自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重）を使用して実施した（表 2）。本年度の資源評価では $F_{current}$ を 2021 年の F 値とした。しかし、2021 年単年の漁獲圧はこれまでの自主的管理による削減に加え、黒潮大蛇行や新型コロナウイルス感染症に関連する出漁の抑制など、特殊な要因が含まれると考えられた。このため、本種の解析では現状の漁獲圧として近年の黒潮大蛇行発生前の年も参照する期間で 2016～2021 年の漁獲係数（ F 値）の平均（ $F_{2016-2021}$ ）を用いた（図 2、表 2）。本系群では、平均世代時間（12.7 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、その際の平均漁獲量が最大化される F 値を F_{msy} 、その F_{msy} で漁獲した場合の平衡状態での平均親魚量を SB_{msy} とした。

2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

目標管理基準値（ SB_{target} ）として MSY 水準における親魚量（ SB_{msy} : 24.3 千トン）、限界管理基準値（ SB_{limit} ）として MSY の 60%の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.6msy}$: 12.8 千トン）、禁漁水準（ SB_{ban} ）として MSY の 10%の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.1msy}$: 2.0 千トン）を用いることを提案する。これらの基準値案について、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、対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量、対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比などを表 3 に示す。目標管理基準値として提案する SBmsy は SB0 の 22% に相当し、その親魚量において期待できる漁獲量の平均値 (MSY) は 4.7 千トンである。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/F2016-2021) は 0.98 で、その時の漁獲割合 (Umsy) は 14% である。限界管理基準値として提案する SB0.6msy は SB0 の 12%、禁漁水準として提案する SB0.1msy は SB0 の 2% である。

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図 3 に示す。親魚量が SBmsy 達成時までは漁獲物の年齢構成はあまり変化しない。一方、親魚量がさらに増加するにつれて高齢魚の比率が高くなる傾向がみられる。また、過去の F/Fmsy の比率の推移は年代により増減し、2002～2006 年や 2012～2013 年、2019 年以降に 1 を下回っていた (図 4)。

2-3) 神戸プロット

目標管理基準値案である SBmsy と、その時の漁獲圧 Fmsy を基準にした神戸プロットを図 5 に示す。本系群における漁獲係数 (F 値) は、2007～2011 年、2014～2018 年までは、MSY を実現する水準を上回っていたが、2019 年以降は Fmsy を実現する水準を下回っていたと判断される。親魚量は 2017 年以降増加傾向である。現状の親魚量 (2021 年の親魚量: 23.1 千トン) は目標管理基準値案 SBmsy をわずかに下回る値である。現状の親魚量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 1.05、0.56 および 0.09 である。

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 Fmsy には調整係数 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、SBlimit は SB0.6msy、SBban は SB0.1msy 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 6a 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 6b に示す。図に例示した漁獲管理規則案では、いずれも β に 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

限界管理基準値案と禁漁水準案に β を 0.8 とした漁獲管理規則案 (図 6a) で将来予測した場合の、加入尾数、親魚量、資源量、漁獲量、漁獲割合、漁獲圧の比の推移を図 7 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制御は 2023 年から開始し、2022 年の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2016-2021) から仮定した。

予測される 2023 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 β_{Fmsy} での漁獲が行われる。 $\beta = 0.8$ の場合、 β_{Fmsy} での漁獲圧は、現在の漁獲圧の 79%の漁獲圧に相当する。中長期的には、 β_{Fmsy} での漁獲の継続により 10 年以内に漁獲量および親魚量は平均的には MSY 水準へ向かって推移していくと予測される。

(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、親魚量の平均値の推移、および漁獲量の平均値の推移を表 4~8 に示した。それぞれの表には、現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。本系群の親魚量は 2022 年時点で目標管理基準値案の 95%であり、 β が 0.9 であれば、漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2033 年には 77%の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された (表 4)。 β が 1 の場合には、親魚量が目標管理基準値案を上回る確率が 26%となり、50%を下回った。なお、 β が 1 であっても限界管理基準値案以上に親魚量を維持できることが示された (表 5)。2023 年以降の親魚量は β が低いほど増加した (表 7)。また、 β が 0.8 以上であれば、2027 年には現状 (2021 年 : 3.84 千トン) よりも多い漁獲量が得られる結果となった (表 8)。表 9 に、上述の結果の要約を示すとともに、親魚量や漁獲量に係るリスクについて評価した結果を示した。なお、親魚量は β が 0.95、0.96 であれば、漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2033 年には、それぞれ 54%、48%の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された。

(3) 再生産関係式の標準偏差に関する検討

令和 4 (2022) 年度キンメダイ太平洋系群の資源評価 (FRA-SA2022-SC02-01) において、検討すべき課題として示されている通り、年齢別漁獲尾数の算出にあたってはすべての年の情報を用い、毎年共通の Age length key を使用している。そのため、上記のとおり、再生産関係における加入量予測値と観測値の残差の大きさが実際より過小に推定される一方、自己相関は過大に見積もられている可能性が考えられる。このような Age length key の扱いなどに起因して加入量推定値により大きな変動が含まれていた場合、管理基準値案の設定や将来予測にどのような影響を与えるのかを確認するため、感度解析を行った。RI 型や BH 型を用いたメタ解析の知見ではあるが、再生産関係における標準偏差の平均値は自己相関がある群で 0.74、観察されない群で 0.43 と報告されている (Thorson et al. 2014) 両値を参考に、HS 型再生産関係式で推定された標準偏差 0.201 (表 1b) を、2 倍の 0.402、4 倍の 0.804 に変化させた場合に算定される管理基準値案や将来予測について検討した。

本資料 2-4) で提案する漁獲管理規則案について、HS 型再生産関係式の標準偏差を 2 倍にすると調整係数 β の値は 0.9 以下、標準偏差を 4 倍にすると調整係数 β の値は 0.8 以下であれば、10 年後の 2033 年に目標管理基準値案を 50%以上の確率で達成すると予測された (補足資料 3)。また、これらのケースにおいて β が 1 であっても、限界管理基準値案以上に親魚量を維持することは可能であると予測された。

一方、本資料 1-3) で候補とした再生産関係のパラメータのうち標準偏差を 2 倍、4 倍と

変化させた条件で、2.管理基準値、と同様の管理基準値案、漁獲管理規則案の試算を行ったところ、目標管理基準値案とする SBmsy 値は標準偏差が 2 倍で 26.6 千トン 4 倍で 31.2 千トンとなった。このとき、標準偏差を 2 倍にすると調整係数 β の値は 0.9 以下、標準偏差を 4 倍にすると調整係数 β の値は 0.8 以下であれば、10 年後 2033 年に目標管理基準値案を 50%以上の確率で達成すると予測された（補足資料 4）。また、これらのケースにおいて β が 1 であっても、限界管理基準値案以上に親魚量を維持できると予測された。

3. まとめ

本系群では、資源評価で推定された関東沿岸から伊豆諸島周辺海域における 2000～2020 年の加入量および当該年級の親魚量に基づいて、再生産関係モデルに自己相関を考慮しない HS 型再生産関係式を採用し、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 (24.3 千トン) とすることを提案する。限界管理基準値案、禁漁水準案には、標準値である SB0.6msy (12.8 千トン)、SB0.1msy (2.0 千トン) 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案以下にあると考えられる。MSY を実現する漁獲割合は 14%、漁獲圧は F2016-2021 の 0.98 倍である（表 3）。 β が 0.9 以下であれば、今後も 50%以上の確率で親魚量は MSY 水準に維持されると予測される。

4. 今後の検討事項

本種の 2019 年以降の F 値は Fmsy を下回り推移しているが、これは黒潮大蛇行、新型コロナウイルス感染症による影響を踏まえた出漁抑制といった条件も重なった結果を反映したものと考えられる。今後、海洋環境が好転し、操業条件が良くなった際には、出漁日数など 2019～2021 年と同じ条件であっても、漁獲効率の上昇により、意図せず漁獲圧が増加する可能性もある。現状の漁獲圧の解釈には留意が必要である。

5. 引用文献

- ABCWG (2022) 令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2022-ABCWG02-01
- ABCWG (2022) 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 4 年度研究機関会議版). FRA-SA2022-ABCWG02-04.
- ABCWG (2022) 再生産関係の決定に関するガイドライン. FRA-SA2022-ABCWG02-05.
- Thorson, J.T. Jensen, O.P. and Zipkin, E.F. (2014) How variable is recruitment for exploited marine fishes? A hierarchical model for testing life history theory. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **71**, 973–983.
- 亘 真吾・米沢純爾・武内啓明・加藤正人・山川正巳・萩原快次・越智洋介・米崎史郎・藤田 薫・酒井 猛・猪原 亮・宍道弘敏・田中栄次 (2017) キンメダイの資源生態と資源管理. 水産研究・教育機構研究報告, **44**, 1-46.
- 米沢純爾・小埜田 明・橋本 浩・鈴木達也・岡部 久・飯沼紀雄・林 芳弘・阪地英男 (2011) 漁獲量, CPUE, 尾叉長組成からみた日本近海におけるキンメダイの資源動向. 黒潮の

資源海洋研究, **12**, 9-97.

(執筆者：亘 真吾、川内陽平、青木一弘、竹村紫苑、竹茂愛吾、半沢祐大)

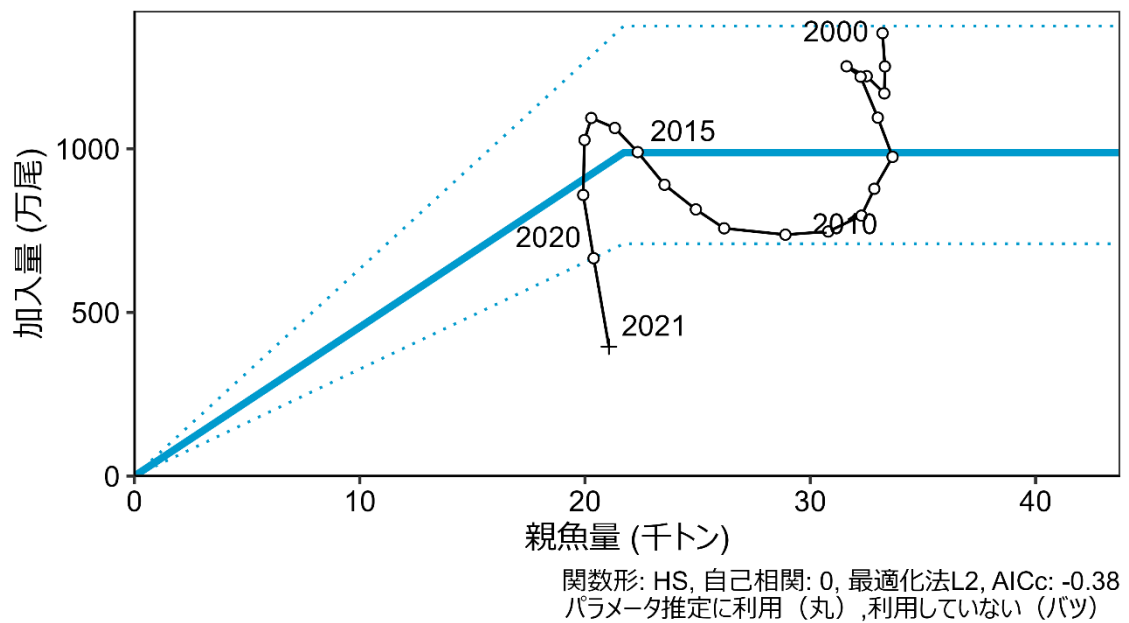


図 1. 再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮しないホッケー・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。丸印は分析に使用した 2000～2020 年の加入量と当該年級の親魚量を示す。図中の数字は各年級群が加入する 2 歳時点の年を示す。パラメータ推定の際は加入尾数の推定値に不確実性の高い 2021 年のデータを除いた。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。

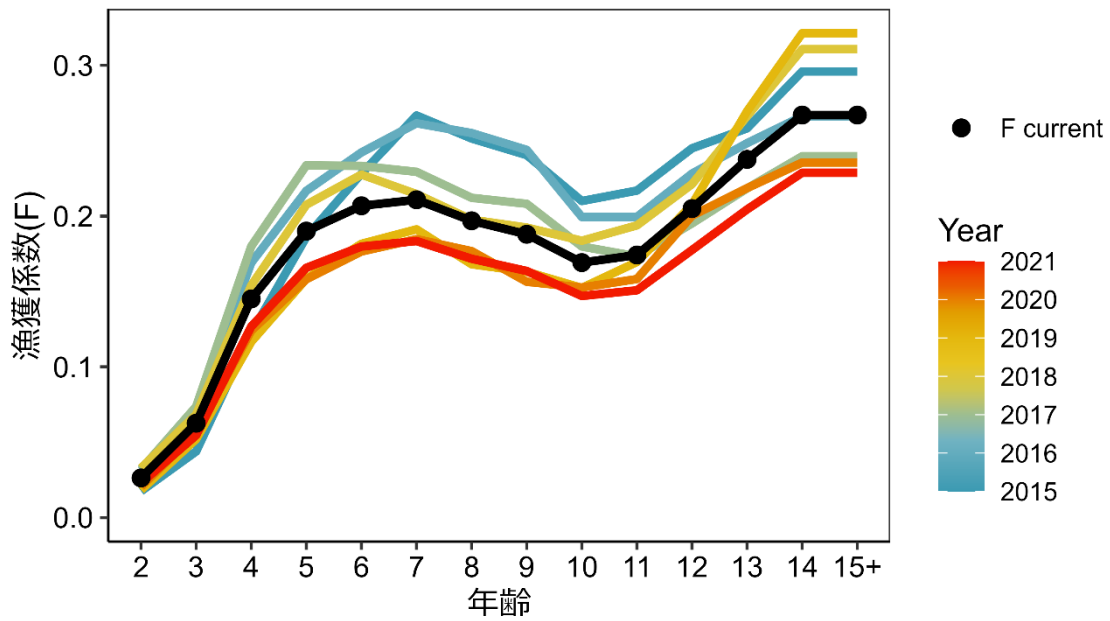


図 2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

2015 年以降の各年の年齢別 F 値を示す。黒線は現状の漁獲圧 (F2016-2021) であり、2016~2021 年の F 値の平均である。

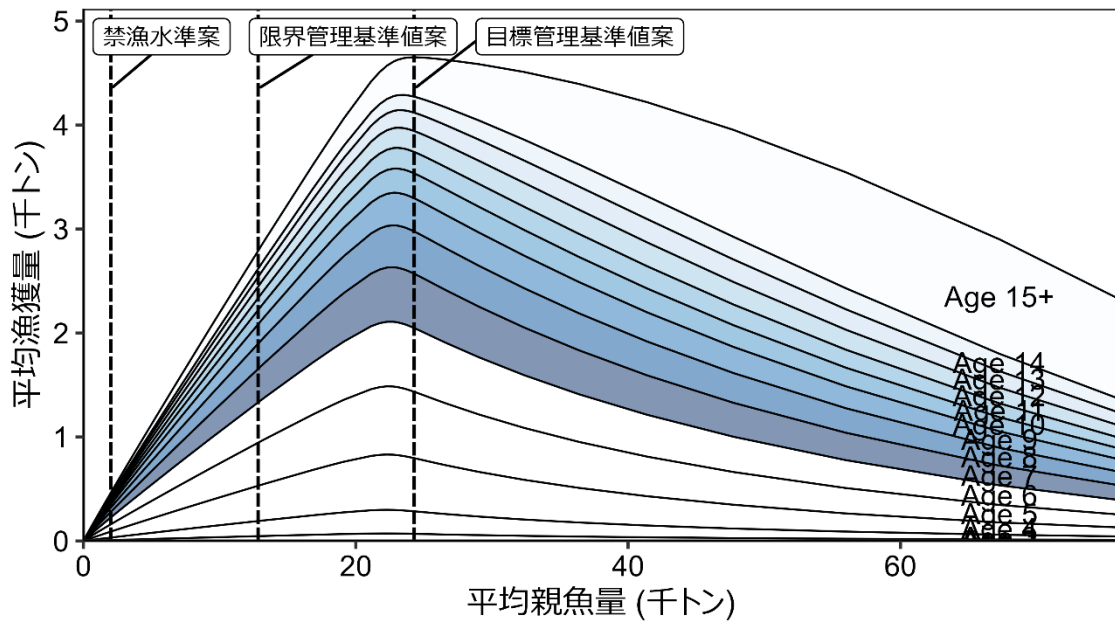


図 3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、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。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。提案する漁獲管理規則案 (HCR) で使用した調整係数 β は 0.8 である。

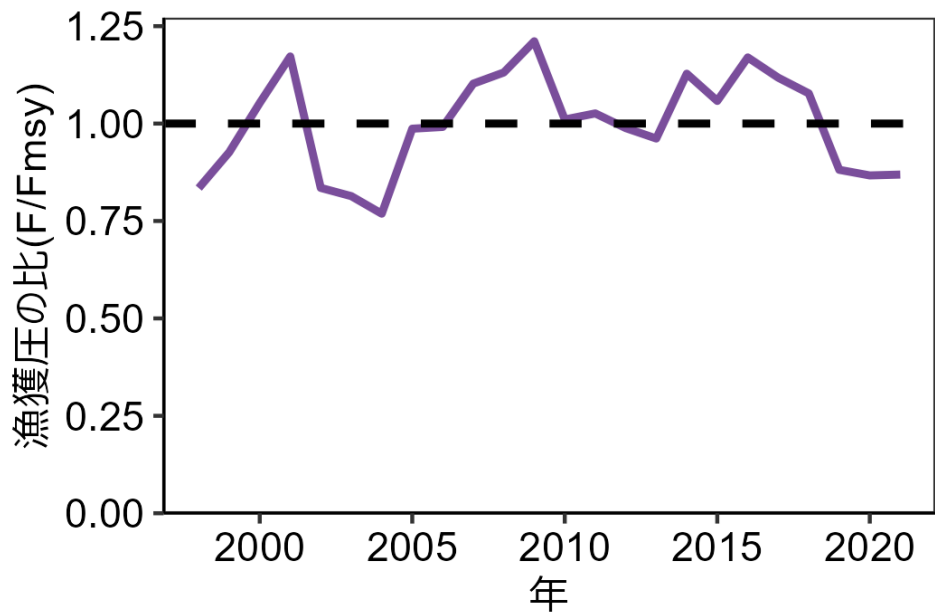


図 4. 漁獲圧の比 (F/F_{msy}) の経年変化

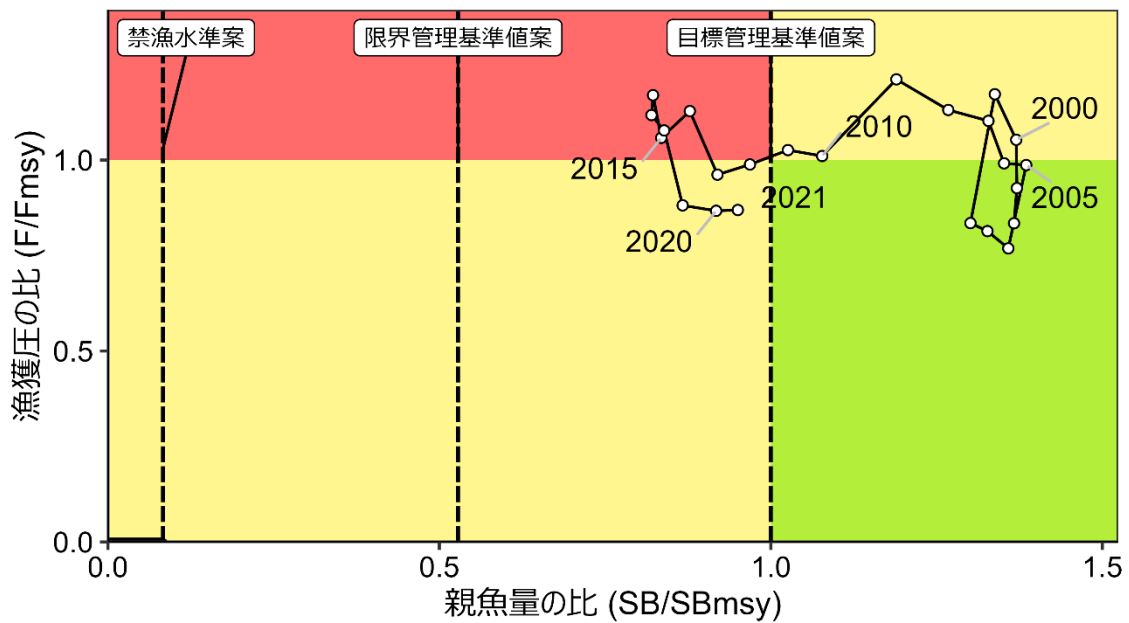
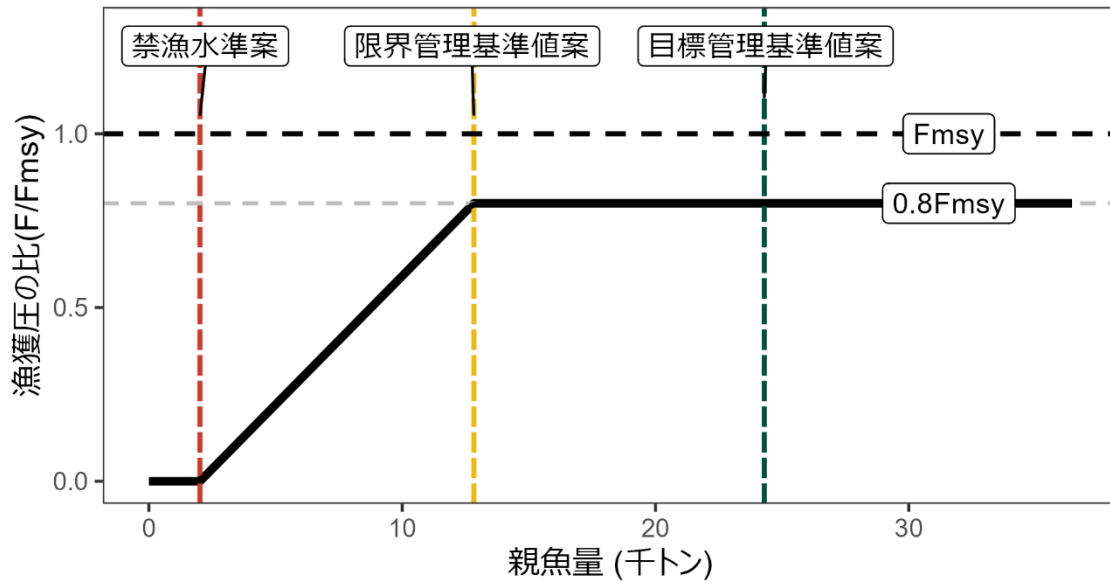


図 5. 神戸プロット

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) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

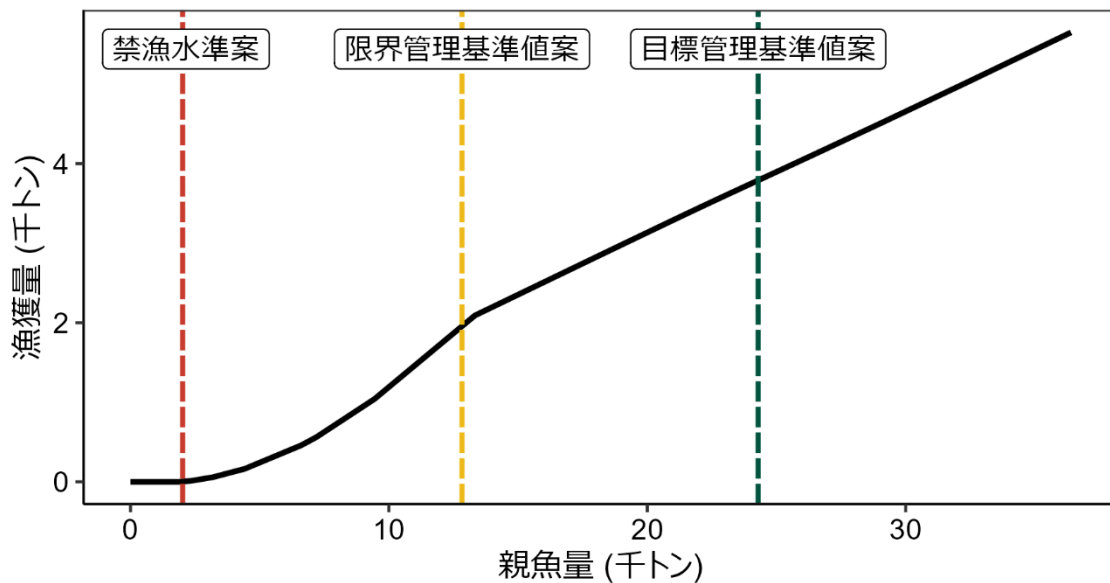


図 6. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は HS 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} 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。

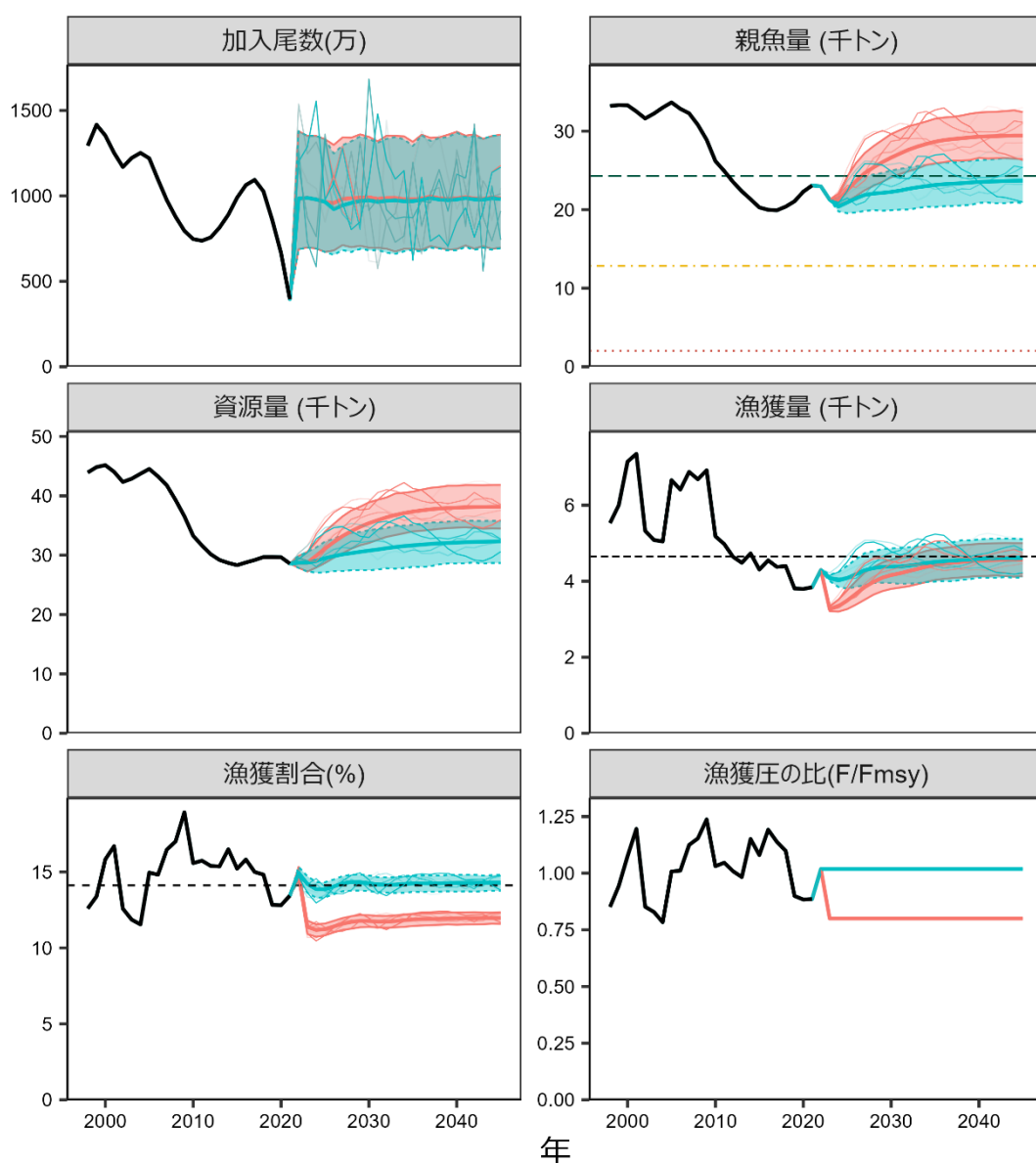


図 7. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

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。2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧（F2016-2021）により仮定し、2023 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. 再生産関係式の検討候補

a) 再生産関係式の検討候補

再生産関係式	最適化法	自己相関		AICc	Δ AICc	順位
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	無	-	-0.38	24.96	5
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	無	-	-2.29	23.05	3
リッカー(RI)	最小二乗法	無	-	-1.82	23.51	4
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	有	同時	-25.34	0	1
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	有	同時	-25.34	0	1
リッカー(RI)	最小二乗法	有	同時	-24.95	0.39	2
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	有	二段階	-0.38	24.96	5
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	有	二段階	-2.29	23.05	3
リッカー(RI)	最小二乗法	有	二段階	-1.82	23.51	4
ホッケー・スティック(HS)	最小絶対値法	無	-	5.74	31.08	8
ベバートン・ホルト(BH)	最小絶対値法	無	-	3.88	29.21	6
リッカー(RI)	最小絶対値法	無	-	4.15	29.48	7
ホッケー・スティック(HS)	最小絶対値法	有	二段階	5.74	31.08	8
ベバートン・ホルト(BH)	最小絶対値法	有	二段階	3.88	29.21	6
リッカー(RI)	最小絶対値法	有	二段階	4.15	29.48	7

推奨する再生産関係式を太字とした。順位は AICc の値に基づくものであり、最終的に推奨する再生産関係の順位を示したものではない。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同時に推定する同時推定法を用いた。この場合、残差の正規性を仮定したほうが妥当と考え、最適化法には最小二乗法を用いた。

b) 選択した再生産関係のパラメータ推定値

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
HS 型	最小二乗法	無	454.85	21,723.3	0.201	-

a は原点から折れ点までの傾き（尾/トン）、b は折れ点での親魚量（トン）、S.D. は加入のばらつきの大きさをあらわす指標（対数残差の標準偏差）、 ρ は自己相関係数である。

表 2. MSY 管理基準値等の算出および将来予測計算に用いた各種設定

年齢	自然死亡 係数	成熟率	平均重量 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (F2016-2021)
2	0.1	0.0	289	0.099	0.026
3	0.1	0.0	434	0.234	0.063
4	0.1	0.5	543	0.543	0.145
5	0.1	1.0	666	0.712	0.190
6	0.1	1.0	783	0.775	0.207
7	0.1	1.0	901	0.789	0.211
8	0.1	1.0	987	0.737	0.197
9	0.1	1.0	1,111	0.704	0.188
10	0.1	1.0	1,204	0.633	0.169
11	0.1	1.0	1,307	0.652	0.174
12	0.1	1.0	1,439	0.768	0.205
13	0.1	1.0	1,503	0.890	0.238
14	0.1	1.0	1,620	1.000	0.267
15+	0.1	1.0	1,721	1.000	0.267

F2016-2021 は 2016～2021 年の F 値の年齢別平均値である。

表 3. 各種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 (F2016-2021) 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)

管理基準値案	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	SBmsy	24.3	0.22	4.7	22.4	0.14	0.98
限界管理基準値案	SB0.6msy	12.8	0.12	2.8	19.8	0.16	1.12
禁漁水準案	SB0.1msy	2.0	0.02	0.5	18.6	0.16	1.20
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳, 8 歳, 9 歳, 10 歳, 11 歳, 12 歳, 13 歳, 14 歳, 15+歳) = (0.03, 0.06, 0.14, 0.19, 0.20, 0.21, 0.19, 0.18, 0.17, 0.17, 0.20, 0.23, 0.26, 0.26)					

表 4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

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。
2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	3	6	8	11	14	18	22	26	44	49
0.9	0	0	0	0	1	9	23	35	44	53	64	72	77	91	93
0.8	0	0	0	0	4	28	58	75	87	94	96	98	99	100	100
0.7	0	0	0	0	14	61	90	98	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	0	0	35	90	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	0	0	67	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	0	92	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	0	3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	28	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	0	68	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	0	0	0	1	5	6	7	10	13	16	19	35	36

表 5. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

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。
2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表 6. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

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。
2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表 7. 将来の親魚量の平均値の推移 (千トン)

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。
2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	23	23	21	20	21	22	22	22	22	23	23	23	23	24	24
0.9	23	23	21	21	22	23	23	24	24	25	25	25	26	27	27
0.8	23	23	21	21	22	24	25	25	26	27	27	28	28	29	29
0.7	23	23	21	22	23	25	26	27	28	29	30	30	31	33	33
0.6	23	23	21	22	24	26	28	29	30	31	32	33	34	37	37
0.5	23	23	21	22	25	27	29	31	33	34	35	36	37	41	42
0.4	23	23	21	23	26	28	31	33	35	37	39	40	42	47	48
0.3	23	23	21	23	27	30	33	36	38	40	43	45	46	55	56
0.2	23	23	21	24	27	31	35	38	41	44	47	50	52	64	67
0.1	23	23	21	24	28	33	37	41	45	49	52	55	58	76	82
0	23	23	21	25	29	34	39	44	49	53	58	62	66	92	102
現状の漁獲圧	23	23	21	20	21	21	22	22	22	22	22	23	23	24	24

表 8. 将来の漁獲量の平均値の推移（千トン）

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。

2022 年漁期は現状の漁獲圧（F2016-2021）で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	3.8	4.3	4.0	4.0	4.0	4.1	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.6	4.6
0.9	3.8	4.3	3.6	3.7	3.8	3.9	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.6	4.6
0.8	3.8	4.3	3.3	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.6	4.6
0.7	3.8	4.3	2.9	3.0	3.2	3.4	3.6	3.7	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.5	4.5
0.6	3.8	4.3	2.5	2.6	2.8	3.1	3.3	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.3	4.4
0.5	3.8	4.3	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	4.1	4.2
0.4	3.8	4.3	1.7	1.9	2.0	2.3	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.8	3.9
0.3	3.8	4.3	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.3	2.5	2.6	2.7	2.8	3.4	3.5
0.2	3.8	4.3	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.7	2.8
0.1	3.8	4.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.6	1.8
0	3.8	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧	3.8	4.3	4.1	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.6	4.6

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 (千トン)		予測平均漁獲量 (千トン)			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年目	5年後	10年後	親魚量が 現在の水 準を下回 る	親魚量が 禁漁水準 を下回る	漁獲量が 半減する
		2028年	2033年	2023年	2028年	2033年			
1	26	22	23	4.0	4.3	4.4	100%	0%	0%
0.9	77	24	26	3.6	4.2	4.4	100%	0%	0%
0.8	99	25	28	3.3	4.0	4.3	100%	0%	0%
0.7	100	27	31	2.9	3.7	4.2	100%	0%	0%
0.6	100	29	34	2.5	3.5	4.0	98%	0%	0%
0.5	100	31	37	2.1	3.1	3.7	93%	0%	0%
0.4	100	33	42	1.7	2.7	3.3	78%	0%	0%
0.3	100	36	46	1.3	2.2	2.8	43%	0%	0%
0.2	100	38	52	0.9	1.6	2.1	9%	0%	0%
0.1	100	41	58	0.4	0.8	1.2	0%	0%	0%
0	100	44	66	0.0	0.0	0.0	0%	0%	0%
現状の 漁獲圧 (F2016 -2021)	19	22	23	4.1	4.3	4.4	100%	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年目）の 2023 年の値と、5 年および 10 年管理を行った後の値（2028 年および 2033 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（HS；Clark et al., 1985）型、ベバートン・ホルト（BH；Beverton and Holt 1957）型、およびリッカー（RI；Ricker 1954）型の再生産関係式を検討候補とした。 R_y を y 年の加入量、 B_y を y 年当初の親魚量、 $A_{\min}$ を加入年齢（本系群の場合は $A_{\min}$ は 2 歳）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。HS 型の場合、 a は折れ点までの再生産曲線の傾き（尾/トン）、 b は折れ点となる親魚量（千トン）を示す。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。

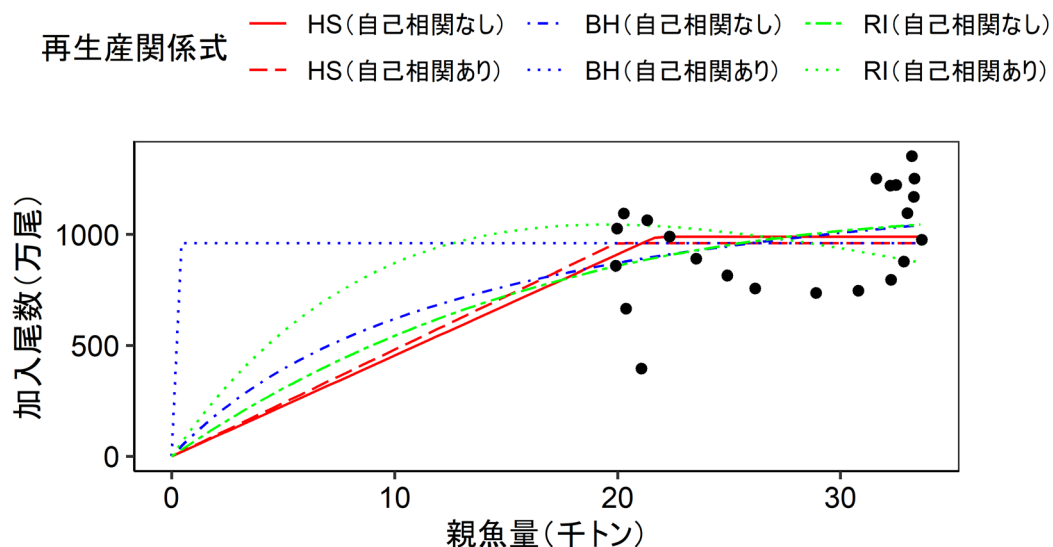
本系群の再生産関係として、HS 型、RI 型、および BH 型の再生産関係式を、最小二乗法および最小絶対値法により 2000～2020 年の加入量・親魚量のデータに当てはめた。残差の自己相関（AR）については、自己相関パラメータ ρ もモデルに組み込み、再生産関係式のパラメータと同時に推定する“同時推定法”を用いた（詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（FRA-SA2022-ABCWG02-04）を参照）。この場合、残差の正規性を仮定したほうが妥当であるため、最適化法には最小二乗法を用いた。推定された再生産関係式のパラメータを補足表 1-1 に示す。RI 型および BH 型を仮定した場合は、極大値が観測された親魚量の範囲外に位置し、これらを積極的に採用する生物学的な根拠は乏しいと考えられた（補足図 1-1）。

HS 型再生産関係式を最小二乗法により当てはめた場合の残差トレンドと自己相関プロットを補足図 1-2 に示す。HS 型再生産関係を仮定した場合、自己相関は有意であると推定された。推定された自己相関係数 ρ は、同時推定で 0.933、二段階推定で 0.946 といずれも非常に高い値であった（補足表 1-1）。キンメダイの生物特性として前年や前々年の加入量水準が今年の加入に強く影響するという知見は少なく、逆に浮遊する稚仔魚期における海洋環境に起因して高水準の加入が前後の年とは関係なく発生する可能性も示唆されている。また、今回推定された、非常に高い自己相関係数を持つ再生産関係をもとに、将来予測を実施すると、HS 型で加入が一定となる水準より低い状態が長期にわたり継続する結果となり（補足資料 2）、突発的に出現する高加入を考慮することができない。統計的には自己相関を考慮した再生産関係が有意ではあるものの、資源生物学的な観点から、自己相関を考慮しない再生産関係を選択することが妥当と考えられた。（表 1、補足図 1-3）。

再生産関係モデルに対する残差の正規性については、Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定により検討したが(補足図 1-3)、有意な逸脱は検出されなかった。自己相関を考慮しないモデルについて、HS 型再生産関係式を最小二乗法により当てはめる上での個々のデータの影響をジャックナイフ法により検討したところ、推定の頑健性に大きな問題はみられなかった(補足図 1-4 および 1-5)。パラメータ推定の信頼区間は残差ブートストラップにより検討した(補足図 1-6 および 1-7)。また、プロファイル尤度を補足図 1-8 に示した。これらの結果からは、パラメータ推定において特段の問題は認められず、最適解として推定されていると考えられた。

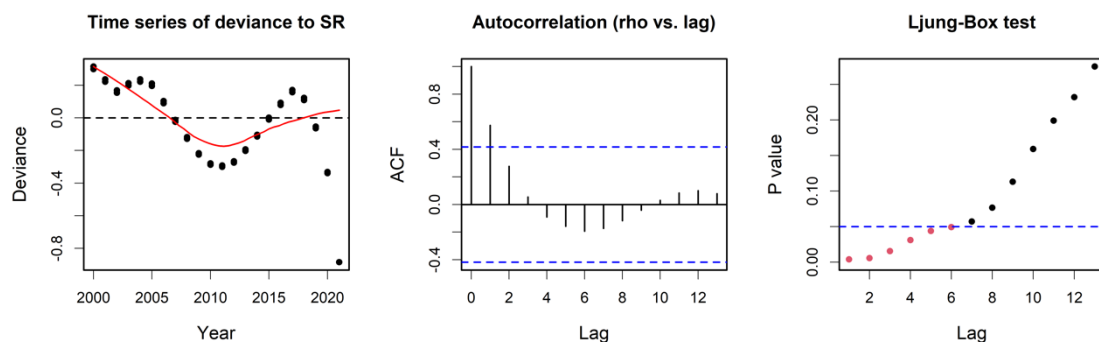
引用文献

- ABCWG (2020) 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 2 年度研究機関会議版). FRA-SA2020-ABCWG01-02.
- 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. Resour. Econ., 2, 25-53.
- Ricker W. E. (1954). Stock and recruitment. J. Fish. Res. Board Can., 11, 559-623.



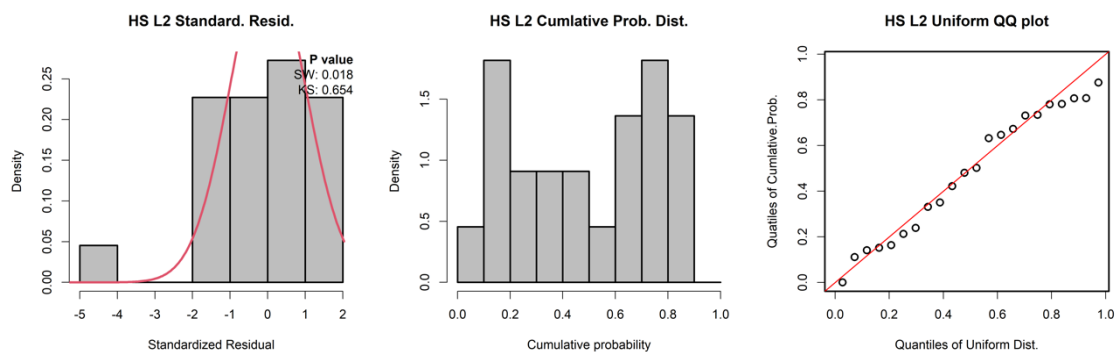
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

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) の自己相関あり同時推定と自己相関なしの再生産関係式を、最小二乗法により当てはめた。黒丸は分析に使用した親魚量・加入尾数 (2000～2020 年) である。



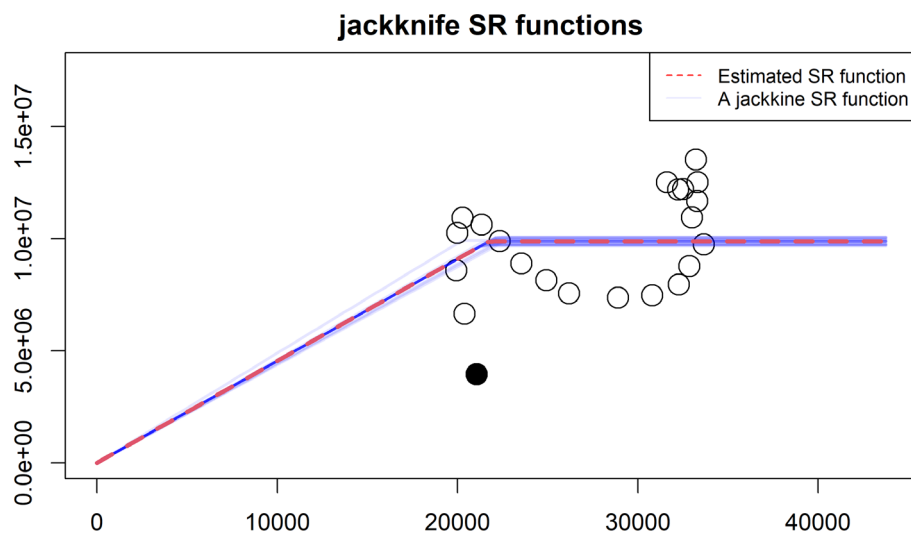
補足図 1-2. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差トレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図)

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。



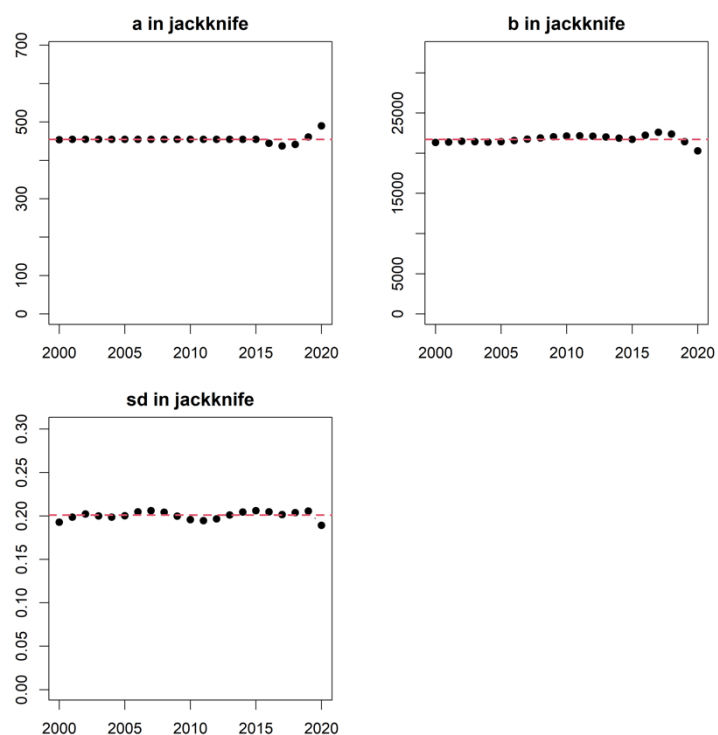
補足図 1-3. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）

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。

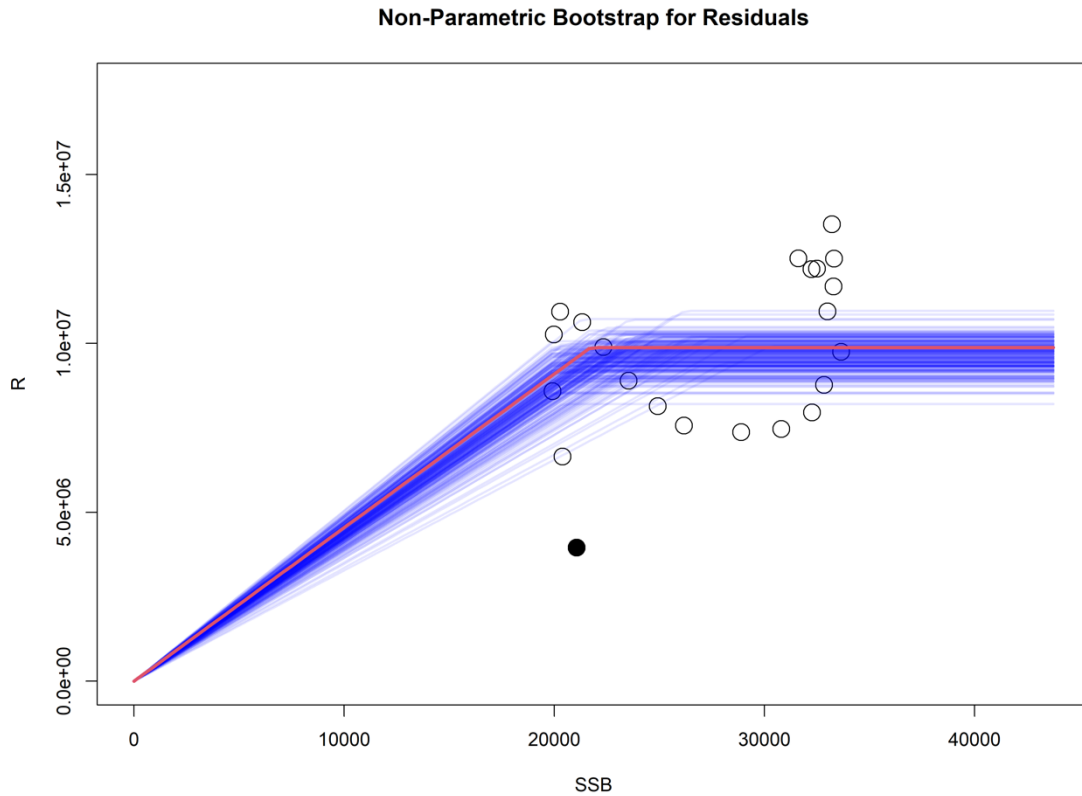


補足図 1-4. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果

赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は不確実性が高いとして使用しなかったデータ期間の最終年（2021 年）を示す。

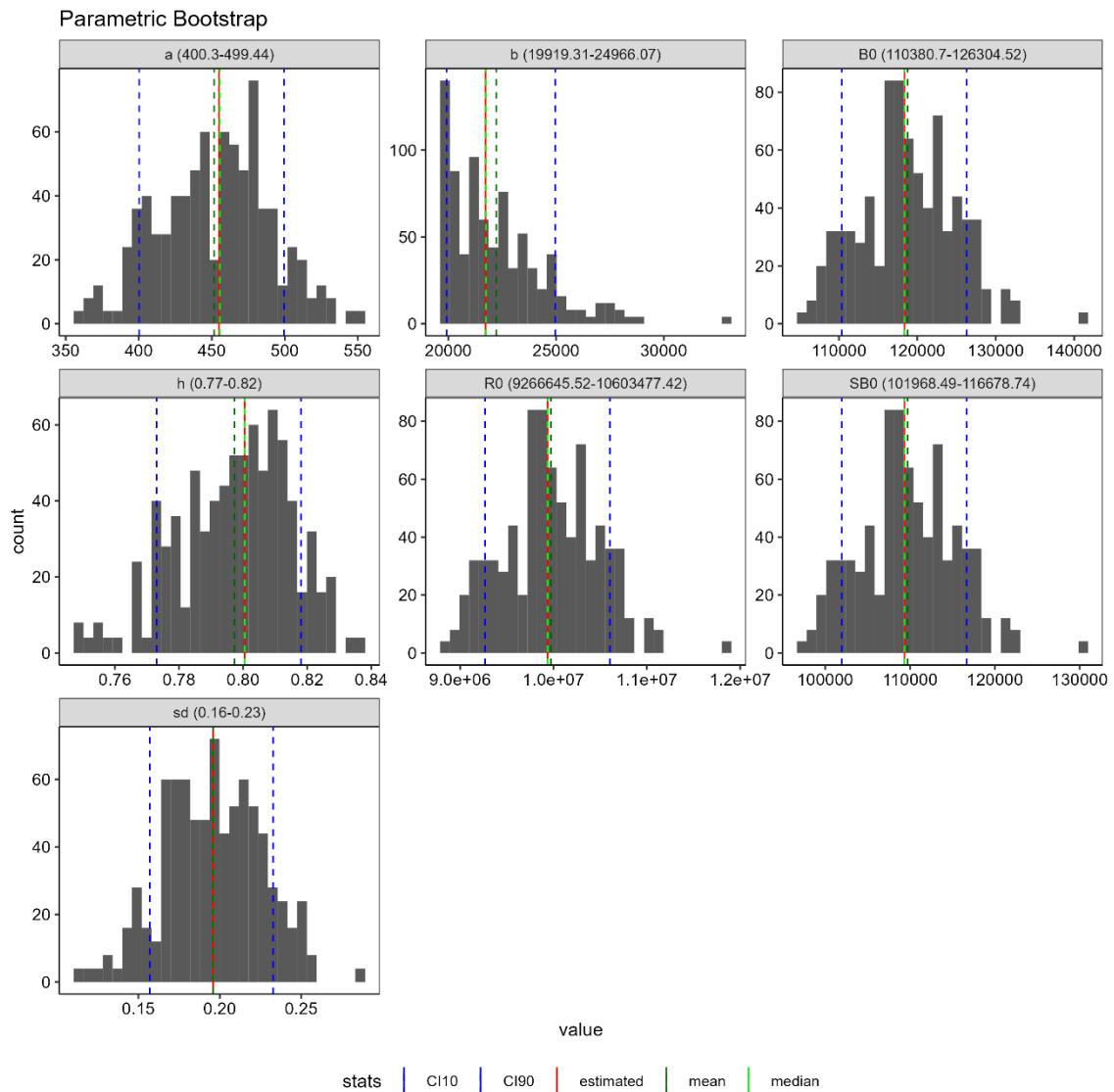


補足図 1-5. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

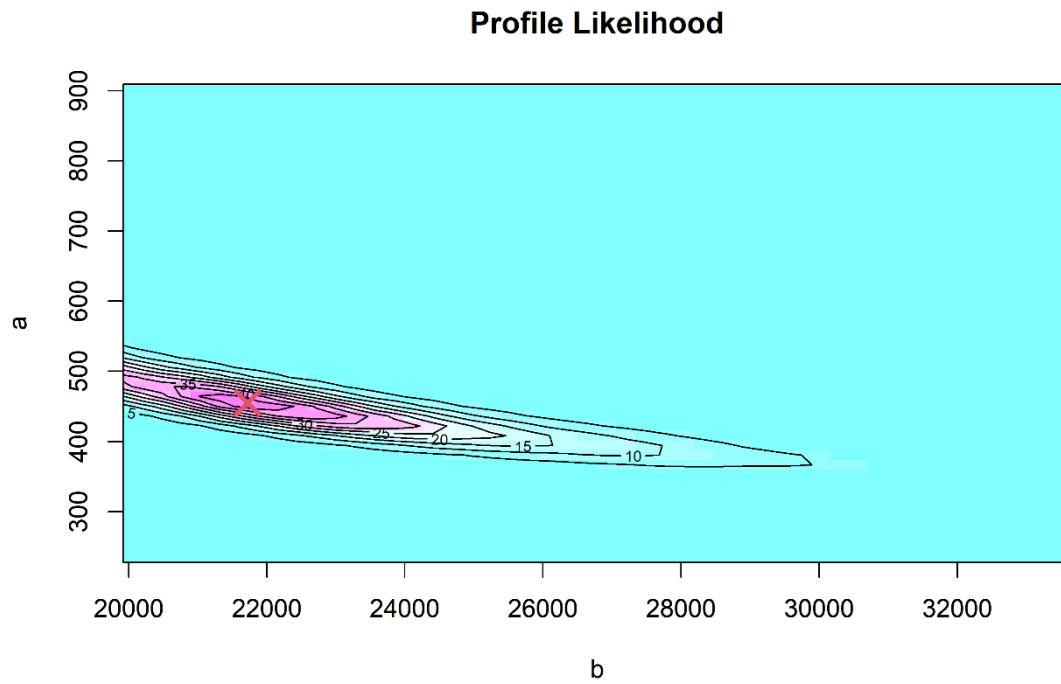


補足図 1-6. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果

赤線は元データでの推定値、青線はノンパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（千尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は不確実性が高いとして使用しなかったデータ期間の最終年（2021 年）を示す。



補足図 1-7. 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）
赤線はパラメータの点推定値である。



補足図 1-8. 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推定パラメータのプロファイル尤度
 ×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。

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

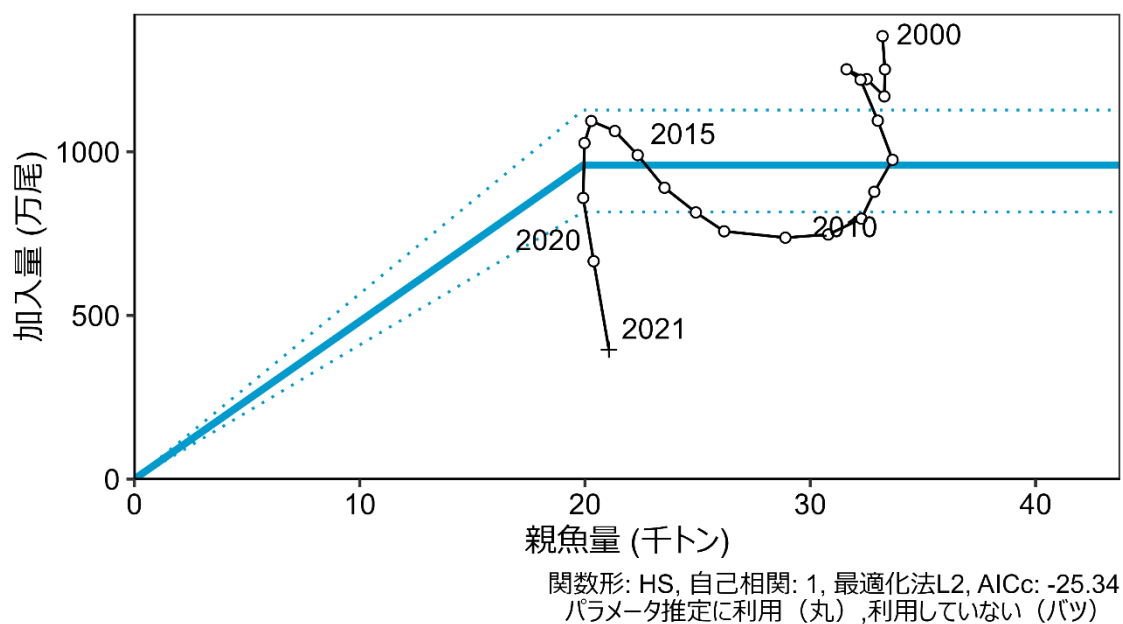
再生産 関係式	最適 化法	自己 相関	推定法	a	b	S.D.	ρ	R0	h	データ数
BH	L2*1	無	-	1,077	7.37E-05	0.192		13,387,463	0.748	21
HS	L2	無	-	455	21,723	0.201		9,880,924	0.8	21
RI	L2	無	-	690	2.37E-05	0.194		7,759,171	1.012	21
BH	L2	有	同時	1.20E+11	12,509	0.098	0.933	9,592,711	1	21
HS	L2	有	同時	482	19,919	0.098	0.933	9,592,974	0.811	21
RI	L2	有	同時	1,454	5.13E-05	0.098	0.964	4,914,586	1.838	21
BH	L2	有	二段階	1,077	7.37E-05	0.154	0.929	13,387,463	0.748	21
HS	L2	有	二段階	455	21,723	0.157	0.946	9,880,924	0.8	21
RI	L2	有	二段階	690	2.37E-05	0.155	0.925	7,759,171	1.012	21
BH	L1*2	無	-	792	4.20E-05	0.196		16,682,778	0.685	21
HS	L1	無	-	495	19,993	0.204		9,898,139	0.816	21
RI	L1	無	-	642	2.00E-05	0.198		8,878,943	0.956	21
BH	L1	有	二段階	792	4.20E-05	0.156	0.921	16,682,778	0.685	21
HS	L1	有	二段階	495	19,993	0.149	0.959	9,898,139	0.816	21
RI	L1	有	二段階	642	2.00E-05	0.157	0.921	8,878,943	0.956	21

*1 最小二乗法、*2 最小絶対値法

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。加入残差の自己相関を考慮した場合は、自己相関パラメータ ρ についても示した。R0 は SB0 のときの平均加入尾数である。h（スティーブネス）は再生産関係の密度補償効果の程度を示す指標であり、RI 型および BH 型の場合は $0.2SB_0$ のときの平均加入尾数を R0 で割った値、HS 型の場合は $1-SB_{hs}/SB_0$ （SB_{hs} は HS の折れ点）となる値である。

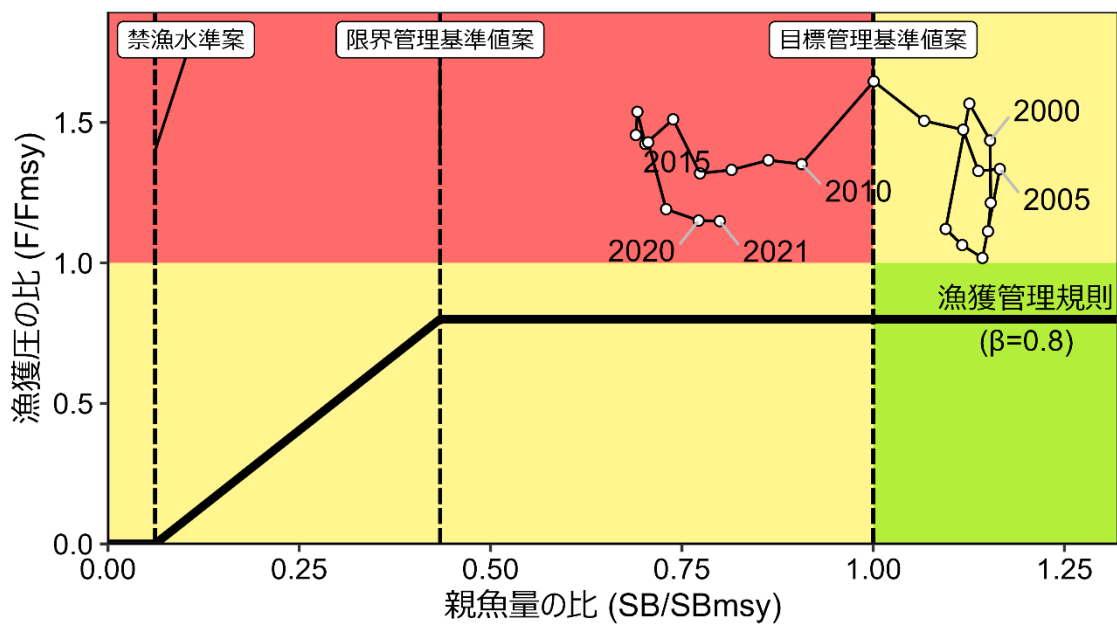
補足資料 2 自己相関を考慮した HS 型再生産関係における試算

再生産関係の検討において自己相関を考慮した HS 型再生産関係は、AICc の比較において、統計的な当てはまりは良い。自己相関を考慮した同時推定の HS 型再生産関係式の自己相関係数は 0.933、自己相関を考慮した同時推定の HS 型再生産関係式の自己相関係数は 0.946 という高い自己相関係数が推定された。本提案では自己相関を考慮した再生産関係の候補から除外したが、その試算結果について補足資料として取りまとめた。自己相関を考慮した同時推定の HS 型再生産関係に基づき SBmsy を目標管理基準値案、SB0.6msy を限界管理基準値案、禁漁水準案 SB0.1msy とすると、それぞれ、28.9 千トン、12.5 千トン、1.8 千トンと推定される。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/F2016-2021) は 0.76 で、その時の漁獲割合 (Umsy) は 11%となる。高い自己相関係数は、2016 年以降の加入の低下が、長期的にわたって継続することを意味する。このため HS 型再生産関係で一定となる加入尾数が 959 万尾と推定されているものの、長期にわたり平均を下回る加入が継続するシナリオとなる。本系群について自己相関を考慮した同時推定の HS 型再生産関係式で推定された神戸プロット、年齢別漁獲量曲線、将来予測などの試算結果と取りまとめた。



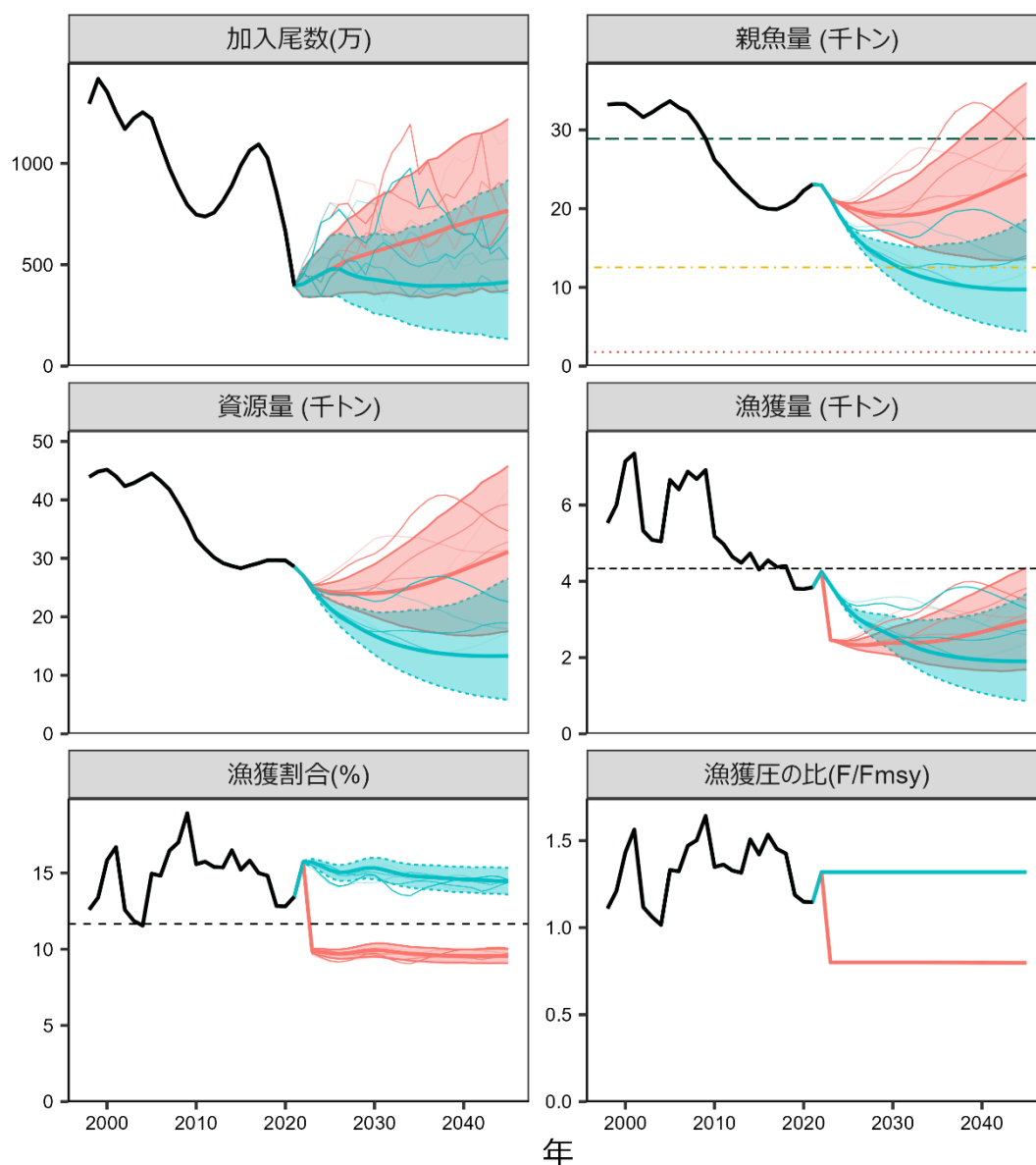
補足図 2-1. 再生産関係

再生産関係には同時推定で自己相関を考慮したホッケー・スティック（HS）型再生産関係式を使用し、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。丸印は分析に使用した2000～2020年の加入量と当該年級の親魚量を示す。図中の数字は加入の年級が漁獲加入する2歳時の年を示す。パラメータ推定の際は加入尾数の推定値に不確実性の高い2021年のデータを除いた。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。



補足図 2-2. 再生産関係は同時推定で自己相関を考慮したホッカー・スティック (HS) 型再生産関係式、最小二乗法によりパラメータ推定を行った場合の神戸プロットと漁獲管理規則案

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。



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

補足図 2-3. 再生産関係は同時推定で自己相関を考慮したホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を使用し、最小二乗法によりパラメータ推定を行った場合の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。2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2016-2021) により仮定し、2023 年以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 2-2）に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。

補足表 2-1. 再生産関係は同時推定で自己相関を考慮したホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を使用し、最小二乗法によりパラメータ推定を行った場合の将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

漁獲管理規則案 (補足図 2-2) 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。2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	16
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	27
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	44
0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	33	63
0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	51	77
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	8	13	67	89
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	16	25	33	85	96
0.3	0	0	0	0	0	0	0	3	14	28	42	55	64	95	99
0.2	0	0	0	0	0	0	2	19	49	69	81	88	92	99	100
0.1	0	0	0	0	0	0	16	66	90	97	99	99	100	100	100
0	0	0	0	0	0	2	69	98	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

補足表 2-2. 再生産関係は同時推定で自己相関を考慮したホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を使用し、最小二乗法によりパラメータ推定を行った場合の将来の親魚量の平均値の推移 (千トン)

漁獲管理規則案 (補足図 2-2) 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。2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	23	23	21	20	19	18	18	17	17	16	16	16	16	17	21
0.9	23	23	21	20	20	19	19	18	18	18	18	18	18	20	24
0.8	23	23	21	21	20	20	20	19	19	19	19	19	19	23	28
0.7	23	23	21	21	21	21	21	20	21	21	21	21	21	26	32
0.6	23	23	21	21	21	21	22	22	22	22	22	23	23	29	35
0.5	23	23	21	22	22	22	23	23	23	24	24	25	25	33	39
0.4	23	23	21	22	23	23	24	25	25	26	26	27	28	36	44
0.3	23	23	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30	41	49
0.2	23	23	21	23	24	25	26	28	29	30	31	32	34	46	56
0.1	23	23	21	23	25	26	28	30	31	33	34	36	37	52	65
0	23	23	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	60	77
現状の漁獲圧	23	23	21	19	17	16	15	14	14	13	12	12	11	10	10

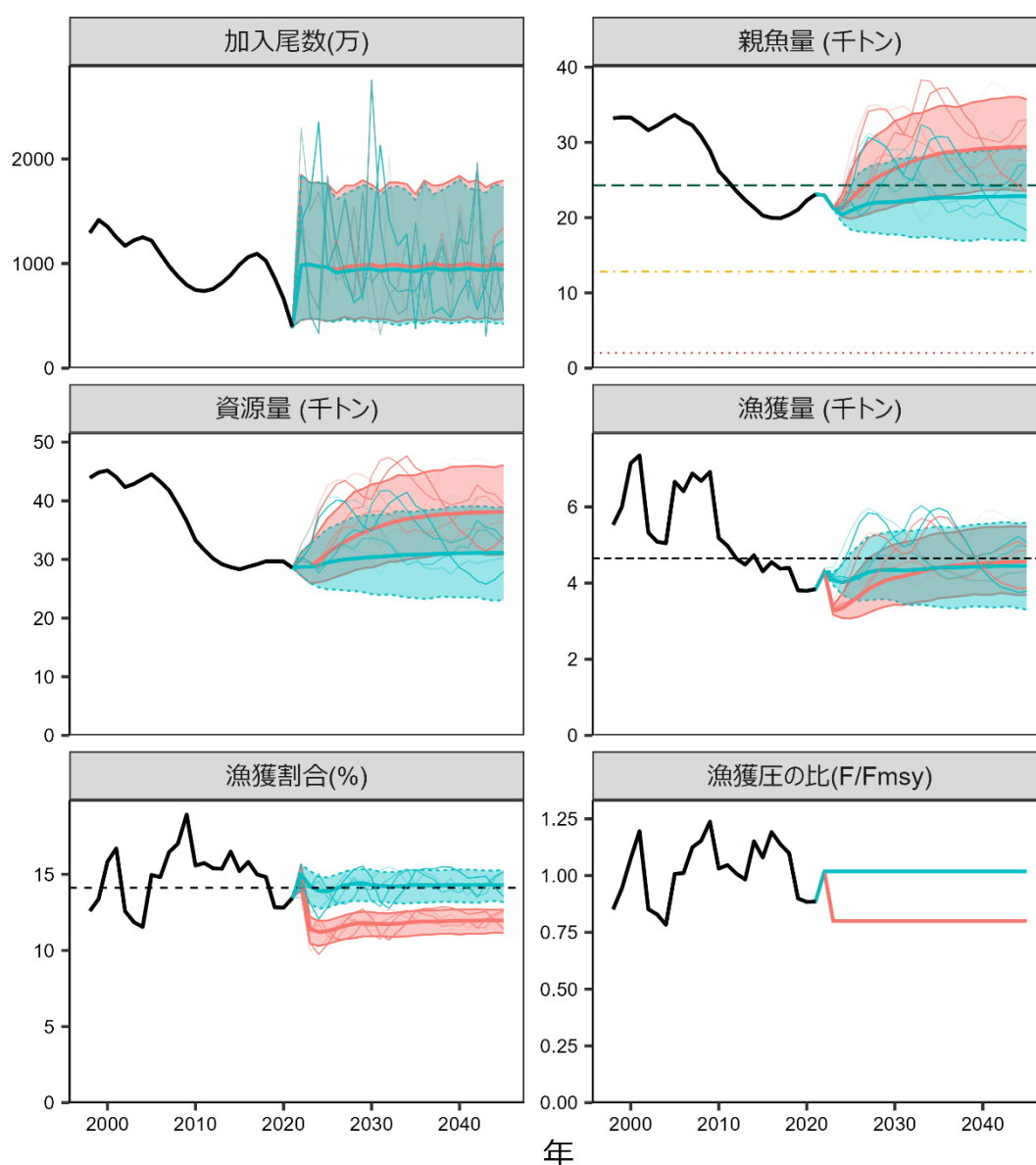
補足表 2-3. 再生産関係は同時推定で自己相関を考慮したホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を使用し、最小二乗法によりパラメータ推定を行った場合の将来の漁獲量の平均値の推移 (千トン)

漁獲管理規則案 (補足図 2-2) 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。2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	3.8	4.3	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.6	3.1
0.9	3.8	4.3	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.8	3.3
0.8	3.8	4.3	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.8	3.4
0.7	3.8	4.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.8	3.4
0.6	3.8	4.3	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.7	3.3
0.5	3.8	4.3	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.5	3.1
0.4	3.8	4.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8	2.3	2.8
0.3	3.8	4.3	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	2.0	2.4
0.2	3.8	4.3	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.5	1.8
0.1	3.8	4.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.9	1.1
0	3.8	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧	3.8	4.3	3.9	3.6	3.3	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	1.9	2.0

補足資料 3 提案する漁獲管理規則において標準偏差を変化させたときの感度解析

本系群の再生産関係の候補として自己相関を考慮しないホッケー・スティック（HS）型再生産関係式を提案している。再生産関係式における加入量推定の不確実性の影響を検討する目的で感度解析を行った。ここでは、再生産関係式の加入量の標準偏差が過小評価されている可能性を考慮し、標準偏差が表 1 で示す 0.201 の 2 倍である 0.402、4 倍である 0.804 とそれぞれ設定した上で、本資料 2-4) で提案する漁獲管理基準値案による管理を実施した場合の将来予測を実施した（補足図 3-1、3-2）。親魚量は標準偏差を 2 倍にすると調整係数 β の値は 0.9 以下、標準偏差を 4 倍にすると調整係数 β の値は 0.8 以下であれば、10 年後の 2033 年に目標管理基準値案を 50%以上の確率で達成すると予測された（補足表 3-1、3-2）。

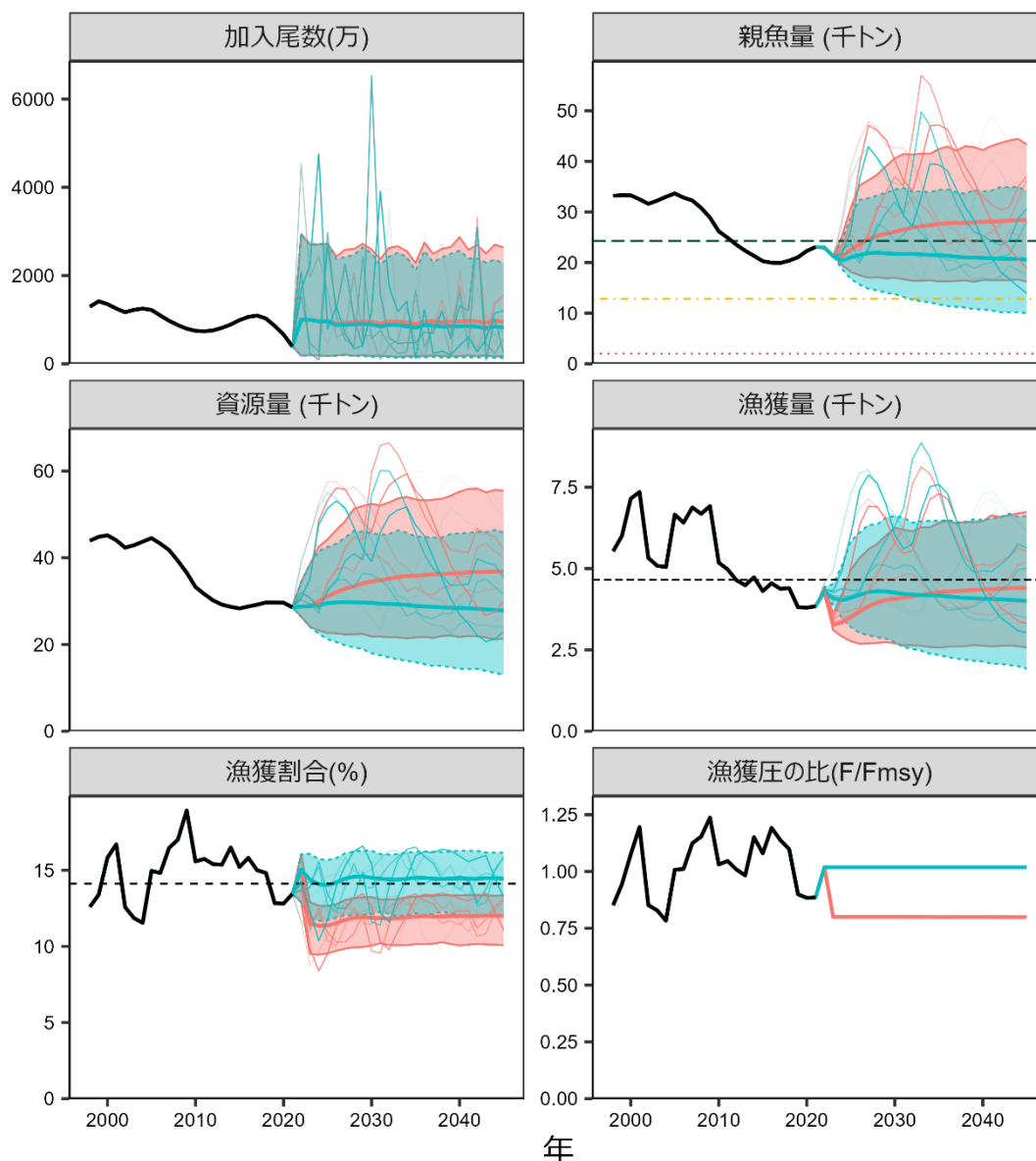


(塗り:5-95%予測区間, 太い実線: 平均値, 細い実線: シミュレーションの1例)

補足図 3-1. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) で標準偏差を 2 倍と想定した場合の、本資料 2-4) で提案する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。

2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 ($F_{current}$: $F_{2016-2021}$) により仮定し、2023 年以降の漁獲は本資料 2-4) で提案する漁獲管理規則案 (図 5) に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。



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

補足図 3-2. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1b) で標準偏差を 4 倍と想定した場合の、本資料 2-4) で提案する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。2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 ($F_{current} : F_{2016-2021}$) により仮定し、2023 年以降の漁獲は本資料 2-4) で提案する漁獲管理規則案 (図 6) に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。

補足表 3-1. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) で標準偏差を 2 倍と想定した場合に、本資料 2-4) で提案する漁獲管理規則案 (図 6) で漁獲をした際の、将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

本資料 2-4) で提案する漁獲管理規則案 (図 6) で調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	7	14	19	22	24	25	26	29	31	39	40
0.9	0	0	0	0	11	22	31	38	42	47	51	56	60	71	73
0.8	0	0	0	1	16	34	50	58	66	70	78	82	83	92	93
0.7	0	0	0	2	24	51	69	80	87	91	94	95	97	99	100
0.6	0	0	0	3	37	69	86	94	97	99	99	99	100	100	100
0.5	0	0	0	4	52	86	96	99	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	8	72	96	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	0	11	88	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	19	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	32	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	0	51	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	0	0	6	12	18	19	21	22	24	26	27	35	33

補足表 3-2. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) で標準偏差を 4 倍と想定した場合に、本資料 2-4) で提案する漁獲管理規則案 (図 6) で漁獲をした際の、将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

本資料 2-4) で提案する漁獲管理規則案 (図 6) で調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	5	15	23	26	29	30	31	30	32	31	32	28
0.9	0	0	0	6	18	28	33	36	39	40	41	43	44	48	46
0.8	0	0	0	7	22	34	41	46	50	51	54	58	60	65	66
0.7	0	0	0	8	28	41	50	57	62	64	68	72	74	82	83
0.6	0	0	0	9	34	51	62	68	74	77	82	85	86	93	94
0.5	0	0	0	11	42	60	73	81	85	90	92	93	95	98	98
0.4	0	0	0	14	51	71	84	91	94	97	98	98	99	100	100
0.3	0	0	0	18	61	83	92	97	99	99	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	22	73	93	97	99	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	29	86	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	0	38	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	0	5	15	22	25	27	28	28	28	29	28	29	25

補足表 3-3. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) で標準偏差を 2 倍と想定した場合に、本資料 2-4) で提案する漁獲管理規則案 (図 6) で漁獲をした際の、将来の親魚量の平均値の推移 (千トン)

本資料 2-4) で提案する漁獲管理規則案 (図 6) で調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	23	23	21	20	21	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23
0.9	23	23	21	21	22	23	23	24	24	24	25	25	25	26	26
0.8	23	23	21	21	22	24	25	25	26	26	27	27	28	29	29
0.7	23	23	21	22	23	25	26	27	28	29	29	30	31	33	33
0.6	23	23	21	22	24	26	28	29	30	31	32	33	34	37	37
0.5	23	23	21	22	25	27	29	31	33	34	35	36	37	41	42
0.4	23	23	21	23	26	28	31	33	35	37	39	40	41	47	48
0.3	23	23	21	23	27	30	33	36	38	40	43	45	46	55	56
0.2	23	23	21	24	27	31	35	38	41	44	47	50	52	64	67
0.1	23	23	21	24	28	33	37	41	45	48	52	55	58	76	82
0	23	23	21	25	29	34	39	44	49	53	58	62	66	92	102
現状の漁獲圧	23	23	21	20	21	21	22	22	22	22	22	22	22	23	23

補足表 3-4. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) で標準偏差を 4 倍と想定した場合に、本資料 2-4) で提案する漁獲管理規則案 (図 6) で漁獲をした際の、将来の親魚量の平均値の推移 (千トン)

本資料 2-4) で提案する漁獲管理規則案 (図 6) で調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	23	23	21	20	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22	21
0.9	23	23	21	21	22	23	23	24	24	24	24	24	24	25	24
0.8	23	23	21	21	23	24	25	25	26	26	27	27	27	28	28
0.7	23	23	21	22	23	25	26	27	28	28	29	30	30	32	32
0.6	23	23	21	22	24	26	28	29	30	31	32	33	33	36	37
0.5	23	23	21	22	25	27	29	31	32	34	35	36	37	41	42
0.4	23	23	21	23	26	28	31	33	35	37	39	40	41	47	48
0.3	23	23	21	23	27	30	33	36	38	40	42	45	46	55	56
0.2	23	23	21	24	28	31	35	38	41	44	47	49	52	64	67
0.1	23	23	21	24	28	33	37	41	45	48	52	55	58	76	81
0	23	23	21	25	29	34	39	44	49	53	58	62	66	92	102
現状の漁獲圧	23	23	21	20	21	22	22	22	22	22	22	22	22	21	20

補足表 3-5. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック（HS）型再生産関係式（表 1）で標準偏差を 2 倍と想定した場合に、本資料 2-4）で提案する漁獲管理規則案（図 6）で漁獲をした際の、将来の漁獲量の平均値の推移（千トン）
 本資料 2-4）で提案する漁獲管理規則案（図 6）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。2022 年は現状の漁獲圧（F2016-2021）で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	3.8	4.3	4.0	4.0	4.0	4.1	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5
0.9	3.8	4.3	3.6	3.7	3.8	3.9	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.6	4.6
0.8	3.8	4.3	3.3	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.6	4.6
0.7	3.8	4.3	2.9	3.0	3.2	3.4	3.6	3.7	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.5	4.5
0.6	3.8	4.3	2.5	2.6	2.8	3.0	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.3	4.4
0.5	3.8	4.3	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	4.1	4.2
0.4	3.8	4.3	1.7	1.9	2.0	2.3	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.8	3.9
0.3	3.8	4.3	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	3.4	3.5
0.2	3.8	4.3	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.7	2.8
0.1	3.8	4.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.6	1.8
0	3.8	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧	3.8	4.3	4.1	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4

補足表 3-6. 資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック（HS）型再生産関係式（表 1）で標準偏差を 4 倍と想定した場合に、本資料 2-4）で提案する漁獲管理規則案（図 6）で漁獲をした際の、将来の漁獲量の平均値の推移（千トン）
 本資料 2-4）で提案する漁獲管理規則案（図 6）で調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧（F2016-2021）で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

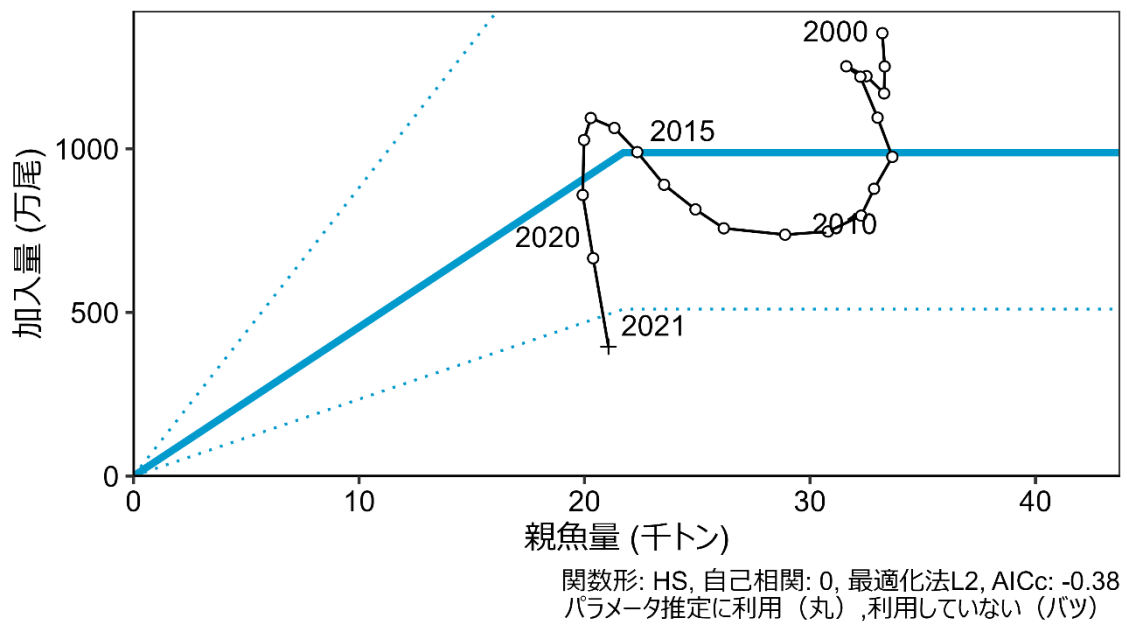
β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	3.8	4.3	4.0	4.0	4.0	4.2	4.2	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.1	3.9
0.9	3.8	4.3	3.6	3.7	3.8	3.9	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.2
0.8	3.8	4.3	3.3	3.3	3.5	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.1	4.1	4.2	4.4	4.4
0.7	3.8	4.3	2.9	3.0	3.2	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1	4.4	4.4
0.6	3.8	4.3	2.5	2.6	2.8	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	4.3	4.3
0.5	3.8	4.3	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6	3.7	4.1	4.2
0.4	3.8	4.3	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.8	3.9
0.3	3.8	4.3	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	3.4	3.5
0.2	3.8	4.3	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.7	2.8
0.1	3.8	4.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.6	1.8
0	3.8	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧	3.8	4.3	4.1	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.0	3.8

補足資料 4 再生産関係式の標準偏差を変化させたときの MSY と管理基準値案の感度解析

補足資料 3 と同様に、再生産関係式における推定加入量の標準偏差が過小評価されている可能性を考慮し、標準偏差が表 1 で示す 0.201 の 2 倍 0.402 と 4 倍 0.804 と変化させた場合の感度解析を実施した。ここでは、標準偏差を変えた再生産関係式から管理基準値案、漁獲管理規則案を再度求め直し、目標管理基準値案を達成する確率、漁獲圧に対する比 ($F_{msy}/F_{2016-2021}$)、漁獲割合について試算を行った。

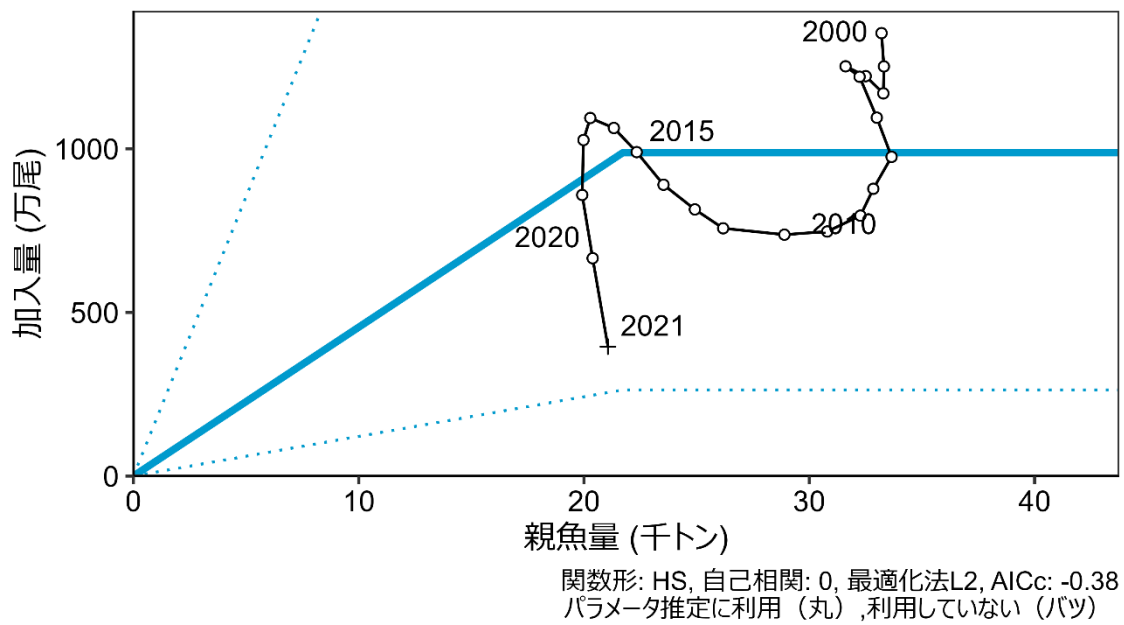
標準偏差を 2 倍と想定した場合、SB msy を目標管理基準値案、SB0.6 msy を限界管理基準値案、禁漁水準案 SB0.1 msy とすると、それぞれ、26.6 千トン、12.9 千トン、2.0 千トンと推定される。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧 (MSY を実現する漁獲圧 : F_{msy}) の、現状の漁獲圧に対する比 ($F_{msy}/F_{2016-2021}$) は 0.88 で、その時の漁獲割合 (U_{msy}) は 13% となる。なお、目標管理基準値案に対応する漁獲圧 (MSY を実現する漁獲圧 : F_{msy}) の、2021 年の F 値 (F_{2021}) に対する比 (F_{msy}/F_{2021}) は 1.02 となる。調整係数 β の値が 0.9 以下であれば、10 年後の 2033 年に目標管理基準値案を 50%以上の確率で達成すると予測された。

標準偏差を 4 倍と想定した場合に、SB msy を目標管理基準値案、SB0.6 msy を限界管理基準値案、禁漁水準案 SB0.1 msy とすると、それぞれ、31.2 千トン、13.5 千トン、2.0 千トンと推定される。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 : F_{msy}) の、現状の漁獲圧に対する比 ($F_{msy}/F_{2016-2021}$) は 0.72 で、その時の漁獲割合 (U_{msy}) は 11%となる。なお、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 : F_{msy}) の、2021 年の F 値 (F_{2021}) に対する比 (F_{msy}/F_{2021}) は 0.83 となる。親魚量は調整係数 β の値は 0.8 以下であれば、10 年後の 2033 年に目標管理基準値案を 50%以上の確率で達成すると予測された。



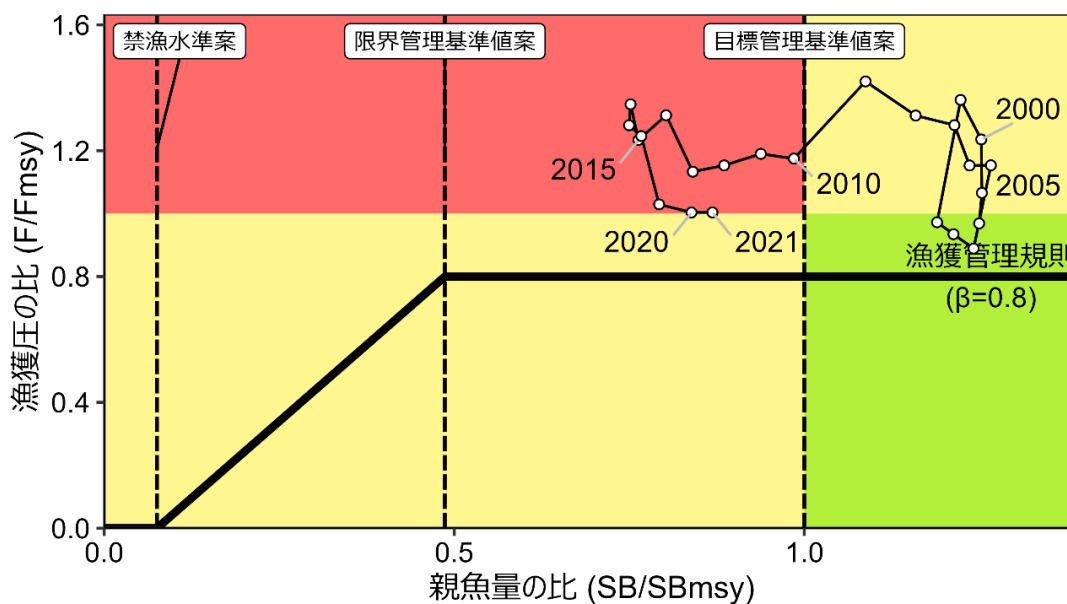
補足図 4-1. 再生産関係

本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック（HS）型再生産関係式（表 1）で標準偏差を 2 倍と想定した場合の再生産関係。丸印は分析に使用した 2000～2020 年の加入量と当該年級の親魚量を示す。図中の数字は各年級群が加入する 2 歳時点の年を示す。パラメータ推定の際は加入尾数の推定値に不確実性の高い 2021 年のデータを除いた。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%が含まれると想定される範囲である。



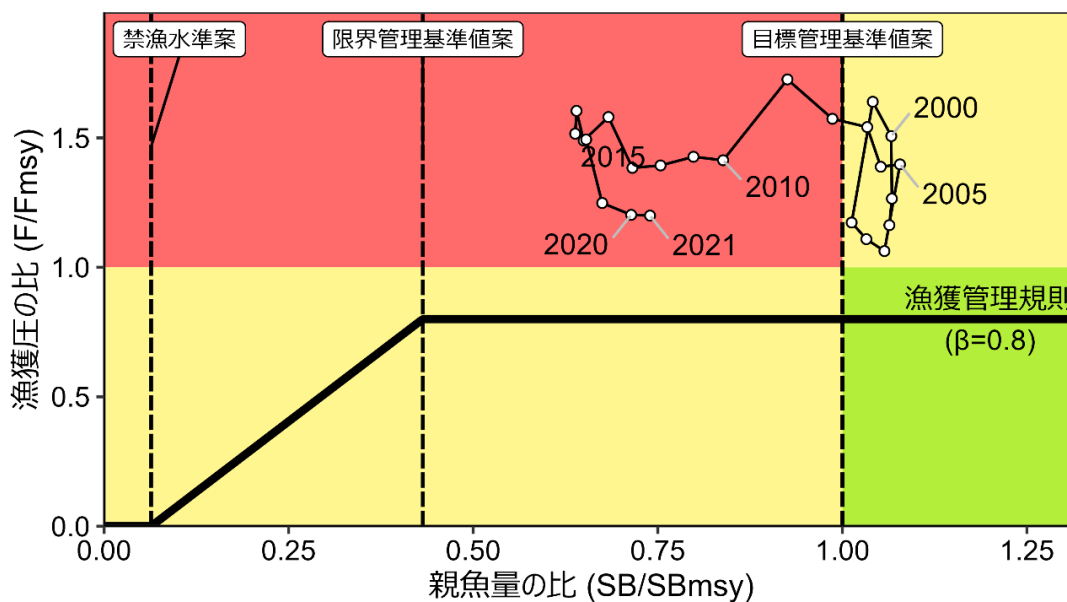
補足図 4-2. 再生産関係

本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック（HS）型再生産関係式（表 1）で標準偏差を 4 倍と想定した場合の再生産関係。丸印は分析に使用した 2000～2020 年の加入量と当該年級の親魚量を示す。図中の数字は各年級群が加入する 2 歳時点の年を示す。パラメータ推定の際は加入尾数の推定値に不確実性の高い 2021 年のデータを除いた。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%が含まれると想定される範囲である。



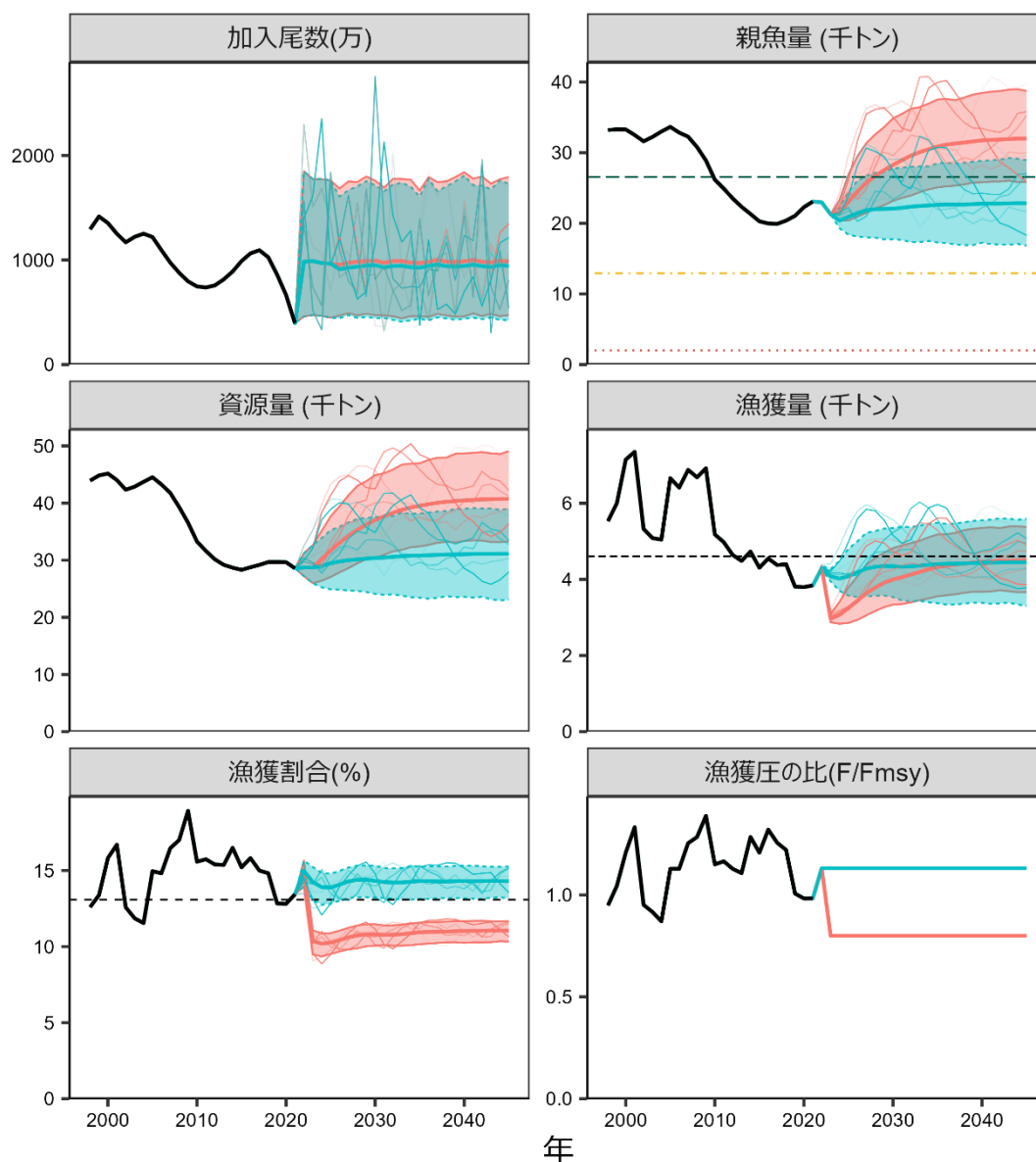
補足図 4-3. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) で、標準偏差を 2 倍と想定したケースで算定した管理基準値案に基づく神戸プロットと漁獲管理規則案

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。



補足図 4-4. 資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) で、標準偏差を 4 倍と想定したケースで算定した管理基準値案に基づく神戸プロットと漁獲管理規則案

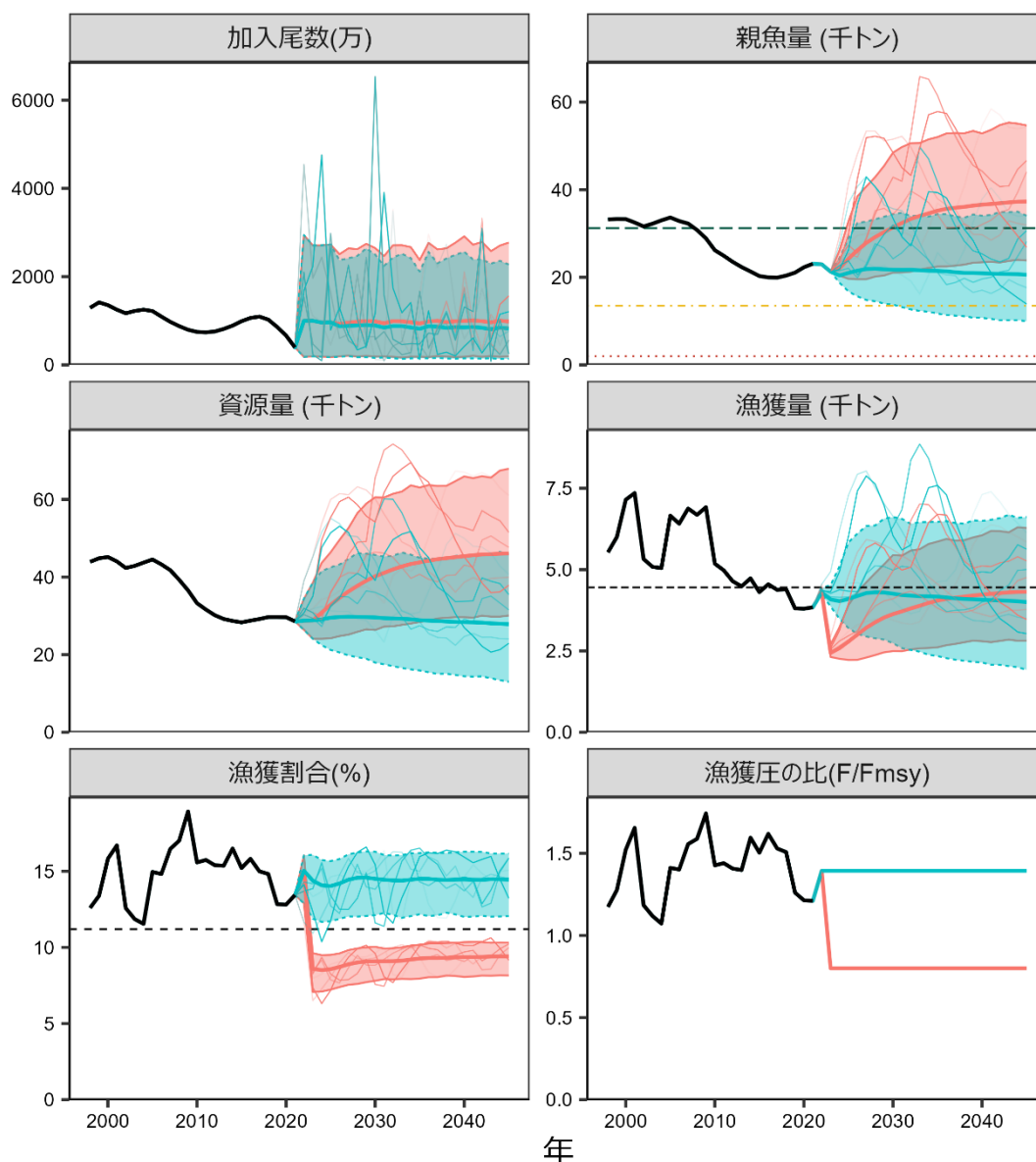
縦軸は各年の漁獲圧 F の F_{msy} との比である。図中の目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案には、それぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。



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

補足図 4-5. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) で標準偏差を 2 倍と想定した場合に算定した漁獲管理規則案 (補足図 4-3) 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。2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 ($F_{current} : F_{2016-2021}$) により仮定し、2023 年以降の漁獲は漁獲管理規則案 (補足図 4-3) に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。



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

補足図 4-6. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) で標準偏差を 4 倍と想定した場合に算定した漁獲管理規則案 (補足図 4-4) 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。2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 ($F_{current} : F_{2016-2021}$) により仮定し、2023 年以降の漁獲は漁獲管理規則案 (補足図 4-4) に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。

補足表 4-1. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) で標準偏差を 2 倍と想定した場合に、算定した漁獲管理規則案 (補足図 4-3) で漁獲をした際の、将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

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。2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	3	8	12	16	20	23	26	30	33	45	48
0.9	0	0	0	0	4	12	21	29	35	42	48	54	60	73	75
0.8	0	0	0	0	7	20	33	46	57	65	72	79	82	93	93
0.7	0	0	0	0	10	30	52	67	79	86	91	94	96	99	100
0.6	0	0	0	0	14	45	71	85	93	97	99	99	100	100	100
0.5	0	0	0	0	21	61	86	96	99	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	0	32	78	96	99	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	0	1	47	91	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	2	64	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	3	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	0	4	93	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	0	0	2	4	6	7	7	8	9	10	10	15	13

補足表 4-2. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) で標準偏差を 4 倍と想定した場合に、算定した漁獲管理規則案 (補足図 4-4) で漁獲をした際の、将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

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。2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	1	6	11	17	22	24	27	28	31	34	44	44
0.9	0	0	0	1	7	14	20	25	30	35	38	41	44	56	58
0.8	0	0	0	1	8	16	24	30	38	43	48	53	56	69	72
0.7	0	0	0	1	9	18	28	37	45	51	58	65	69	83	84
0.6	0	0	0	1	10	22	33	46	56	62	69	76	79	92	94
0.5	0	0	0	1	11	26	42	55	65	73	81	85	89	97	98
0.4	0	0	0	1	13	31	48	63	76	84	89	93	95	99	100
0.3	0	0	0	2	15	36	58	74	84	92	96	97	98	100	100
0.2	0	0	0	2	17	43	67	83	92	97	99	99	100	100	100
0.1	0	0	0	2	20	51	76	92	97	99	100	100	100	100	100
0	0	0	0	3	23	58	85	96	99	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	0	0	4	6	7	7	8	9	9	9	8	9	6

補足表 4-3. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) の中で標準偏差を 2 倍と想定した場合に、算定した漁獲管理規則案 (補足図 4-3) で漁獲をした際の、将来の親魚量の平均値の推移 (千トン)

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。2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	23	23	21	21	22	23	23	24	24	24	25	25	25	26	26
0.9	23	23	21	21	22	24	24	25	26	26	27	27	28	29	29
0.8	23	23	21	22	23	25	26	27	28	28	29	30	30	32	32
0.7	23	23	21	22	24	26	27	28	29	30	31	32	33	35	35
0.6	23	23	21	22	24	27	29	30	32	33	34	35	36	39	40
0.5	23	23	21	23	25	28	30	32	34	35	37	38	39	44	45
0.4	23	23	21	23	26	29	32	34	36	38	40	42	43	50	51
0.3	23	23	21	23	27	30	33	36	39	42	44	46	48	57	59
0.2	23	23	21	24	28	31	35	39	42	45	48	51	53	66	69
0.1	23	23	21	24	28	33	37	41	45	49	52	56	59	78	83
0	23	23	21	25	29	34	39	44	49	53	58	62	66	92	102
現状の漁獲圧	23	23	21	20	21	21	22	22	22	22	22	22	22	23	23

補足表 4-4. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式 (表 1) で標準偏差を 4 倍と想定した場合に、算定した漁獲管理規則案 (補足図 4-4) で漁獲をした際の、将来の親魚量の平均値の推移 (千トン)

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。2022 年は現状の漁獲圧 (F2016-2021) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	23	23	21	22	23	24	26	26	27	28	28	29	29	31	31
0.9	23	23	21	22	24	25	27	28	29	29	30	31	32	34	34
0.8	23	23	21	22	24	26	28	29	30	31	32	33	34	37	37
0.7	23	23	21	22	25	27	29	31	32	33	35	36	37	41	41
0.6	23	23	21	23	25	28	30	32	34	36	37	39	40	45	45
0.5	23	23	21	23	26	29	32	34	36	38	40	42	43	50	51
0.4	23	23	21	23	27	30	33	36	38	41	43	45	47	55	57
0.3	23	23	21	24	27	31	34	38	41	43	46	48	51	62	64
0.2	23	23	21	24	28	32	36	40	43	46	49	52	55	70	74
0.1	23	23	21	24	29	33	38	42	46	50	53	57	60	80	86
0	23	23	21	25	29	34	39	44	49	53	58	62	66	92	102
現状の漁獲圧	23	23	21	20	21	22	22	22	22	22	22	22	22	21	20

補足表 4-5. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック（HS）型再生産関係式（表 1）で標準偏差を 2 倍と想定した場合に、新たに算定した漁獲管理規則案（補足図 4-3）で漁獲をした際の、将来の漁獲量の平均値の推移（千トン）
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。2022 年は現状の漁獲圧（F2016-2021）で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	3.8	4.3	3.6	3.7	3.8	3.9	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.6	4.6
0.9	3.8	4.3	3.3	3.4	3.5	3.7	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.6	4.6
0.8	3.8	4.3	3.0	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2	4.5	4.5
0.7	3.8	4.3	2.6	2.7	2.9	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	4.4	4.4
0.6	3.8	4.3	2.3	2.4	2.6	2.8	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	4.2	4.3
0.5	3.8	4.3	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.0	4.1
0.4	3.8	4.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9	3.0	3.1	3.7	3.8
0.3	3.8	4.3	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.3	2.4	2.5	2.6	3.2	3.3
0.2	3.8	4.3	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.7	1.8	1.9	2.5	2.7
0.1	3.8	4.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.5	1.6
0	3.8	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧	3.8	4.3	4.1	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4

補足表 4-6. 本資料で候補とした自己相関を考慮しないホッケー・スティック（HS）型再生産関係式（表 1）で標準偏差を 4 倍と想定した場合に、新たに算定した漁獲管理規則案（補足図 4-4）で漁獲をした際の、将来の漁獲量の平均値の推移（千トン）
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。2022 年は現状の漁獲圧（F2016-2021）で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の結果も示した。

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	3.8	4.3	3.0	3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1	4.1	4.4	4.4
0.9	3.8	4.3	2.7	2.9	3.0	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.0	4.4	4.4
0.8	3.8	4.3	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.3	4.3
0.7	3.8	4.3	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	4.2	4.2
0.6	3.8	4.3	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	4.0	4.0
0.5	3.8	4.3	1.6	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.7	3.8
0.4	3.8	4.3	1.3	1.4	1.6	1.8	1.9	2.1	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	3.3	3.4
0.3	3.8	4.3	0.9	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.8	3.0
0.2	3.8	4.3	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	2.2	2.3
0.1	3.8	4.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.3	1.4
0	3.8	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧	3.8	4.3	4.1	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.0	3.8