

## 令和4（2022）年度ヒラメ日本海北部系群の 管理基準値等に関する研究機関会議資料

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

### 要 約

令和4年度の本資源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。本資源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1999～2020年の親魚量と翌年の加入量（天然魚）の情報に対し、加入の残差の自己相関を考慮したホッケー・スティック型再生産関係（HS）の適用を提案する。HS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した。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（5,701トン）を提案する。また、限界管理基準値としてSB0.6msy（1,832トン）、禁漁水準としてSB0.1msy（269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（2021年の漁獲係数）の0.88倍である。

親魚量 (トン)	現状の親魚量 (2021年) 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 (トン)	現状の漁獲圧 (2021年) に対する比*1	説 明
目標管理基準値案					
5,701	1.42	0.27	1,591	0.88	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					
1,832	0.46	0.09	954	1.82	MSYの60%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
269	0.07	0.01	159	2.12	MSYの10%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.1msy)
2021年					
4,006	1.00	0.19	1,230*2	—	2021年の値

\*1 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。

\*2 2021年の実際の漁獲量（暫定値）を示す。

## 1. 再生産関係

### 1-1) 使用するデータセット

本資源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。解析には統計ソフトウェア(R version 4.1.0)および計算パッケージfrasyr(コミット番号1ccb77f)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(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	令和4(2022)年度ヒラメ日本海北部系群の資源評価(水産庁・水産機構)

### 1-2) 再生産関係の検討

本資源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1、2)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。再生産関係の検討は、資源評価で推定された1999~2020年の親魚量と翌年の加入量(天然魚)に基づき行った。再生産関係式のパラメータ推定のための最適化方法には、最小二乗法および最小絶対値法を検討した。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)を用い、この場合、残差の正規性を仮定した方が妥当と考え、最適化法には最小二乗法を用いた。

補正赤池情報量規準(AICc)を比較すると、RI型を当てはめた場合で最も低く、次いでHS型、BH型の順となった(表1)。いずれの場合においても自己相関プロットから加入残差に自己相関が認められたため、本資源における再生産関係には同時推定法による自己相関を考慮した。また、いずれの再生産関係式においても、AICcは最小二乗法を用いた場合の方が最小絶対値法を用いた場合よりも低かった。しかし、RI型を仮定した場合、親魚量が観測範囲より低い状態で高い加入量が予測され(補足図1-1)、加入尾数が保守的でない外挿値となり、推定されるFmsyは2021年の漁獲係数の約6倍と極めて大きいため、この再生産関係を選択するにはリスクが高いと判断される。

一方、生態的な特性からRI型の妥当性について検討する。RI型の再生産関係は産卵量に依存した死亡率の変化によって導出され、過度な親魚量による共食い等による死亡率の上昇が要因として想定される。しかし、ヒラメでは成長に伴う深所への移動が知られており(南・田中1997)、本系群の分布域において漁獲対象サイズのヒラメと稚魚の生息水深帯は異なっている。また、放流されたヒラメ稚魚がヒラメ大型個体に捕食される事例(古田1998)はあるが、本系群の漁獲物を対象とした生物精密測定の結果ではヒラメの共食いはほとんど観察されておらず、RI型で推定された強い密度効果(補足表1-1)が生物学的に妥当であることを示す情報は得られていない。HS型では折れ点を観測範囲から求めない場合に最も尤度が小さくなった(補足図1-1、1-8)。そのため、「再生産関係の決定に関するガイドライン(令和4年度)(FRA-SA2022-ABCWG02-05)」に従い、観測範囲の最小

親魚量を変曲点とした。BH 型を仮定した場合においては、観測値からは変曲点が推定されなかった。

以上の検討から、本資源の再生産関係の候補としては、最小二乗法で最適化し、同時推定法により自己相関を考慮した HS 型再生産関係式を用いた（表 1、補足資料 1）。

### 1-3) 再生産関係の候補

上述の通り、本資源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（令和 4 年度）（FRA-SA2022-ABCWG02-05）」の 3.b（生物学的妥当性・便宜的仮定）、3.e（観測された最低親魚量以下で加入尾数が保守的ではない外挿値になるような場合の回避）および 3.h（自己相関）の基準に従い、最適化法を最小二乗法とし、同時推定法により自己相関を考慮した HS 型再生産関係を提案する（図 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、表 2 に示した令和 4 年度の資源評価に基づく各種設定（自然死亡係数、成熟率、現状の漁獲圧）を使用して実施した。また、本資源においては現状の漁獲圧（ $F_{current}$ ）として 2021 年の漁獲係数（ $F_{2021}$ ）を用いており（図 2）、管理基準値案の算出と将来予測における選択率には 2021 年の値を用いた。平均世代時間（6.7 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、平衡状態における平均漁獲量の最大値を最大持続生産量（MSY）、MSY が達成される際の親魚量を  $SB_{msy}$ 、MSY が得られる F 値を  $F_{msy}$  とした。

### 2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

本資源の目標管理基準値（ $SB_{target}$ ）として MSY 水準における親魚量（ $SB_{msy}$  : 5,701 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（ $SB_{0.6msy}$  : 1,832 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（ $SB_{0.1msy}$  : 269 トン）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（ $SB_0$ ）に対する比、基準値案に対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量および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  $SB_{msy}$  は  $SB_0$  の 27%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 1,591 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： $F_{msy}$ ）の、現状の漁獲圧に対する比（ $F_{msy}/F_{current}$ ）は 0.88 で、その時の漁獲割合（ $U_{msy}$ ）は 23%である。限界管理基準値として提案する  $SB_{0.6msy}$  は  $SB_0$  の 9%、禁漁水準として提案する  $SB_{0.1msy}$  は  $SB_0$  の 1%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  $SB_{limit}$  以下では 2 歳魚が多くを占めるが、親魚量の増加に伴い、高齢魚の比率が高くなる傾向がみられ、 $SB_{msy}$  達成時においては 3 歳以上の漁獲が主体となると推測された。

### 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 を基準にした神戸プロットを図 4 に示す。本資源における漁獲係数 (F 値) はすべての年で MSY を実現する水準を上回っており、親魚量はすべての年で目標管理基準値案を下回っていた。現状の親魚量 (2021 年の親魚量: 4,006 トン) に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案の比は、それぞれ 1.42、0.46 および 0.07 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ことを定めている。F 値の上限は Fmsy に調整係数  $\beta$  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 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  $\beta$  に標準値である 0.8 を用いた。

### 2-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

#### (1) 調整係数 $\beta$ 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標準値を用い、調整係数の  $\beta$  も標準値の 0.8 とした漁獲管理規則案 (図 5a) で将来予測した資源量、親魚量、漁獲量、加入量、および努力量の増減率の推移を図 6 に示す。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  $\beta F_{msy}$  での漁獲が行われる。中長期的にも、親魚量は限界管理基準値案を超えるため、 $\beta F_{msy}$  での漁獲となる。 $\beta F_{msy}$  での漁獲の継続により漁獲量は MSY 水準付近で、親魚量は SBmsy よりも高めに推移していくと予測される。

#### (2) 調整係数 $\beta$ 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  $\beta$  を 0.0~1.0 の間で、0.1 間隔で変えた場合の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、禁漁水準案を上回る確率、親魚量平均値の推移、および漁獲量平均値の推移を表 4~9 に示す。表 4~8 には、現状の漁獲圧 ( $F_{current}$ ) で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。ここで、現状の漁獲圧は  $\beta=1.14$  に相当する。

本資源の親魚量はいずれの年も目標管理基準値案を下回っており、漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2033 年では、 $\beta$  が 0.8 であれば 59%の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された (表 4)。しかし、 $\beta$  が 1.0 の場合には親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 33%であった。なお、限界管理基準値案となる親魚量については、 $\beta$  が 0.8 あるいは 1.0 であっても、100%の確率で維持できることが示された (表 5)。また、いずれの

$\beta$  を用いた場合でも親魚量は禁漁水準案を下回らないと予測された（表 6）。2024 年以降の親魚量は  $\beta$  が低い程多くなった（表 7）。2023 年の漁獲量はいずれの  $\beta$  でも現状の漁獲量（2021 年：1,230 トン）を下回った（表 8）。

将来予測において、再生産関係による加入のみを想定した場合（表 9）に比べ、現状の放流を想定した場合（補足表 3-6）において、平均親魚量および漁獲量は多くなると予測された。 $\beta=0.8$  とした場合、2033 年に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は、再生産関係による加入のみを想定した場合では 59%、現状の放流を想定した場合では 64%と予測された（補足表 3-7）。

### 3. まとめ

本資源では、資源評価で推定された 1999～2020 年における親魚量と翌年（2000～2021 年）の 1 歳魚の加入尾数（天然魚）に基づき、再生産関係モデルに自己相関を考慮した HS 型再生産関係式を適用し、そのパラメータを最小二乗法により推定することを提案する。

目標管理基準値案は MSY を実現する資源水準と定められていることから、上記の再生産関係から推定される SBmsy（5,701 トン）とすることを提案する。限界管理基準値案、禁漁水準案については、標準値である SB0.6msy（1,832 トン）、SB0.1msy（269 トン）をそれぞれ提案する。

現在の本資源の親魚量は目標管理基準値案を下回っていると推定される。MSY を実現する漁獲割合は 23%、漁獲圧は  $F_{\text{current}}$  の 0.88 倍である（表 3）。漁獲管理規則案で用いる  $\beta$  が 0.8 以下であれば、10 年後には親魚量が 50%以上の確率で MSY を実現する水準（SBmsy）に回復・維持されると予測された。

### 4. 今後の検討事項

本資源において、資源量推定が行われている 1999 年以降では親魚量の変動が比較的小さく、資源評価データの大半は、資源の中水準期のもと考えられる。本資料で提案する再生産関係式においても、親魚量が過去最低親魚量以上であれば加入量の期待値は親魚量によらず一定と仮定しており、加入量の予測には不確実性が高いと考えられる（図 1、6）。今後のデータの追加により、再生産関係式が変化しうる点に注意が必要である。また、近年、加入水準が低迷しており、着底した稚魚の分布状況と生息環境（餌生物、捕食者など）およびその後の加入状況との関係についても検討を進めることが重要である。

また、本系群の資源評価で用いた青森県の年齢別漁獲尾数は、県日本海側の月別銘柄別漁獲重量を銘柄別平均重量で割って銘柄別漁獲尾数に変換後、精密測定に基づく雌雄別季節別 age-銘柄 key（青森県資料）により年齢分解を行い、県全域の漁獲量で引き伸ばして推定されている。青森県の津軽海峡、太平洋北部および太平洋南部では、県日本海側とはヒラメを漁獲する漁業形態や漁獲物の年齢構成が異なると考えられ、海域毎の詳細な情報に基づく年齢別漁獲尾数の算出のため、調査体制を強化することが重要である。

### 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) . FRA-SA-2022-ABCWG02-04.

ABCWG (2022) 再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 4 年度) . FRA-SA2022-ABCWG02-05.

古田晋平 (1998) 鳥取県におけるヒラメ人工種苗放流技術の開発に関する行動・生態学的研究. 鳥取水試報告, **35**, 1-76.

南 卓志・田中 克 (編) (1997) ヒラメの生物学と資源培養. 水産学シリーズ, **112**, 130 pp. 恒星社厚生閣, 東京.

(執筆者：八木佑太、藤原邦浩、飯田真也、白川北斗)

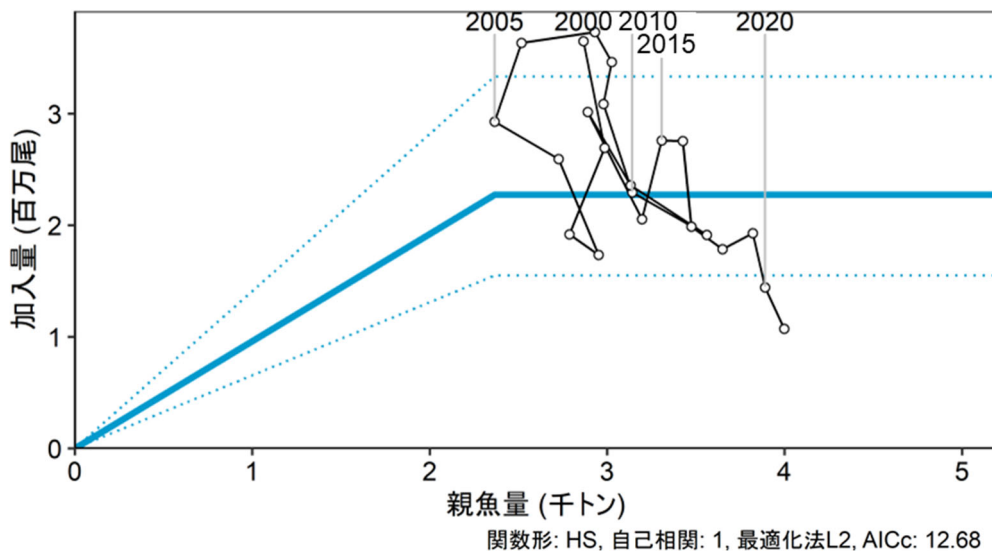


図 1. 再生産関係

1999～2020年における親魚資源量と翌年（2000～2021年）の1歳魚の加入尾数（天然魚）から求めた再生産関係。プロットは最新の資源評価結果から求めたものである。図中の数字は1歳魚が加入した年を示す。再生産関係には自己相関を考慮したホッケー・スティック型（HS）再生産式を用い、最小二乗法によりパラメータを推定した。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。

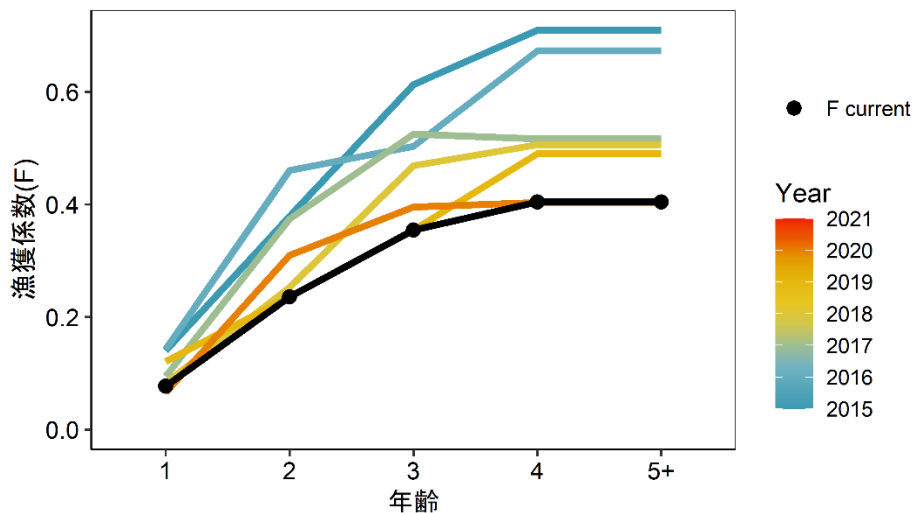


図 2. 年齢別の漁獲係数（F 値）

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（2021年の F 値）である。

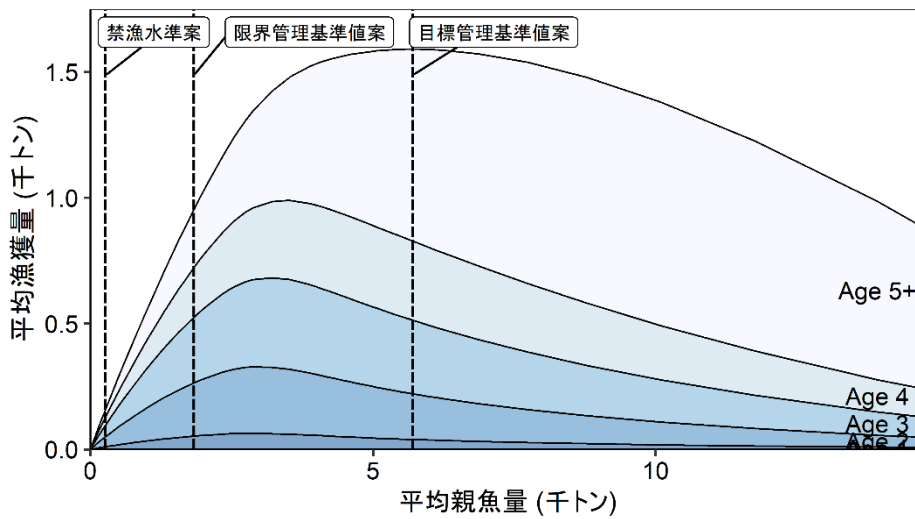


図3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

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。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 21,086 トンである。

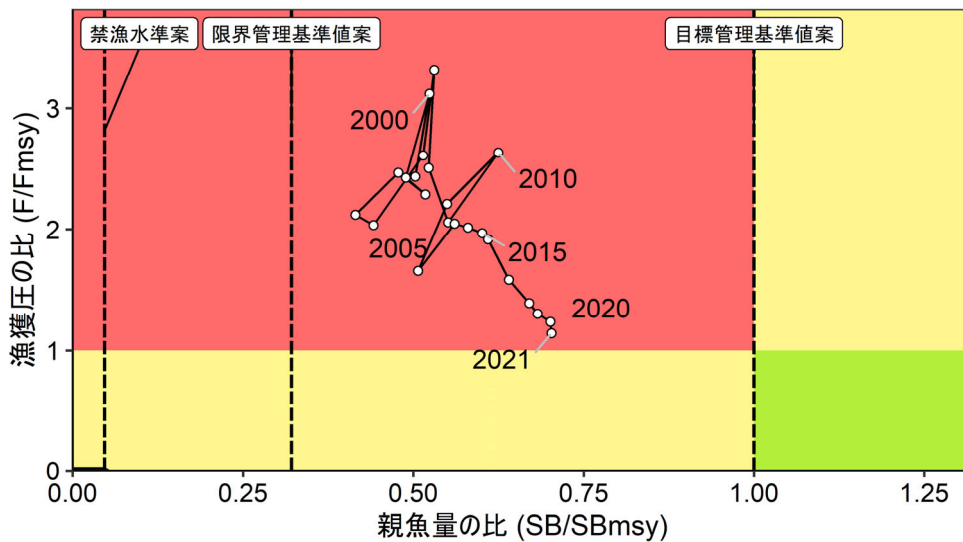
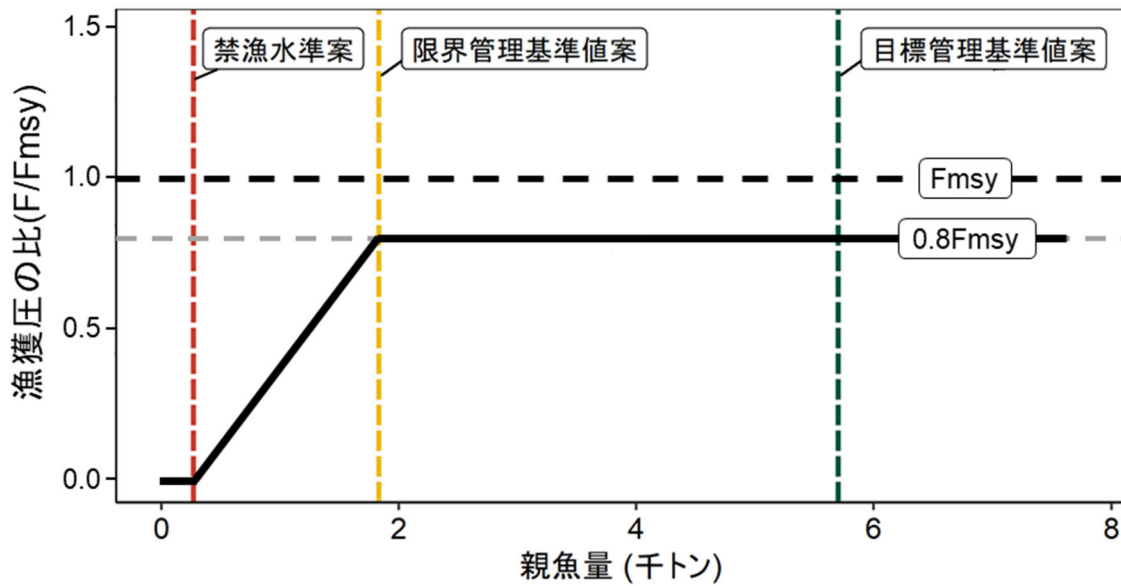


図4. 神戸プロット

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

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

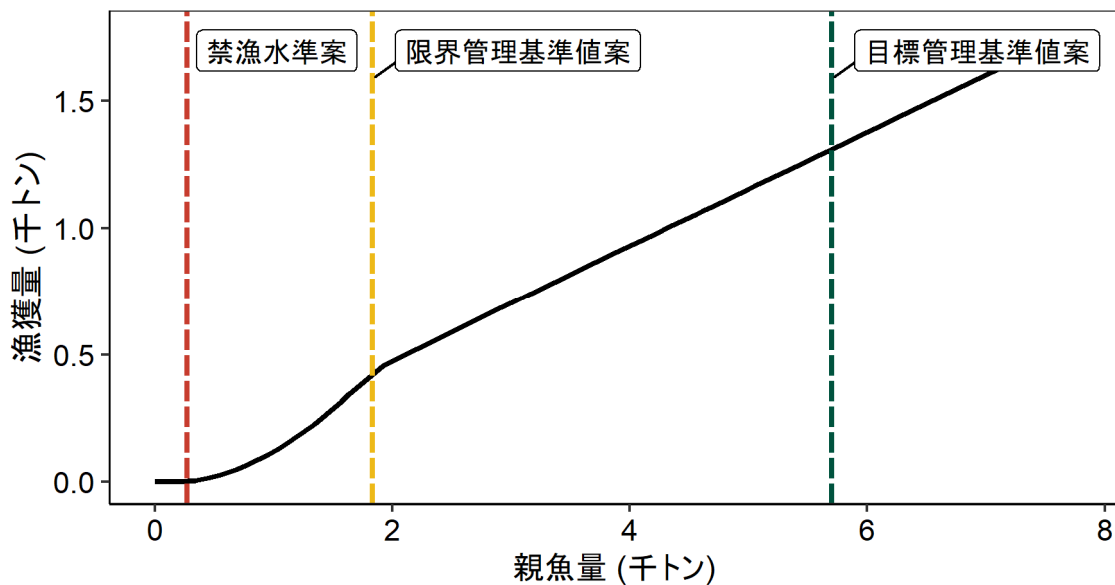


図 5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値案 (SBtarget) 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  $\beta$  には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は  $F_{msy}$ 、灰色破線は  $0.8F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。

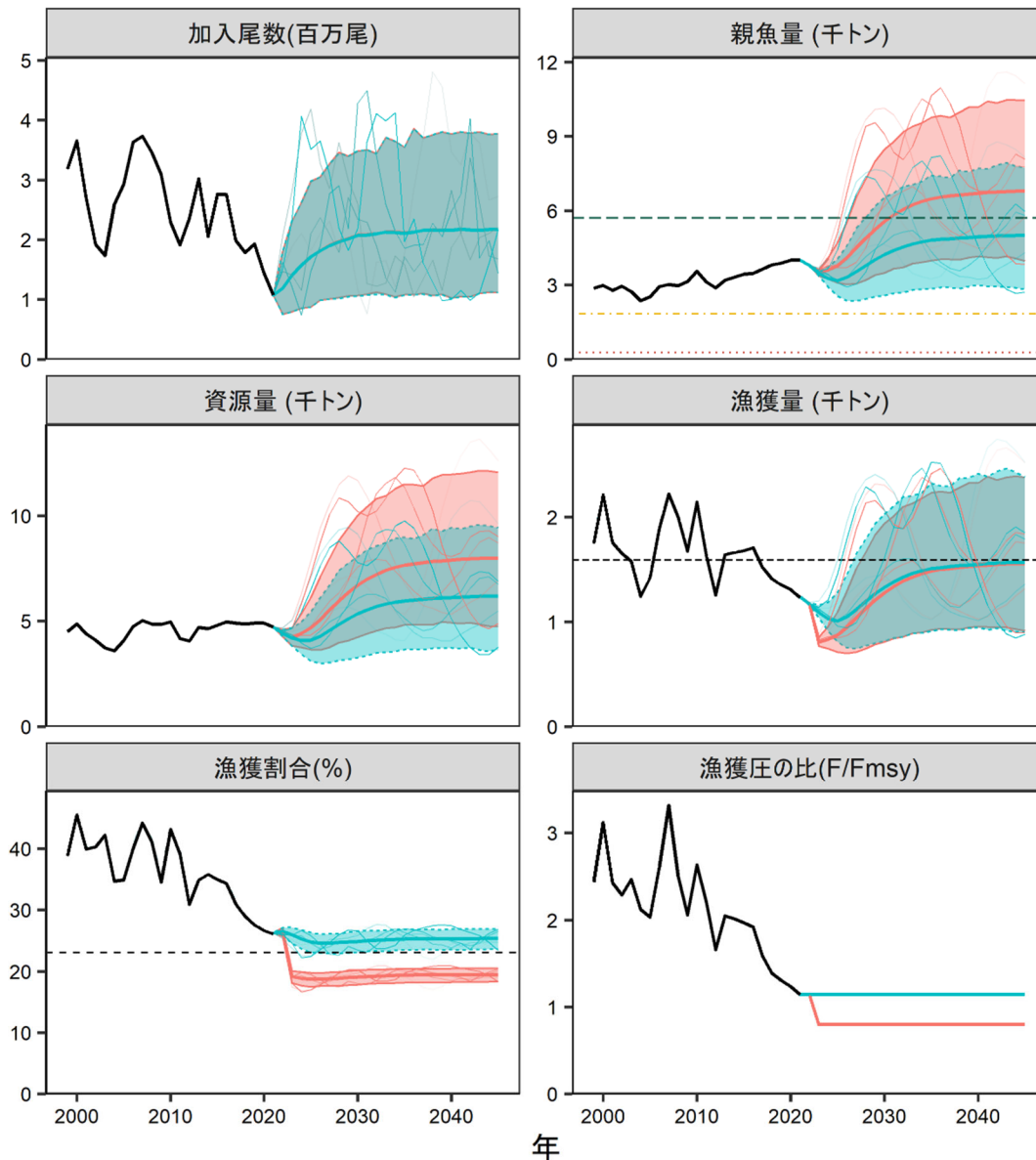


図 6. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲量の図の破線は MSY 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 ( $F_{current}$ ) 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  $\beta$  には 0.8 を用いた。

表 1. 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	順位
<b>ホッケー・スティック (HS)</b>	<b>最小二乗法</b>	<b>同時</b>	<b>12.7</b>	<b>4</b>
リッカー (RI)	最小二乗法	同時	2.0	1
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	同時	12.7	5
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	無	20.5	6
リッカー (RI)	最小二乗法	無	3.9	2
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	無	20.5	7
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	無	25.1	9
リッカー (RI)	最小絶対値法	無	6.8	3
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	無	25.1	8

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方が妥当と考え、最適化法には最小二乗法を用いた。

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 (Fcurrent)
1	0.20	0.00	304	0.191	0.077
2	0.20	0.50	643	0.583	0.236
3	0.20	1.00	1,071	0.876	0.354
4	0.20	1.00	1,720	1.000	0.404
5+	0.20	1.00	3,118	1.000	0.404

現状の漁獲圧 (Fcurrent) は 2021 年の F 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 (Fcurrent) 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 (トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBmsy	5,701	0.27	1,591	27.0	0.23	0.88
限界管理基準値案	SB0.6msy	1,832	0.09	954	12.9	0.37	1.82
禁漁水準案	SB0.1msy	269	0.01	159	10.8	0.40	2.12
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳以上) =(0.07, 0.21, 0.31, 0.35, 0.35)					

表 4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

$\beta$	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	2	6	11	16	22	26	30	33	43	44
0.9	0	0	0	0	0	3	9	17	25	31	36	42	47	55	56
0.8	0	0	0	0	1	5	15	24	33	42	49	54	59	68	68
0.7	0	0	0	0	1	10	22	34	46	54	61	68	72	78	80
0.6	0	0	0	0	2	16	32	48	59	68	76	80	83	89	89
0.5	0	0	0	0	4	23	47	62	73	81	86	89	92	96	96
0.4	0	0	0	0	8	35	62	76	86	91	94	96	96	99	99
0.3	0	0	0	0	14	52	77	88	94	97	98	99	99	100	100
0.2	0	0	0	0	22	70	89	96	98	99	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	0	36	84	96	99	99	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	0	56	95	99	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	0	0	0	0	0	1	3	6	9	12	16	18	19	28	27

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 (Fcurrent) 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 Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 5. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

$\beta$	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
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 (Fcurrent) 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 Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 6. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

$\beta$	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
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 (Fcurrent) 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 Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 7. 将来の平均親魚量の推移 (トン)

$\beta$	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	4,006	3,806	3,523	3,468	3,509	3,709	3,989	4,275	4,541	4,772	4,971	5,133	5,256	5,630	5,639
0.9	4,006	3,806	3,523	3,570	3,687	3,950	4,282	4,610	4,914	5,176	5,402	5,587	5,729	6,163	6,178
0.8	4,006	3,806	3,523	3,675	3,877	4,211	4,605	4,985	5,333	5,634	5,893	6,106	6,271	6,782	6,805
0.7	4,006	3,806	3,523	3,783	4,079	4,495	4,962	5,405	5,808	6,156	6,455	6,703	6,896	7,509	7,544
0.6	4,006	3,806	3,523	3,895	4,293	4,804	5,358	5,877	6,346	6,753	7,103	7,394	7,625	8,372	8,422
0.5	4,006	3,806	3,523	4,011	4,521	5,141	5,797	6,408	6,960	7,439	7,853	8,200	8,478	9,409	9,482
0.4	4,006	3,806	3,523	4,130	4,762	5,507	6,284	7,007	7,660	8,231	8,726	9,146	9,486	10,672	10,779
0.3	4,006	3,806	3,523	4,253	5,019	5,906	6,826	7,684	8,463	9,149	9,749	10,262	10,685	12,236	12,397
0.2	4,006	3,806	3,523	4,381	5,293	6,341	7,430	8,451	9,385	10,218	10,953	11,589	12,123	14,207	14,461
0.1	4,006	3,806	3,523	4,512	5,583	6,816	8,103	9,321	10,449	11,467	12,378	13,178	13,862	16,743	17,167
0.0	4,006	3,806	3,523	4,648	5,893	7,335	8,853	10,311	11,679	12,934	14,074	15,093	15,982	20,087	20,836
Fcurrent	4,006	3,806	3,523	3,329	3,272	3,400	3,620	3,857	4,080	4,274	4,441	4,578	4,679	4,990	4,994

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 (Fcurrent) 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 Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

※ 黄色網掛けは目標管理基準値案を下回ることを示す。

表 8. 将来の平均漁獲量の推移 (トン)

$\beta$	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	1,230	1,176	987	977	989	1,045	1,122	1,201	1,274	1,337	1,392	1,435	1,469	1,571	1,574
0.9	1,230	1,176	902	917	947	1,014	1,097	1,179	1,255	1,321	1,377	1,423	1,459	1,567	1,571
0.8	1,230	1,176	814	851	896	972	1,061	1,148	1,226	1,294	1,352	1,400	1,437	1,552	1,558
0.7	1,230	1,176	723	777	836	920	1,013	1,103	1,183	1,253	1,313	1,362	1,401	1,523	1,531
0.6	1,230	1,176	629	695	764	854	950	1,041	1,123	1,194	1,255	1,305	1,346	1,475	1,485
0.5	1,230	1,176	532	605	680	772	868	959	1,040	1,111	1,172	1,223	1,264	1,401	1,413
0.4	1,230	1,176	432	506	581	670	764	850	929	997	1,057	1,107	1,148	1,290	1,303
0.3	1,230	1,176	329	396	466	547	631	710	781	844	898	945	984	1,126	1,141
0.2	1,230	1,176	223	276	332	397	465	528	586	637	683	722	756	885	901
0.1	1,230	1,176	113	144	178	217	257	296	331	363	392	417	439	529	543
0.0	1,230	1,176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	1,230	1,176	1,104	1,051	1,036	1,076	1,144	1,217	1,286	1,346	1,397	1,438	1,470	1,564	1,566

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 (Fcurrent) 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 Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

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

$\beta$	10年後の 目標達成 確率	予測平均親魚量 (トン)		予測平均漁獲量 (トン)			リスク(10年間に1度でも 起きる確率)		
	親魚資源 量が目標 管理基準 値案を上 回る	5年後	10年 後	0年後	5年後	10年 後	親魚量 が現在 の水準 を下回 る	親魚量 が限界 管理基 準値案 を下回 る	漁獲量 が半減 する
		2028 年	2033 年	2023 年	2028 年	2033 年			
1	33%	4,275	5,256	987	1,201	1,469	0%	0%	0%
0.9	47%	4,610	5,729	902	1,179	1,459	0%	0%	0%
0.8	59%	4,985	6,271	814	1,148	1,437	0%	0%	0%
0.7	72%	5,405	6,896	723	1,103	1,401	0%	0%	0%
0.6	83%	5,877	7,625	629	1,041	1,346	0%	0%	0%
0.5	92%	6,408	8,478	532	959	1,264	0%	0%	0%
0.4	96%	7,007	9,486	432	850	1,148	0%	0%	0%
0.3	99%	7,684	10,685	329	710	984	0%	0%	0%
0.2	100%	8,451	12,123	223	528	756	0%	0%	0%
0.1	100%	9,321	13,862	113	296	439	0%	0%	0%
0	100%	10,311	15,982	0	0	0	0%	0%	0%

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した結果をまとめた。漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度（0年後）の 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<sub>y</sub> を y 年の加入量、B<sub>y</sub> を y 年当初の親魚量、A<sub>min</sub> を加入年齢 (本資源の場合は A<sub>min</sub>=1) としたときのそれぞれの再生産関係式の数式は以下の通りである ;

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

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

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

いずれの再生産関係式でも、推定するパラメータは a および b の 2 つである。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 (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。

本資源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 1999~2020 年の親魚量と翌年の加入量 (天然魚) 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 (令和 4 年度)」

(FRA-SA-2022-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。AICc を比較すると、RI 型で最も低く、次いで HS 型、BH 型の順であった。RI 型を仮定した場合、親魚量が観測範囲より低い状態で高い加入量が予測され (補足図 1-1)、加入尾数が保守的でない外挿値となることからリスクが高いと考えられた。本系群の分布域では漁獲対象サイズのヒラメと稚魚の生息水深帯が異なっており、本系群の漁獲物を対象とした生物精密測定の結果ではヒラメの共食いはほとんど確認されておらず、RI 型で推定された強い密度効果が生物学的に妥当であることを示す情報は得られていない。BH 型では観測値からは変曲点が推定されなかった。HS 型再生産関係においても、加入量の減少が生じる親魚量についてパラメータ推定に与える情報が得られなかったため、ここでは技術ノートに従い親魚量の最小値を折れ点 (パラメータ b) とした。各再生産関係式を最小二乗法により当てはめた場合の再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を考慮した場合の残差 (residual) について、トレンドと自己相関プロットを補足図 1-2a~c に示す。いずれの再生産関係を仮定した場合でも、自己相関は有意であると示されたことから、本資源については自己相関を考慮することとした。ここで、モデルに自己相関を考慮することにより自己相関構造は解消される。再生産関係モデルに対する残差の正規

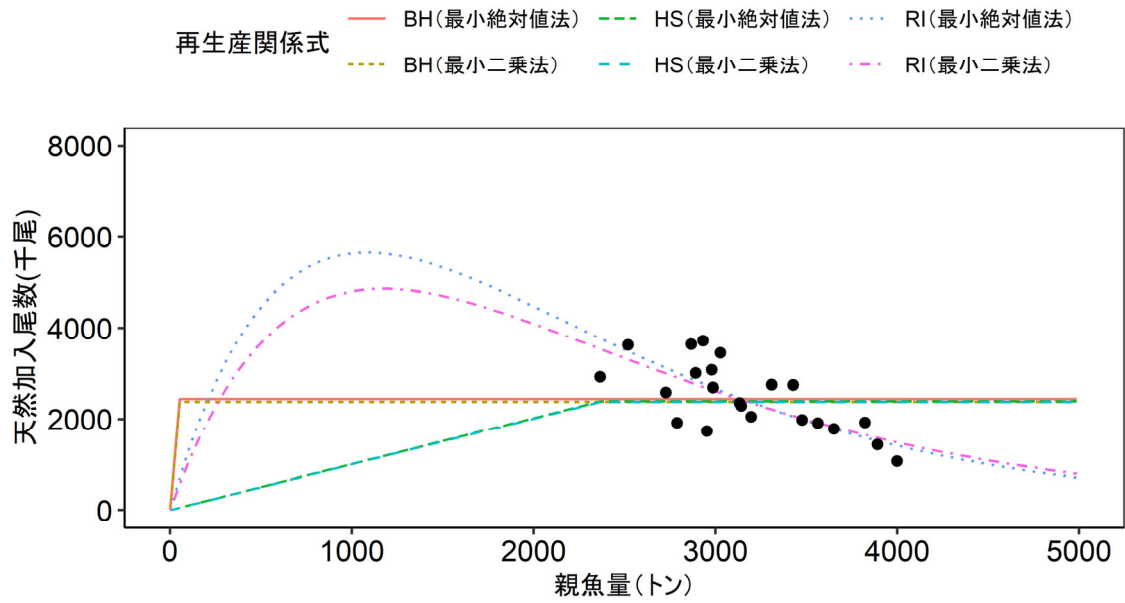
性については、Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定により検討した結果、有意な逸脱は検出されなかった（表 1、補足図 1-3 a～c）。

自己相関を考慮したモデルについて、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 a～c および 1-5 a～c）。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）。プロファイル尤度を補足図 1-8 a～c に示す。ここで、BH 型については解が一意に定まらないため、候補から除外すべきと考えられた。

以上の結果から、パラメータ推定における不確実性には注意が必要であるが、HS 型再生産関係式が各候補の中では最も適していると判断した。

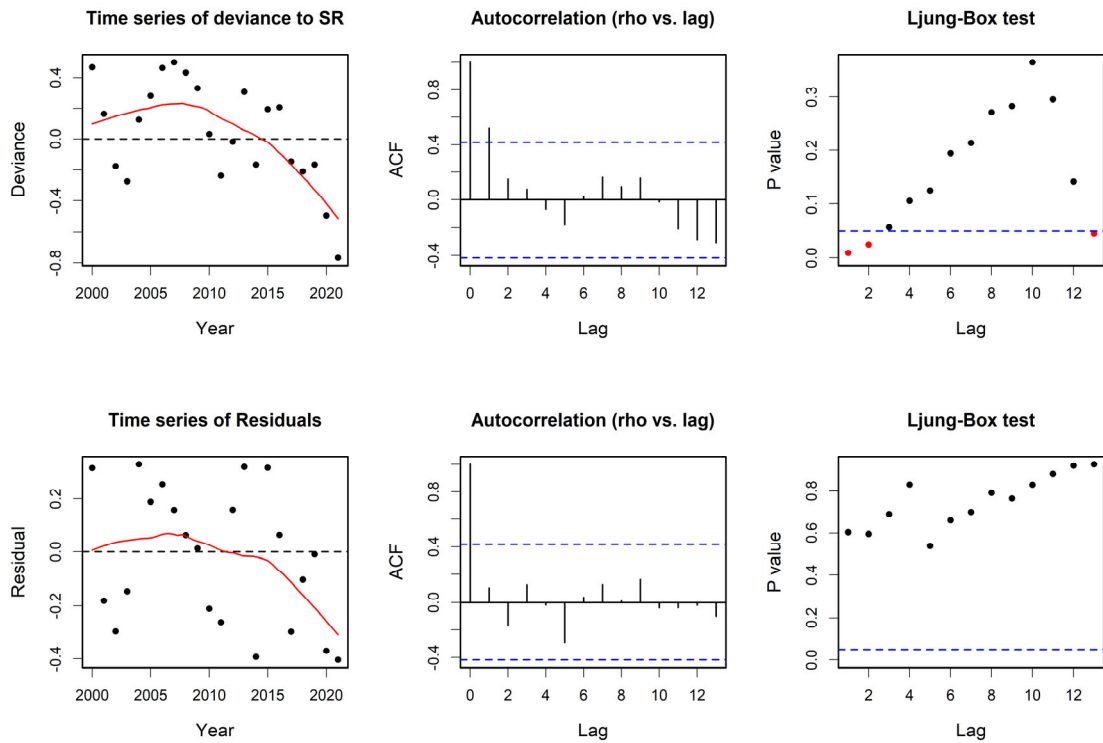
#### 引用文献

- 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）. FRA-SA-2022-ABCWG02-04.
- 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.



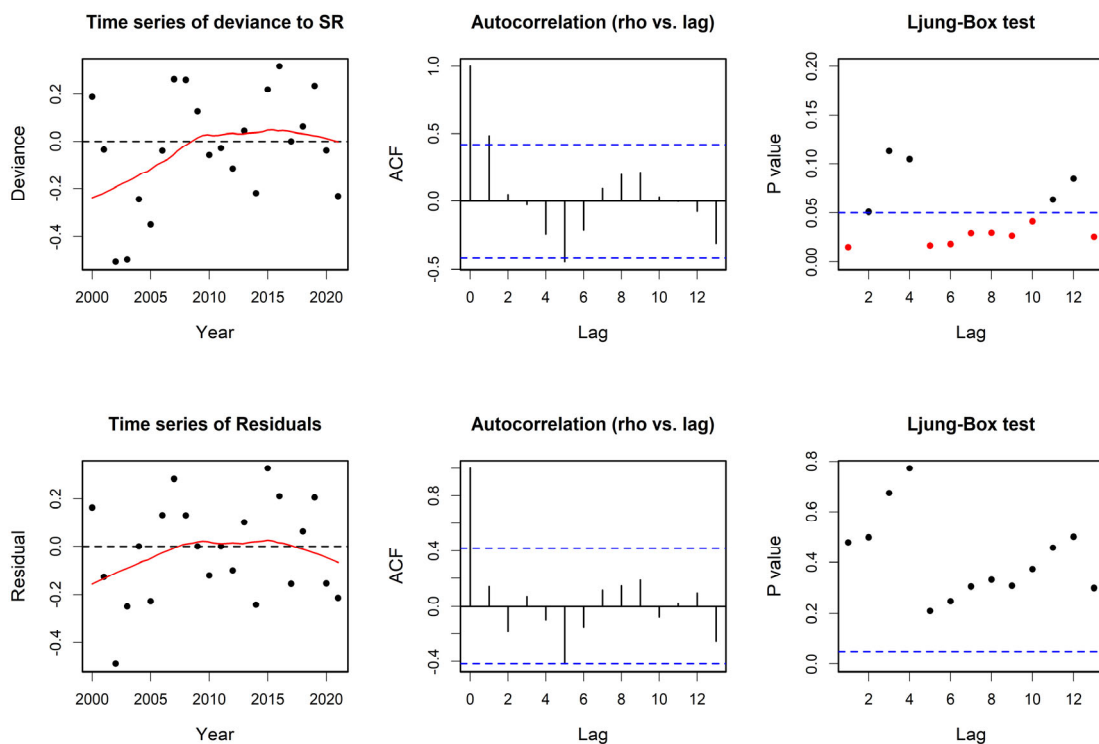
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

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) の再生産関係式を、最小二乗法と最小絶対値法により当てはめた。図中の黒丸は分析に使用した 1999～2020 年における親魚資源量と翌年 (2000～2021 年) の 1 歳魚の加入尾数 (天然魚) の実測値である。



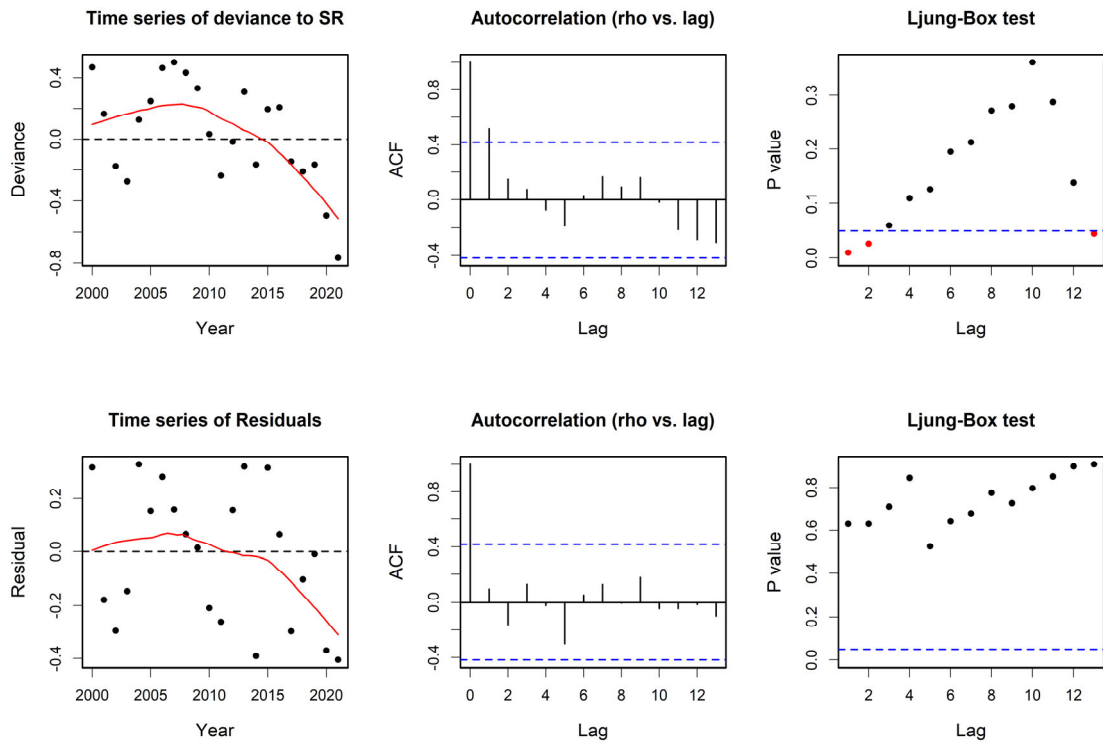
補足図 1-2a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定法により考慮した場合の残差 (residual) の時系列トレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図)

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。



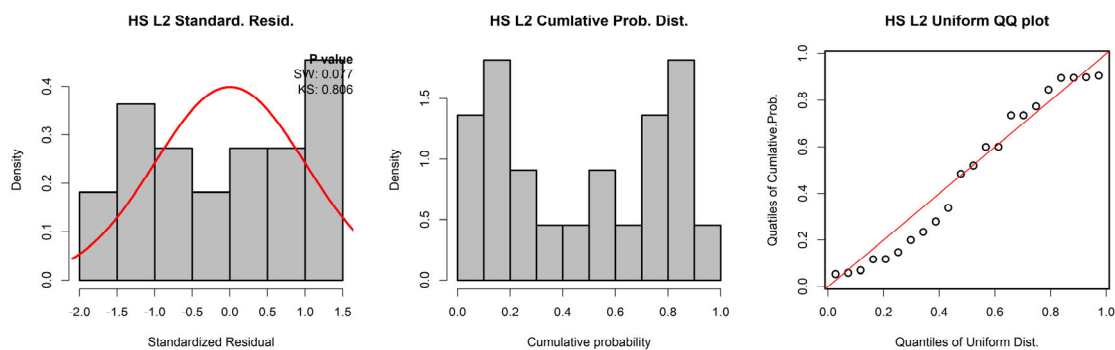
補足図 1-2b. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定法により考慮した場合の残差 (residual) の時系列トレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図)

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。

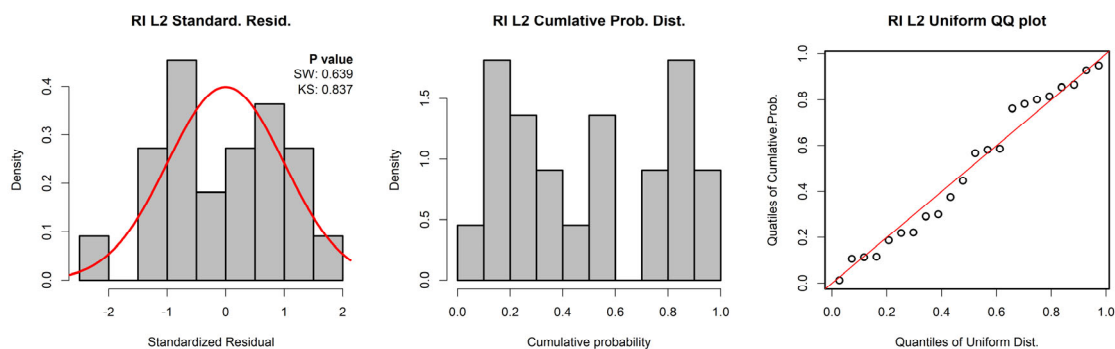


補足図 1-2c. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定法により考慮した場合の残差 (residual) の時系列トレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図)

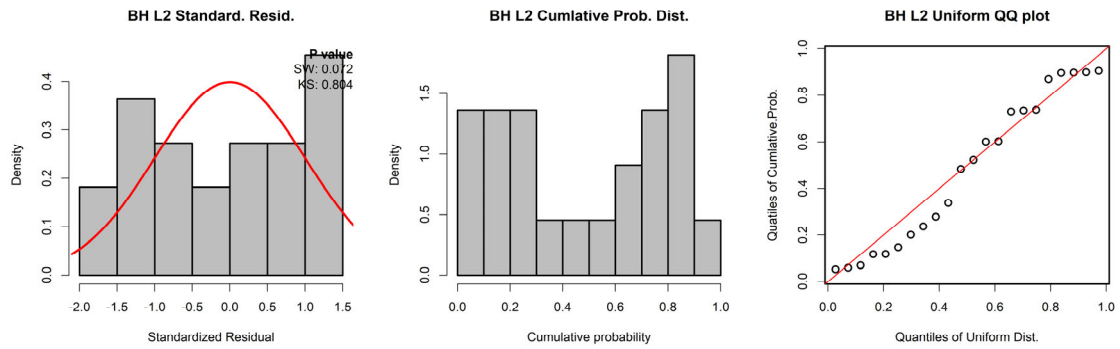
残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。



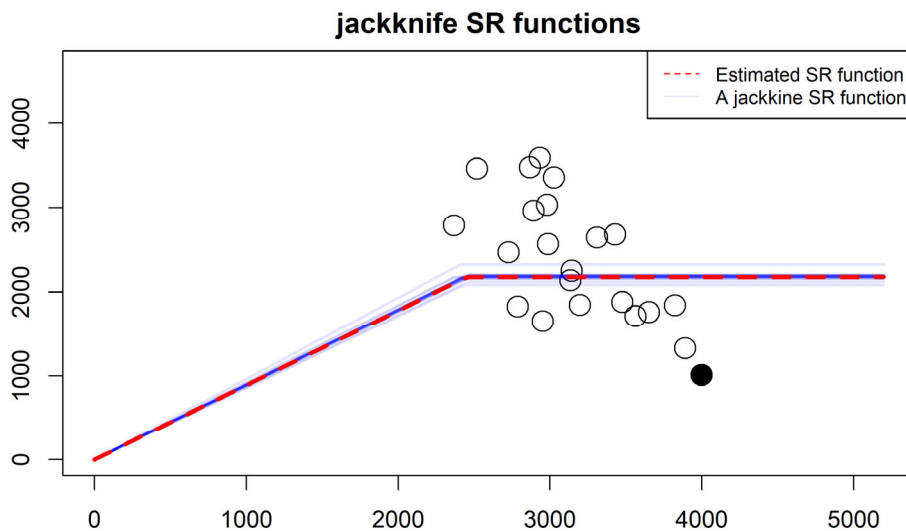
補足図 1-3a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）  
残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定（SW）と Kolmogorov-Smirnov 検定（KS）の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。



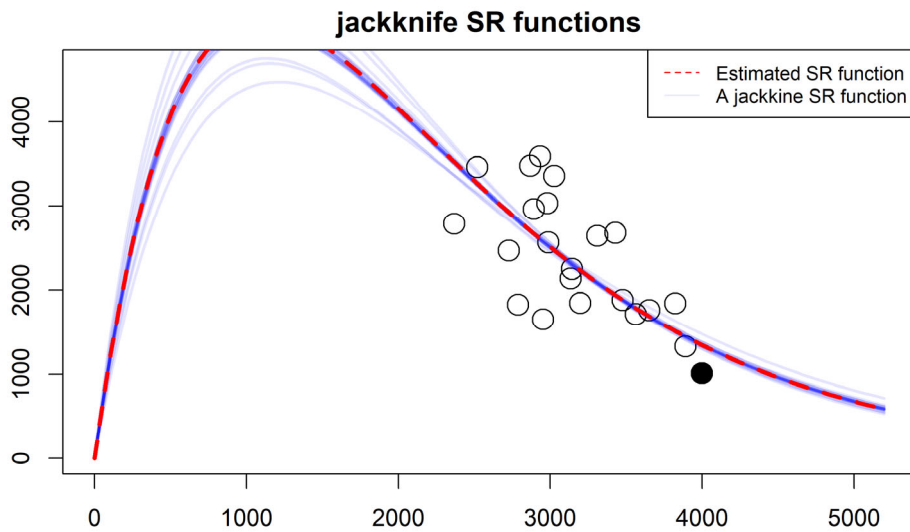
補足図 1-3b. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）  
残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定（SW）と Kolmogorov-Smirnov 検定（KS）の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。



補足図 1-3c. ベバートン・ホルト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。

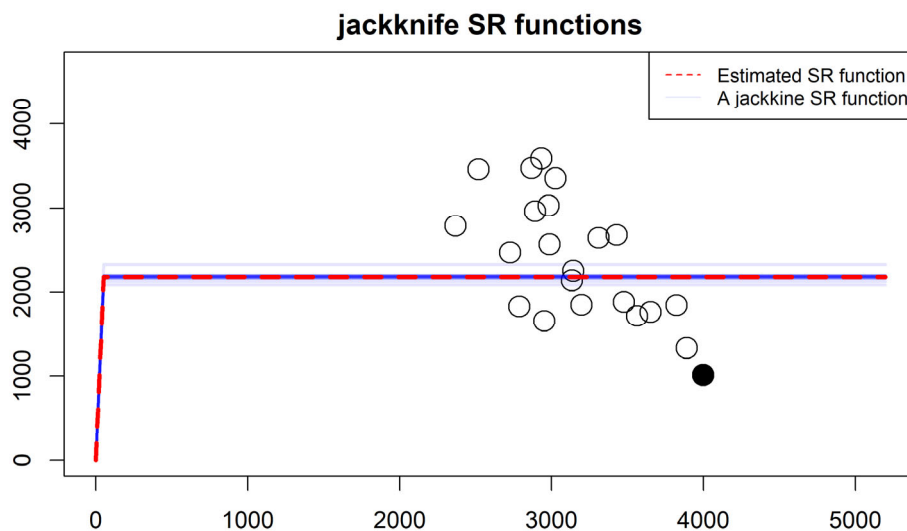


補足図 1-4a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果  
赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除去した場合の推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（千尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020 年）を示す。



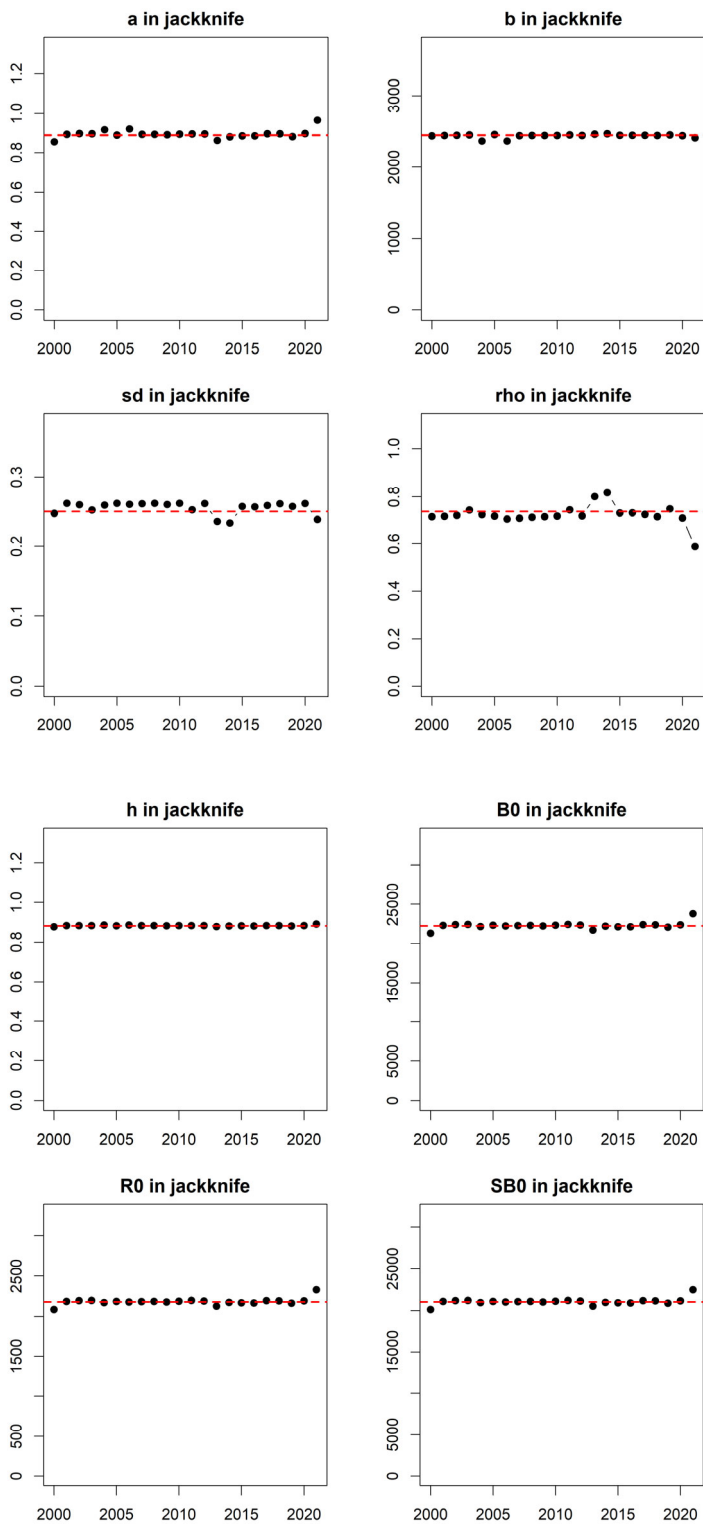
補足図 1-4b. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果

赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除去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（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、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020年）を示す。

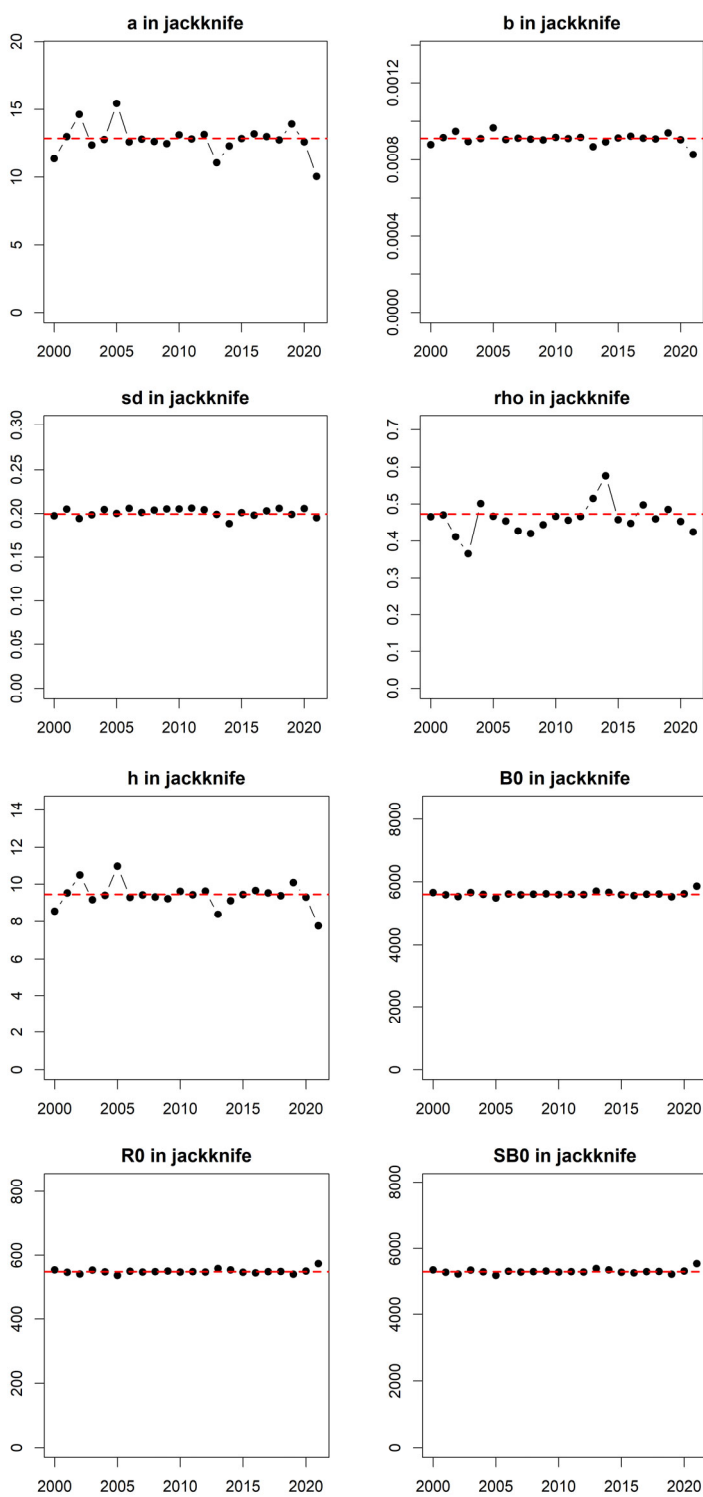


補足図 1-4c. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果

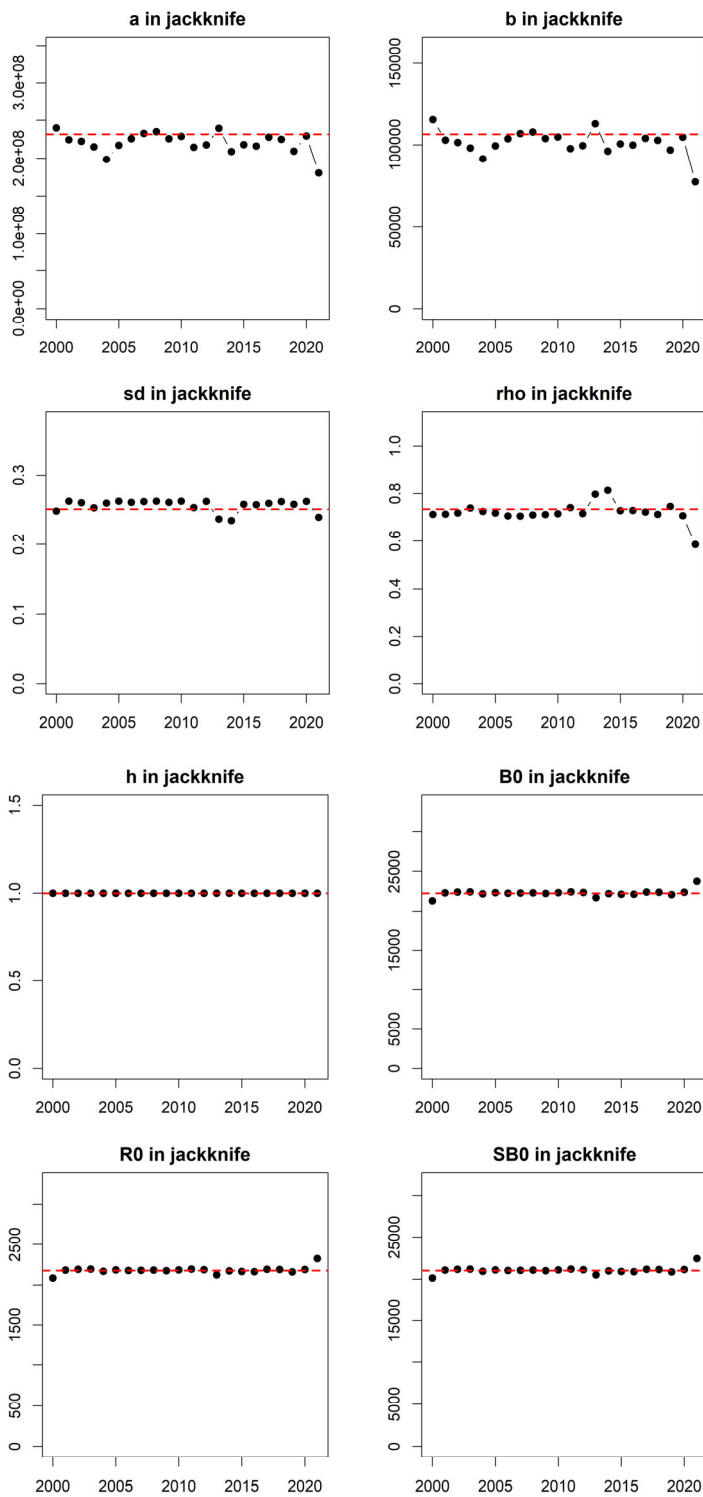
赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除去した場合の推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（千尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020年）を示す。



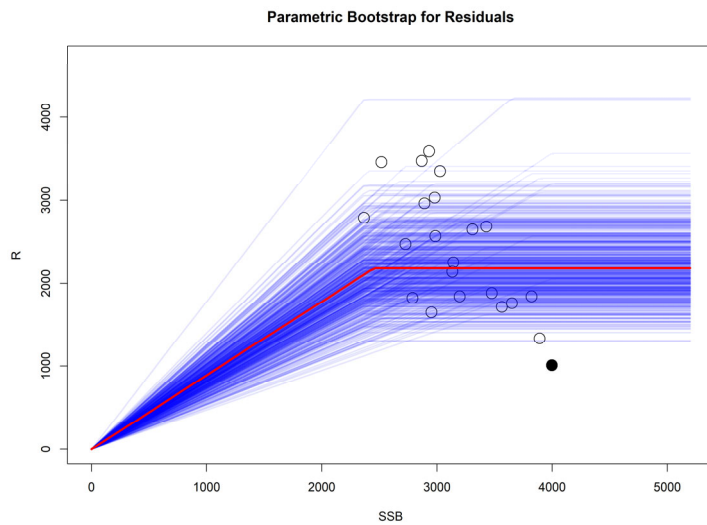
補足図 1-5a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



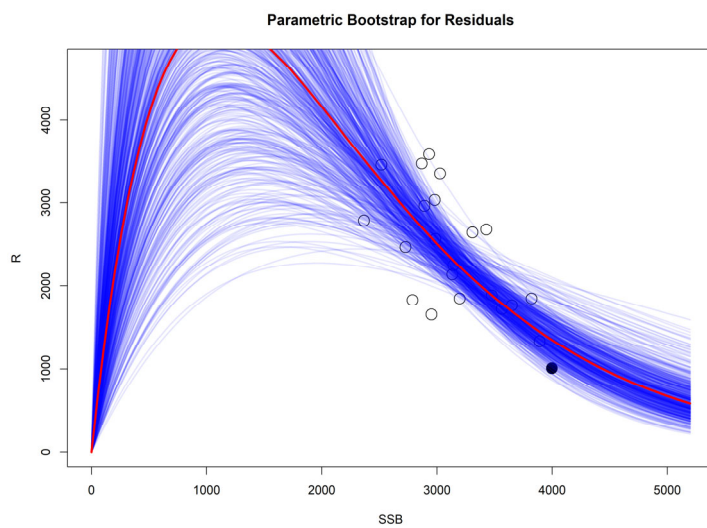
補足図 1-5b. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



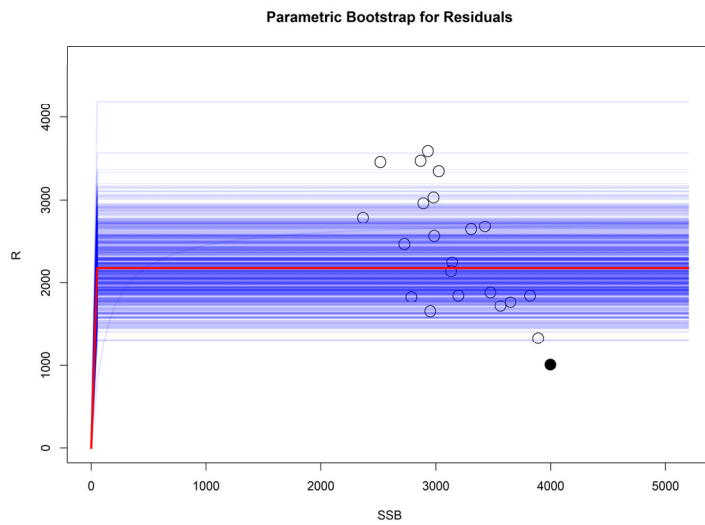
補足図 1-5c. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



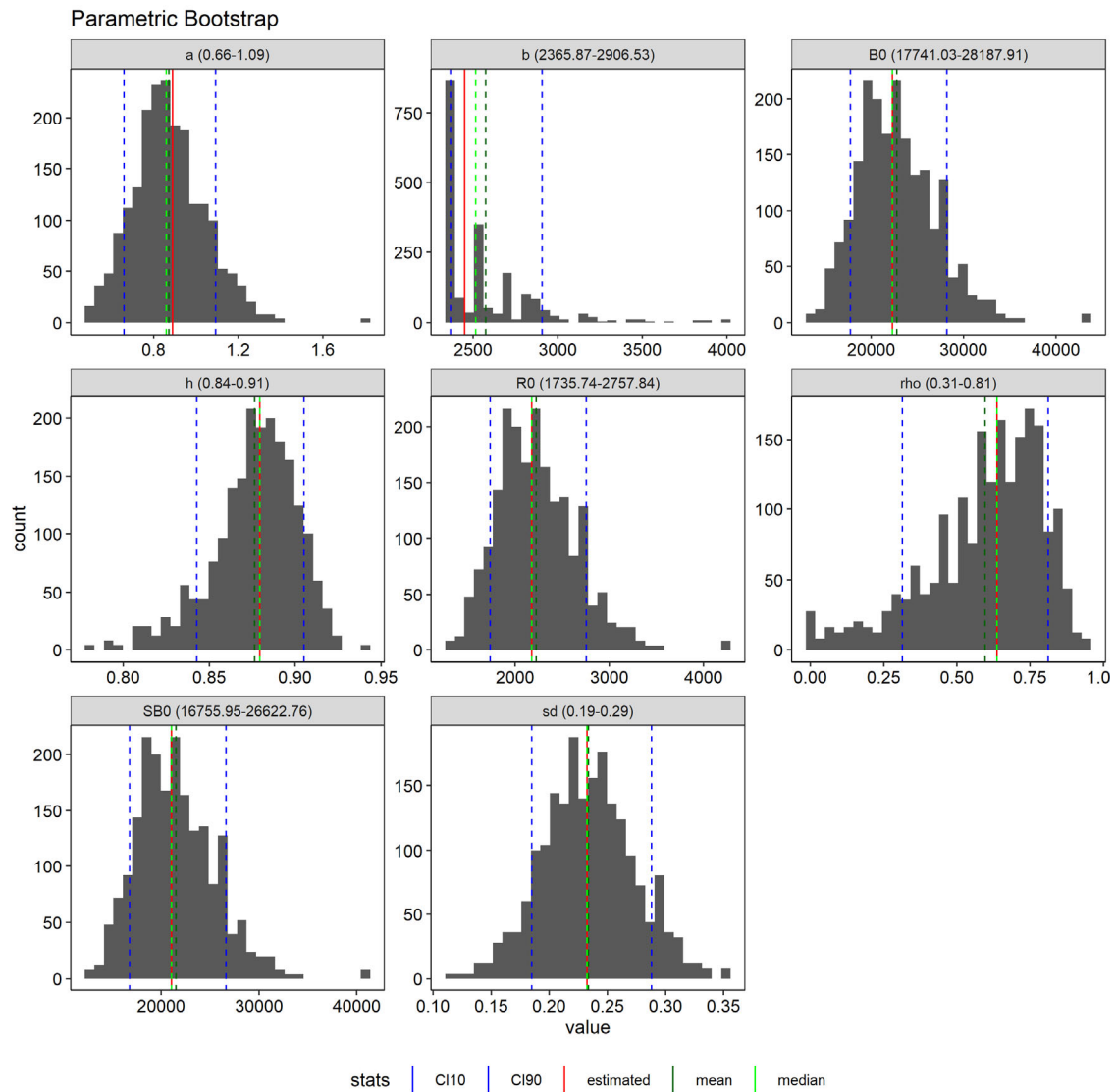
補足図 1-6a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果  
赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（千尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020年）を示す。



補足図 1-6b. リッカー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、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020年）を示す。

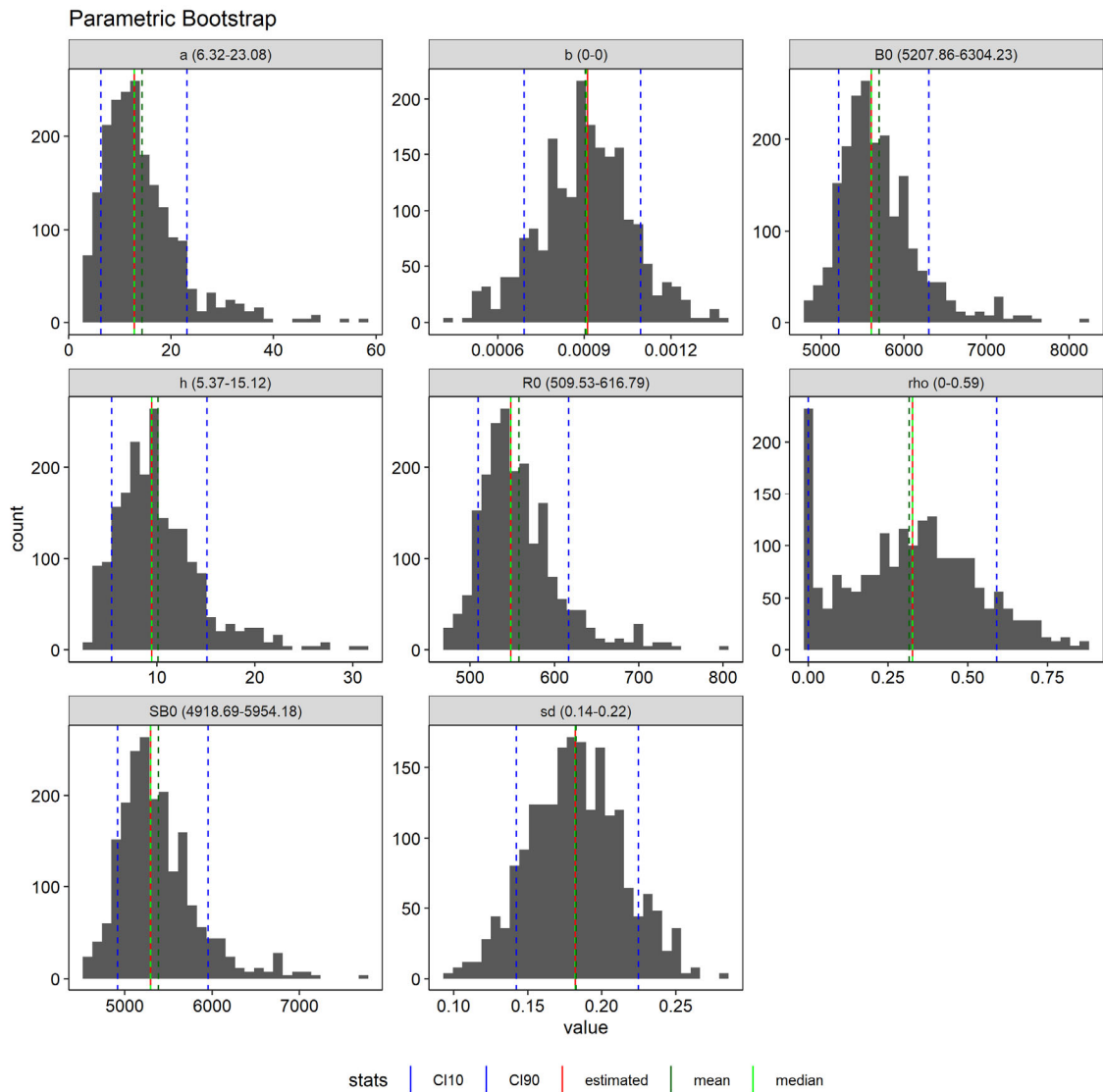


補足図 1-6c. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果  
 赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（千尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020年）を示す。

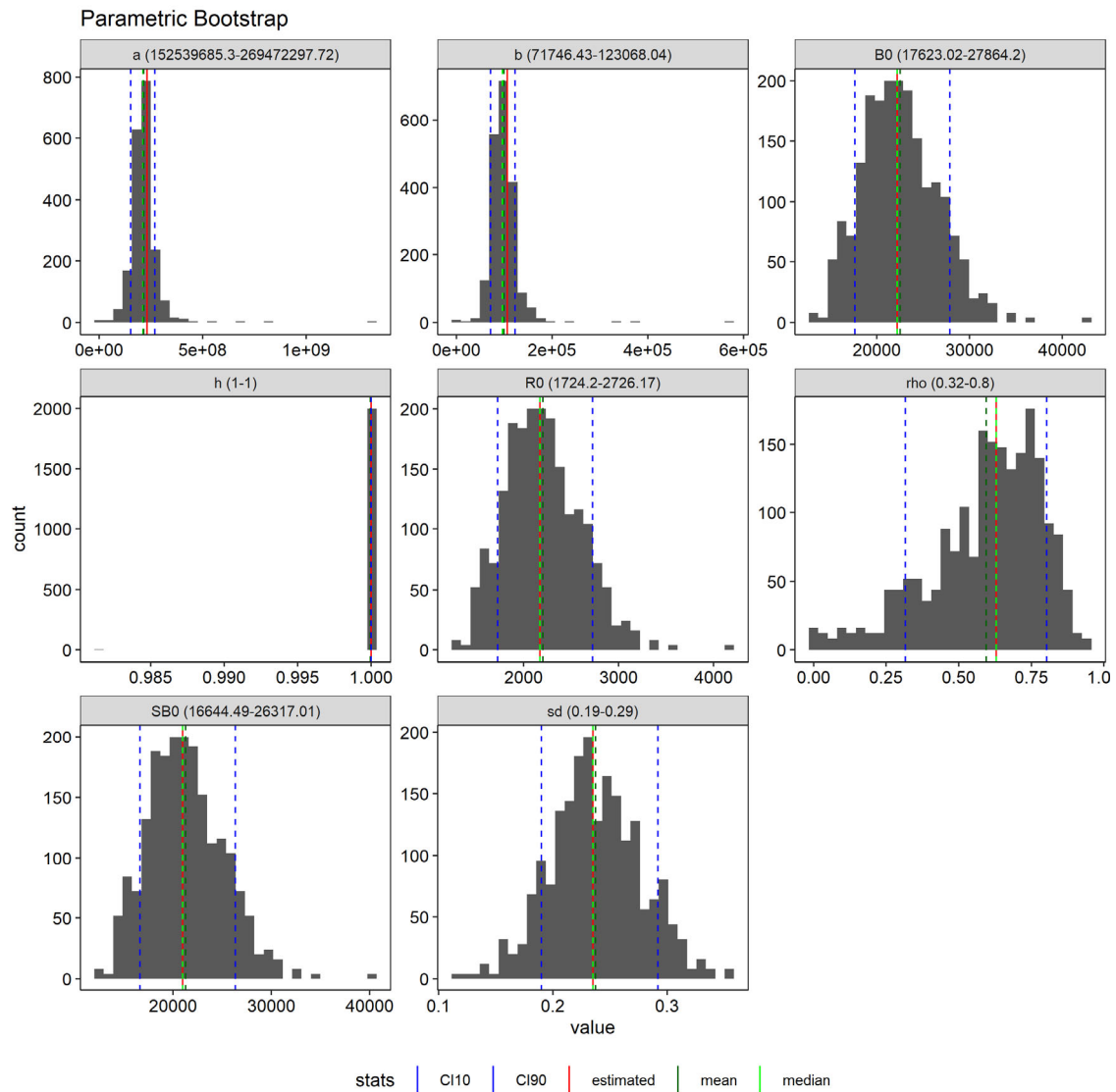


補足図 1-7a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での平均値（緑点線）、中央値（黄緑点線）と 90%信頼区間（青点線）

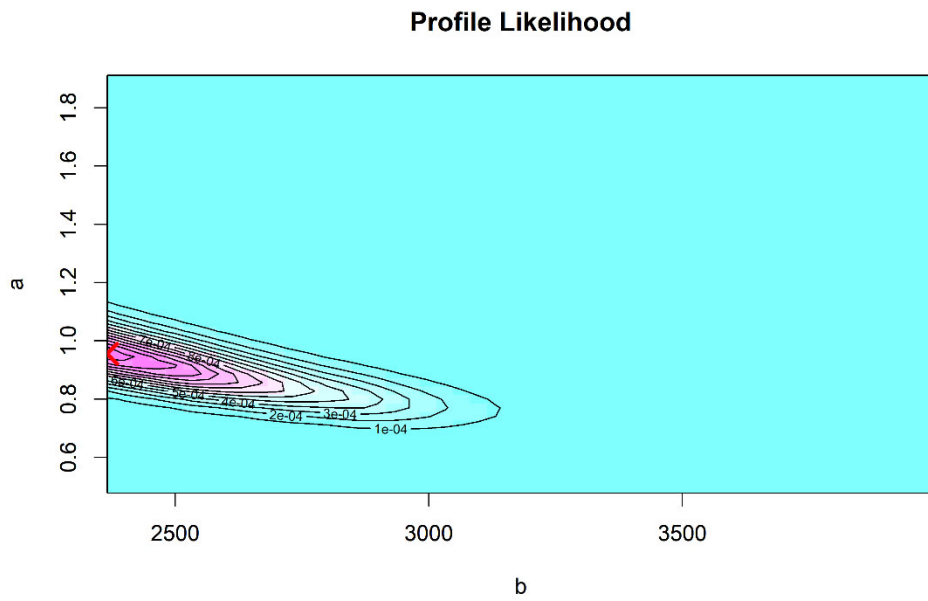
赤線はパラメータの点推定値である。



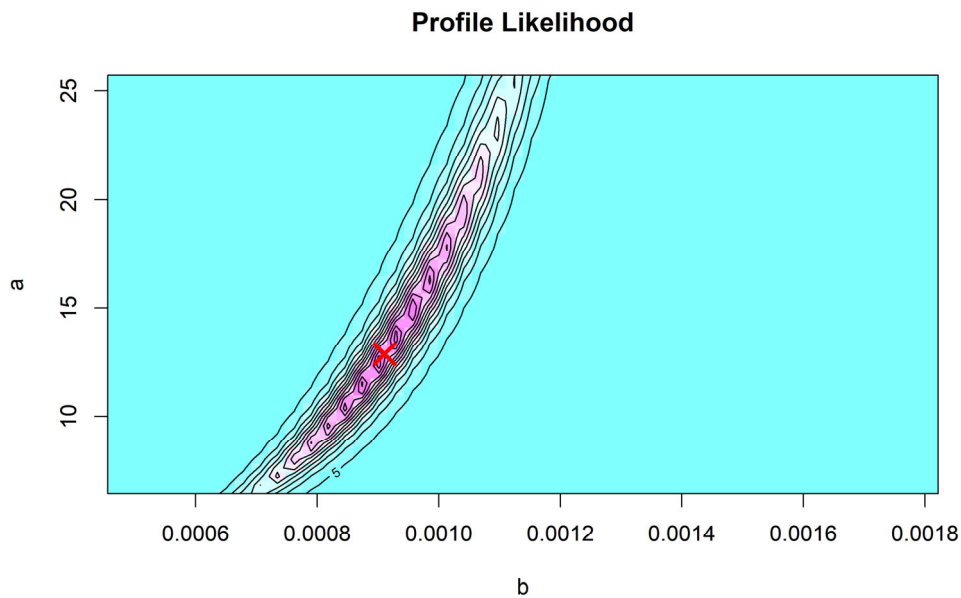
補足図 1-7b. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での平均値（緑点線）、中央値（黄緑点線）と 90%信頼区間（青点線）赤線はパラメータの点推定値である。



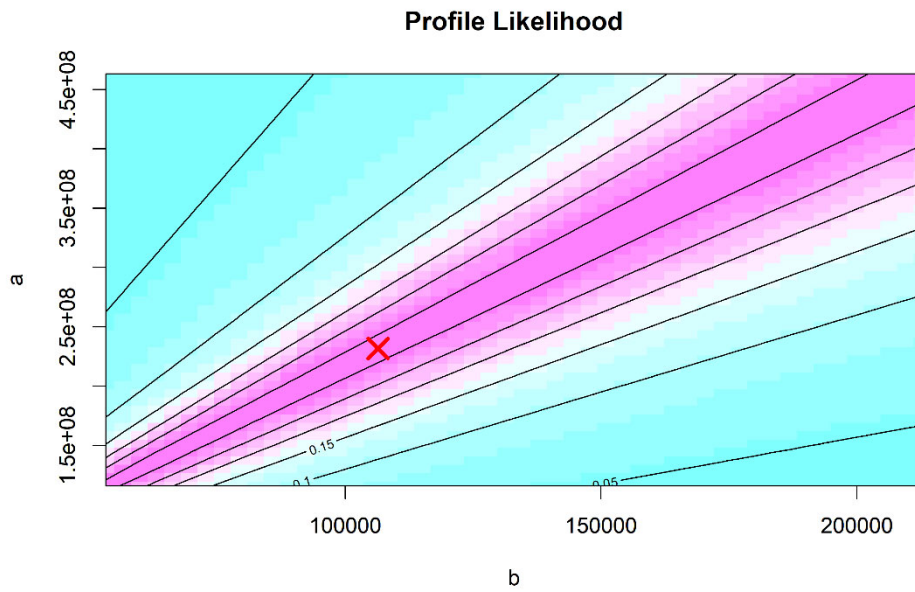
補足図 1-7c. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での平均値（緑点線）、中央値（黄緑点線）と 90%信頼区間（青点線）  
赤線はパラメータの点推定値である。



補足図 1-8a. 自己相関を考慮したホッカー・スティック型 (HS) 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。



補足図 1-8b. リッカー型 (RI) 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。



補足図 1-8c. ベバートン・ホルト型 (BH) 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.	$\rho$	h	データ数
<b>ホッケー・ スティック</b>	<b>最小 二乗法</b>	<b>有</b>	<b>同時</b>	<b>0.920</b>	<b>2,366</b>	<b>0.251</b>	<b>0.734</b>	<b>0.887</b>	<b>22</b>
リッカー	最小 二乗法	有	同時	12.855	0.00091	0.199	0.473	9.463	22
ベバートン・ ホルト	最小 二乗法	有	同時	—*	—*	0.251	0.734	1.000	22
ホッケー・ スティック	最小 二乗法	無	-	0.956	2,366	0.326	0	0.892	22
リッカー	最小 二乗法	無	-	11.141	0.00087	0.224	0	8.440	22
ベバートン・ ホルト	最小 二乗法	無	-	—*	—*	0.326	0	1.000	22
ホッケー・ スティック	最小 絶対値 法	無	-	0.961	2,366	0.326	0	0.892	22
リッカー	最小 絶対値 法	無	-	14.259	0.00094	0.226	0	10.281	22
ベバートン・ ホルト	最小 絶対値 法	無	-	—*	—*	0.338	0	1.000	22

推奨する再生産関係式を太字とした。S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標で、対数残差の標準偏差（Standard Deviation、平均二乗誤差の平方根）である。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  $\rho$  についても示した。h（ステイプネス）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  $0.2SB_0$  のときの平均加入尾数を  $R_0$  で割った値、HS の場合は  $1-SB_{hs}/SB_0$  ( $SB_{hs}$  は HS の折れ点) となる値である。

\*パラメータ a、b に高い相関があり、解が一意に求められなかったため「—」とした。

## 補足資料 2 再生産関係による MSY 管理基準値の違い

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、以下の 9 通りの再生産関係と最適化法および自己相関の考慮の組み合わせで、それぞれ MSY 管理基準値を推定した。比較対象とした組み合わせは、HS 型、RI 型、BH 型すべての再生産関係において最小二乗法または最小絶対値法を用いて最適化し、自己相関を考慮した場合と考慮せず当てはめた場合である。なお自己相関を考慮する場合には“同時推定法”を用い、最小二乗法にのみ適用した。それぞれの再生産関係と最適化方法に基づき推定された MSY 管理基準値を下表に示す。

再生産関係式	最適化 法	自己 相関	推定法	SBmsy (トン)	SB0.6msy (トン)	SB0.1msy (トン)	MSY (トン)	Umsy	Fmsy/ Fcurrent
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	有	同時	5,701	1,832	269	1,591	0.23	0.88
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	無	—	5,924	1,712	269	1,650	0.23	0.87
ホッケー・ スティック (HS)	最小絶 対値法	無	—	5,960	1,715	270	1,660	0.23	0.87
リッカー (RI)	最小 二乗法	有	同時	1,434	—	—	2,168	0.58	6.05
リッカー (RI)	最小 二乗法	無	—	1,530	—	—	2,053	0.56	5.34
リッカー (RI)	最小絶 対値法	無	—	1,371	—	—	2280	0.60	6.67
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	有	同時	5,695	608	337	1,591	0.23	0.88
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	無	—	5,923	639	347	1,650	0.23	0.87
ベバートン・ ホルト (BH)	最小絶 対値法	無	—	6,463	697	378	1,801	0.23	0.87

HS 型再生産関係を用いた場合では、最適化法の違いや自己相関の有無で生じる各管理基準値および MSY の差は小さい。RI 型再生産関係では、いずれの場合でも h が極めて高い値であるため（補足表 1-1）、Fcurrent に対する F0.6msy および F0.1msy の比が計算パッ

ケージ frasyr の上限値である 10 を超えており、SB0.6msy および SB0.1msy の推定ができなかったため、「－」とした。

### 補足資料 3 現状の放流を想定した場合の将来予測

将来予測において、現状の放流を想定し、提案する再生産関係式（最小二乗法により最適化し自己相関を考慮した HS 型）を用いて再生産関係による加入尾数を推定し、これに人工種苗由来の加入尾数を加算して各年の加入量とした場合の結果をここで示す。人工種苗由来の加入尾数（8.5 万尾）は、2018～2020 年における放流尾数（213 万尾）と 2019～2021 年の添加効率（放流個体が資源に加入する比率）の平均値（0.0397）の積として求めた。

現状の放流を想定した場合において予測される親魚量が各管理基準値案を上回る確率を補足表 3-1～3-3 に、将来の平均親魚量、平均漁獲量を補足表 3-4～3-5 に示す。将来予測において、再生産関係による加入のみを想定した場合（表 9）に比べ、現状の放流を想定した場合において、平均親魚量および漁獲量は多くなると予測される（補足表 3-6）。 $\beta=0.8$  とした場合、2033 年に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は、再生産関係による加入のみを想定した場合は 59%、現状の放流を想定した場合は 64%と予測される（補足表 3-7）。

ここでは、現状の添加効率として直近 3 年間の平均値を用いたが、本系群の添加効率は 2007 年以降の放流群において 0.012～0.076 の間で比較的大きく変動している。添加効率の設定によって、人工種苗由来の加入尾数は変化するため、上述のような種苗放流が将来の親魚量や漁獲量に与える影響をより精度高く検討するためには、再生産関係による加入尾数ならびに添加効率の推定精度を向上させる必要がある。添加効率の推定には、放流種苗への標識装着率（黒化率）や混入率に関するデータが必須であるが、近年、これらのデータの入手が困難になりつつあるため、データの量と質の維持・向上について検討する必要がある。また、種苗放流の体制が今後大きく変化することがあれば、管理方策についても再検討が必要となる。

補足表 3-1. 現状の放流を想定した場合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 (%)

$\beta$	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	3	7	14	21	26	30	36	39	49	49
0.9	0	0	0	0	1	4	13	20	29	37	43	48	52	61	61
0.8	0	0	0	0	1	7	18	29	39	47	56	62	64	74	73
0.7	0	0	0	0	1	13	26	42	54	62	70	75	78	84	85
0.6	0	0	0	0	3	20	40	57	68	76	81	86	88	94	93
0.5	0	0	0	0	5	30	55	71	81	87	91	93	95	98	98
0.4	0	0	0	0	11	44	72	85	90	95	98	98	98	99	100
0.3	0	0	0	0	17	63	85	93	97	99	99	99	100	100	100
0.2	0	0	0	0	29	79	94	98	99	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	0	47	91	98	99	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	1	67	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	0	0	0	0	0	1	4	7	11	16	18	21	24	33	32

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 (Fcurrent) 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 Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 3-2. 現状の放流を想定した場合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 (%)

$\beta$	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
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 (Fcurrent) 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 Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 3-3. 現状の放流を想定した場合における将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

$\beta$	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
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 (Fcurrent) 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 Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 3-4. 現状の放流を想定した場合における将来の平均親魚量の推移（トン）

$\beta$	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	4,006	3,806	3,544	3,537	3,623	3,872	4,180	4,481	4,757	4,994	5,196	5,361	5,485	5,859	5,867
0.9	4,006	3,806	3,544	3,640	3,806	4,121	4,485	4,832	5,147	5,416	5,646	5,834	5,977	6,412	6,427
0.8	4,006	3,806	3,544	3,746	4,000	4,392	4,821	5,224	5,586	5,895	6,159	6,376	6,542	7,056	7,080
0.7	4,006	3,806	3,544	3,856	4,206	4,686	5,194	5,663	6,082	6,441	6,747	7,000	7,196	7,813	7,848
0.6	4,006	3,806	3,544	3,969	4,424	5,005	5,606	6,156	6,646	7,066	7,425	7,722	7,957	8,711	8,762
0.5	4,006	3,806	3,544	4,085	4,657	5,353	6,062	6,710	7,287	7,783	8,209	8,565	8,848	9,791	9,864
0.4	4,006	3,806	3,544	4,206	4,903	5,731	6,569	7,335	8,019	8,612	9,123	9,553	9,901	11,106	11,214
0.3	4,006	3,806	3,544	4,331	5,165	6,143	7,133	8,041	8,858	9,571	10,192	10,720	11,154	12,734	12,897
0.2	4,006	3,806	3,544	4,459	5,444	6,592	7,760	8,840	9,821	10,688	11,450	12,107	12,656	14,787	15,044
0.1	4,006	3,806	3,544	4,592	5,740	7,082	8,458	9,747	10,931	11,993	12,939	13,767	14,473	17,429	17,859
0.0	4,006	3,806	3,544	4,729	6,055	7,616	9,237	10,777	12,215	13,525	14,711	15,767	16,687	20,912	21,677
Fcurrent	4,006	3,806	3,544	3,396	3,382	3,551	3,795	4,044	4,276	4,475	4,646	4,784	4,886	5,195	5,198

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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（Fcurrent）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 Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

※ 黄色網掛けは目標管理基準値案を下回ることを示す。

補足表 3-5. 現状の放流を想定した場合における将来の平均漁獲量の推移（トン）

$\beta$	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	1,230	1,178	996	997	1,022	1,091	1,176	1,259	1,334	1,399	1,454	1,499	1,533	1,635	1,638
0.9	1,230	1,178	910	936	978	1,057	1,149	1,236	1,315	1,382	1,440	1,486	1,522	1,630	1,635
0.8	1,230	1,178	821	868	925	1,014	1,111	1,202	1,284	1,354	1,413	1,462	1,499	1,615	1,621
0.7	1,230	1,178	729	792	862	959	1,061	1,155	1,239	1,311	1,372	1,422	1,462	1,585	1,593
0.6	1,230	1,178	634	709	788	889	994	1,090	1,176	1,249	1,312	1,363	1,404	1,535	1,545
0.5	1,230	1,178	537	617	700	803	908	1,004	1,089	1,162	1,225	1,277	1,319	1,458	1,469
0.4	1,230	1,178	436	515	598	698	798	890	972	1,043	1,105	1,156	1,198	1,342	1,356
0.3	1,230	1,178	332	404	479	569	659	743	817	883	939	987	1,027	1,171	1,187
0.2	1,230	1,178	225	281	342	413	485	552	613	667	714	755	789	921	937
0.1	1,230	1,178	114	147	183	225	268	309	346	380	410	436	458	551	565
0.0	1,230	1,178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	1,230	1,178	1,114	1,073	1,071	1,124	1,199	1,276	1,348	1,409	1,461	1,503	1,534	1,628	1,630

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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（Fcurrent）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 Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 3-6. 現状の放流を想定した場合に予測される親魚量と漁獲量および親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

$\beta$	10年後の 目標達成 確率	予測平均親魚量 (トン)		予測平均漁獲量 (トン)			リスク(10年間に1度でも 起きる確率)		
	親魚資源 量が目標 管理基準 値案を上 回る	5年後	10年 後	0年後	5年後	10年 後	親魚量 が現在 の水準 を下回 る	親魚量 が限界 管理基 準値案 を下回 る	漁獲量 が半減 する
		2028 年	2033 年	2023 年	2028 年	2033 年			
1	39%	4,481	5,485	996	1,259	1,533	0%	0%	0%
0.9	52%	4,832	5,977	910	1,236	1,522	0%	0%	0%
0.8	64%	5,224	6,542	821	1,202	1,499	0%	0%	0%
0.7	78%	5,663	7,196	729	1,155	1,462	0%	0%	0%
0.6	88%	6,156	7,957	634	1,090	1,404	0%	0%	0%
0.5	95%	6,710	8,848	537	1,004	1,319	0%	0%	0%
0.4	98%	7,335	9,901	436	890	1,198	0%	0%	0%
0.3	100%	8,041	11,154	332	743	1,027	0%	0%	0%
0.2	100%	8,840	12,656	225	552	789	0%	0%	0%
0.1	100%	9,747	14,473	114	309	458	0%	0%	0%
0	100%	10,777	16,687	0	0	0	0%	0%	0%

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

漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度（0年後）の 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。

補足表 3-7. 再生産関係による加入のみと人工種苗由来の加入を考慮した場合に予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

将来の加入 の想定	$\beta$	10年後の目標 達成確率(%)	予測平均親魚量 (トン)		予測平均漁獲量 (トン)		
		親魚資源量が 目標管理基準 値案を上回る	5年後	10年後	0年後	5年後	10年後
			2028年	2033年	2023年	2028年	2033年
再生産関係 による加入 のみ	1	33	4,275	5,256	987	1,201	1,469
	0.9	47	4,610	5,729	902	1,179	1,459
	0.8	59	4,985	6,271	814	1,148	1,437
	0.7	72	5,405	6,896	723	1,103	1,401
	0.6	83	5,877	7,625	629	1,041	1,346
	0.5	92	6,408	8,478	532	959	1,264
	Fcurrent	19	3,857	4,679	1,104	1,217	1,470
種苗放流* を考慮 (213万尾 放流、添加 効率0.04)	1	39	4,481	5,485	996	1,259	1,533
	0.9	52	4,832	5,977	910	1,236	1,522
	0.8	64	5,224	6,542	821	1,202	1,499
	0.7	78	5,663	7,196	729	1,155	1,462
	0.6	88	6,156	7,957	634	1,090	1,404
	0.5	95	6,710	8,848	537	1,004	1,319
	Fcurrent	24	4,044	4,886	1,114	1,276	1,534

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  を 0.5～1.0 にて 0.1 刻みで変更した結果をまとめた。

漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度（0年後）の 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。

\*人工種苗由来の加入尾数は、現状（2018～2020 年平均：213 万尾）の放流尾数と 2019～2021 年の平均添加効率（0.0397）の積である。