

令和 4（2022）年度ホッケ道北系群の 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 3 年度の本系群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。令和 3（2021）年度の資源評価では、年別データから半期別データを用いた VPA への変更、沖底 1 歳標準化 CPUE のチューニング指標値への追加、産卵期を考慮した親魚量計算方法の修正など、評価手法を大きく変更した。本研究機関会議では、これらの変更を踏まえて本系群の管理基準値等の提案内容を最新の資源評価結果を用いて更新した。

令和 3 年度の本系群の資源評価に基づき、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 1985～2020 年の親魚量と加入量の情報に対し、加入の残差の自己相関を考慮しないホッカー・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絶対値法を使用する。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（10.1 万トン）を、限界管理基準値として、SB0.6msy（3.0 万トン）を提案する。禁漁水準として、SB0.1msy（0.4 万トン）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（2016～2019 年の平均の年齢別漁獲係数）の 1.23 倍である。上記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では、2023 年から漁獲管理規則案に基づく漁獲を開始することとした場合、漁獲管理規則に用いる調整係数 β が 0.7 以下であれば 10 年後の親魚量は 50%以上の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された。適用すべき真の再生産関係がリッカー（RI）型再生産関係であった場合でも、調整係数 β が 0.6 以下であれば 10 年後に真の目標管理基準値案を 50%以上の確率で上回ると考えられた。なお、これらの将来予測では、近年の低加入が短期的に継続することを仮定した（バックワード・リサンプリングによる低加入シナリオ）。

親魚量 (万トン)	現状の親魚量 (2020年漁期) 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 (万トン)	現状の漁獲圧 (2016～2019年漁期) に対する比*	説明
目標管理基準値案					
10.1	4.11	0.14	12.5	1.23	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					
3.0	1.24	0.04	7.5	1.87	MSYの60%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
0.4	0.16	0.005	1.3	2.17	MSYの10%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.1msy)
2020年					
2.4	1.0	0.03	3.0**	—	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。

** 2020年の実際の漁獲量を示す(漁期は1月～12月)。

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、以下のデータセットを使用して実施した。本系群の資源評価は半期別のコホート解析を用いているが、再生産関係の検討には、半期別のコホート解析の結果を年ごとに計算しなおしたものをを用いた。なお、令和3(2021)年度の資源評価では、JV機関の協力のもとで、これまでチューニング指数として用いられてきた沖底標準化CPUEに加え、沖底1歳標準化CPUEを加入量のチューニング指標値として用いた。年別VPAから半期別VPAへと変更したこともあいまって、本系群の資源評価の精度は向上したものと考えられる。また、親魚量の計算も産卵期を考慮した方法へと変更したため、新たな資源計算結果を用いて本系群の管理基準値等を再設定することとした。

解析にはRパッケージfrasyr(v2.1.3.0;バージョン管理番号7a851d)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3年度研究機関会議版)(FRA2021-ABCWG01-02)」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	令和3年度ホッケ道北系群の資源評価(水産庁・水産機構)のデータ(半期別データを年別に集計)

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（補足資料 2）として、令和 3（2021）年度ホッケ道北系群の資源評価（FRA-SA2021-SC05-1）で推定された 1985～2020 年の加入量および親魚量に基づき検討を行った（表 1）。再生産関係式の候補として、ホッカー・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。それぞれの再生産関係式においてパラメータを推定する際の最適化方法として、最小二乗法および最小絶対値法を候補とした。また、加入量の残差への自己相関の考慮の有無でモデルを比較した。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を推定した後に自己相関係数を推定する手法（二段階推定法）を用いた。

補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると、仮定する再生産関係式については、AICc が最小となる HS 型に対して、BH 型では AICc の差は 4 程度であったのに対し、RI 型では 2 程度とわずかであったが、ジャックナイフ解析（HS：補足図 2-4a、補足図 2-5a、RI：補足図 2-4b、補足図 2-5b）およびブートストラップ解析（HS：補足図 2-6a、RI：補足図 2-6b）の結果から、HS 型は RI 型と比べて推定の頑健性が高いと考えられた。また、いずれの再生産関係式を仮定した場合でも最小絶対値法を用いた場合の方が最小二乗法を用いた場合よりも AICc は低くなった（表 1a、補足表 2-1）。最小絶対値法を用いたパラメータ推定は最小二乗法を用いた場合に比べて外れ値の影響に対し頑健性が高いことから、極端に低い加入が観測されることのある本系群の場合は、最小絶対値法を用いるべきと考えられる。したがって、本系群の再生産関係の候補としては HS 型再生産関係式を用い、最小絶対値法によりパラメータ推定を行うことが適当と判断した。

HS 型を最小絶対値法により当てはめた場合の自己相関プロットからは加入残差に自己相関が認められず（補足図 2-2）、自己相関を考慮しても AIC の変化はみられなかった（表 1）。したがって、本系群においては再生産関係のモデルに自己相関を積極的に考慮する必要はないと判断した。なお今回、HS 型再生産関係式のパラメータ推定において、初期値依存の局所解の有無を検討したところ、尤度の差が 0.001 よりも小さい範囲で、HS 型再生産関係の折れ点である b パラメータが 47813.70 から 49250.71 の間で複数推定されることが確認された。そのため、本系群の再生産関係式のパラメータ推定では、初期値を変えた複数の計算の中から最適解を求める必要があると考えられることから、300 回の繰り返し計算を行い、 b が中央値となった時のパラメータを本系群の再生産関係式のパラメータ推定値とした。

本系群では、どの再生産関係式を当てはめた場合でも、近年の加入量の残差は負に偏り（補足図 2-2）、近年の加入量の傾向に対し再生産関係式では高めの加入量を予測してしまうことが考えられた。親魚量が少ない時に高い加入量を予測値として与えることは、将来予測に基づき適切な資源利用を図る上ではリスクとなる。そのため、どの再生産関係式を仮定する場合でも、将来予測を行う場合には近年の低加入のリスクを考慮する必要があると考えられた。

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-SA2021-ABCWG01-03)」の 1. 用いるデータ範囲、3. 再生産関係を選択するときの基準における a (予測力) および c (外れ値に対する頑健性) の基準に従い、1985～2020 年のデータを用い、最小絶対値法で最適化した自己相関を用いない HS 型再生産関係式を候補として提案する (図 1、表 1a、補足表 2-1)。なお、再生産関係式のパラメータ推定における局所解の問題を踏まえて、初期値を変えた 300 回の試行の中で、b が中央値となったときのパラメータ推定の結果を本系群の再生産関係式として表 1b に示す。

2. 管理基準値

2-1) データセットおよび計算方法

令和 3 (2021) 年度ホッケ道北系群の資源評価では半期別のコホート解析を使用しているが、MSY 管理基準値の算出や将来予測では半期別の VPA の結果を年ごとに集計し直したものを、年別のコホート解析の前進計算に基づき行った (補足資料 1)。このときの漁獲方程式は Baranov の式を用いた。最大持続生産量 (MSY) に対応する管理基準値案等の算出には、「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 3 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 (自然死亡係数および年齢別成熟率) を使用した (表 2)。管理基準値案を算出するための具体的な数式は原則として、「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) に従った。

令和 3 年度の資源評価では、現状の漁獲圧として 2018～2020 年の平均漁獲圧を用いていたが (FRA-SA2021-SC05-1)、新型コロナウイルス感染拡大の影響等により、2020 年は漁獲状況が例年と異なることから、将来予測で比較対象とする漁獲圧には 2016～2019 年の年齢別漁獲係数の平均値を用いた (FRA-SA2021-SC05-101)。本資料でも、2016～2019 年の平均の年齢別漁獲係数 (F2016-2019) に基づく選択率が、より現在の環境下における漁獲の実態に近いと判断し、MSY に対応する管理基準値案の算出に用いた (表 2、図 2)。

本系群では資源尾数と体重に負の関係が見られるため (補足資料 4)、これまで将来予測で用いる年齢別体重には資源尾数と体重の線形の回帰式からの予測値に確率変動を加えたものを用いてきた (FRA-SA2021-SC05-101)。しかし、この方法では、年齢によって単調に体重が増加しないケースも考えられるなどの問題があるため、本資料では、そのような問題を回避することが可能な資源尾数と体重の非線形の関係を仮定した体重の予測モデルを新たに構築し (FRA-SA2022-BRP02-03)、このモデルから得られた体重を使用した (表 2、補足資料 4)。

本系群では、平均世代時間 (5.04 年) の 20 倍の年数 (101 年) 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。シミュレーションの繰り返し計算の回数は 10,000 回とした。

2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

目標管理基準値案として MSY 水準における親魚量 (SBmsy : 10.1 万トン)、限界管理基準値案として MSY の 60%の漁獲が得られる親魚量 (SB0.6msy : 3.0 万トン)、禁漁水準案として MSY の 10%の漁獲が得られる親魚量 (SB0.1msy : 0.4 万トン) 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。

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ついて、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0 : 72.8 万トン) 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 (Fmsy/F2016-2019) 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 14%に相当し、その親魚量で期待できる漁獲量の平均値 (MSY) は 12.5 万トンである。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/F2016-2019) は 1.23 で、その時の漁獲割合は (Umsy) は 34.9%である。限界管理基準値として提案する SB0.6msy は SB0 の 4%、禁漁水準として提案する SB0.1msy は SB0 の 0.5%である。なお、他の再生産関係式を用いた場合に推定される SBmsy は、RI 型 (最小絶対値法、自己相関無) の場合は 13.2 万トンで、BH 型 (最小絶対値法、自己相関無) の場合は 24.6 万トンである (補足表 3-1)。

様々に F 値を変えた場合の平衡状態における親魚量と、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 SB0.6msy 以下では 1 歳が多く占めていたが、親魚量が SBmsy に近づくにつれ、2 歳魚以上の割合も高くなる傾向が見られた。

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 を基準とした神戸プロットを図 4 に示す。本系群における漁獲係数 (F 値) は、1989 年および 1991 年から 1995 年までは MSY を実現する水準を下回っていたが、1996 年から 2015 年まで MSY を実現する水準を上回っていた。2016 年以降は MSY を実現する水準を下回っている。また、親魚量は 1993 年から 1997 年までは MSY を実現する水準を上回っていたが、1999 年を除き、1998 年以降は MSY を実現する水準を下回っている。現状の親魚量 (2020 年の親魚量 : 2.4 万トン) は、目標管理基準値案および限界管理基準値案を下回るが、禁漁水準案は上回っている。現状の親魚量に対する目標管理基準値案 (10.1 万トン)、限界管理基準値案 (3.0 万トン) および禁漁水準案 (0.4 万トン) の比は、それぞれ 4.11、1.24 および 0.16 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引き下げる。F 値の上限は Fmsy に調整係数 β を乗じたものである。提案する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 を用いたものである。

2-5) 加入量の設定

本資料で提案した再生産関係は、全年の再生産データをもとに最小絶対値法で最適化した HS 型の再生産関係を用いて算出した。この再生産関係における加入量の残差は、2009 年以前は正負のいずれかに偏る傾向は見られなかったが、2010 年以降は観測値が予測値よりも低く、負に偏る傾向が見られた（図 6a）。特に 2010 年および 2016 年は非常に低い加入であり、近年についても負の残差が続く傾向にあることから、今後数年間は HS 型再生産関係から予測されるよりも低い加入が高い頻度で起こると想定される。一方、親魚量と残差の関係は、親魚量が少ない時に残差のばらつきは大きくなるものの、全体としては明瞭な傾向は認められなかった（図 6b）。そのため、将来予測では加入量の残差には 5~10 年程度は類似した傾向が継続することを想定して、HS 型再生産関係からの負の残差傾向を考慮した低加入シナリオを用いた。

低加入シナリオでの将来の加入量は、再生産関係からの予測値に過去の観測値の残差をランダムにリサンプリングして与えた。リサンプリングするデータは 5 年単位に区切り、低加入を仮定した 5 年ブロックのバックワード・リサンプリング（5 年を 1 ブロックとし、将来 5 年までは直近の過去 5 年の残差からリサンプリング、将来 6~10 年は過去 5 年もしくは 6~10 年の残差をリサンプリングというように 5 年ごとに過去に遡った残差を選択する方法）を実施した（図 7）。

- ・ 将来予測の 1~5 年（2021~2025 年）：過去 5 年分（2016~2020 年）の残差から重複を許してリサンプリングした。
- ・ 将来予測の 6~10 年（2026~2030 年）：過去 5 年分（2016~2020 年）もしくは過去 6~10 年分（2011~2015 年）の残差のいずれかをランダムに選び、選んだ方の 5 年分の残差から重複を許してリサンプリングした。
- ・ 将来予測の 11 年目（2031 年）以降：上記の手順で 5 年区切りの残差をリサンプリングする範囲を追加した。

図 7 では、5 年ずつに区切ったリサンプリング単位を青灰色の破線で示した。このようなリサンプリングのやり方により、短期的には直近の低加入トレンドを反映するような加入を想定し、中長期的にはそれ以前の過去の条件を反映するような加入を想定した。なお、バックワード・リサンプリングによる残差の平均値は年数が経過するにつれて 0 に近づく（図 8）。

2-6) 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

近年の傾向を考慮した低加入シナリオ（5 年区切りのバックワード・リサンプリング）で将来予測を行った。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表 3 で示した値を用い、 β に標準値である 0.8 を用いた漁獲管理規則案（図 5a）で将来予測した場合の資源量、親魚量、加入尾数、漁獲量、漁獲割合および漁獲圧の比（ F/F_{msy} ）の推移を図 9 に示す。今回の将来予測では、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲制御を開始するとした。本系群では、直近年の漁獲圧の不確実性を将来予測に取り込むため 2021 年および 2022 年の漁獲圧は、現状の漁獲圧として参照した 2016 年から 2019 年の漁獲係数をランダ

ムサンプリングして仮定した（F のランダムサンプリングについては FRA-SA2020-SC04-101 および FRA-SA2021-SC05-101 を参照）。

予測される 2023 年の親魚量は、繰り返し計算の 66%では限界管理基準値案を上回るものの、残りの 34%では下回り、平均 3.6 万トンと予測された（表 5、表 7）。2023 年の漁獲圧は、漁獲管理規則案に従い、限界管理基準値案を上回る場合は βF_{msy} で、下回る場合は βF_{msy} に親魚量に応じた係数 $\gamma(SB_t)$ を乗じて算出された。ここで $\gamma(SB_t)$ 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）」における 1 系資源の管理規則に基づき、下式により計算された。

$$\frac{SB_t - SB_{ban}}{SB_{limit} - SB_{ban}}$$

調整係数に標準値である 0.8 を用いた漁獲管理規則案で漁獲を続けた場合、中長期的には漁獲量は平均的には MSY 水準に向けて増加することが期待できる（表 8）。親魚量は漁獲管理規則案での漁獲開始から 13 年後の 2035 年に 51%の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された（表 4、図 9）。

(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 刻みで変えた場合について、予測される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、親魚量および漁獲量の平均値の推移を表 4～表 8 に示した。それぞれの表には、現状の漁獲圧での漁獲を続けた場合の結果として、2016 年から 2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングで仮定した漁獲圧で 2023 年以降にも漁獲を続けた予測も比較のため示した。漁獲係数をランダムサンプリングする方法を用いることで、現状の漁獲圧を継続する予測では、その年ごとの変動を不確実性として取り込んだ将来予測を実現している。

漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後（2033 年）に親魚量が目標管理基準値案（ SB_{msy} : 10.1 万トン）を 50%以上の確率に上回るのは、調整係数 β に 0.7 以下の値を用いた場合であった。 β が 0.7 であれば親魚量は 10 年後には 61%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 0.8 であれば、2033 年に目標管理基準値案を上回る確率は 43%であった（表 4）。限界管理基準値案（ $SB_{0.6msy}$: 3.0 万トン）を上回る確率が 50%以上となる年は、いずれの β でも 2023 年となった（表 5）。いずれの β を用いた場合でも親魚量は禁漁水準案（ $SB_{0.1msy}$: 0.4 万トン）を下回らないと予測された（表 6）。漁獲管理規則案での漁獲開始を 2022 年からとした場合でも、10 年後に親魚量が目標管理基準値案を 50%以上の確率で上回るのは β に 0.7 以下の値を用いた場合であった（補足資料 8）。

本系群で予測される親魚量の平均値は、2021 年は 2.8 万トンと限界管理基準値案を下回るが、2022 年には限界管理基準値案とほぼ同じ 3.1 万トンになった（表 7）。2023 年には親魚量が限界管理基準値案を上回る確率は 66%と予測された（表 5）。2023 年に漁獲管理規則案で定められる漁獲量は、 β が 0.7 以上の場合は現状（2020 年 : 3.0 万トン）より多くなっ

た（表 8）。

表 9 にまとめ表として β を 0.0~1.0 の間で変えた場合に親魚量が管理基準値案を上回る確率と予測される親魚量および漁獲量を示した。また、管理開始後 10 年目までの期間内に、親魚量が現在（2020 年）の水準を下回る、過去最低値を下回る、禁漁水準案を下回る、もしくは漁獲量が前年と比較して半減するという事象が 1 度でも起きる確率をリスクとして示した。親魚量が現在の水準を下回る確率は、 β が 0.9 および 1.0 では 50%以上となるが、 β が 0.8 以下では 50%以下となった。親魚量が過去最低親魚量を下回る確率は、いずれの β を用いた場合でも 0%と予測された。また、親魚量が禁漁水準案を下回る確率、および漁獲量が半減する確率は、いずれの β を用いた場合でも 0%と予測された。現状の漁獲圧を継続した場合、漁獲量を半減させるリスクが 6%と予測された。

3. まとめ

本系群の再生産関係モデルには、令和 3（2021）年度の資源評価で推定された 1985~2020 年の親魚量と加入量に基づき、自己相関を考慮しない HS 型再生産関係式を適用し、そのパラメータを最小絶対値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 を達成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（10.1 万トン）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（3.0 万トン）、SB0.1msy（0.4 万トン）をそれぞれ提案する。なお、2010 年以降は再生産関係における観測値の残差が推定値よりも低い傾向が続いているため、近年の低い加入を考慮した低加入シナリオを将来予測に用いる事を提案する。

現在の本系群の親魚量は限界管理基準値案を下回っていると推定されるものの、現状の漁獲圧が低加入の状況にて続いても 2022 年には限界管理基準値案と同等の水準まで親魚量が回復することが予測される。MSY を実現する漁獲割合は 34.9%であり、MSY を実現する漁獲圧（Fmsy）は現状の漁獲圧（F2016-2019）の 1.23 倍である（表 3）。漁獲管理規則案の漁獲圧の上限は Fmsy を調整係数 β で引き下げた値であり、調整係数 β に 0.8 程度を用いた場合の漁獲圧の上限が、現状の漁獲圧に近い値となる（図 9）。漁獲管理規則案に従う漁獲では、調整係数 β に低い値を用いるほど 10 年後に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は高くなり、親魚量が現在の水準を下回る確率は低くなる（表 9）。調整係数 β が 0.7 以下であれば、漁獲管理規則案の導入から 10 年後に親魚量が目標管理基準値案を 50%以上の確率で上回る（表 4）。

今回、再生産関係式には HS 型を適用したが、仮に適用する再生産関係式が RI 型であるべきところを間違っていたとしても、漁獲や持続性の点で重大な損失が生じるリスクは小さいことが簡易 MSE により確認されている。調整係数 β が 0.6 以下であれば、HS 型を前提とした漁獲管理規則案に従っていても正しい再生産関係式（RI 型）に基づく SBmsy へ 50%以上の確率で親魚量は回復すると考えられる（補足資料 5）。

なお、HS 型再生産関係を当てはめる際に 2003 年以前の親魚量・加入量のデータ重みを引き下げると、推定される管理基準値案はより保守的となり、漁獲管理規則案での漁獲量は短期的には低く抑えられると予測される（試算資料：FRA-SA2022-BRP02-04）。

4. 今後の検討事項

本報告では、データに対する頑健性やモデルのパラメータ推定および診断結果等からホッケ・スティック型再生産関係（最小絶対値法、自己相関なし）の適用を選択したが、RI型再生産関係（最小絶対値法、自己相関なし）を適用した場合とのAICcの差は2以下であり、データへの当てはまりには有意な差はない。一方で、いずれの再生産関係式に基づくかによって目標管理基準値案には3万トン程度の差が生じる。従って、今後もデータの更新による再生産関係および管理基準値案の妥当性について検討する必要がある。

本系群の将来予測における平均的な親魚量は、今後数年で限界管理基準値案を上回る確率が高くなる一方で、非常に低い加入量となった場合に親魚量が急激に減少する可能性も考えられる。そのため、仮に禁漁水準を下回った場合に何年禁漁すれば限界管理基準値案に戻るか、禁漁水準から限界管理基準値案に戻る確率などについても今後検討する必要がある。

本系群では2010年に加入量が急激に減少したため、2011年以降の親魚量は低い水準で推移している。近年は加入量の予測値を観測値が下回る傾向が続いており、2010年以降に2度の非常に低い加入が発生している。そのような状況を鑑み、本報告では5年ブロックのバックワード・リサンプリングによる低加入シナリオを用いて将来予測を行っているが、予測よりも低い加入が継続する可能性も考えられる。そのため、今後も加入状況を注視し、必要に応じて将来予測方法の見直し等も含めた検討が必要である。

2012～2016年は高豊度の加入が見られていなかった一方で、2017年級群および2019年級群は近年の中でも高豊度の加入とみられており、2019年級群はこれを生み出す親魚を自主管理等で多く残せたことが高豊度の加入へとつながったと考えられる。今後も親魚量を確保する取り組みを継続し、再生産関係で予測される平均的な加入が発生する親魚量以上に資源状態を回復・維持することが重要と考えられる。

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年度研究機関会議版). FRA-SA2021-ABCWG01-02.

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

岡村 寛・森田晶子・市野川桃子 個体数に影響を受ける体重の予測モデル-ホッケ道北系群の場合-(2022) FRA-SA2022-BRP02-03

令和2(2020)年度 ホッケ道北系群の資源評価の参考資料 FRA-SA2020-SC04-101

令和3(2021)年度 ホッケ道北系群の資源評価 FRA-SA2020-SC05-1

令和3(2021)年度 ホッケ道北系群の資源評価の参考資料 FRA-SA2021-SC05-101

(執筆者：森田晶子、境 磨、千葉 悟、濱津友紀、山下夕帆、市野川桃子、岡村寛)

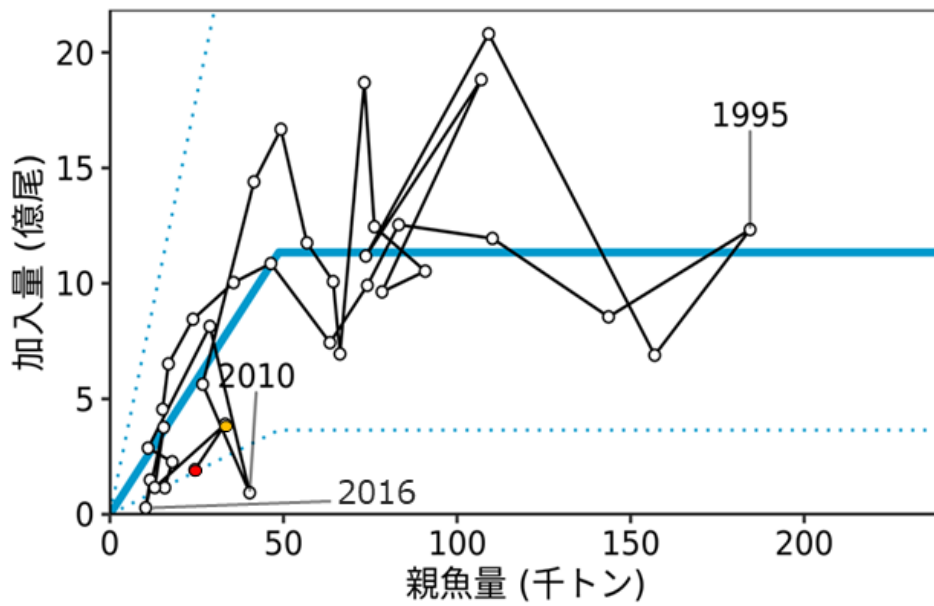


図 1. 再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮しないホッカー・スティック (HS) 型再生産関係式を用い、最小絶対値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 1985～2020 年（漁期は 1 月～12 月）の親魚量と加入量を示す（オレンジ色は 2019 年、赤色は 2020 年）。図中の数字は加入群の年級（生まれ年）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。）

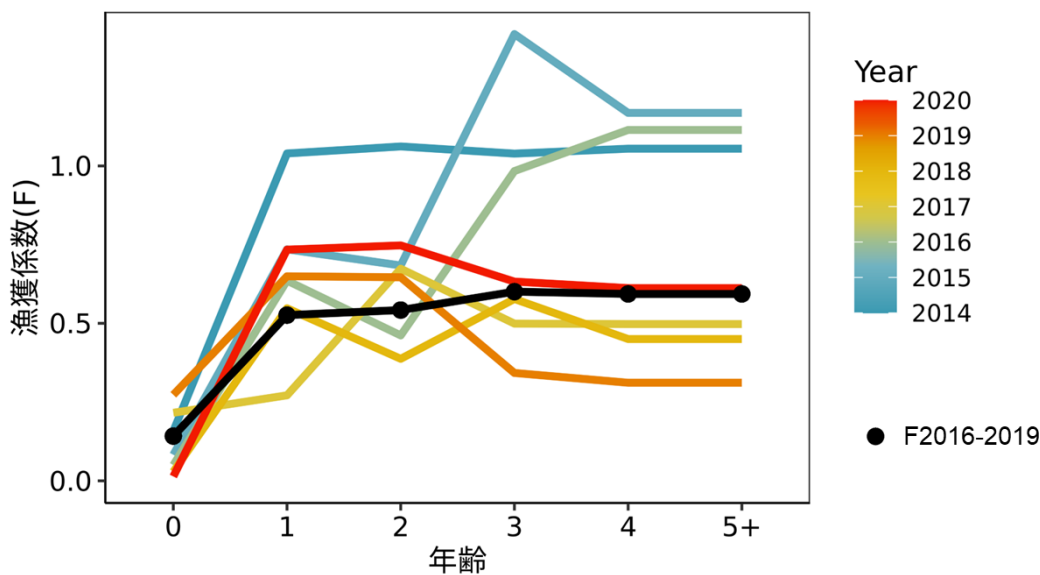


図 2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

2014 年以降の各年の年齢別 F 値を色分けして示す。黒線は現状の漁獲圧（2016～2019 年の平均の年齢別漁獲係数；F2016-2019）である。

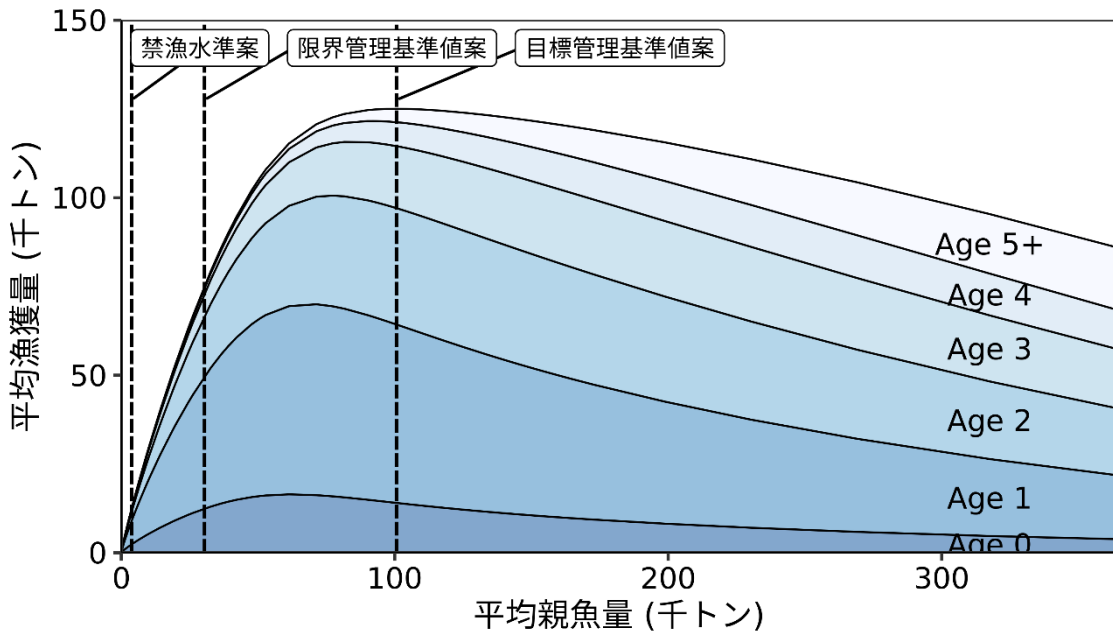


図3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

将来予測の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。

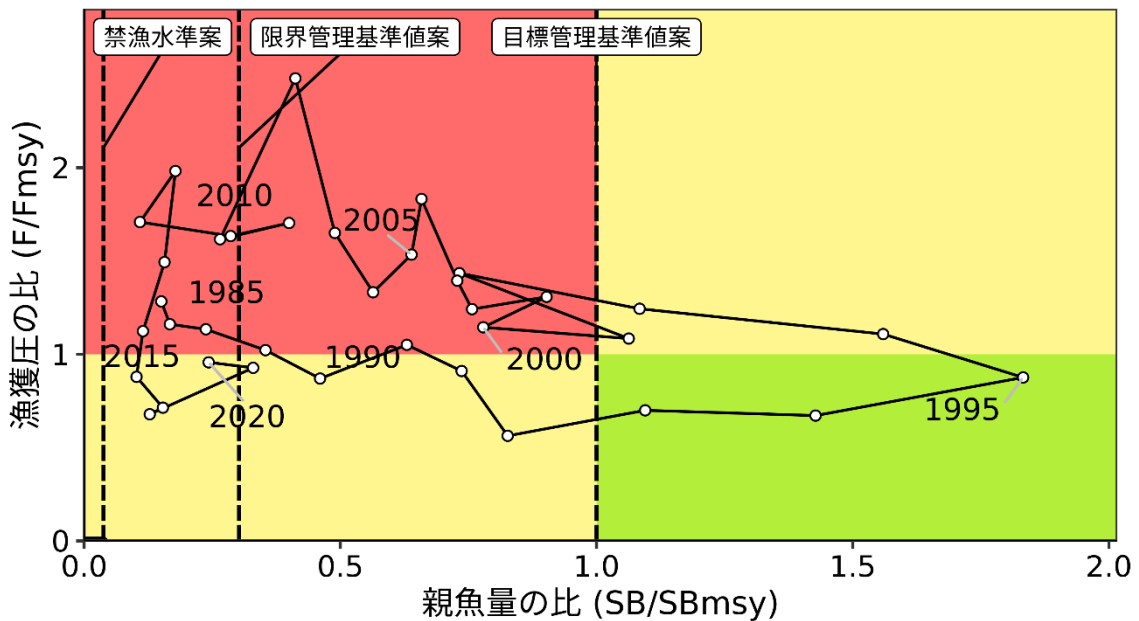
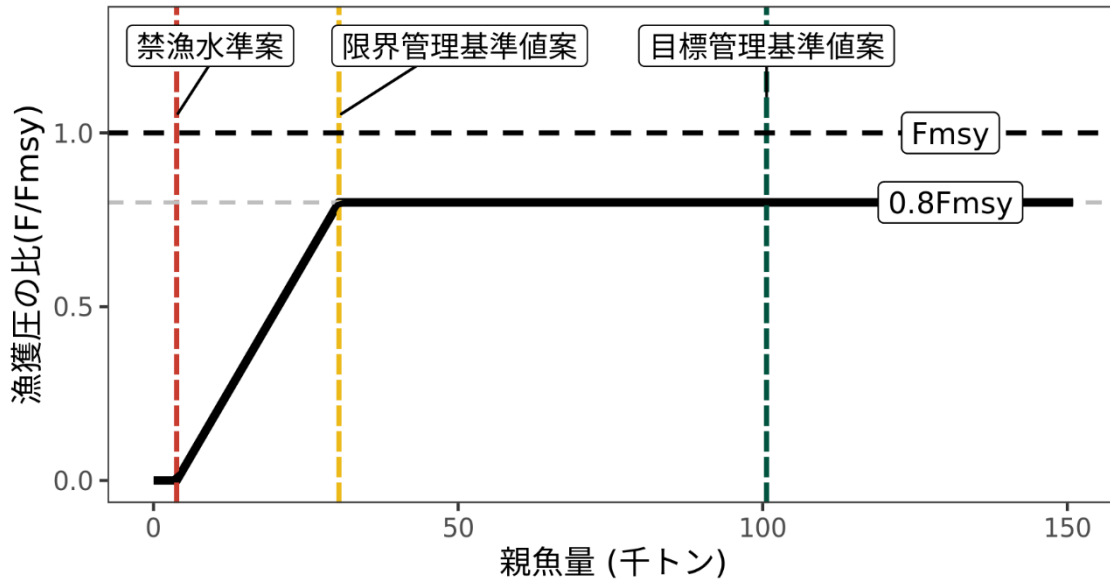


図4. 神戸プロット

縦軸は漁獲圧 F の F_{msy} に対する比である。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。白丸のプロットは、令和3年度の資源評価で推定された各年の値である。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

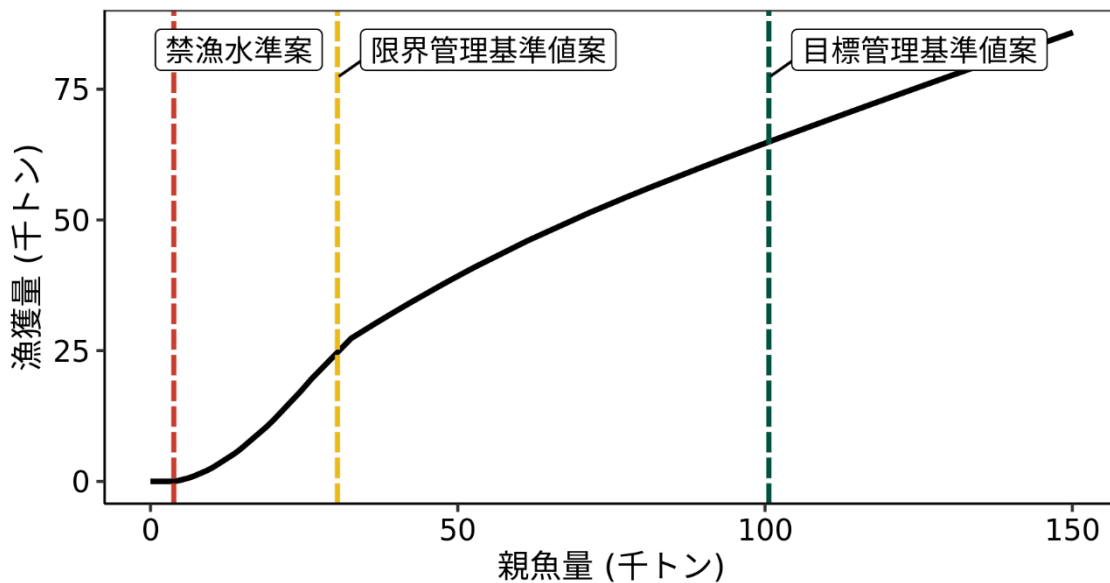


図 5. 漁獲管理規則 (HCR) 案

目標管理基準値案は HS 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値案および禁漁水準案には、それぞれ標準値である $SB_{0.6msy}$ および $SB_{0.1msy}$ 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、緑破線は目標管理基準値案、黄色破線は限界管理基準値案、赤破線は禁漁水準案を示す。a) は縦軸を漁獲圧の比とした場合、b) は縦軸を漁獲量とした場合を示す。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。

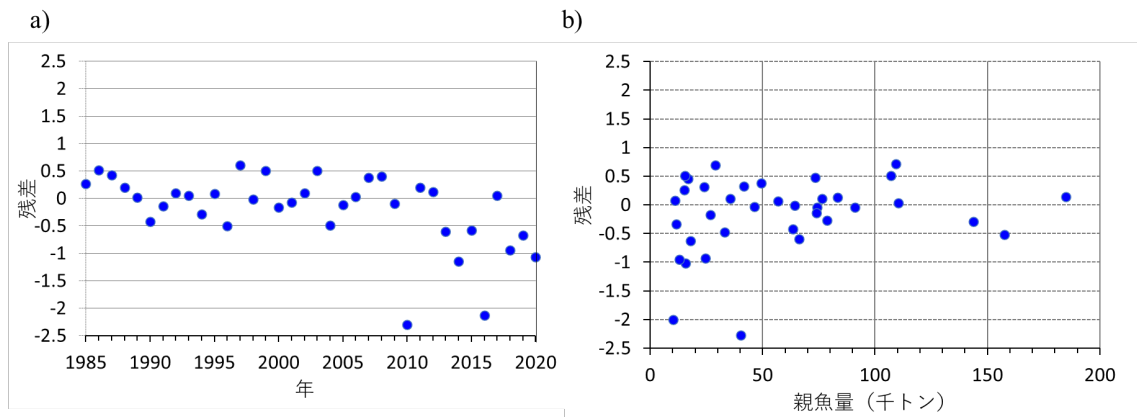


図 6. ホッケー・スティック再生産関係からの残差 (log (予測値/観測値))
 左図 a) では横軸を年で表し、右図 b) では横軸を親魚量とした。

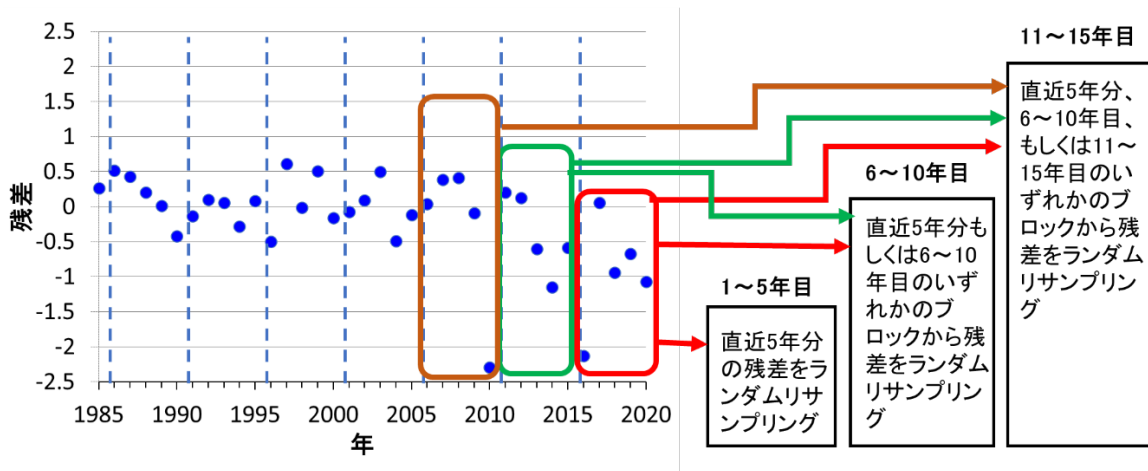


図 7. 近年の加入がホッケー・スティック再生産関係の予測値を下回る状況を考慮した低加入シナリオにおけるバックワード・リサンプリングの概念図

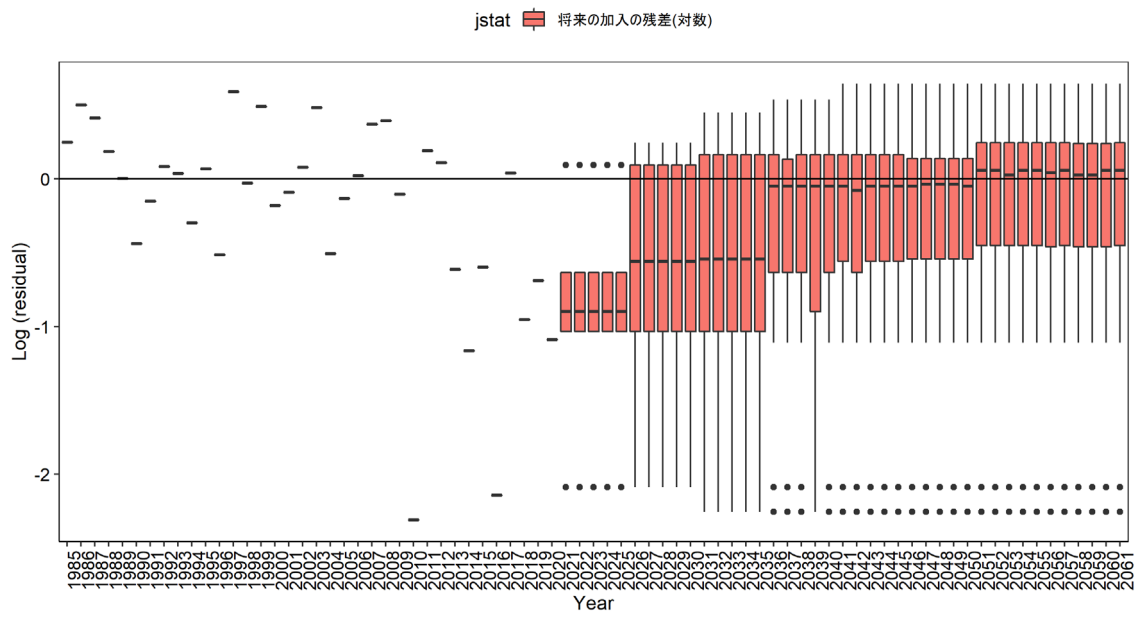
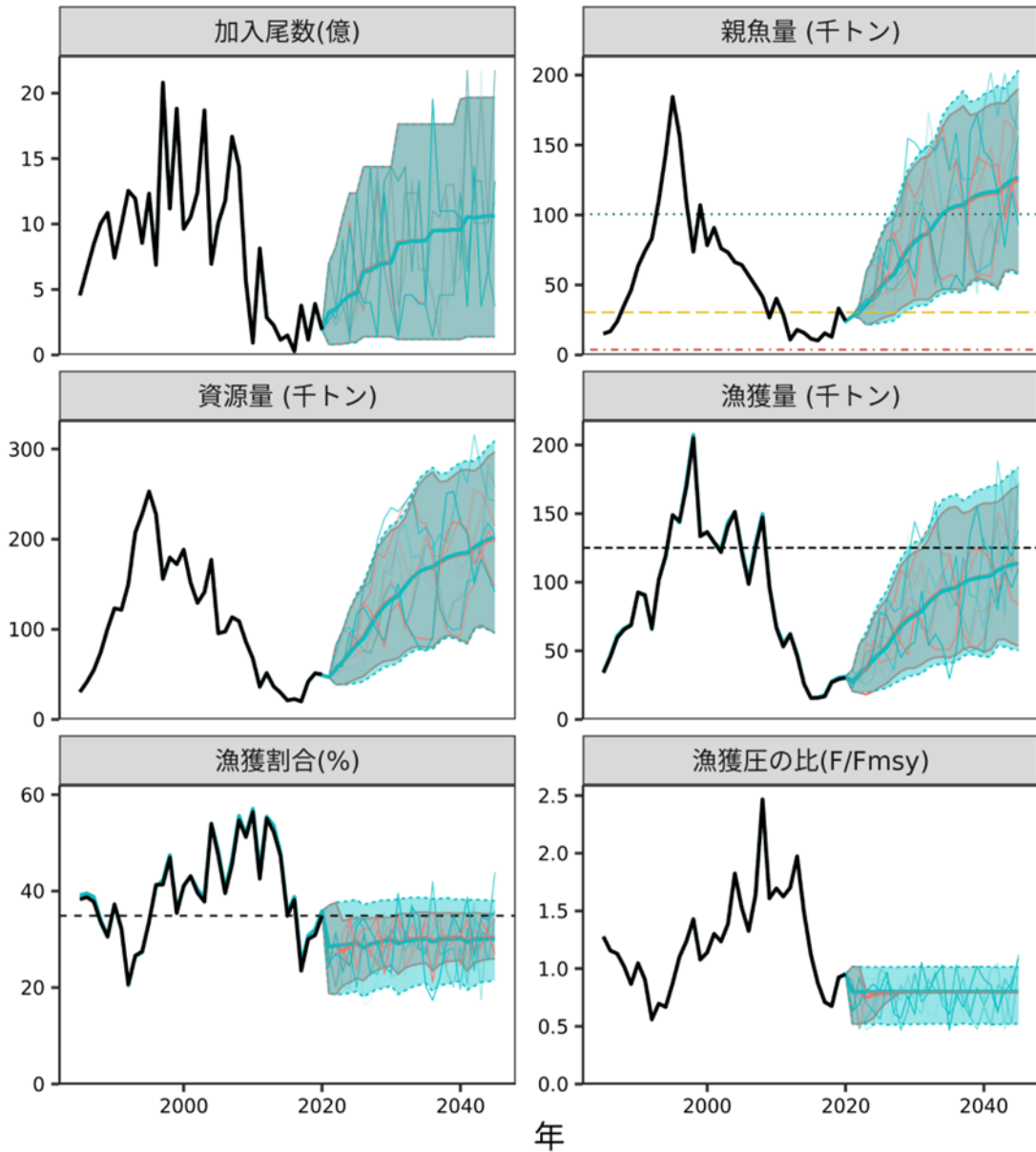


図 8. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の加入量の予測値に対する観測値の残差（1985～2020年）と将来予測において用いた残差



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

図9. 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である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄色点線は限界管理基準値案、赤点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年および2022年の漁獲量は予測される資源量と2016～2019年の漁獲係数をランダムサンプリングした値により仮定した。漁獲管理規則案（2023年以降）は標準の管理基準値案に基づく（図5）。調整係数 β には0.8を用いた。比較のため2016～2019年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を2023年以降も続けた場合の予測値も示した。

表 1. 再生産関係式の検討候補と選択した再生産関係のパラメータ推定値

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	deltaAIC*	ΔAICc	順位
ホッケー・スティック	最小絶対値法	無	71.64		0.00	1
ホッケー・スティック	最小絶対値法	有	71.64	0.35	0.00	2
リッカー	最小絶対値法	無	73.62		1.99	3
リッカー	最小絶対値法	有	73.62	0.33	1.99	4
ホッケー・スティック	最小二乗法	無	75.69		4.05	5
ホッケー・スティック	最小二乗法	有	75.69	1.86	4.05	6
ベバートン・ホルト	最小絶対値法	無	75.72		4.08	7
ベバートン・ホルト	最小絶対値法	有	75.72	-0.49	4.08	8
リッカー	最小二乗法	無	77.78		6.14	9
リッカー	最小二乗法	有	77.78	1.32	6.14	10
ベバートン・ホルト	最小二乗法	無	78.41		6.77	11
ベバートン・ホルト	最小二乗法	有	78.41	1.20	6.77	12

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。自己相関を考慮したモデルでは、再生産関係式のパラメータを推定した後に自己相関係数を推定する二段階推定法を用いたため、そのAICcは自己相関を考慮しない段階のモデルに対する値となっている。

*deltaAICは再生産関係式のパラメータを推定したのち自己相関を考慮した場合に変化するAICの値を示す。

b) 選択した再生産関係式のパラメータ推定値.

再生産関係式	最適化法	自己相関	a (百万尾/トン)	b (トン)	S.D.
ホッケー・スティック型	最小絶対値法	無	0.0233	48,640	0.690

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(最小-最大)(g) ^{*1}	平均重量(最小-最大)(g) ^{*2}	選択率	現状の漁獲圧 (F2016-2019)
0	0.295	0	91 (89-105)	94 (92-109)	0.24	0.14
1	0.295	0.8	175 (168-198)	210 (92-239)	0.89	0.53
2	0.295	1	287 (277-326)	329 (316-374)	0.91	0.54
3	0.295	1	364 (352-413)	389 (373-442)	1.01	0.60
4	0.295	1	401 (387-455)	409 (392-465)	1.00	0.59
5+	0.295	1	401 (387-455)	-	1.00	0.59

本系群は資源尾数と体重に負の関係が見られることから、将来の年齢別の体重は、資源尾数と体重に非線形関係を過程した予測モデル（FRA-SC2022-BRP02-03、補足資料 4）から得られた値を用いた（補足資料 2）。

*1 漁獲量および資源量の計算に用いた、予測モデルに基づく体重の平均値および範囲（0歳は10月、1歳以上は7月の体重に相当）

*2 親魚量の計算に用いた、予測モデルに基づく体重の平均値および範囲（11月の体重に相当）

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、漁獲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（F2016-2019）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）

管理基準値案	説明	親魚量 (万トン)	SB0に対する比	漁獲量 (万トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	漁獲圧の比
目標管理基準値案	SBmsy	10.1	0.14	12.5	12.9	34.9	1.23
限界管理基準値案	SB0.6msy	3.0	0.04	7.5	6.5	43.5	1.87
禁漁水準案	SB0.1msy	0.4	0.01	1.3	4.8	46.7	2.17
MSYを実現する漁獲圧	Fmsy	(0歳, 1歳, 2歳, 3歳, 4歳, 5歳以上) = (0.17, 0.65, 0.67, 0.74, 0.73, 0.73)					

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。
 2021 年および 2022 年の漁獲量は予測される資源量と 2016~2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。
 比較のため、現状の漁獲圧を継続した将来予測として、2016~2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2023 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	6	7	11	17	20	23	25	24	26	28	31	33	45
0.9	0	0	0	0	0	0	1	1	4	8	12	15	18	24	30	34	36	37	41	44	46	48	49	64
0.8	0	0	0	0	0	1	2	4	11	21	27	32	35	43	48	51	52	52	59	63	63	64	63	75
0.7	0	0	0	0	0	2	8	13	26	39	46	50	51	61	64	66	67	66	74	78	76	75	74	82
0.6	0	0	0	0	0	5	16	25	42	56	63	66	67	76	79	79	79	78	85	87	86	85	83	89
0.5	0	0	0	0	1	9	26	40	60	73	79	81	81	88	90	90	90	88	93	95	94	93	91	95
0.4	0	0	0	0	1	16	40	57	78	88	91	93	92	95	97	97	97	96	98	98	98	98	97	99
0.3	0	0	0	0	3	26	55	75	91	96	98	98	98	99	99	99	99	99	99	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	0	5	37	69	87	97	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	0	9	47	82	95	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	0	0	14	57	91	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	0	0	0	1	4	6	12	20	26	31	34	41	47	50	51	52	58	61	62	62	62	74

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。
 2021 年および 2022 年の漁獲量は予測される資源量と 2016~2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。
 比較のため、現状の漁獲圧を継続した将来予測として、2016~2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2023 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052
1	0	0	49	66	68	72	75	75	85	88	90	90	90	94	95	95	95	95	97	98	98	97	96	98
0.9	0	0	49	66	76	82	85	87	93	95	96	96	96	97	98	98	98	98	99	99	99	99	99	99
0.8	0	0	49	66	82	88	92	93	97	98	98	99	99	99	99	99	99	99	100	99	100	100	100	100
0.7	0	0	49	66	86	93	96	97	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	49	66	89	96	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	49	66	92	97	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	49	66	94	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	49	66	96	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	49	66	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	49	66	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	49	66	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	49	66	76	82	86	88	94	96	97	97	97	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100

表 6. 将来の親魚量が禁漁水準を上回る確率 (%)

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。
 2021 年および 2022 年の漁獲量は予測される資源量と 2016~2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。
 比較のため、現状の漁獲圧を継続した将来予測として、2016~2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2023 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表 7. 将来の平均親魚量の推移 (万トン)

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。
 2021 年および 2022 年の漁獲量は予測される資源量と 2016~2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。
 比較のため、現状の漁獲圧を継続した将来予測として、2016~2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2023 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052
1	2.4	2.8	3.1	3.6	3.8	4.0	4.3	4.3	5.0	5.4	5.7	6.0	6.1	6.7	7.1	7.4	7.6	7.7	8.0	8.2	8.3	8.4	8.4	9.4
0.9	2.4	2.8	3.1	3.6	4.0	4.4	4.8	5.0	5.8	6.4	6.8	7.1	7.3	8.0	8.5	8.8	9.0	9.0	9.4	9.6	9.8	9.9	9.9	10.9
0.8	2.4	2.8	3.1	3.6	4.3	4.9	5.5	5.9	6.9	7.7	8.2	8.6	8.7	9.4	10.1	10.4	10.6	10.6	11.0	11.3	11.5	11.5	11.5	12.7
0.7	2.4	2.8	3.1	3.6	4.6	5.4	6.3	6.9	8.1	9.2	9.8	10.2	10.3	11.1	11.9	12.3	12.5	12.5	12.9	13.3	13.5	13.6	13.5	14.9
0.6	2.4	2.8	3.1	3.6	4.9	6.0	7.2	8.1	9.6	10.9	11.7	12.1	12.3	13.2	14.0	14.5	14.7	14.8	15.3	15.7	15.9	16.0	16.0	17.7
0.5	2.4	2.8	3.1	3.6	5.2	6.7	8.3	9.6	11.4	13.0	13.9	14.5	14.6	15.6	16.6	17.2	17.5	17.6	18.2	18.7	19.0	19.1	19.1	21.1
0.4	2.4	2.8	3.1	3.6	5.5	7.4	9.6	11.3	13.5	15.4	16.7	17.4	17.6	18.7	19.9	20.7	21.1	21.3	21.9	22.5	22.9	23.1	23.1	25.6
0.3	2.4	2.8	3.1	3.6	5.9	8.3	11.1	13.3	16.1	18.4	20.0	21.0	21.4	22.7	24.1	25.1	25.7	26.0	26.7	27.5	28.0	28.3	28.4	31.5
0.2	2.4	2.8	3.1	3.6	6.3	9.2	12.8	15.8	19.2	22.2	24.3	25.7	26.4	28.0	29.7	31.0	31.9	32.4	33.3	34.2	34.9	35.3	35.5	39.5
0.1	2.4	2.8	3.1	3.6	6.7	10.3	14.8	18.7	23.0	26.8	29.8	31.8	33.0	35.1	37.3	39.1	40.3	41.1	42.3	43.5	44.4	45.1	45.4	50.9
0	2.4	2.8	3.1	3.6	7.1	11.5	17.1	22.2	27.7	32.8	36.9	39.9	42.0	44.8	47.8	50.4	52.3	53.6	55.3	57.0	58.4	59.4	60.0	68.0
現状の漁獲圧	2.4	2.8	3.1	3.6	4.2	4.8	5.4	5.7	6.7	7.5	8.1	8.5	8.7	9.4	10.1	10.5	10.7	10.7	11.1	11.4	11.6	11.7	11.7	12.9

表 8. 将来の平均漁獲量の推移（万トン）

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。
 2021 年および 2022 年の漁獲量は予測される資源量と 2016～2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。
 比較のため、現状の漁獲圧を継続した将来予測として、2016～2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2023 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052
1	3.0	2.8	3.3	4.4	4.7	5.0	5.3	5.9	6.5	7.0	7.3	7.6	8.3	8.8	9.1	9.4	9.5	9.9	10.1	10.3	10.4	10.5	10.9	12.0
0.9	3.0	2.8	3.3	4.0	4.6	5.0	5.4	6.2	6.8	7.3	7.6	7.9	8.5	9.0	9.4	9.5	9.7	10.0	10.2	10.4	10.5	10.6	11.0	12.0
0.8	3.0	2.8	3.3	3.7	4.3	4.9	5.4	6.3	6.9	7.4	7.7	8.0	8.6	9.1	9.4	9.5	9.7	10.0	10.2	10.3	10.4	10.5	10.9	11.8
0.7	3.0	2.8	3.3	3.3	4.1	4.8	5.3	6.2	6.9	7.4	7.7	7.9	8.5	9.0	9.3	9.4	9.5	9.8	10.0	10.2	10.2	10.3	10.7	11.6
0.6	3.0	2.8	3.3	2.9	3.8	4.5	5.2	6.1	6.8	7.3	7.5	7.7	8.2	8.7	9.0	9.1	9.2	9.5	9.7	9.9	9.9	10.0	10.3	11.2
0.5	3.0	2.8	3.3	2.5	3.4	4.2	4.8	5.7	6.4	6.9	7.2	7.3	7.8	8.2	8.5	8.7	8.8	9.0	9.2	9.4	9.5	9.5	9.8	10.7
0.4	3.0	2.8	3.3	2.0	2.9	3.7	4.4	5.2	5.8	6.3	6.6	6.8	7.2	7.5	7.8	8.0	8.1	8.3	8.5	8.7	8.8	8.8	9.1	9.9
0.3	3.0	2.8	3.3	1.6	2.3	3.1	3.7	4.4	5.0	5.5	5.7	5.9	6.3	6.6	6.9	7.0	7.1	7.3	7.5	7.7	7.7	7.8	8.0	8.8
0.2	3.0	2.8	3.3	1.1	1.7	2.3	2.8	3.4	3.9	4.2	4.5	4.7	4.9	5.2	5.4	5.6	5.7	5.8	6.0	6.1	6.2	6.2	6.4	7.0
0.1	3.0	2.8	3.3	0.6	0.9	1.2	1.6	1.9	2.2	2.5	2.7	2.8	3.0	3.1	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4.4
0	3.0	2.8	3.3	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	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧	3.0	2.8	3.3	3.8	4.3	4.8	5.3	6.1	6.7	7.3	7.5	7.9	8.5	9.0	9.3	9.5	9.6	10.0	10.2	10.3	10.4	10.5	10.9	11.8

表 9. 予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案等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 (万トン)		予測平均漁獲量 (万トン)			リスク (10年間に1度でも起きる確率)			
	親魚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	親魚量が過去最低親魚量を下回る	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	11	5.0	6.7	4.4	6.5	8.8	68%	0%	0%	0%
0.9	24	5.8	8.0	4.0	6.8	9.0	50%	0%	0%	0%
0.8	43	6.9	9.4	3.7	6.9	9.1	35%	0%	0%	0%
0.7	61	8.1	11.1	3.3	6.9	9.0	23%	0%	0%	0%
0.6	76	9.6	13.2	2.9	6.8	8.7	15%	0%	0%	0%
0.5	88	11.4	15.6	2.5	6.4	8.2	10%	0%	0%	0%
0.4	95	13.5	18.7	2.0	5.8	7.5	7%	0%	0%	0%
0.3	99	16.1	22.7	1.6	5.0	6.6	5%	0%	0%	0%
0.2	100	19.2	28.0	1.1	3.9	5.2	3%	0%	0%	0%
0.1	100	23.0	35.1	0.6	2.2	3.1	2%	0%	0%	0%
0	100	27.7	44.8	0.0	0.0	0.0	1%	0%	0%	0%
現状の漁獲圧を継続	41	6.7	9.4	3.8	6.7	9.0	40%	0%	0%	6%

補足資料 1 将来予測の方法

令和 3 (2021) 年度ホッケ道北系群の資源評価 (FRA-SA2021-SC05-1) のデータを用いて再生産関係および管理基準値案を検討した。資源評価においては半期コホート解析が使用されたが (FRA-SA2021-SC05-1)、将来予測では年単位のコホート解析の前進法を用いた ((1) 式)。そのため、個体群動態モデルは年単位のものとし、漁獲尾数の計算をする際には、Baranov の漁獲方程式 ((2) 式) を使用した。なお資源評価ではプラスグループを 4+歳としたが、親魚量計算では 4歳と 5+歳に年齢別資源尾数を分ける必要があるため、将来予測でのコホートの前進計算では 5+歳をプラスグループとして計算した。5+歳のプラスグループの資源尾数は、前年の 4歳と 5+歳の和から前進させた。5+歳の年齢別漁獲係数 F 、自然死亡係数、および成熟率は 4歳と同じ値とした。

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

$$C_{a,y} = F_{a,y} / (F_{a,y} + M) \times N_{a,y} (1 - \exp(-F_{a,y} - M)) \quad (2)$$

各年の年齢別資源重量は (3) 式で求めた。

$$B_{a,y} = N_{a,y} \times w_{a,y}^{Jul} \quad (3)$$

ここで、 $w_{a,y}^{Jul}$ は y 年 a 歳の 7 月に相当する年齢別平均体重の予測値 (0歳は 10月相当) である。資源評価 (FRA-SA2021-SC05-1) において、0歳の体重として 10月の値を、1歳~4+歳の体重として 7月の値を用いているため、将来予測にでも同様に、0歳には 10月時点に相当する体重を、1歳以上は 7月時点に相当する体重を予測モデルから与えた。予測モデルは、年齢別資源尾数と年齢別体重の負の非線形関係を考慮して、資源尾数から体重を予測するものである (補足資料 4)。

また、各年の親魚量は資源評価との整合性をとるため (4) 式により計算した。

$$SSB_y = \sum_{a=1}^{4+} N_{a+1,y} \times m_a \times w_{a,y-1}^{Nov} \quad (4)$$

ここで m_a は a 歳における成熟率 (表 2) である。 $w_{a,y-1}^{Nov}$ は a 歳 $y-1$ 年の 11 月時点に相当する平均体重について前述のモデルから予測したものである。ホッケの産卵期は漁期末にあたるため、親魚量に対応する前年の漁期末の資源尾数は当年の 1 月 1 日の資源尾数と同等であると仮定している (補足資料 4)。

補足資料2 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 0 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 (百万尾/トン)、 b は折れ点となる親魚量 (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 (補足表 2-1)。

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 1985~2020 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、再生産関係式のパラメータを推定した後に自己相関係数を推定する“二段階推定法”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-SA2021-ABCWG01-03) を参照)。なお、今回、HS 型再生産関係式のパラメータ推定において、初期値依存の局所解の有無を確認したところ、尤度の差が 0.001 よりも小さい範囲で、HS 型再生産関係の折れ点である b パラメータが 47813.70 から 49250.71 の間で複数推定されることが確認された。そのため、本系群の HS 型再生産関係の b パラメータには、初期値を変えて 300 回推定を繰り返す試行での推定結果の中央値を用いた。

推定された再生産関係式のパラメータを補足表 2-1 に示す。HS 型、RI 型および BH 型を仮定し、最適化法として最小絶対値法を用いた場合は、最小二乗法を仮定した場合と比べて親魚量が少ない場合に高い加入量が予測された (補足図 2-1)。補正赤池情報量基準 (AICc) を比較すると、HS 型を当てはめた場合の方が RI 型および BH 型を当てはめた場合よりも低く、また、最小絶対値法を用いた場合の方が最小二乗法を用いた場合よりも低くなった。RI 型および BH 型を仮定した場合は、HS 型を仮定した場合と比べて親魚量が多い場合に高い加入量が予測された。

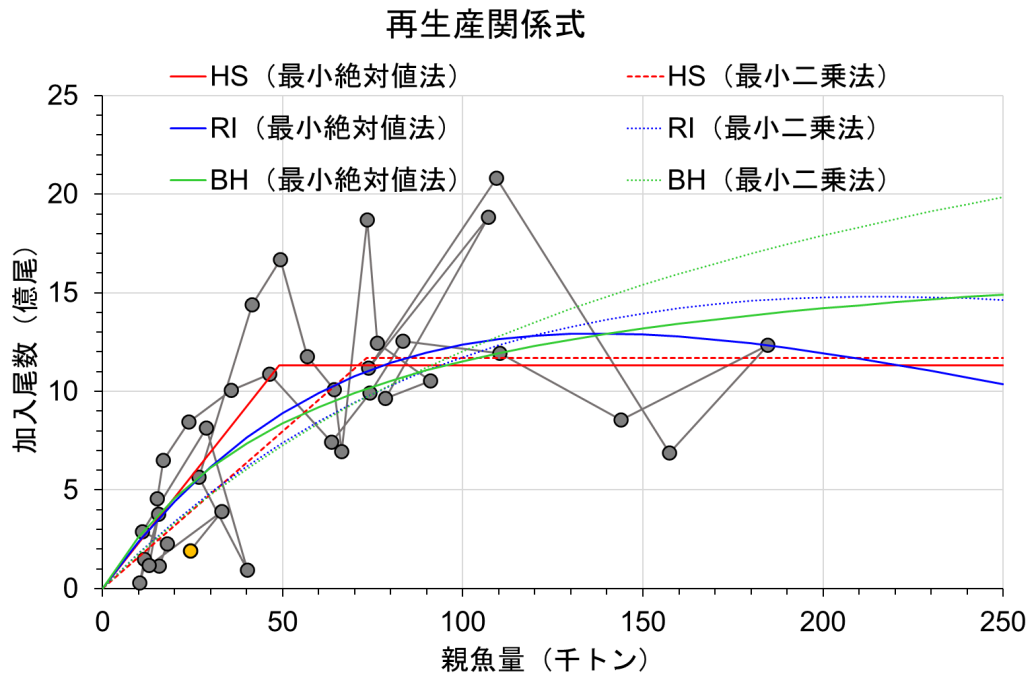
HS 型再生産関係式を最小絶対値法により当てはめた場合の残差トレンドと自己相関プロットを補足図 2-2 に示す。HS 型再生産関係を仮定した場合、自己相関プロットの信頼区間に概ね収まっており、本系群については自己相関を考慮する必要はないと考えられた。なお、残差の時系列に着目すると、HS 型再生産関係を仮定した場合には近年の加入量がモデ

ルからの予測値よりも低く、減少傾向にあると解釈された。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 2-3）、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絶対値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 2-4 および 2-5）。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 2-6 および 2-7）。また、プロファイル尤度を補足図 2-8 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

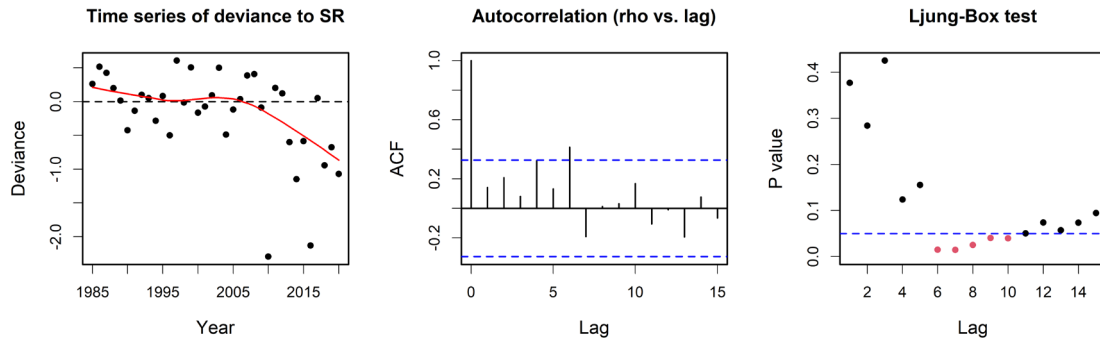
- ABCWG (2021) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート(令和 3 年度研究機関会議版). FRA-SA2021-ABCWG01-02.
- ABCWG (2021) 再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 3 年度) . FRA-SA2021-ABCWG01-03.
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957). On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Clark C. W., A. T. Charles, J. R. Beddington, and M. Mangel (1985). Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Marine Resource Economics*, 2: 25-53.
- Ricker W. E. (1954). Stock and recruitment. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 11: 559-623.



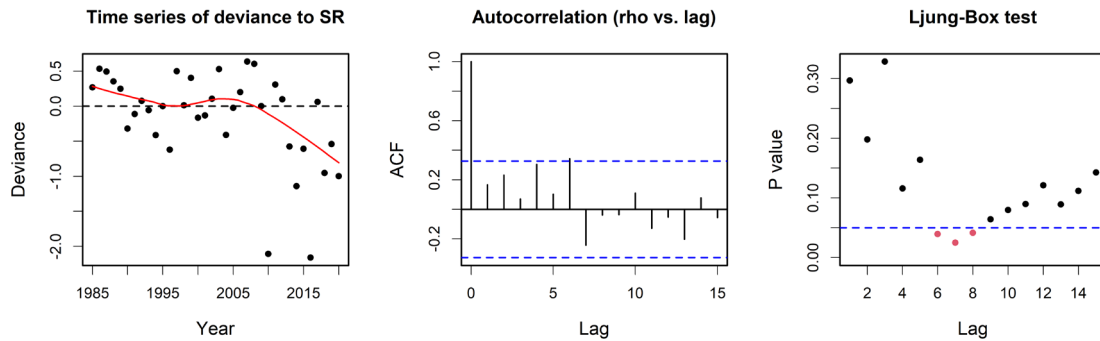
補足図 2-1. 各モデルにおける再生産関係式

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。黒丸は分析に使用した親魚量・加入数 (1985~2020年) であり、直近年である 2020 年は黄色で示した。

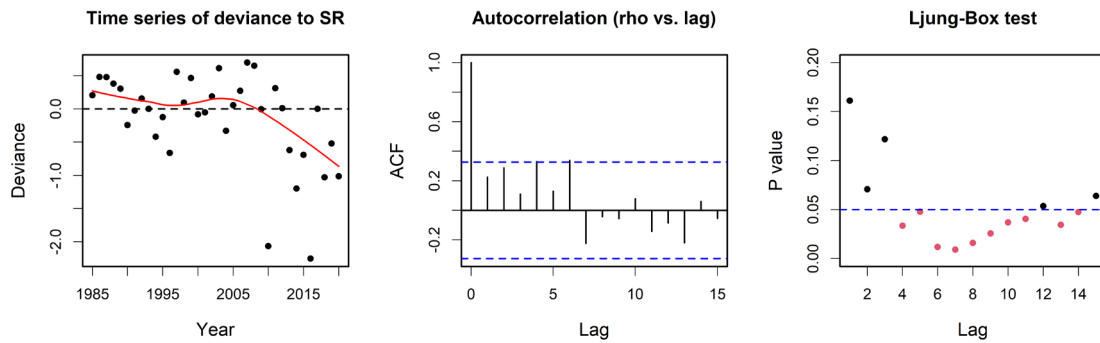
a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合



b) リッカー (RI) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合

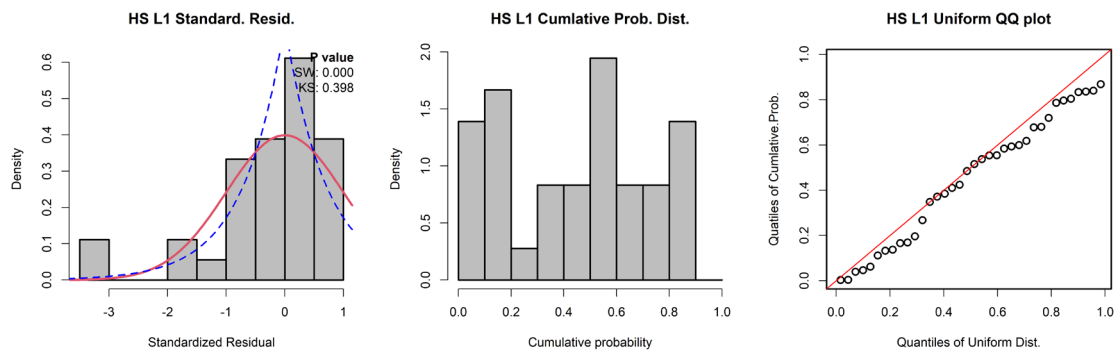


c) ベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合

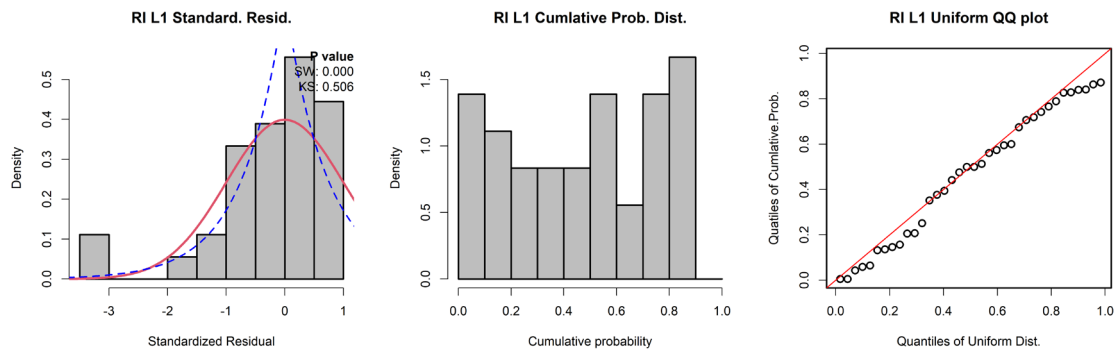


補足図 2-2. ホッケー・スティック型 (HS)、リッカー型 (RI)、ベバートン・ホルト型 (BH) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差の時系列トレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。

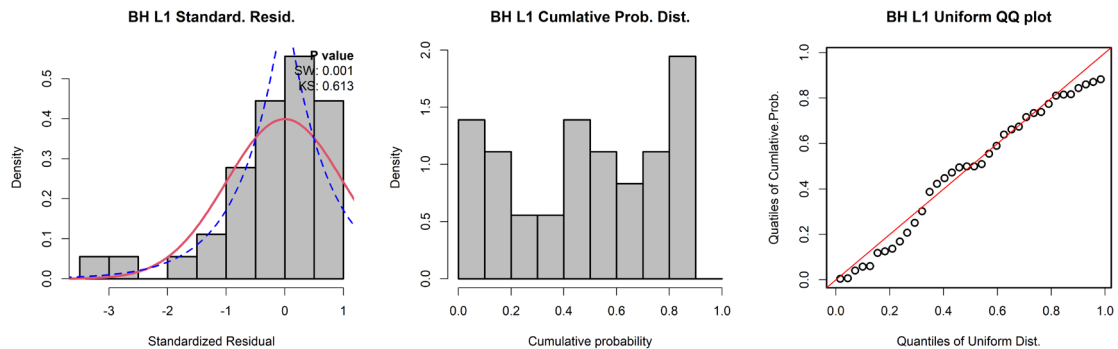
a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合



b) リッカー (RI) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合

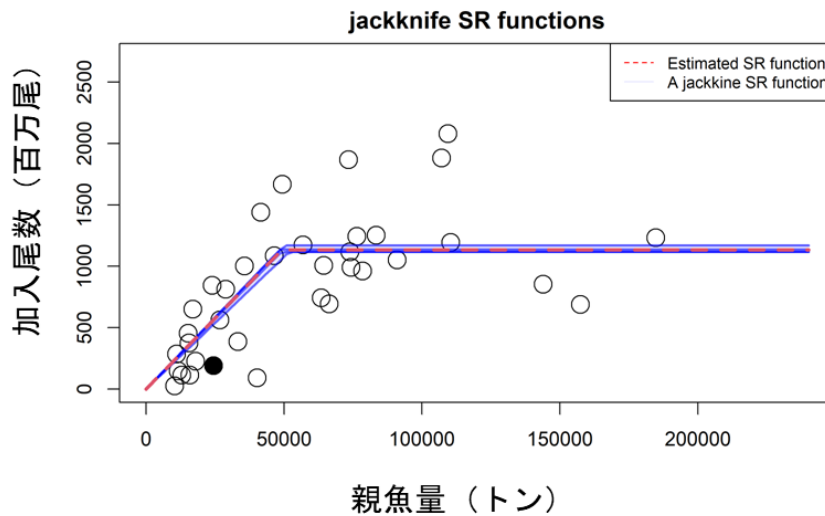


c) ベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合

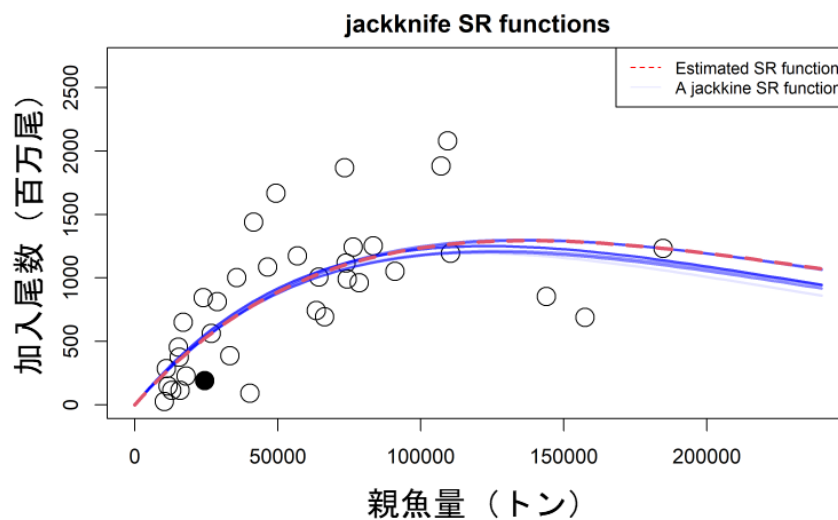


補足図 2-3. ホッケー・スティック (HS) 型、リッカー (RI) 型、ベバートン・ホルト (BH) 型の再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果 (左図)、残差の累積確率密度のヒストグラム (中央図)、および一様分布を仮定した QQ プロット (右図)

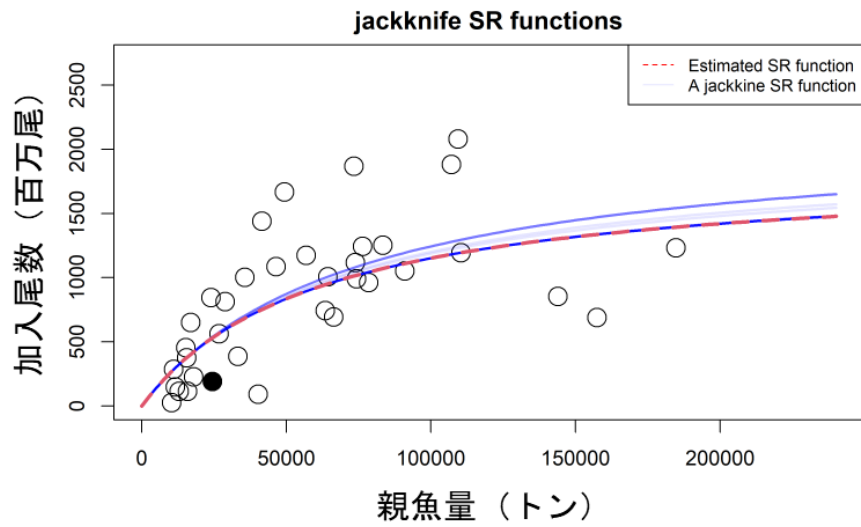
残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。



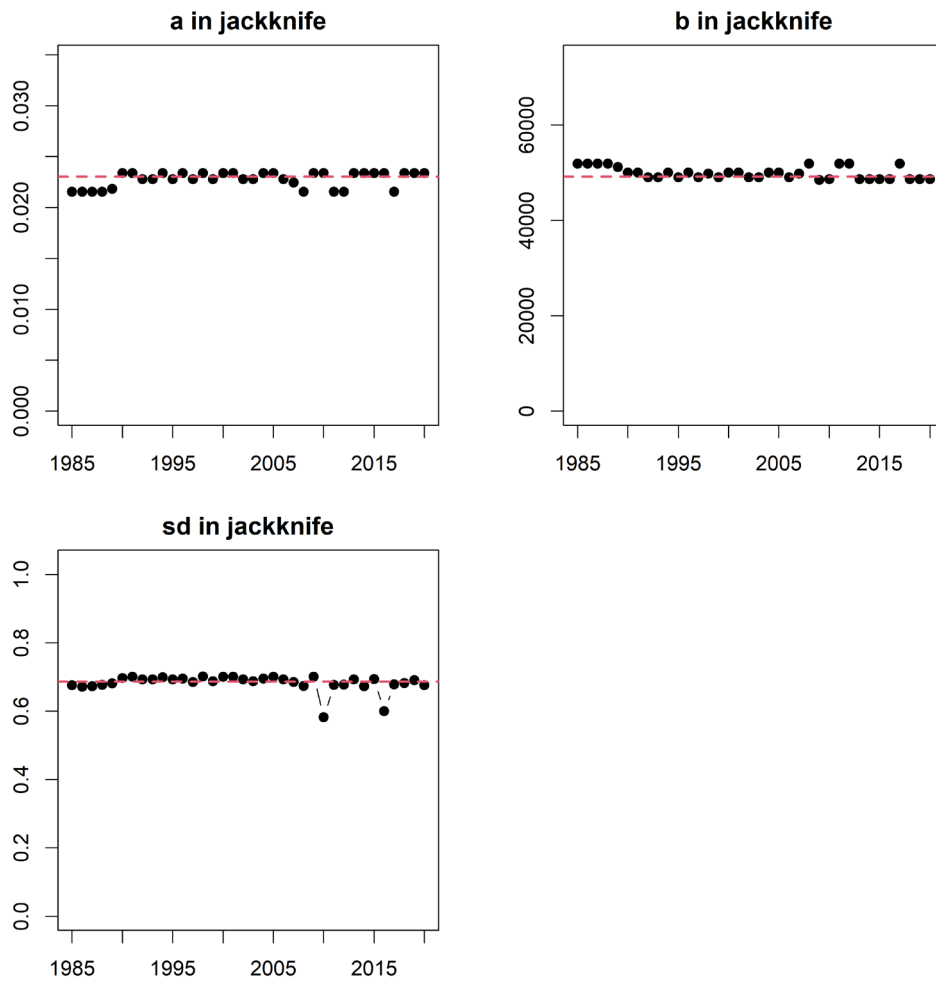
補足図 2-4a. ホッカー・スティック (HS) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果
赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量 (トン)、縦軸は加入数 (百万尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



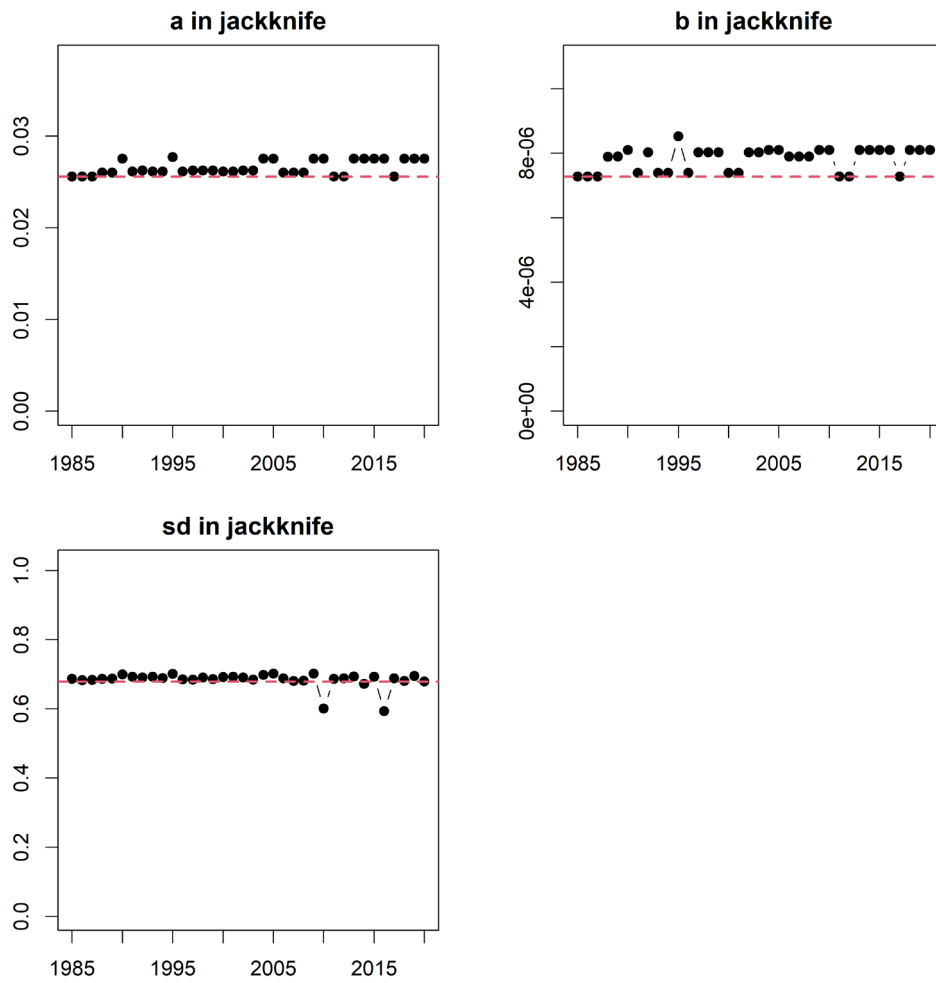
補足図 2-4b. リッカー (RI) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果
赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量 (トン)、縦軸は加入数 (百万尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



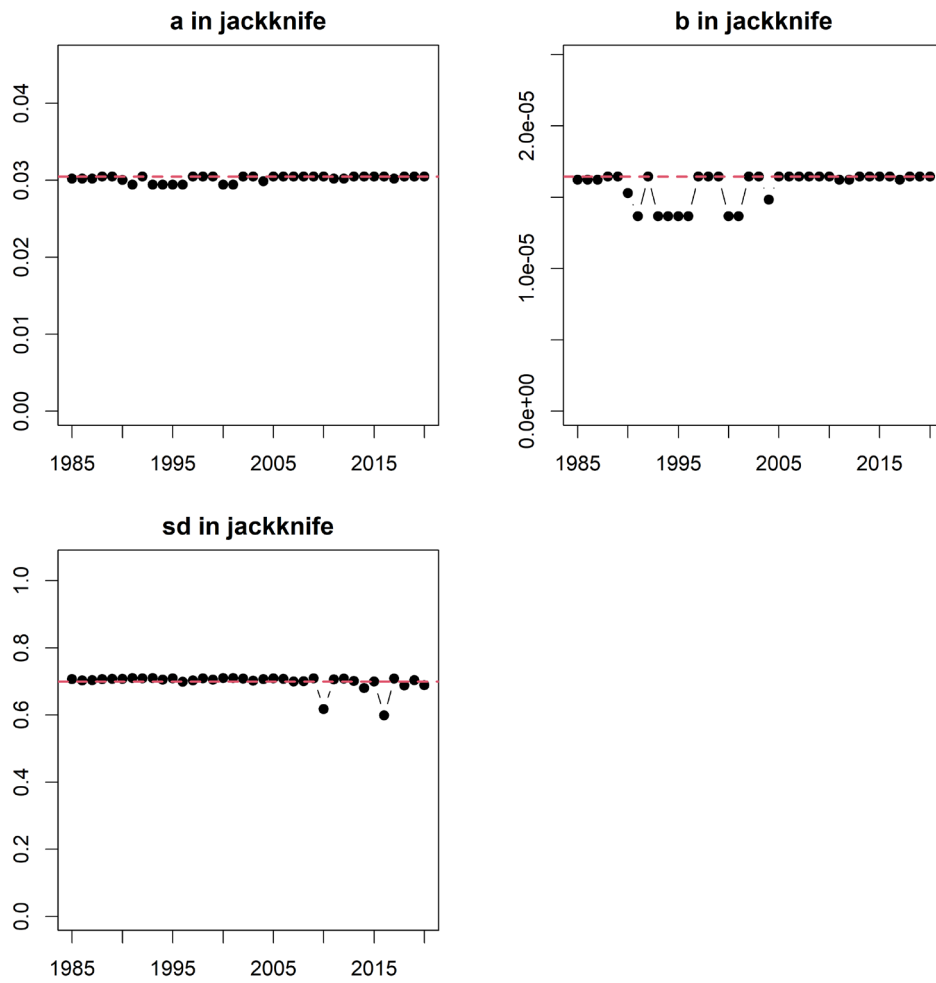
補足図 2-4c. ベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果
 赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量 (トン)、縦軸は加入数 (百万尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



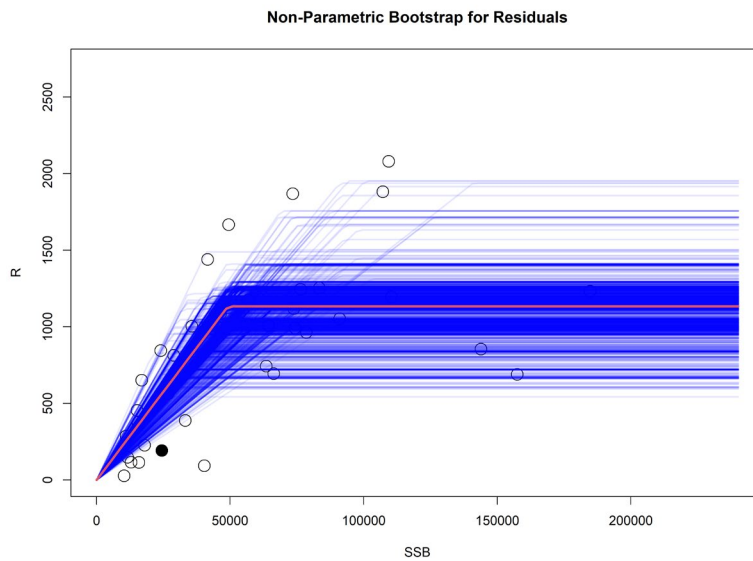
補足図 2-5a. ホッケー・スティック（HS）型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



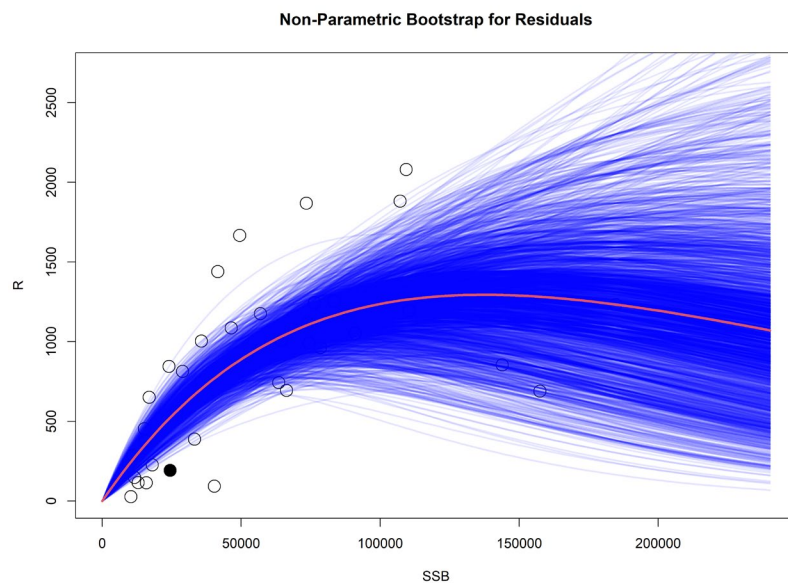
補足図 2-5b. リッカー (RI) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



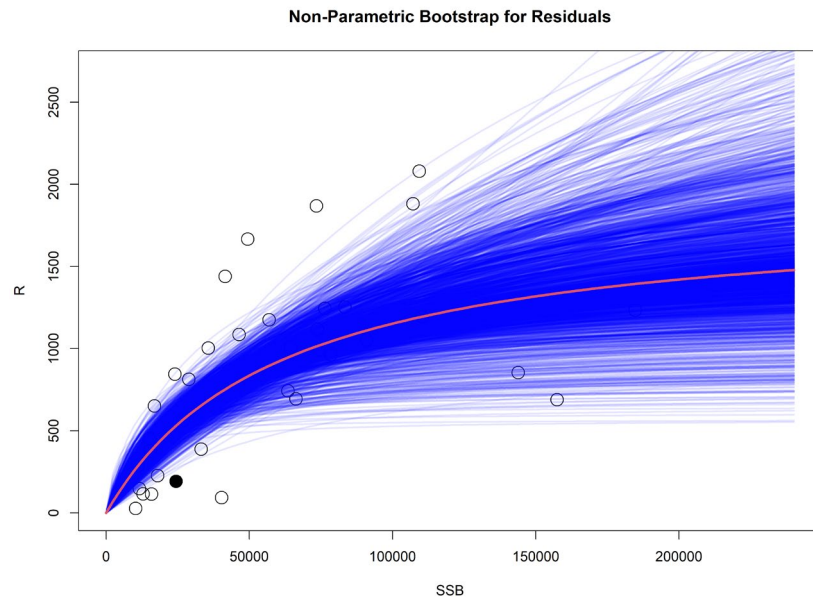
補足図 2-5c. ベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



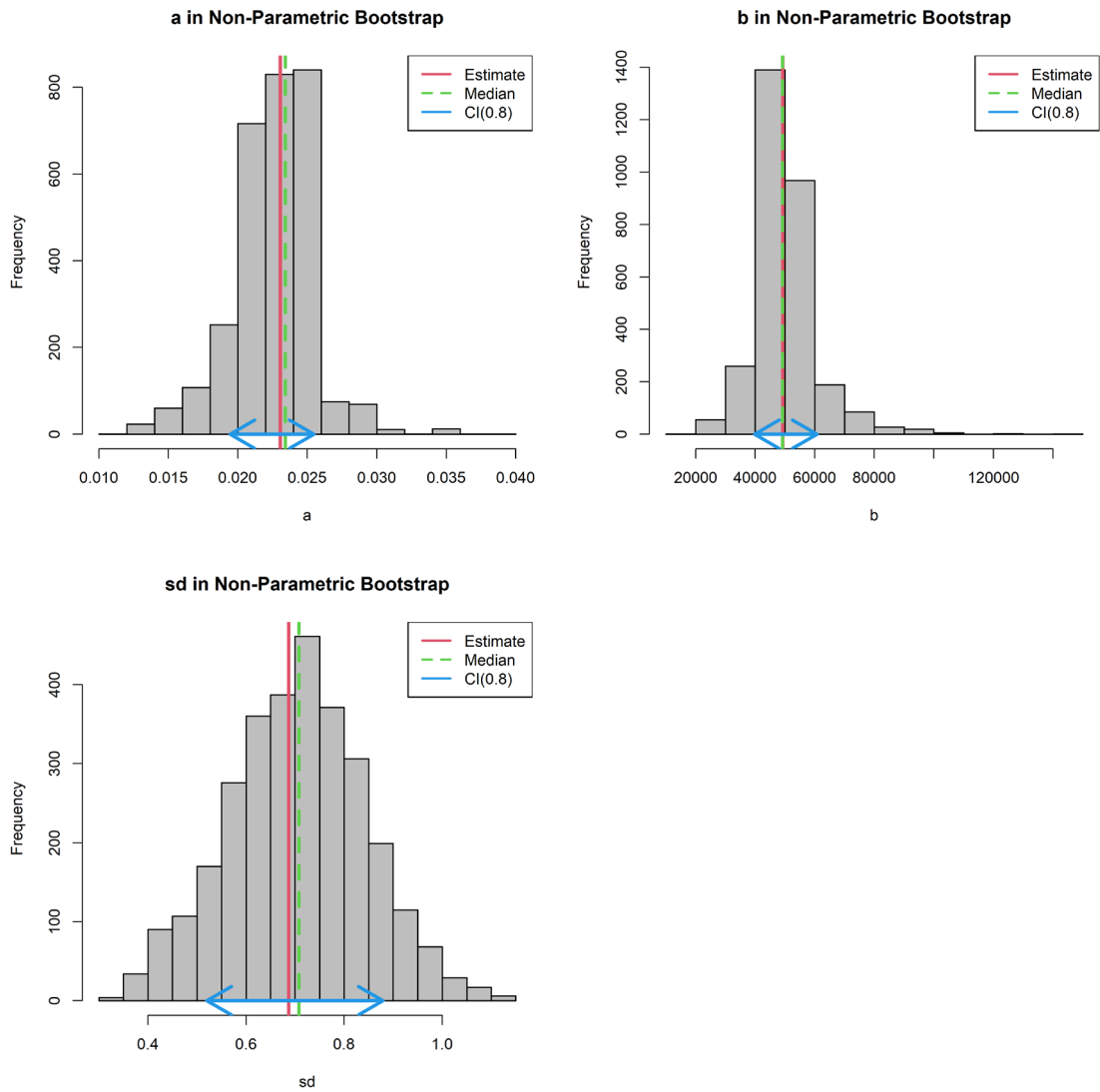
補足図 2-6a. ホッケー・スティック（HS）型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果
赤線は元データでの推定値、青線はノンパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020 年）を示す。



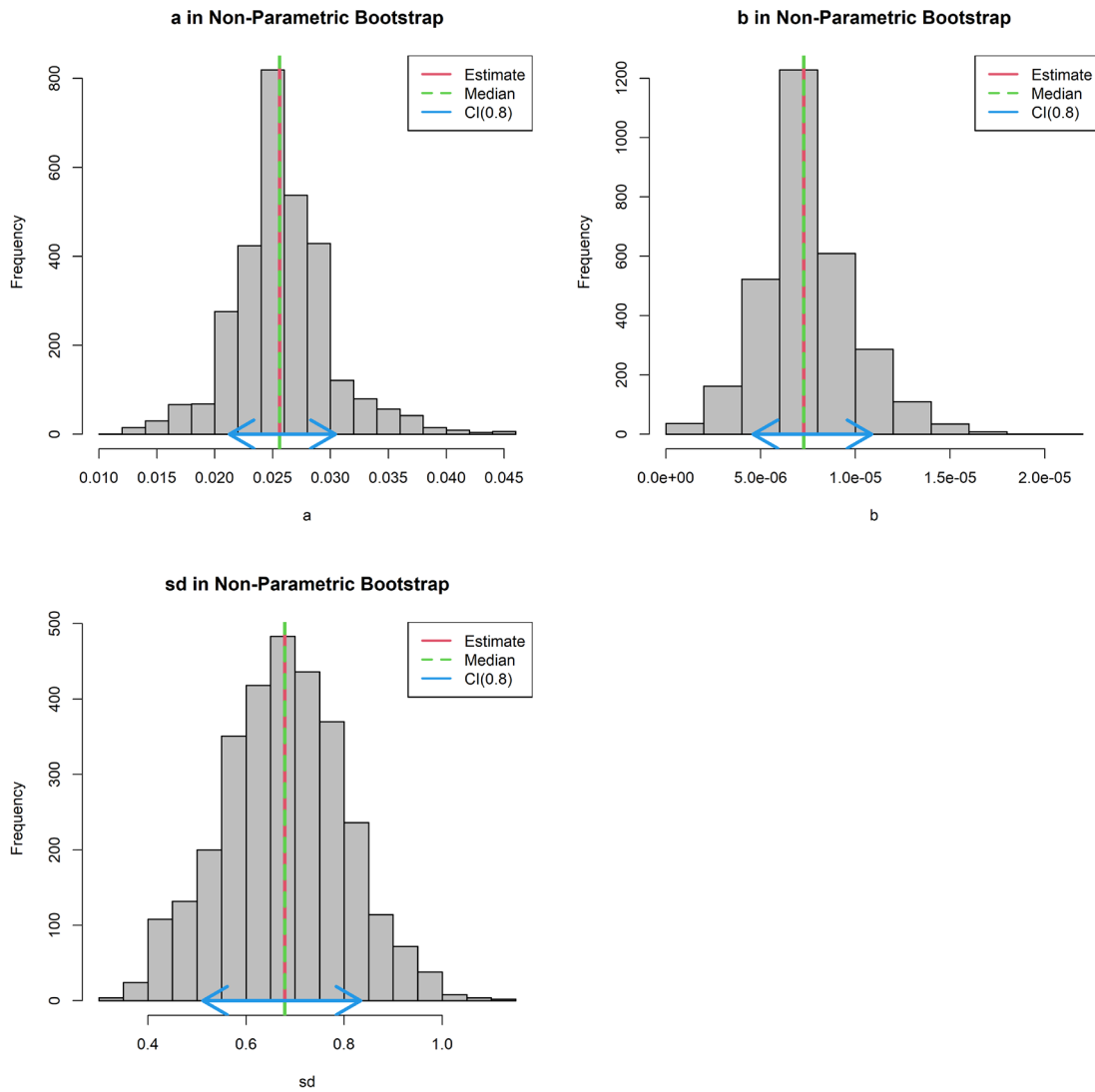
補足図 2-6b. リッカー（RI）型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果
赤線は元データでの推定値、青線はノンパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020 年）を示す。



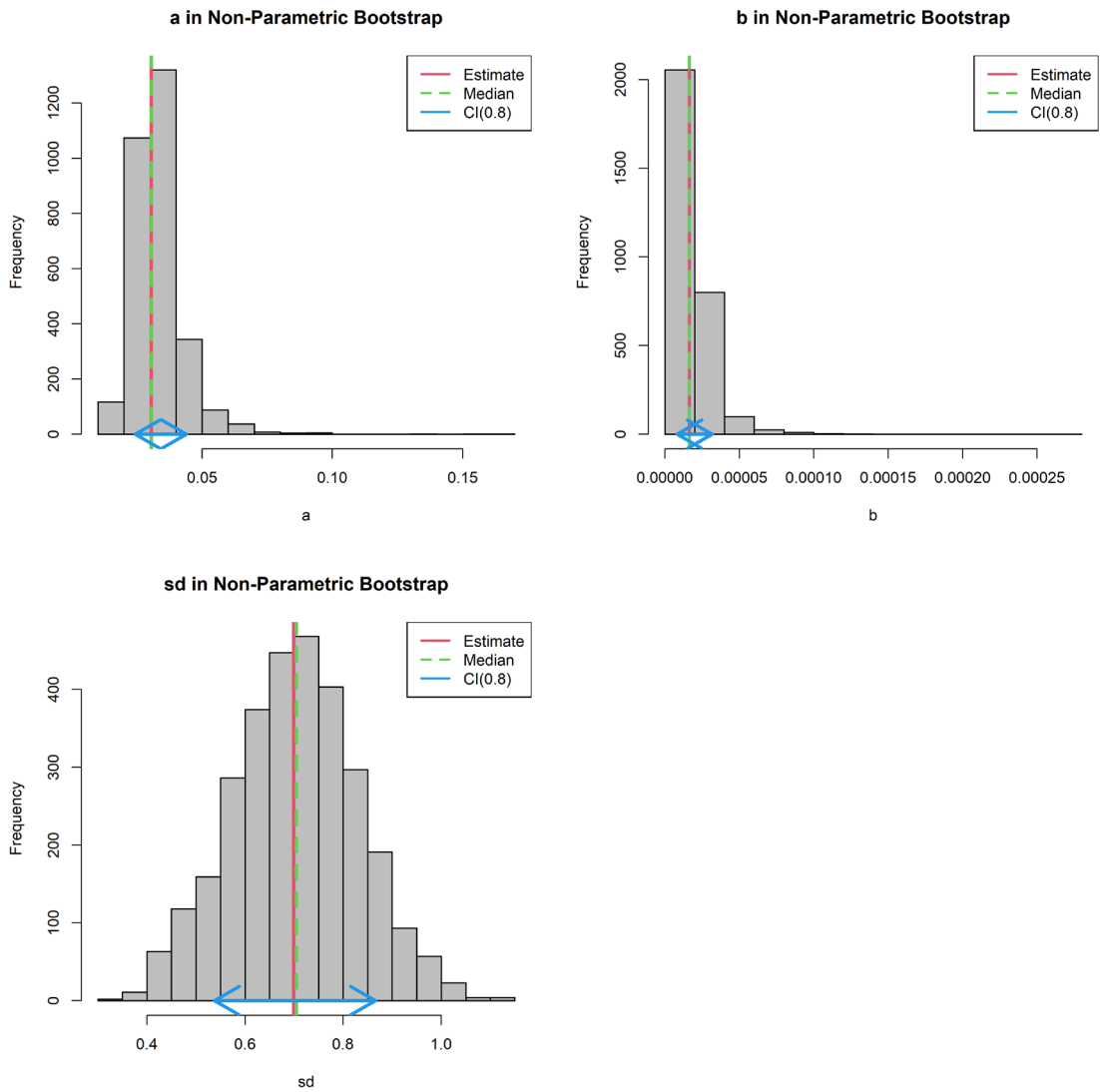
補足図 2-6c. ベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果
 赤線は元データでの推定値、青線はノンパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量 (トン)、縦軸は加入尾数 (百万尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



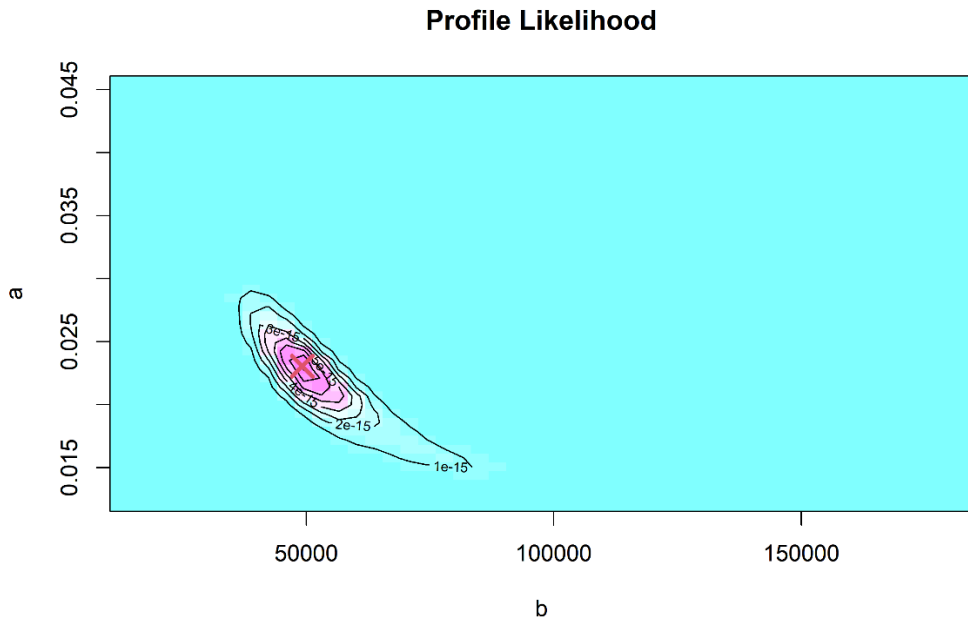
補足図 2-7a. ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での中央値 (緑点線) と 80%信頼区間 (青線) 赤線はパラメータの点推定値である。



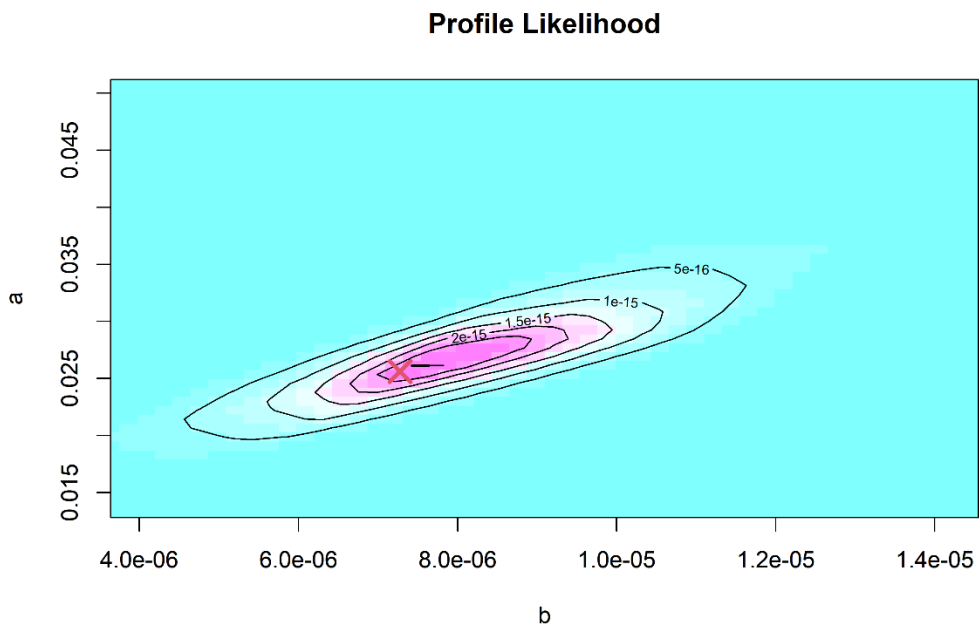
補足図 2-7b. リッカー（RI）型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線）
赤線はパラメータの点推定値である。



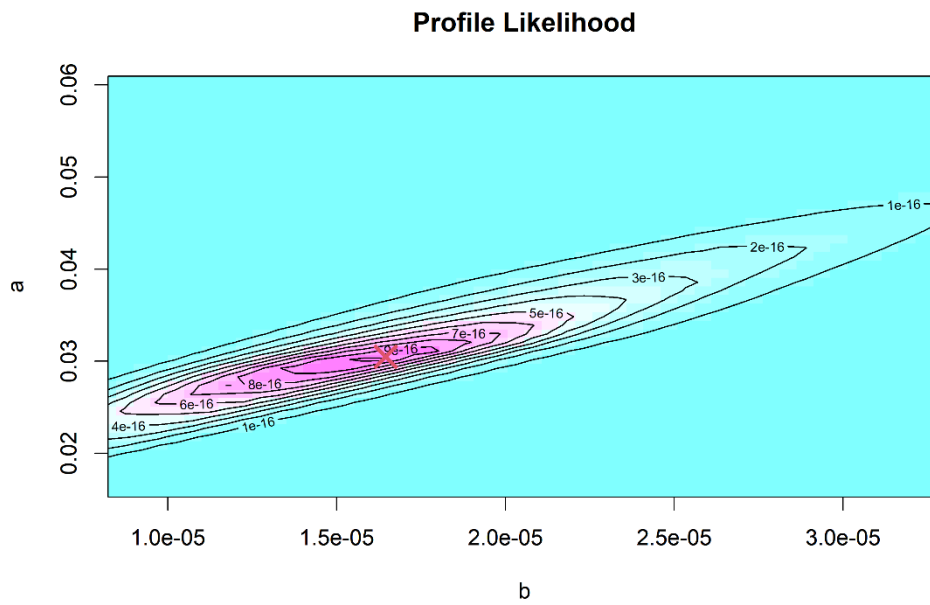
補足図 2-7c. ベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での中央値 (緑点線) と 80%信頼区間 (青線) 赤線はパラメータの点推定値である。



補足図 2-8a. ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を最小絶対値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。



補足図 2-8b. リッカー (RI) 型再生産関係式を最小絶対値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。



補足図 2-8c. ベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係式を最小絶対値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 2-1. 再生産関係式（1985～2020年）における各パラメータ推定値

AICc が最も低く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表す指標で、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 (スティープネス) 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 および BH の場合は $0.2SB0$ のときの平均加入尾数を R0 で割った値、HS の場合は $1-SBhs/SB0$ (SBhs は HS の折れ点) となる値である (FRA-SA2021-ABCWG01-03)。各再生産関係式におけるパラメータの単位は、a はいずれにおいても百万尾/トン、b は HS ではトン、RI および BH では 1/トンである。

再生産関係式	最適化法	自己相関	推定法	a	b	S.D.	ρ	AICc	R0	h	delta AIC*	データ数
ホッケー・スティック	最小絶対値法	無		0.0233	48,640	0.690	0.000	71.64	1,133	0.954		36
ホッケー・スティック	最小絶対値法	有	二段階	0.0233	48,640	0.673	0.216	71.64	1,133	0.954	0.35	36
リッカー	最小絶対値法	無		0.0256	7.28E-06	0.679	0.000	73.62	462	2.563		36
リッカー	最小絶対値法	有	二段階	0.0256	7.28E-06	0.663	0.217	73.62	462	2.563	0.33	36
ホッケー・スティック	最小二乗法	無		0.0159	73289	0.630	0.000	75.69	1,168	0.934		36
ホッケー・スティック	最小二乗法	有	二段階	0.0159	73289	0.629	0.063	75.69	1,168	0.934	1.86	36
ベバートン・ホルト	最小絶対値法	無		0.0305	1.65E-05	0.699	0.000	75.72	1,789	0.878		36
ベバートン・ホルト	最小絶対値法	有	二段階	0.0305	1.65E-05	0.675	0.263	75.72	1,789	0.878	-0.49	36
リッカー	最小二乗法	無		0.0187	4.64E-06	0.649	0.000	77.78	654	1.989		36
リッカー	最小二乗法	有	二段階	0.0187	4.64E-06	0.643	0.139	77.78	654	1.989	1.32	36
ベバートン・ホルト	最小二乗法	無		0.0183	5.24E-06	0.655	0.000	78.41	3,297	0.813		36
ベバートン・ホルト	最小二乗法	有	二段階	0.0183	5.24E-06	0.647	0.150	78.41	3,297	0.813	1.20	36

* deltaAICは再生産関係式のパラメータを推定したのち自己相関を考慮した場合に変化するAICの値を示す

補足資料3 再生産関係式（1985～2020年）とMSY管理基準値推定の感度試験

1985～2020年のデータを用い、仮定する再生産関係によるMSY管理基準値の違いを把握するため、AICcに基づき当てはまりが良いと判断された再生産関係と最適化方法の組み合わせについて、それぞれ自己相関を考慮した場合と考慮しなかった場合の再生産関係式から求められるMSY管理基準値を示した（補足表3-1）。比較対象とした再生産関係は、HS型再生産関係、RI型再生産関係、およびBH型再生産関係である。

RI型再生産関係（最小絶対値法）を用いた場合は、HS型再生産関係（最小絶対値法）を用いた場合に比べてSBmsyおよびSB0.6msyは高い値となる。また、現状の漁獲圧（F2016-2019）に対するFmsyの比はHSの最小絶対値法を用いた場合と比較して小さくなり、期待できるMSYも若干高くなる。一方、BH型再生産関係を用いた場合は、HS型やRI型を用いた場合と比べてMSY管理基準値やMSYが大きくなる傾向が見られた。それぞれの再生産関係および最適化方法の組み合わせにおいて、自己相関の有り、無しではMSY管理基準値は大きく変わらない結果となった。

補足表3-1. 再生産関係（1985～2020年）の違いによるMSY管理基準値の違い

	SBmsy (万トン)	SB0.6msy (万トン)	SB0.1msy (万トン)	MSY (万トン)	Umsy	Fmsy /F2016- 2019	%SPR (%)
HS型(最小絶対値法・自己相関無)	10.1	3.0	0.4	12.5	0.35	1.23	12.9
HS型(最小絶対値法・自己相関有)	10.7	3.2	0.4	12.4	0.34	1.17	13.8
RI型(最小絶対値法・自己相関無)	13.2	3.7	0.4	13.1	0.32	1.05	16.0
RI型(最小絶対値法・自己相関有)	13.3	3.7	0.4	13	0.32	1.04	16.3
HS型(最小二乗法・自己相関無)	12.6	4.4	0.6	12.6	0.32	1.06	15.9
HS型(最小二乗法・自己相関有)	12.7	4.4	0.6	12.6	0.32	1.05	16.1
BH型(最小絶対値法・自己相関無)	24.6	4.5	0.4	14.4	0.24	0.70	25.8
BH型(最小絶対値法・自己相関有)	24.8	4.6	0.4	14.3	0.24	0.69	26.1

補足資料 4 将来予測計算における年齢別体重の仮定

本系群では、年齢別資源尾数と年齢別体重とに負の相関関係が見られることから（補足図 4-1）、平成 31 年 4 月の「管理基準値等に関する研究機関会議」より、MSY を実現する水準の推定や将来予測では下記に示した年齢別資源尾数に対する年齢別体重の回帰式から予測される平均体重に観察された誤差を足したものをを用いてきた。

[資源尾数に対する年齢別体重の従来回帰式]

$$\log(Bw_x) = a \times \log(N_x) + b + e, \quad e \sim N(0, \sigma^2)$$

ここで Bw_x および N_x は x 歳における体重と資源尾数、 e は誤差である。

しかしながら、このような直線的な回帰式では、年齢によって単調に体重が増加しないケースも考えられるなどの問題が指摘されていた。そこで、そのような問題を回避できるように、資源尾数（個体数）に影響を受ける非線形の体重の予測モデルを新たに構築した（FRA-SA2022-BRP02-03）。

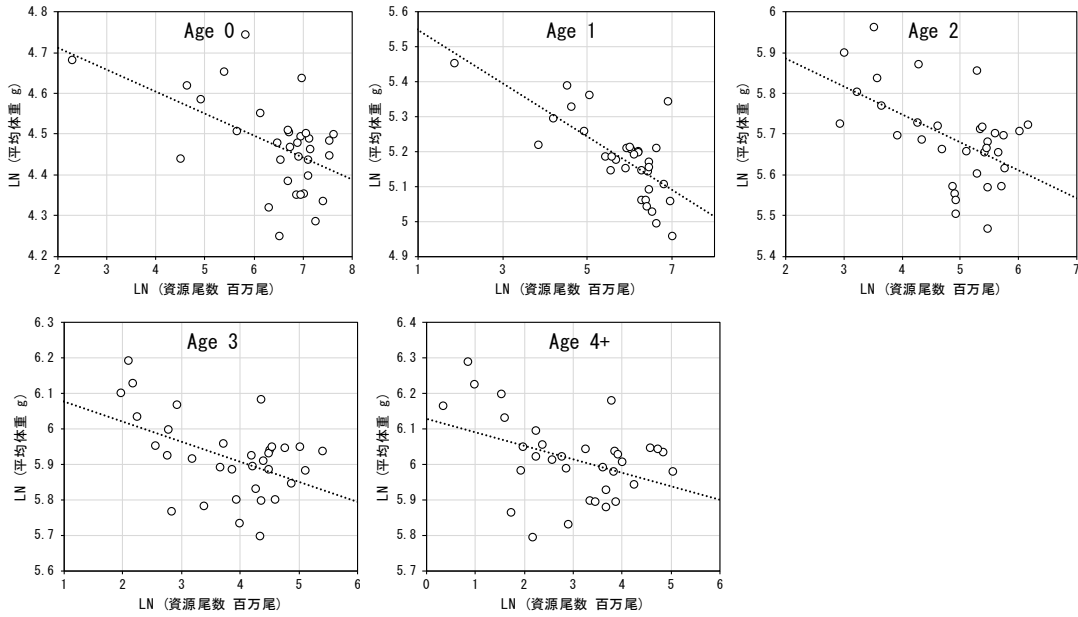
[資源尾数から体重を予測するモデル]

$$\log(w_{a,m,y}) = \log\left(w_{\infty,m,y} \left(1 - \exp\left(-K_{m,y}(a + e_m + d_a - a_{o,m,y})\right)\right)\right) + \varepsilon_{a,m,y}$$

ここで、 a は年齢（0～4+歳）、 m は月（1月、7月、11月）、 y は年（1985～2020年）である。成長は von Bertalanffy の曲線に従うとして、その係数（ w_{∞} 、 K 、 a_0 ）が資源尾数の対数値の関数となっているとした。当てはまりを良くするために、係数にランダム効果を入れている。 e_m は月のずれの効果で、 d_a は年齢による成長曲線からのずれを補正する効果である（詳細は、FRA-SA2022-BRP02-03 を参照のこと）。

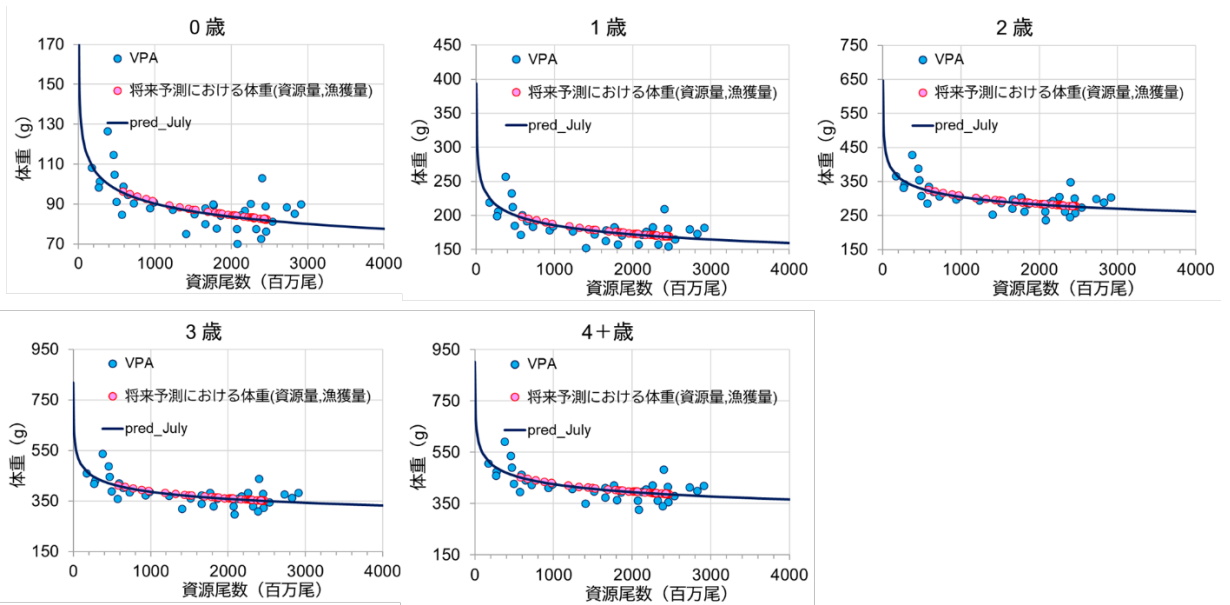
本報告における管理基準値計算や将来予測計算では、上記の資源尾数に影響を受ける体重の予測モデルから得られた体重（補足図 4-2）を用いた。

MSY 管理基準値案を計算するにあたり、資源尾数と体重に関係がないとした場合、直線的な回帰式から予測される従来体重予測モデルを使用する場合、新たな体重の予測モデルを用いた場合の 3 通りで MSY 管理基準値案等の比較を行った。その結果、新旧の体重予測モデル間では管理基準値案となる親魚量および漁獲圧の比はほとんど変わらなかった（補足図 4-3）。従来モデルと同様の結果が得られつつも、よりデータへの当てはまりが良く、体重増加等に矛盾のない予測が可能であることから、今回の管理基準値の計算や将来予測には基本的な計算には上記の新たな体重予測モデルを使用することとした。なお、資源尾数と体重の関係を考慮しない場合は、全ての管理基準値案で大きい傾向が見られた（補足図 4-3）。本系群においては、資源尾数と体重の関係を考慮することで、より現実的な MSY 管理基準値案を推定できると考えられる。



補足図 4-1. 各年齢の資源尾数と体重の関係および従来の体重予測モデル

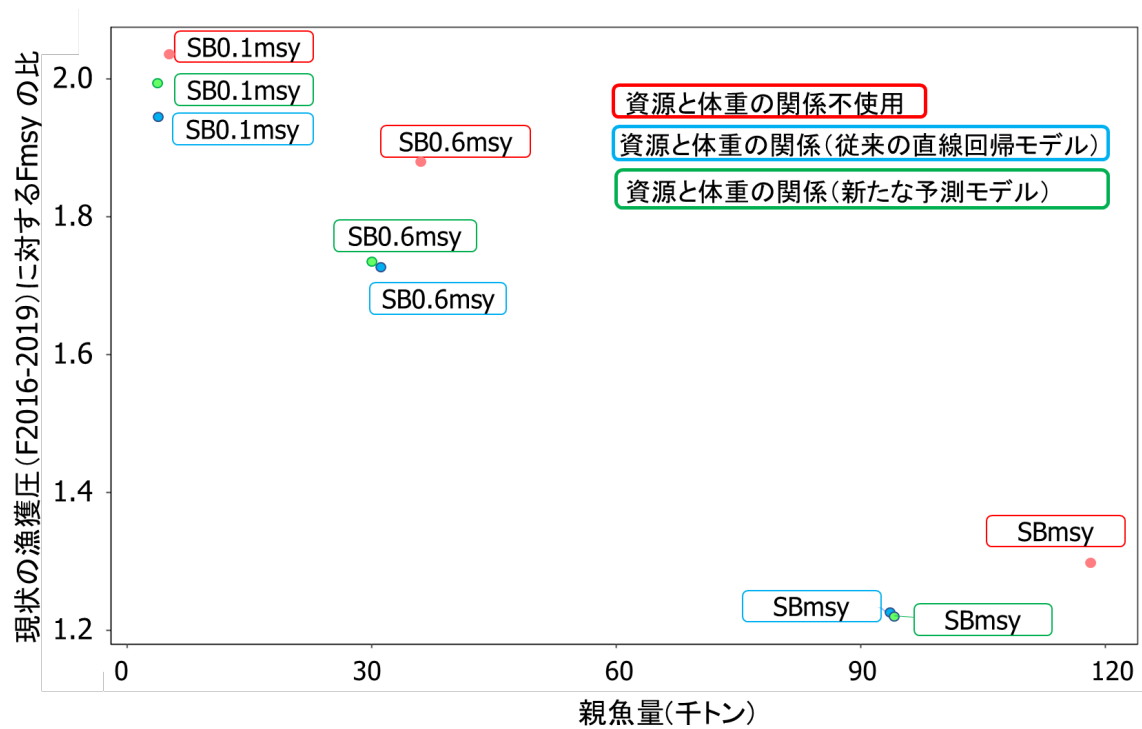
従来の直線的な回帰から予測される資源尾数と漁獲物平均体重は、平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」で MSY を実現する水準の推定に用いた値を使用したものであり、これらは再生産関係と同じく平成 30 (2018) 年度の資源評価に基づく値である。



補足図 4-2. 資源尾数に影響を受ける体重の予測モデル (FRA-SA2022-BRP02-03) を用いた各年齢の資源尾数と体重の関係

横軸は資源尾数 (百万尾)、縦軸は各年齢の体重 (g) である。

青丸は VPA における全資源尾数と各年齢の体重、ピンク印は将来予測における全資源尾数と各年齢の体重、青線は資源尾数に影響を受ける各年齢の体重の予測モデルである。



補足図 4-3. 資源尾数と体重の関係の違いによる MSY 管理基準値の違い

赤は資源尾数と体重の関係を使用しなかった場合、青は資源尾数と体重の関係に直線的な回帰式を使用した場合、緑は資源尾数と体重の関係に予測モデル（FRA-SA2022-BRP02-03）を用いた場合。横軸は親魚量（千トン）、縦軸は現状の漁獲圧（F2016-2019）に対する F_{msy} の比である。それぞれの資源尾数と体重の関係を用いた場合の SBmsy、SB0.6msy および SB0.1msy を示した。

補足資料5 真の再生産関係がRI型だった場合の推定誤差を考慮した簡易MSE

本報告で提案した管理基準値および漁獲管理規則は、全年（1985～2020年）の加入量と親魚量のデータをもとに最小絶対値法で最適化した自己相関を用いないHS型の再生産関係式（ここでは「標準再生産関係」とする）を用いて算出した。一方、再生産関係式のモデル診断結果（補足資料2）では、AICcが最小となるHS型再生産関係（最小絶対値法、自己相関なし）とRI型再生産関係（最小絶対値法、自己相関なし）ではAICcの差は2程度と小さい一方で、それぞれの目標管理基準値案は3万トン程度の差が生じるため（補足表3-1）、再生産関係および調整係数 β の選択には慎重な検討が必要である（補足資料6）。漁獲管理規則での次年度漁期の漁獲量の算出（ここではABC算定とする）自体は標準再生産関係を用いながらも、真の再生産関係がRI型であったという場合においても、真の再生産関係での目標管理基準値案や限界管理基準値案を上回る確率を評価することで、より頑健な β の検討が可能である。再生産関係の選択の誤りに起因した管理基準値案の設定やABC算定の間違いによる資源回復・維持へのリスクを評価することができる。

本資料では、HS型再生産関係（標準再生産関係）とRI型の再生産関係を管理戦略評価（Management Strategy Evaluation, MSE, Punt et al.2001）の中でのシナリオに位置づけ、簡易的なMSEを実施した。このMSEにおける漁獲シナリオは以下のとおりである。

- ① 毎年資源評価を行う
- ② 標準再生産関係をもとに将来予測を実施し、2年後の平均漁獲量をABCとする。
- ③ ②で推定されたABCで漁獲をおこなう。

ここで、真の個体群動態は、RI型の再生産関係を用いてシミュレートした（補足図5-1）。真の個体群動態とABC算定のための将来予測のいずれにおいても、バックワード・リサンプリングによる低加入シナリオを用いた。ただし、ABC計算を行う際は、実際の資源評価のプロセスを反映させ、加入残差のリサンプリング期間はデータの更新に合わせて1年ずつずらすこととした（補足図5-1）。

また、本MSEはあくまでも簡易MSEであり、通常のMSEで考慮されるような資源評価の不確実性および再生産関係以外のABC算定の不確実性（将来予測2年目までの漁獲の仮定）は考慮していない。また、漁獲率の上限は80%とし、資源量の8割を超えるABCが設定されても資源量の8割までしか漁獲できないとした。

(1) 簡易MSE（再生産関係の選択の考慮）による将来予測結果

補足図5-2は真の個体群動態としてRI型（最小絶対値法、自己相関なし）を仮定し、ABC算定に用いる再生産関係は標準再生産関係（HS型）とした場合、ABC算定も真の個体群動態と同じRI型に基づく場合、および管理基準値案のみ標準再生産関係に基づく値を使用しABC算定の将来予測にはRI型を用いた場合の各シナリオの結果を比較したものである。それぞれのシナリオの管理基準値案および漁獲管理規則において調整係数を標準値の0.8を用いた場合の将来予測を示した。RI型を仮定した場合の管理基準値案はSBmsyが13.2万トンであるが（補足表3-1）、ABC算定にも真の個体群動態であるRI型再生産関係を仮定した場合（補足図5-1①、以下Projectionとする）には将来の平均的な親魚量は15万トンを上回る水準で推移した。これに対し、標準再生産関係をもとにした管理基準値案

と真の個体群動態である RI 型をもとに算出した管理基準値案を入れ替えた将来予測（以下 Cross check とする）では平均的には親魚量が 13 万トンを超えた近辺で推移した。真の個体群動態は RI 型だが、標準再生産関係をもとに算出した偽の管理基準値案を用いた将来予測（補足図 5-1②、以下 Simple とする）では、親魚量は 13 万トンあたりで推移した（補足図 5-2）。将来予測において各シナリオでの加入尾数および漁獲量はほぼ重なり、真の個体群動態が RI 型であった場合に HS 型に基づく管理を行っても、漁獲や持続性の点で重大な損失が生じるリスクは小さいと考えられた。

それぞれのシナリオで漁獲管理規則に従い、調整係数 β に標準値の 0.8 を用いて将来予測を行った場合の平均親魚量、平均漁獲量、目標および限界管理基準値案を上回る確率を補足図 5-3 に示す。2023 年の平均親魚量はいずれのシナリオでも 3.7 万トンだったが、管理開始 10 年後の 2033 年には Simple では 9 万トン、Projection で 12 万トンとなった。管理開始 10 年後の 2033 年に平均親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は、Simple で 20%、Projection で 47%、Cross check で 17% であり、真の個体群動態が RI 型であった場合に HS 型をもとにした偽の目標管理基準値案を用いて将来予測をする場合（Simple）の方が、RI 型を仮定する場合（Projection）よりも目標管理基準値案を上回る確率は低くなった。

(2) β を変えた HCR の検討

Simple および Projection シナリオについて、調整係数 β を変えた MSE を実施し、低加入シナリオでも管理目標に対し頑健な β を探索した（補足表 5-1～5-4）。真の個体群動態が RI 型であるにも関わらず、HS 型のもとで誤った管理基準値案を設定し、ABC の計算を行った場合の Simple シナリオでは、 β が 0.6 の場合に管理開始後 10 年の 2033 年に 50% 以上の確率で目標管理基準値案を上回り（補足表 5-1a）、平均親魚量も安定的に維持される（補足表 5-3a）。 β が 0.6 の場合の 2023 年の漁獲量は 3.2 万トンである（補足表 5-4a）。また、限界管理基準値案を上回る確率は β が 0.6 の場合に 2024 年に 50% となる（補足表 5-2a）

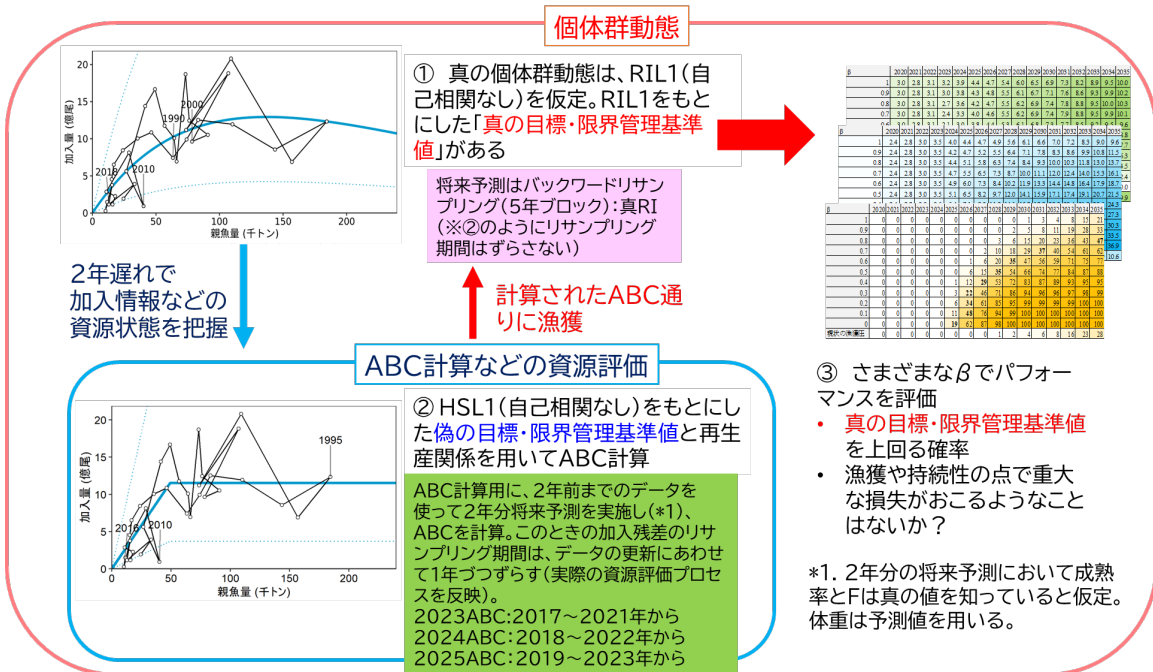
Projection シナリオでは、 β が 0.7 であれば管理開始後 10 年の 2033 年に 50% 以上の確率で目標管理基準値案を上回り（補足表 5-1a）、平均親魚量についても安定的に維持されることが示された（補足表 5-3b）。一方、 β が 0.7 の場合の 2023 年の漁獲量は 2.5 万トンである（補足表 5-4b）。また、限界管理基準値案を上回る確率はいずれの β においても 2024 年に 50% 以上となった（補足表 5-2b）。これらの結果から、 β が 0.6 以下であれば誤った再生産関係をもとにした管理基準値案を設定して ABC 算定を行った場合でも、10 年程度で目標管理基準値案まで 50% 以上の確率で回復することが示された。

(3) 考察

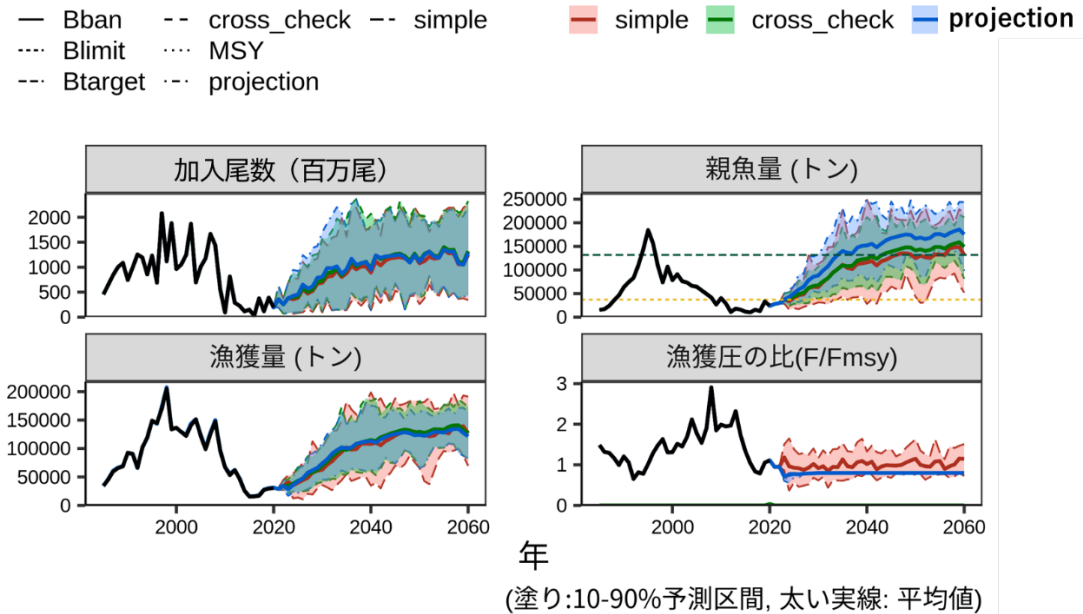
再生産関係の選択を誤った場合の管理の実行誤差を考慮した MSE において、HS 型再生産関係を仮定した場合と比べて、真の個体群動態が RI 型であり、誤って HS 型をもとにした管理基準値案を用いて ABC 計算を行った場合では、真の目標管理基準値案を上回る確率は小さくなる傾向が見られたが、 β が 0.6 以下であればほぼ 10 年程度で真の目標管理基準値案まで回復し、その後の資源も安定的に維持されると考えられた。

引用文献

Punt, A.E., A.D.M. Smith, G. Cui. (2001) Review of progress in the introduction of management strategy evaluation (MSE) approaches in Australia's South East Fishery. *Marine and Freshwater Research*, 52, 719-726

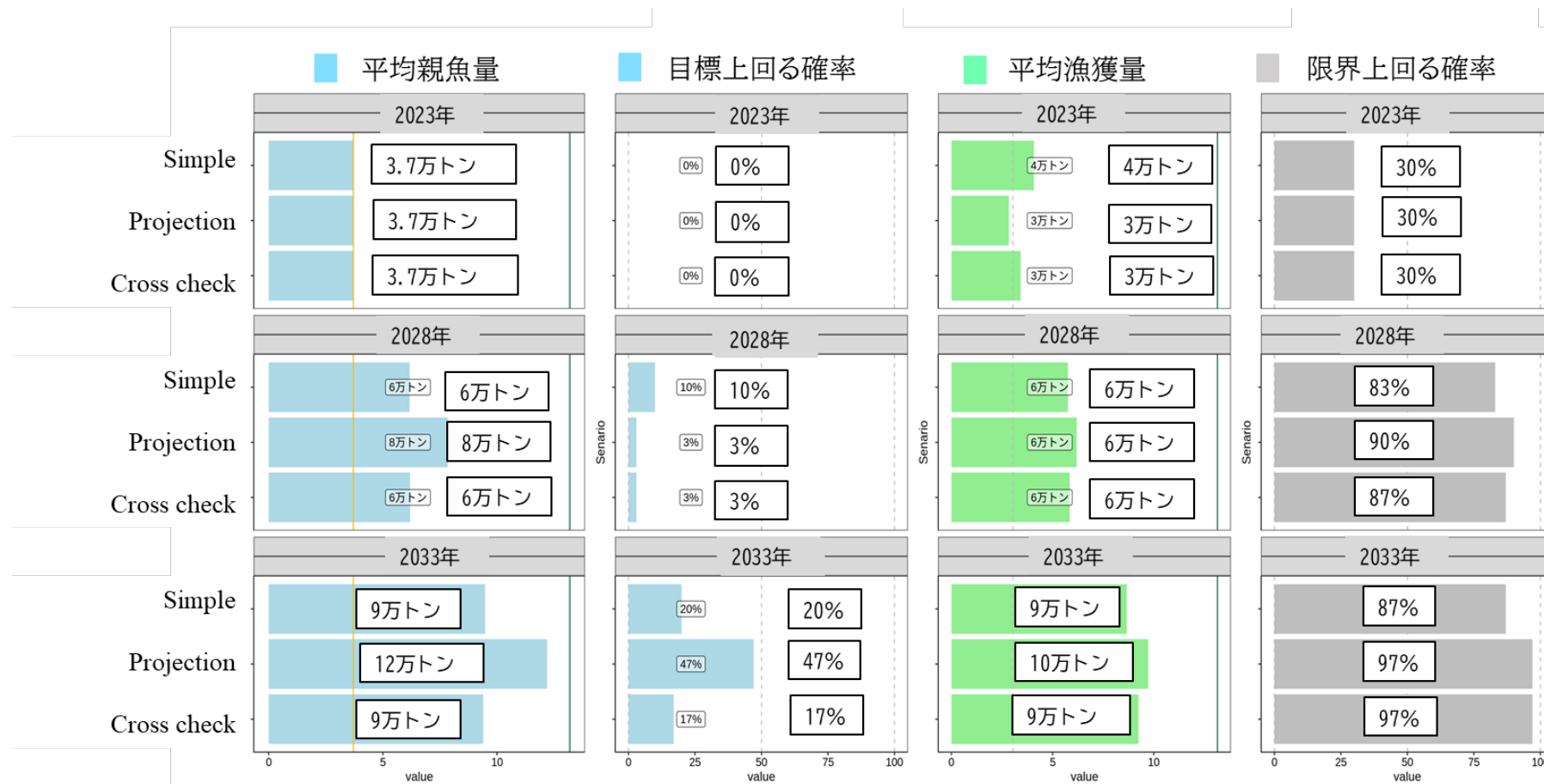


補足図 5-1. 本資料における簡易 MSE の概念図



補足図 5-2. 真の個体群動態として RI 型を仮定した場合に ABC 算定に用いる再生産関係が間違っていた場合や間違った管理基準値を設定していた場合の将来予測

青色で示した Projection では、真の個体群動態である RI 再生産関係を仮定した時の管理基準値案に基づき ABC 計算を行った (補足図 5-1①)。赤色で示した Simple では、標準再生産関係を仮定した時の管理基準値案に基づき ABC 計算を行った (補足図 5-1②)。緑色で示した Cross check では管理基準値のみ間違えて標準再生産関係から得られた管理基準値案に基づき将来予測を行った。



補足図 5-3. 真の個体群動態として RI 型を仮定した場合に ABC 算定に用いる再生産関係が間違っていた場合や間違った管理基準値を設定していた場合の将来予測での管理から 10 年後に予測されるパフォーマンス
それぞれのシナリオについて、漁獲管理規則に従い β を標準値の 0.8 とした時の将来の平均親魚量および平均漁獲量、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を示す。

補足表 5-1. 様々な β と各シナリオにおける将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

各シナリオの漁獲管理規則に従い（補足図 5-1）、低加入を仮定した将来予測。調整係数 β を 0.5～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の結果を示す。

a) Simple シナリオ

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	7	10	3	3	17	17	13	3	10	17	27	20	13
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	7	10	3	23	20	17	17	13	20	23	27	27	30
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3	7	10	20	20	30	30	23	27	33	30	30	43	37	47
0.7	0	0	0	0	0	0	0	3	17	13	13	20	23	47	40	37	40	33	50	43	60	57	53	53	
0.6	0	0	0	0	0	0	0	3	17	20	20	33	43	63	60	53	63	60	67	63	63	60	60	60	73
0.5	0	0	0	0	0	0	3	7	20	40	47	50	67	77	73	80	77	77	87	77	73	73	70	87	

b) Projection シナリオ

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	10	10	20	20	13	23	33	30	27	30	30	47
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	7	13	20	33	30	30	27	40	40	40	50	50	57
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	10	20	27	47	40	43	50	47	70	57	63	60	60	63
0.7	0	0	0	0	0	0	0	3	13	17	23	30	43	63	63	57	67	70	77	77	70	67	63	80
0.6	0	0	0	0	0	0	0	7	17	43	47	53	67	77	77	87	80	83	87	90	77	87	70	87
0.5	0	0	0	0	0	0	10	20	47	60	60	73	73	83	90	97	90	87	100	93	90	87	83	93

補足表 5-2. 様々な β と各シナリオにおける将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

各シナリオの漁獲管理規則に従い（補足図 5-1）、低加入を仮定した将来予測。調整係数 β を 0.5～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の結果を示す。

a) Simple シナリオ

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
1	0	0	0	30	13	40	43	37	40	53	47	57	60	73	57	67	70	73	83	63	67	63	60	87
0.9	0	0	0	30	20	47	53	43	57	77	60	63	70	80	83	87	80	83	87	80	73	73	70	93
0.8	0	0	0	30	43	47	57	53	83	83	83	77	73	87	90	100	90	93	93	90	77	90	83	93
0.7	0	0	0	30	47	63	70	67	87	87	93	90	87	97	97	100	93	97	100	100	90	93	87	97
0.6	0	0	0	30	50	70	73	77	87	93	100	100	93	97	100	100	100	97	100	100	100	100	100	97
0.5	0	0	0	30	70	80	83	93	90	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

b) Projection シナリオ

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
1	0	0	0	30	57	70	70	67	87	90	97	97	90	97	97	100	97	97	100	100	100	100	100	97
0.9	0	0	0	30	63	70	80	83	87	90	97	100	93	97	100	100	100	97	100	100	100	100	100	97
0.8	0	0	0	30	70	80	83	87	90	97	100	100	100	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	0	0	0	30	77	80	90	93	97	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	0	30	87	93	90	97	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	0	30	87	97	90	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足表 5-3. 様々な β と各シナリオにおける将来の平均親魚量（万トン）の推移

各シナリオの漁獲管理規則に従い（補足図 5-1）、低加入を仮定した将来予測。調整係数 β を 0.5～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の結果を示す。

a) Simple シナリオ

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
1	2.4	2.8	3.0	3.7	2.8	3.5	3.7	3.7	4.6	4.5	4.4	5.2	5.6	6.1	6.5	7.1	6.6	6.5	6.8	6.7	7.3	8.1	7.6	8.3
0.9	2.4	2.8	3.0	3.7	3.1	3.8	4.1	4.2	5.3	5.3	5.2	6.1	6.8	7.5	8.0	8.8	8.3	8.2	8.8	8.8	9.2	9.9	9.3	10.1
0.8	2.4	2.8	3.0	3.7	3.4	4.1	4.6	4.9	6.2	6.4	6.4	7.5	8.3	9.5	10.2	11.1	10.4	10.2	11.2	11.4	11.6	11.9	10.9	11.8
0.7	2.4	2.8	3.0	3.7	3.7	4.5	5.3	5.7	7.3	7.9	8.0	9.3	10.3	11.9	12.9	13.7	12.8	12.4	13.8	14.2	14.2	14.2	12.9	13.9
0.6	2.4	2.8	3.0	3.7	4.0	5.0	6.1	6.8	8.9	9.8	10.0	11.6	12.8	14.8	15.9	16.6	15.4	14.7	16.3	16.9	17.0	17.0	15.3	16.4
0.5	2.4	2.8	3.0	3.7	4.3	5.6	7.1	8.2	10.8	12.2	12.6	14.3	15.7	17.9	19.3	19.9	18.4	17.3	18.9	19.7	19.9	19.9	18.1	19.1

b) Projection シナリオ

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
1	2.4	2.8	3.0	3.7	3.8	4.3	4.8	5.0	5.9	6.2	6.3	7.0	7.5	8.5	9.2	9.9	9.7	9.8	10.8	11.0	11.2	11.6	11.2	12.0
0.9	2.4	2.8	3.0	3.7	4.0	4.7	5.3	5.6	6.8	7.3	7.4	8.3	9.0	10.2	11.0	11.8	11.6	11.6	12.7	13.0	13.1	13.5	13.0	13.7
0.8	2.4	2.8	3.0	3.7	4.3	5.1	5.9	6.4	7.8	8.6	8.8	9.9	10.8	12.2	13.2	14.0	13.7	13.5	14.7	15.1	15.2	15.5	14.8	15.6
0.7	2.4	2.8	3.0	3.7	4.5	5.5	6.6	7.4	9.2	10.1	10.5	11.8	12.8	14.5	15.7	16.5	16.0	15.6	16.8	17.4	17.4	17.7	16.8	17.6
0.6	2.4	2.8	3.0	3.7	4.7	6.0	7.4	8.6	10.7	12.1	12.6	14.0	15.2	17.0	18.4	19.2	18.5	17.8	19.0	19.7	19.8	20.0	18.9	19.6
0.5	2.4	2.8	3.0	3.7	5.0	6.5	8.3	9.9	12.6	14.4	15.1	16.6	17.8	19.8	21.3	22.1	21.2	20.3	21.3	22.0	22.2	22.4	21.2	21.9

補足表 5-4. 様々な β と各シナリオにおける将来の平均漁獲量（万トン）の推移

各シナリオの漁獲管理規則に従い（補足図 5-1）、低加入を仮定した将来予測。調整係数 β を 0.5～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の結果を示す。

a) Simple シナリオ

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
1	3.0	2.9	3.4	4.8	3.5	3.9	4.3	4.6	5.4	5.5	5.6	6.3	6.9	7.6	8.2	8.7	8.5	8.9	9.3	9.1	9.2	10.1	9.7	10.6
0.9	3.0	2.9	3.4	4.5	3.5	4.0	4.4	4.7	5.6	5.8	6.0	6.7	7.3	8.2	8.9	9.5	9.2	9.4	10.1	10.1	9.9	10.6	10.4	11.1
0.8	3.0	2.9	3.4	4.1	3.5	4.0	4.4	4.8	5.8	6.1	6.3	7.2	7.8	8.7	9.4	10.2	9.8	9.9	10.8	10.8	10.8	11.0	10.6	11.3
0.7	3.0	2.9	3.4	3.7	3.4	3.9	4.4	4.9	5.8	6.3	6.5	7.5	8.1	9.2	9.8	10.5	10.1	10.0	11.0	11.1	11.2	11.2	10.5	11.2
0.6	3.0	2.9	3.4	3.2	3.2	3.8	4.4	4.9	5.9	6.4	6.7	7.7	8.3	9.4	10.0	10.4	9.9	9.8	10.7	10.9	10.9	11.0	10.2	10.9
0.5	3.0	2.9	3.4	2.8	2.9	3.6	4.2	4.8	5.8	6.3	6.6	7.5	8.1	9.1	9.7	10.0	9.4	9.2	9.9	10.1	10.1	10.2	9.5	10.1

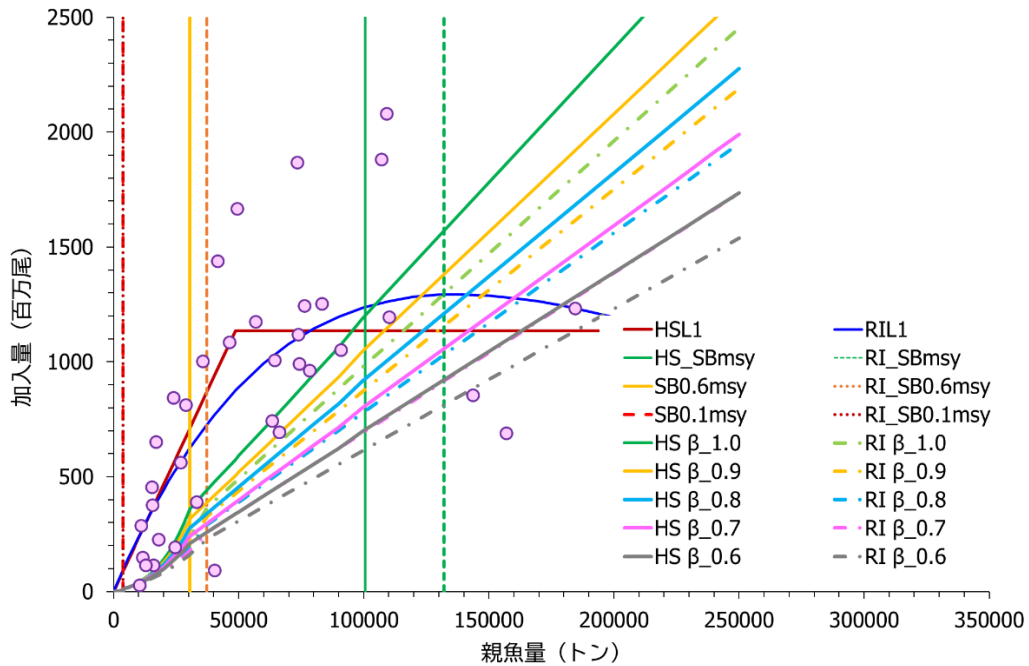
b) Projection シナリオ

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
1	3.0	2.9	3.4	3.4	3.9	4.4	4.8	5.6	5.9	6.3	7.0	7.6	8.4	9.1	9.7	9.6	10.0	10.7	10.9	11.2	11.5	11.3	12.0	12.2
0.9	3.0	2.9	3.4	3.1	3.8	4.4	4.8	5.7	6.1	6.5	7.3	7.9	8.8	9.5	10.1	9.9	10.2	10.9	11.1	11.4	11.5	11.3	11.9	12.2
0.8	3.0	2.9	3.4	2.8	3.6	4.2	4.8	5.7	6.2	6.6	7.4	8.1	9.1	9.7	10.2	10.0	10.2	10.9	11.1	11.2	11.3	11.0	11.6	12.0
0.7	3.0	2.9	3.4	2.5	3.3	4.1	4.7	5.7	6.2	6.7	7.4	8.1	9.1	9.7	10.1	9.9	9.9	10.5	10.7	10.8	10.9	10.5	11.0	11.4
0.6	3.0	2.9	3.4	2.2	3.0	3.8	4.5	5.5	6.1	6.6	7.3	7.9	8.8	9.4	9.7	9.4	9.3	9.8	10.0	10.1	10.1	9.8	10.2	10.6
0.5	3.0	2.9	3.4	1.9	2.7	3.5	4.2	5.2	5.9	6.3	6.9	7.4	8.2	8.7	9.0	8.7	8.5	8.8	9.0	9.1	9.1	8.8	9.1	9.5

補足資料 6 漁獲管理規則に基づく漁獲係数 F を用いた場合の SPR (F) の関係

再生産関係ごとの漁獲管理規則案による管理の挙動の違いを示すために、HS 型（最小絶対値法・自己相関無）および RI 型（最小絶対値法・自己相関無）のそれぞれの再生産関係を仮定した場合について、漁獲管理規則案に基づく漁獲係数 F を用いた場合の SPR (F) を求め、再生産関係と管理基準値案とを重ねて図示した（補足図 6）。この図において、それぞれの再生産関係を示す曲線（HS 型：赤実線、RI 型：青実線）が SPR（HS 型：実線、RI 型：破線）の上であれば親魚量は増加し、下であれば減少する。親魚量が限界管理基準値案（SB0.6msy）以下になった場合に親魚量をより増加させるような規則となる。

同じ調整係数において HS 型と RI 型を比較すると、RI 型の方がやや漁獲圧が弱く、HS 型の場合は調整係数が 0.7 以下、RI 型の場合は 0.8 以下であれば直近の加入状況でも親魚量は増加すると仮定される。



補足図 6. HS 型および RI 型で推定される再生産関係と、それぞれの漁獲管理規則に基づく漁獲係数 F を用いた場合の SPR (F) の関係

丸印は 1985～2020 年の親魚量と加入量を示し、2020 年は白丸で示した。なお、目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案をそれぞれ緑線、黄色線、赤線で示し（HS 型：実線、RI 型：点線）、各再生産関係における漁獲管理規則について、調整係数 β を 0.6～1.0 とした際の SPR を示した（HS 型：実線、RI 型：破線）。

補足資料 7 再生産関係によらない代替の管理基準値案と漁獲管理規則案を検討した場合

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-ABCWG-02-01) では、再生産関係の不確実性が大きい等の理由により、再生産関係から頑健な MSY 管理基準値を得ることが困難であるが、%SPR などの漁獲圧をもとにした生物学的管理基準値が比較的高い精度で計算可能な場合は、これを F_{msy} (MSY を与える漁獲の強さ) の代替値として使用し、目標管理基準値案の算出に用いることが“1B ルール”として定められている。

ホッケ道北系群では、どのような再生産関係式を仮定した場合でも近年の加入量がモデルからの予測値よりも低くなる傾向が見られる (図 1、補足図 2-2)。また、HS 型再生産関係式 (最小絶対値法) と RI 型再生産関係式 (最小絶対値法) とでは当てはまりにおいて AICc の差はわずかであるが (補足表 2-1)、それらに基づく目標管理基準値案 (SB $_{msy}$) では 3.0 万トン程度の差が見られる (補足表 3-1)。これらのことから、過去の再生産関係に大きく依存した管理基準値の設定には不確実性が高いと判断する場合は、再生産関係式によらない方法で代替となる管理基準値案を検討することも選択肢となる。本資料では再生産関係を用いず、近年 (2009~2020 年) のみの加入の情報を用いて代替の管理基準値案や将来予測を試算した。なお、2009~2020 年には、2 度の非常に低い加入が観察されている (補足図 7-1)。

再生産関係を使用しない 1B ルールでは、限界管理基準値の代替値、 F_{msy} の代替値、SB $_{msy}$ の代替値の順に管理基準値案を求める (FRA-SA2022-ABCWG-02-01)。限界管理基準値の代替値には過去最少親魚量 (SB $_{min}$) を用いることで、過去最少の親魚量以下に資源が陥るのを防ぐ。 F_{msy} の代替値には、加入あたりの親魚量が漁獲なしの時の $x\%$ となるような漁獲圧 $F_x\%$ SPR 等を用いる。 F_{msy} の代替値を定めた後、現状の加入パターンを仮定する加入水準が継続した場合に F_{msy} の代替値での漁獲圧の下で得られる平均親魚量を求め、これを目標管理基準値案の代替値とする (FRA-SA2022-ABCWG-02-01)。

本系群の過去最少親魚量 (SB $_{min}$) は 1.1 万トンであり、これが限界管理基準値案の代替値となる。 F_{msy} の代替値には%SPR を魚種ごとに検討した結果を参考として F35%SPR を用いた (FRA-SA2021-ABCWG02-05)。2009~2020 年の加入量の下で F35%SPR の漁獲を継続した場合に期待される親魚量は 6.7 万トンとなり、これが目標管理基準値案の代替値となる (補足表 7-1)。F35%SPR は、HS 再生産関係を仮定して算出した場合の F_{msy} (表 3) の半分以下の値となる。これらの代替基準値案を基準とした神戸プロットを補足図 7-2 に示す。本系群の漁獲係数 (F 値) は、2005 年以降 2020 年まで F_{msy} の代替値 (F35%SPR) を上回る。

これらの代替の管理基準値案に基づく漁獲管理規則案 (補足図 7-4) に従い、調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変えた際の将来予測結果を補足表 7-2~7-4 に示す。将来の加入量は、2009~2020 年の加入量の平均値に対する残差をリサンプリングする方法を用いて仮定した (補足図 7-3)。管理開始から 10 年後の 2033 年に親魚量が目標管理基準値案の代替値を上回る確率は β が 0.9 以下で 50%以上となり (補足表 7-2)、親魚量の平均値も目標管理基準値案の代替値 (6.7 万トン)、もしくはそれ以上になると予測された (補足表 7-3)。ただし、この将来予測では 2009~2020 年の低い加入量的水準が続くことを前提としているた

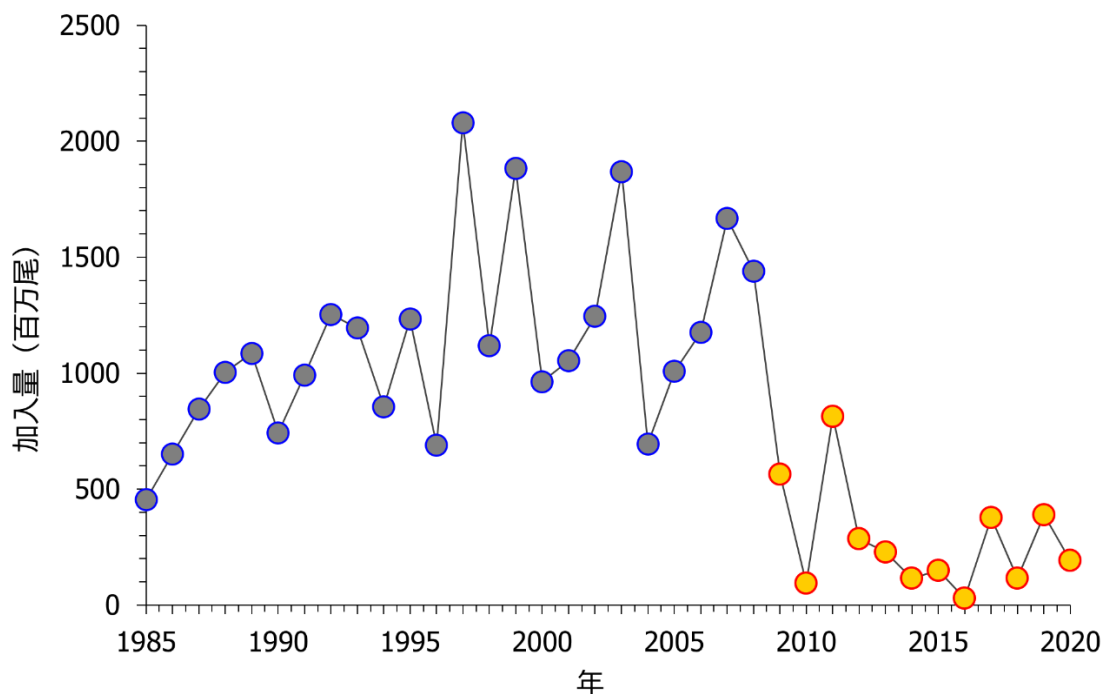
め、目標管理基準値の代替値以上に親魚量が回復しても、期待できる漁獲量は β を 1 とした場合でも 2.4 万トンと予測された。2023 年に予測される漁獲量は、いずれの β でも 2.0 万トン以下となった（補足表 7-4）。

様々なシナリオにおいて、ホッケー・スティック再生産関係を仮定して算出された % SPR は 12.9~19.2% であり（FRA-SA2022-BRP02-04、資料 1）、本補足資料 7 で示した代替の管理基準値案および漁獲管理規則案は、再生産関係を使用して算出された管理基準値案を用いた漁獲管理規則案より保守的となる。なお、ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG-02-01）では、1B ルール適用資源では、将来の加入量の不確実性が大きいと考えられるため、基本的には β には 0.7 以下の保守的な値を使用することが推奨されている。

引用文献

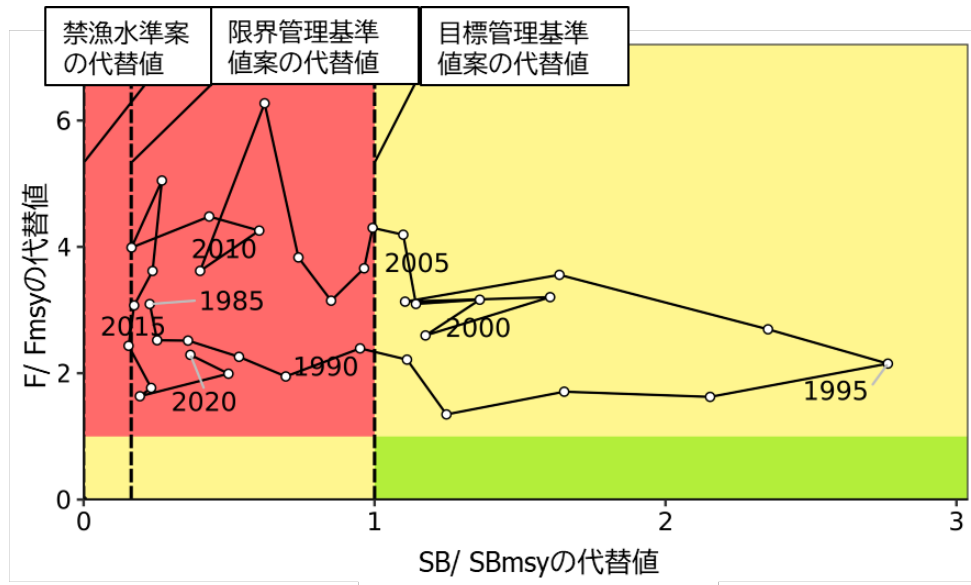
ABCWG(2022)令和 4（2022）年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2022-ABCWG02-01

宮川光代, 市野川桃子(2021)我が国水産資源における生活史情報を用いた F_{msy} の代替値の推定. FRA-SA2021-ABCWG02-05

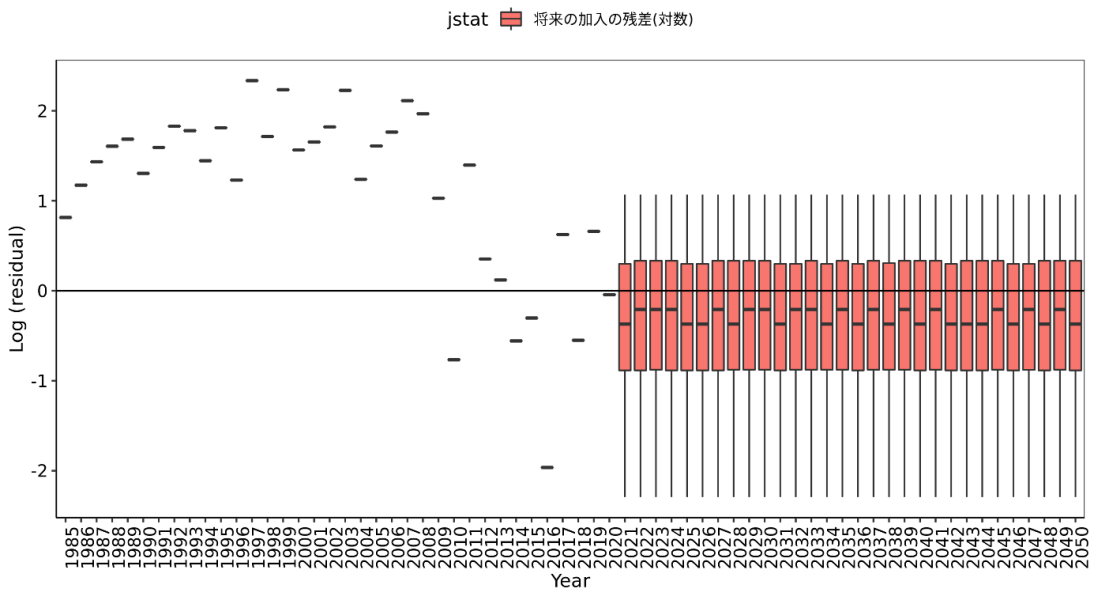


補足図 7-1. 本系群の加入量の推移

本資料の分析に使用した 2009~2020 年の加入量は黄丸で示した。

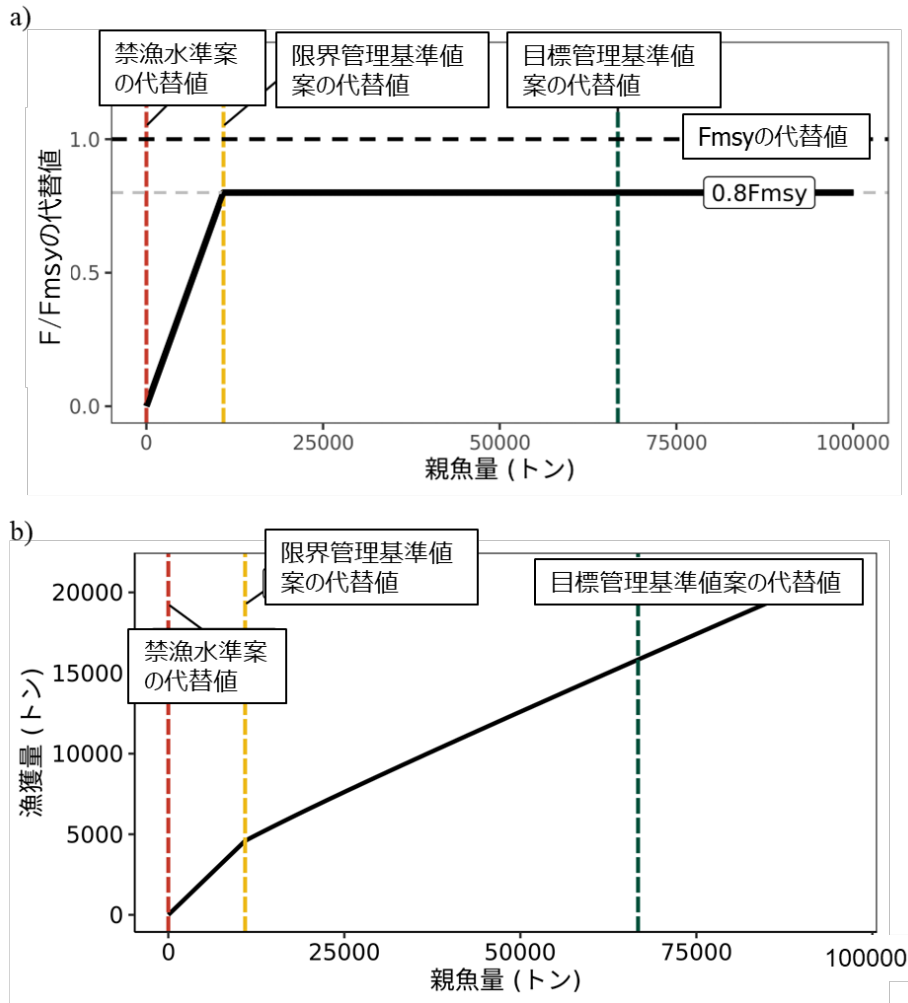


補足図 7-2. 神戸プロット



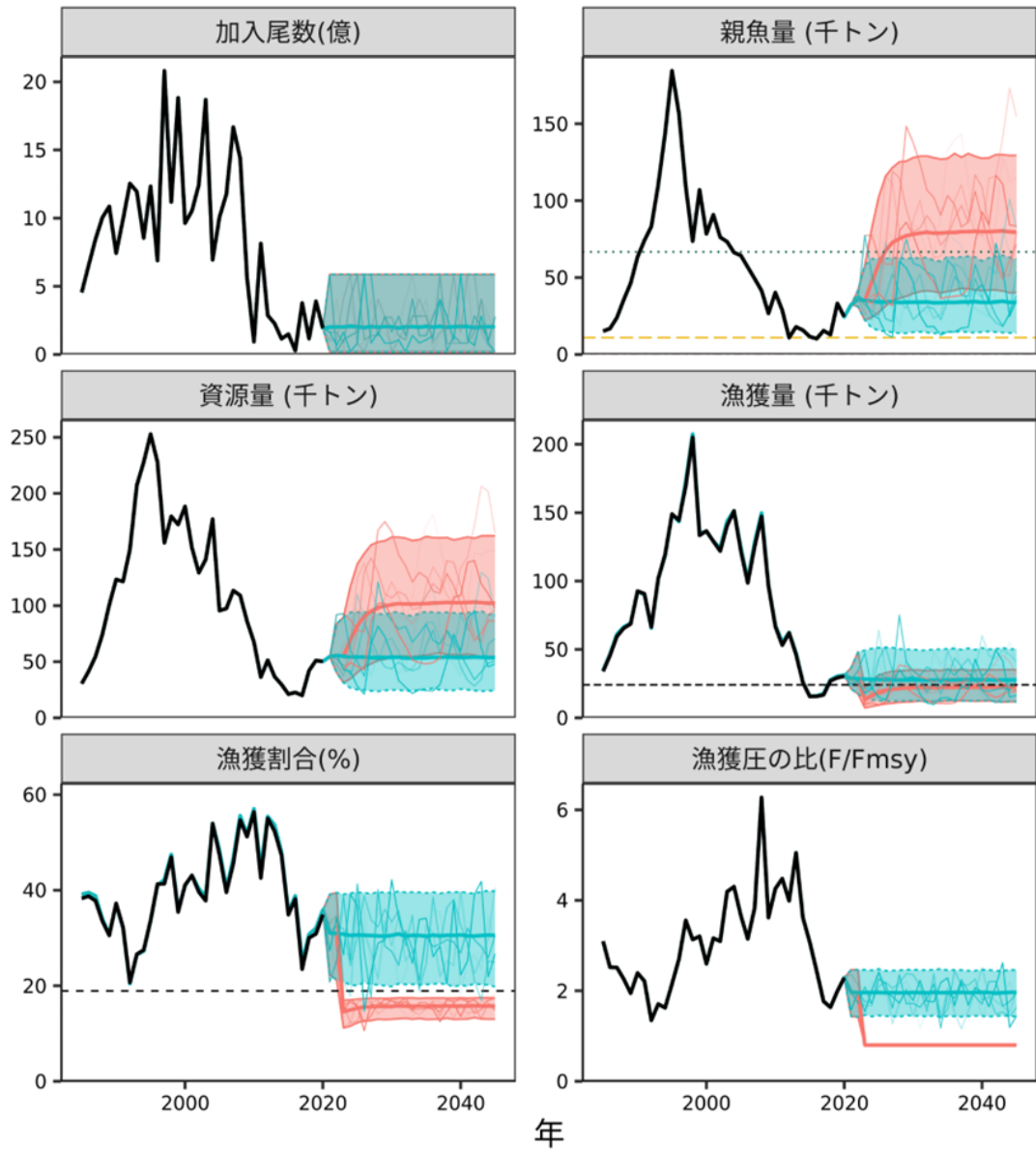
補足図 7-3. 本資料において将来予測に用いた残差

将来予測における加入量の予測方法として、2009年～2020年の加入量の平均値に同期間の加入量の残差をリサンプリングして与えた。



補足図 7-4. 代替の管理基準値案を用いた漁獲管理規則案

目標管理基準値案の代替値は $F_{35\%SPR}$ での漁獲圧の下で得られる親魚量、限界管理基準値の代替値は過去最少親魚量 (SBmin) を用いた。禁漁水準案の代替値は $SB=0$ とし、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 $0.8F_{msy}$ 、黒太線は代替の管理基準値案を用いた際の漁獲管理規則案、緑破線は目標管理基準値案の代替値、黄色破線は限界管理基準値案の代替値、赤破線は禁漁水準案の代替値を示す。a)は縦軸を F/F_{msy} の代替値とした場合、b) は縦軸を漁獲量とした場合を示す。



(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 7-5. 代替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である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案の代替値、黄色点線は限界管理基準値案の代替値を示す。漁獲割合の図の破線はF35%SPRでの漁獲割合を示す。2021年および2022年の漁獲量は予測される資源量と2016～2019年の漁獲係数をランダムサンプリングした値により仮定した。漁獲管理規則案（2023年以降）は標準の管理基準値案に基づく（図5）。調整係数 β には0.8を用いた。比較のため2016～2019年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を2023年以降も続けた場合の予測値も示した。

補足表 7-1. 各管理基準値案の代替値（親魚量）と平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧および漁獲割合（%）

管理基準値案	説明	親魚量 (万トン)	漁獲量(万 トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合
目標管理基準値案の 代替値	Fmsyの代替値として F35%SPRを用いて将来 予測したときの平衡状 態における平均親魚量	6.7	2.4	35.0	18.9
限界管理基準値案の 代替値	SBmin（過去最少親魚 量）	1.1	2.8	5.7	45.8
禁漁水準案の代替値	-	-	-	-	-
Fmsyの代替値	F35%SPR	(0歳, 1歳, 2歳, 3歳, 4歳, 5歳以上) = (0.07, 0.26, 0.327, 0.30, 0.30, 0.30)			

補足表 7-2. 将来の親魚量が代替の目標管理基準値案を上回る確率（%）

代替の管理基準値案を用いた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 年および 2022 年の漁獲量は予測される資源量と 2016~2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2023 年から代替の漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため 2016~2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2023 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052	
1	0	0	0	1	13	25	34	40	41	43	44	45	45	44	46	45	44	46	45	47	46	46	45	48	
0.9	0	0	0	1	14	28	40	46	49	52	52	54	55	53	55	55	54	55	55	56	56	55	55	60	
0.8	0	0	0	1	16	33	46	53	57	60	61	63	63	63	64	64	64	64	64	65	65	65	65	73	
0.7	0	0	0	1	17	37	52	60	65	68	69	71	72	73	73	73	72	74	74	75	75	75	74	82	
0.6	0	0	0	1	19	41	58	67	72	76	78	80	81	82	81	82	82	84	83	82	83	84	83	89	
0.5	0	0	0	1	21	45	64	73	79	83	85	86	88	88	89	90	90	90	90	89	89	90	90	94	
0.4	0	0	0	1	23	50	70	79	85	89	91	92	93	94	94	94	94	95	95	95	95	95	95	97	
0.3	0	0	0	1	25	54	75	84	90	93	95	96	97	97	97	98	98	98	98	98	98	98	98	99	
0.2	0	0	0	1	27	60	79	88	93	96	97	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100	
0.1	0	0	0	1	29	64	84	92	96	98	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0	0	0	0	1	31	68	88	95	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
現状の漁獲圧	0	0	0	1	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	1

補足表 7-3. 将来の平均親魚量の推移 (万トン)

代替の管理基準値案を用いた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 年および 2022 年の漁獲量は予測される資源量と 2016~2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2023 年から代替の漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため 2016~2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2023 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052
1	2.4	3.2	3.6	3.5	4.5	5.3	6.0	6.3	6.5	6.6	6.6	6.7	6.7	6.6	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
0.9	2.4	3.2	3.6	3.5	4.6	5.6	6.3	6.8	7.0	7.1	7.2	7.2	7.3	7.2	7.2	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
0.8	2.4	3.2	3.6	3.5	4.7	5.9	6.7	7.3	7.5	7.7	7.8	7.9	8.0	7.9	7.9	7.9	7.9	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
0.7	2.4	3.2	3.6	3.5	4.9	6.2	7.2	7.8	8.1	8.4	8.5	8.6	8.7	8.6	8.6	8.7	8.7	8.7	8.7	8.8	8.7	8.7	8.8	8.7
0.6	2.4	3.2	3.6	3.5	5.0	6.5	7.6	8.4	8.8	9.1	9.3	9.4	9.5	9.5	9.5	9.6	9.6	9.6	9.6	9.7	9.6	9.6	9.7	9.6
0.5	2.4	3.2	3.6	3.5	5.1	6.8	8.1	9.1	9.6	10.0	10.2	10.4	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.6	10.6	10.7	10.6	10.6	10.7	10.6
0.4	2.4	3.2	3.6	3.5	5.3	7.1	8.7	9.8	10.4	10.9	11.2	11.4	11.6	11.6	11.6	11.7	11.7	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
0.3	2.4	3.2	3.6	3.5	5.4	7.5	9.3	10.5	11.3	11.9	12.3	12.6	12.8	12.8	12.9	13.0	13.0	13.1	13.1	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2
0.2	2.4	3.2	3.6	3.5	5.6	7.9	9.9	11.4	12.4	13.1	13.6	14.0	14.3	14.3	14.4	14.6	14.6	14.7	14.7	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
0.1	2.4	3.2	3.6	3.5	5.7	8.3	10.5	12.3	13.5	14.4	15.0	15.5	15.9	16.1	16.2	16.4	16.5	16.6	16.6	16.7	16.7	16.7	16.8	16.7
0	2.4	3.2	3.6	3.5	5.9	8.7	11.3	13.3	14.8	15.9	16.7	17.3	17.8	18.1	18.3	18.5	18.7	18.8	18.9	19.0	19.0	19.1	19.1	19.1
現状の漁獲圧	2.4	3.2	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4

補足表 7-4. 将来の平均漁獲量の推移 (万トン)

代替の管理基準値案を用いた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 年および 2022 年の漁獲量は予測される資源量と 2016~2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2023 年から代替の漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため 2016~2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2023 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052
1	3.0	2.9	2.9	1.6	1.9	2.1	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
0.9	3.0	2.9	2.9	1.5	1.8	2.0	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
0.8	3.0	2.9	2.9	1.3	1.6	1.9	2.0	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
0.7	3.0	2.9	2.9	1.2	1.5	1.7	1.9	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
0.6	3.0	2.9	2.9	1.0	1.3	1.5	1.7	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
0.5	3.0	2.9	2.9	0.9	1.1	1.3	1.5	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	
0.4	3.0	2.9	2.9	0.7	0.9	1.1	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	
0.3	3.0	2.9	2.9	0.5	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
0.2	3.0	2.9	2.9	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
0.1	3.0	2.9	2.9	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
0	3.0	2.9	2.9	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	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

補足資料 8 2022 年から漁獲管理規則案に基づく漁獲を開始した場合の将来予測

本報告では 2023 年から漁獲管理規則による漁獲とした場合の将来予測結果を示した（表 4～表 8）。この場合、資源評価最終年の 2020 年から 3 年後に管理が開始されるため、通常の資源評価最終年の 2 年後の管理開始による将来予測結果と比べて不確実性は高くなると考えられる。本補足資料では、参考として 2022 年から漁獲管理規則による漁獲とした場合の将来予測結果を示す。

補足表 8-1. 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。2021 年の漁獲量は予測される資源量と 2016～2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため、現状の漁獲圧を継続した将来予測として、2016～2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2022 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	6	6	10	16	20	23	25	24	26	28	31	33	45	
0.9	0	0	0	0	0	0	1	1	3	7	11	15	17	24	30	34	36	37	41	44	46	48	49	64	
0.8	0	0	0	0	0	1	2	4	11	21	27	32	35	43	48	51	52	52	59	63	63	64	63	75	
0.7	0	0	0	0	0	3	9	15	28	40	47	50	51	61	64	66	67	66	74	78	76	75	74	82	
0.6	0	0	0	0	0	8	20	29	45	58	64	67	67	76	79	79	79	79	78	85	87	86	85	83	89
0.5	0	0	0	0	3	16	35	46	64	75	80	82	81	88	90	90	90	88	93	95	94	93	91	95	
0.4	0	0	0	0	5	30	53	66	82	89	92	93	93	95	97	97	97	96	98	98	98	98	97	99	
0.3	0	0	0	0	13	44	71	84	94	97	98	98	98	99	99	99	99	99	99	100	100	100	100	100	
0.2	0	0	0	0	26	61	86	94	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.1	0	0	0	0	34	76	94	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0	0	0	0	2	42	88	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
現状の漁獲圧	0	0	0	0	0	2	4	6	13	20	26	30	33	41	46	49	51	52	58	61	62	63	62	74	

補足表 8-2. 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。2021 年の漁獲量は予測される資源量と 2016～2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため、現状の漁獲圧を継続した将来予測として、2016～2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2022 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052
1	0	0	49	45	63	66	72	73	84	87	90	90	90	94	95	95	95	95	97	98	98	97	96	98
0.9	0	0	49	60	75	80	84	86	93	95	96	96	96	97	98	98	98	98	99	99	99	99	99	99
0.8	0	0	49	73	84	89	92	93	97	98	98	99	99	99	99	99	99	99	100	99	100	100	100	100
0.7	0	0	49	79	89	94	96	98	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	49	82	94	97	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	49	85	96	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	49	91	97	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	49	97	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	49	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	49	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	49	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	49	66	76	82	86	88	94	96	97	97	97	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100

補足表 8-3. 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。2021 年の漁獲量は予測される資源量と 2016~2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため、現状の漁獲圧を継続した将来予測として、2016~2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2022 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足表 8-4. 将来の平均親魚量の推移 (万トン)

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。2021 年の漁獲量は予測される資源量と 2016~2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため、現状の漁獲圧を継続した将来予測として、2016~2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2022 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052
1	2.4	2.8	3.1	3.2	3.6	3.9	4.1	4.2	4.9	5.3	5.6	5.9	6.1	6.7	7.1	7.4	7.6	7.7	8.0	8.2	8.3	8.4	8.4	9.4
0.9	2.4	2.8	3.1	3.4	3.9	4.3	4.7	4.9	5.8	6.3	6.8	7.1	7.3	8.0	8.5	8.8	9.0	9.0	9.4	9.6	9.8	9.8	9.9	10.9
0.8	2.4	2.8	3.1	3.7	4.3	4.9	5.5	5.9	6.9	7.7	8.2	8.6	8.7	9.4	10.1	10.4	10.6	10.6	11.0	11.3	11.5	11.5	11.5	12.7
0.7	2.4	2.8	3.1	3.9	4.8	5.6	6.5	7.0	8.3	9.3	9.9	10.2	10.4	11.2	11.9	12.3	12.5	12.5	12.9	13.3	13.5	13.6	13.5	14.9
0.6	2.4	2.8	3.1	4.2	5.2	6.5	7.7	8.5	9.9	11.1	11.8	12.2	12.3	13.2	14.0	14.5	14.7	14.8	15.3	15.7	15.9	16.0	16.0	17.7
0.5	2.4	2.8	3.1	4.5	5.8	7.5	9.1	10.2	11.8	13.2	14.1	14.6	14.7	15.6	16.6	17.2	17.5	17.6	18.2	18.7	19.0	19.1	19.1	21.1
0.4	2.4	2.8	3.1	4.8	6.5	8.6	10.8	12.2	14.1	15.8	16.9	17.5	17.7	18.8	19.9	20.7	21.1	21.3	21.9	22.5	22.9	23.1	23.1	25.6
0.3	2.4	2.8	3.1	5.1	7.2	10.0	12.8	14.6	16.9	19.0	20.3	21.2	21.5	22.8	24.2	25.2	25.7	26.0	26.8	27.5	28.0	28.3	28.4	31.5
0.2	2.4	2.8	3.1	5.4	8.0	11.6	15.1	17.5	20.4	23.0	24.8	26.0	26.6	28.1	29.8	31.1	31.9	32.4	33.3	34.2	34.9	35.3	35.5	39.5
0.1	2.4	2.8	3.1	5.8	9.0	13.4	17.9	21.1	24.7	28.1	30.6	32.4	33.4	35.3	37.5	39.2	40.4	41.2	42.3	43.6	44.5	45.1	45.4	50.9
0	2.4	2.8	3.1	6.1	10.0	15.5	21.2	25.5	30.2	34.7	38.3	41.0	42.7	45.4	48.3	50.7	52.5	53.8	55.4	57.1	58.5	59.5	60.1	68.0
現状の漁獲圧	2.4	2.8	3.1	3.6	4.2	4.8	5.4	5.7	6.7	7.5	8.1	8.5	8.6	9.4	10.1	10.5	10.7	10.7	11.1	11.4	11.6	11.7	11.7	12.9

補足表 8-5. 将来の平均漁獲量の推移（万トン）

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。2021 年の漁獲量は予測される資源量と 2016～2019 年の漁獲係数をランダムサンプリングした値で仮定した。2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため、現状の漁獲圧を継続した将来予測として、2016～2019 年の漁獲係数のランダムサンプリングでの漁獲を 2022 年以降も続けた場合の予測値も示した。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2052
1	3.0	2.8	3.8	4.0	4.4	4.8	5.1	5.8	6.4	6.9	7.3	7.6	8.2	8.7	9.1	9.4	9.5	9.9	10.1	10.3	10.4	10.5	10.9	12.0
0.9	3.0	2.8	3.5	3.9	4.4	4.9	5.3	6.1	6.7	7.2	7.6	7.9	8.5	9.0	9.3	9.5	9.7	10.0	10.2	10.4	10.5	10.6	11.0	12.0
0.8	3.0	2.8	3.2	3.7	4.4	4.9	5.4	6.3	7.0	7.4	7.7	8.0	8.6	9.1	9.4	9.5	9.7	10.0	10.2	10.3	10.4	10.5	10.9	11.8
0.7	3.0	2.8	2.9	3.5	4.3	4.9	5.5	6.3	7.0	7.5	7.7	8.0	8.5	9.0	9.3	9.4	9.5	9.8	10.0	10.2	10.2	10.3	10.7	11.6
0.6	3.0	2.8	2.5	3.3	4.1	4.8	5.4	6.2	6.9	7.3	7.6	7.7	8.3	8.7	9.0	9.1	9.2	9.5	9.7	9.9	9.9	10.0	10.3	11.2
0.5	3.0	2.8	2.2	2.9	3.8	4.5	5.1	5.9	6.5	7.0	7.2	7.4	7.8	8.2	8.5	8.7	8.8	9.0	9.2	9.4	9.5	9.5	9.8	10.7
0.4	3.0	2.8	1.8	2.5	3.3	4.1	4.7	5.4	6.0	6.4	6.6	6.8	7.2	7.6	7.8	8.0	8.1	8.3	8.5	8.7	8.8	8.8	9.1	9.9
0.3	3.0	2.8	1.4	2.0	2.8	3.5	4.0	4.7	5.2	5.5	5.8	5.9	6.3	6.6	6.9	7.0	7.1	7.3	7.5	7.7	7.7	7.8	8.0	8.8
0.2	3.0	2.8	0.9	1.5	2.1	2.6	3.1	3.6	4.0	4.3	4.5	4.7	5.0	5.2	5.4	5.6	5.7	5.9	6.0	6.1	6.2	6.2	6.4	7.0
0.1	3.0	2.8	0.5	0.8	1.1	1.5	1.8	2.1	2.4	2.6	2.7	2.8	3.0	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4.4
0	3.0	2.8	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	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧	3.0	2.8	3.3	3.8	4.3	4.8	5.3	6.1	6.7	7.2	7.6	7.9	8.5	9.0	9.3	9.5	9.6	9.9	10.2	10.3	10.4	10.5	10.8	11.8