

令和4（2022）年度ヒラメ太平洋北部系群の 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1990～2020年の親魚量と翌年の加入量（再生産関係による加入のみ）の情報に対し、加入の残差の自己相関を考慮しないホッケー・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絶対値法を使用した。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（4,078トン）を提案する。また、限界管理基準値としてSB0.6msy（828トン）、禁漁水準としてSB0.1msy（128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（2018～2020年の漁獲係数の平均値）の1.03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 (2018～2020年) に対する比*1	説 明
目標管理基準値案					
4,078	0.87	0.23	1,551	1.03	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					
828	0.18	0.05	931	2.72	MSYの60%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
128	0.03	0.01	155	2.91	MSYの10%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.1msy)
2021年					
4,699	1.00	0.28	1,632*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 R パッケージ `frasyr` (v2.2.0.3) を用いた。`frasyr` で用いた式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和 4 年度）（FRA-SA-2022-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 4(2022)年度ヒラメ太平洋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 1990～2020 年の親魚量と翌年の加入量（再生産関係による加入のみ）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。また、残差に自己相関を考慮したモデルと考慮しないモデルを検討し、自己相関を考慮したモデルでは、再生産関係のパラメータと自己相関係数を同時に推定する手法（同時推定法）を用いた。

加入量の残差の 1 年前との自己相関は、HS 型、RI 型および BH 型を用いて最小二乗法および最小絶対値法により最適化したいずれの場合も有意ではなかった（補足資料 1）。従って、本資源においては再生産関係のモデルに加入量の自己相関を考慮する必要はないと判断した。また、検討した再生産関係から予測される加入量と観測値（資源評価値）の残差は、いずれの再生産関係式を用いた場合でも正規分布からの大きな逸脱は見られなかった。年別のデータを除くことによるパラメータへの影響をジャックナイフ法で調べたところ、HS 型と RI 型においては安定していることが示されたが、BH 型ではやや不安定であった。

補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると、いずれの再生産関係式を用い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低くなった（表 1）。最小絶対値法により最適化した HS 型（AICc = 32.4）と BH 型（32.7）の差は 0.3 であり、HS 型と RI 型（34.3）の差は 1.9 であった。

HS 型と BH 型の AICc に大差がなかったことから、異なる再生産関係を用いた場合のリスクの非対称性の評価を行った（補足表 1-2）。真は BH 型であったが選択を間違えて HS 型で管理した場合と、真は HS 型であったが BH 型で管理した場合において将来予測をしたところ、いずれの場合でも $SBmsy$ の達成確率は 50%を超えており、将来予測におけるリスクに大きな違いは見られなかった。また同様に、HS 型と RI 型とのリスクの非対称性の評価も行っているが、将来予測のリスクに大きな違いは見られなかった。

現在の本資源の水準は、2011 年 3 月の東日本大震災（以下、「震災」という）前に比べ

て、依然として2～3倍高く、 F_{msy} がBH型より高いHS型で管理しても SB_{msy} の達成確率が50%を下回る確率は非常に低いと考えられる。また、MSY管理基準値(SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、および $SB_{0.1msy}$)は、現状の親魚量・漁獲量を考慮するとHS型の方がより現実的な目標となっている。従って、本資源の再生産関係の候補としては、自己相関を考慮しない最小絶対値法で最適化したHS型再生産関係式を用いた。

1-3) 再生産関係の候補

「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-ABCWG01-03)」の3.a(予測力)、3.b(生物学的妥当性)、3.g(異なる再生産関係を用いた場合のリスクの非対称性)および3.h(自己相関)基準に従い、本資源の再生産関係の候補として、最適化法を最小絶対値法とし、自己相関を考慮しない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、体重(2011年以降の平均値)、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2018～2020年の平均漁獲係数を用いており(図2)、管理基準値の算出と将来予測における選択率には2018～2020年の平均値を用いた。平均世代時間(6.6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。なお、本資源は人工種苗放流を行っているがMSY計算については考慮しない(再生産関係による加入のみ)で推定した。

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} :4,078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($SB_{0.6msy}$:828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($SB_{0.1msy}$:128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23%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1,551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1.03で、その時の漁獲割合(U_{msy})は26%である。限界管理基準値として提案する $SB_{0.6msy}$ は SB_0 の5%、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、親魚量がさ

らに増加するにつれて高齢魚の比率が高くなる傾向がみられ、SBmsy 達成時においては 2～3 歳魚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 2012 年以降、2014、2015、2017、2019 年を除いて MSY を実現する水準を下回っていたと判断される。2021 年の漁獲圧の比 (F/Fmsy) は 1.03 であった。また、2013 年以降の親魚量については、目標管理基準値案 SBmsy を超えており、現状の親魚量 (2021 年の親魚量 : 4,699 トン) に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案の比は、それぞれ 0.87、0.18 および 0.03 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 β を乗じたものである。限界管理基準値案および禁漁水準案に標準値を用いた場合 (すなわち、SBlimit は SB0.6msy、SBban は SB0.1msy の場合) の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を図 5a に、この漁獲管理規則案で漁獲した場合に期待できる平均的な漁獲量との関係を図 5b に示す。図に例示した漁獲管理規則案は、いずれも β に標準値である 0.8 を用いた。

2-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

(1) 調整係数 β に標準値を用いた場合

限界管理基準値案と禁漁水準案に標準値を用い、調整係数の β 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 (Fcurrent) 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 βF_{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、 βF_{msy} での漁獲となる。 β を標準値の 0.8 とした場合、 βF_{msy} 漁獲の継続により漁獲量は MSY 水準よりやや少なく、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 β を変えた場合

漁獲管理規則案を用いた将来予測について、調整係数 β を 0.0～1.0 の間で、0.1 間隔で変えた場合の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、禁漁水準案を上回る確率、親魚量平均値の推移、および漁獲量平均値の推移を表 4～9 に示す。表 4～8 には、現状の漁獲圧 (Fcurrent) 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 $\beta=0.97$ に相当する。

本資源の親魚量は 2021 年時点では目標管理基準値案を上回っており、漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2033 年では、 β が 0.8 であれば 89%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、 β 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 46%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、 β 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 β 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 β が低い程多くなった（表 7）。 β を 0.8~1.0 の間で変化させた場合の平均漁獲量は、2033 年には 1,537~1,555 トンの範囲であった（表 8）。

3. まとめ

本資源では、資源評価で推定された 1990~2020 年における親魚量と翌年（1991~2021 年）の 1 歳魚の加入尾数（再生産関係による加入のみ）に基づき、再生産関係モデルに自己相関を考慮しない HS 型再生産関係式を適用し、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 SB_{msy} (4,078 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 SB_{0.6msy} (828 トン)、SB_{0.1msy} (128 トン) をそれぞれ提案する。

現在の本資源の親魚量は 4,699 トンと推定され、目標管理基準値案を上回っている。MSY を実現する漁獲割合は 26%、漁獲圧は $F_{current}$ の 1.03 倍である（表 3）。再生産関係による加入のみを想定した場合、50%以上の確率で親魚量が MSY 水準に維持される β は 0.9 以下である。また、現状（2019~2021 年）と同水準の放流を今後 10 年間継続した場合、調整係数 β が 1.0 以下の漁獲圧であれば、将来的に 50%以上の確率で親魚量が MSY 水準に維持されると予測された（補足資料 3）。

4. 今後の検討事項

令和 3 年度までの本資源の資源評価では、雌雄別に VPA を行い、雌雄を合計して資源量指標値を推定してきたが、雌雄別の VPA の問題点（1990 年代の雌雄別の年齢別漁獲尾数の分解精度が低く、各齢の F 値が雌雄によって大きく異なる）があったことから、令和 4 年度より雌雄込による評価とした。また、2011 年以降の年別・年齢別の平均体重は、精密測定データからの実測値を使用した。雌雄込に変更したことによる雌雄比の年変化や平均体重への影響については、知見も不十分であることから本年度の解析では見送ることにした。また近年、再生産成功率が低い水準であることから、着底した稚魚の生息環境（餌生物、捕食者など）との関係についても更なる検討が必要である。同様に添加効率も低い水準であることから、黒化率の過大評価の可能性、あるいは市場調査の強化による混入率データの蓄積も必要である。

5. 引用文献

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

ABCWG (2022) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する
技術ノート (令和 4 年度) . FRA-SA-2022-ABCWG01-02.

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-
ABCWG01-03.

(執筆者：富樫博幸、成松庸二、鈴木勇人、森川英祐、時岡 駿、三澤 遼、金森由妃、
永尾次郎、櫻井慎大)

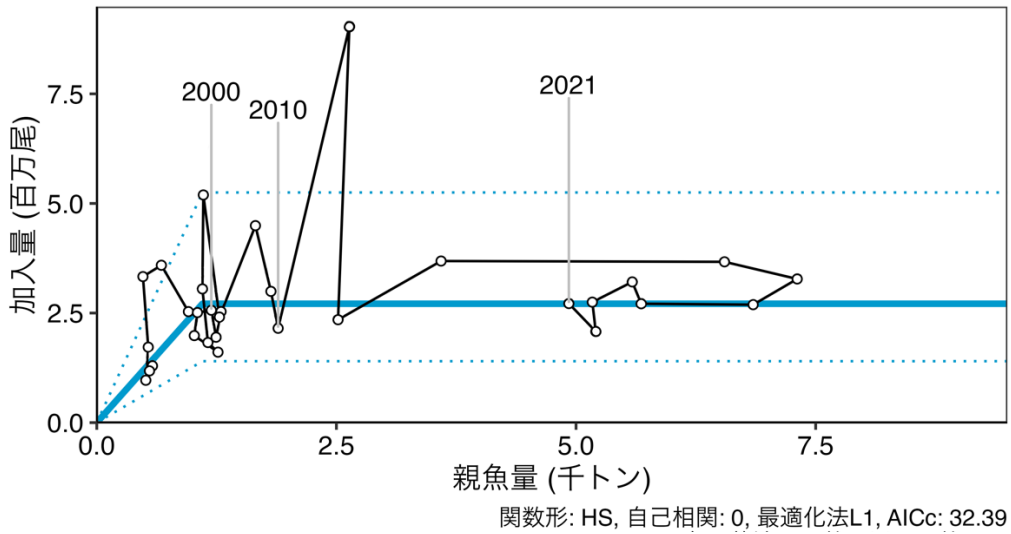


図 1. 再生産関係

1990～2020 年における親魚資源量と翌年（1991～2021 年）の 1 歳魚の加入尾数（再生産関係による加入のみ）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ないホッカー・スティック型（HS）再生産式を用い、最小絶対値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。

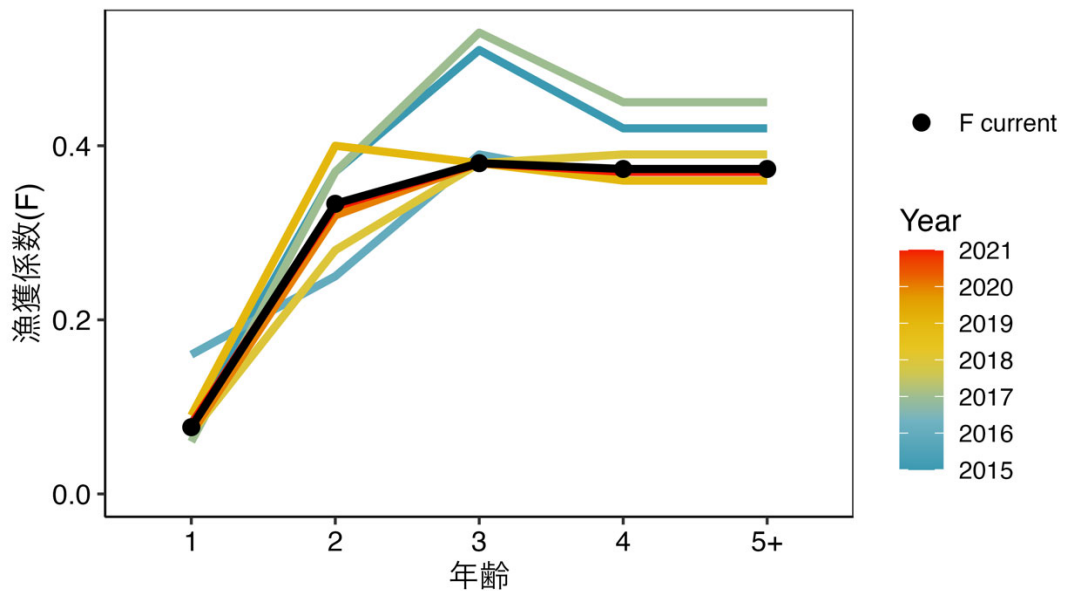


図 2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

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 (Fcurrent) であり、2021 年の F 値と同じである。

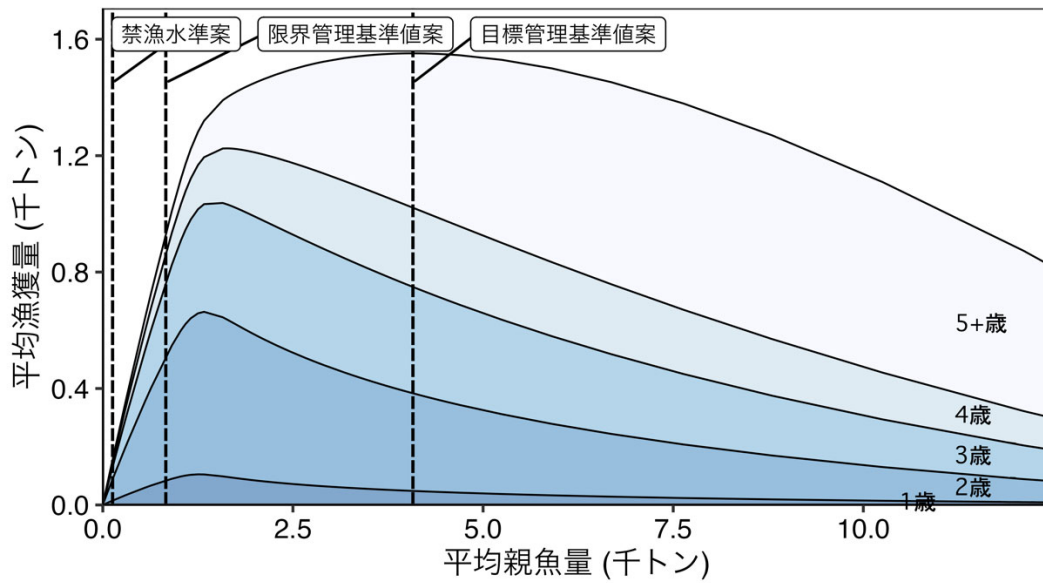


図3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

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17,806 トンである。

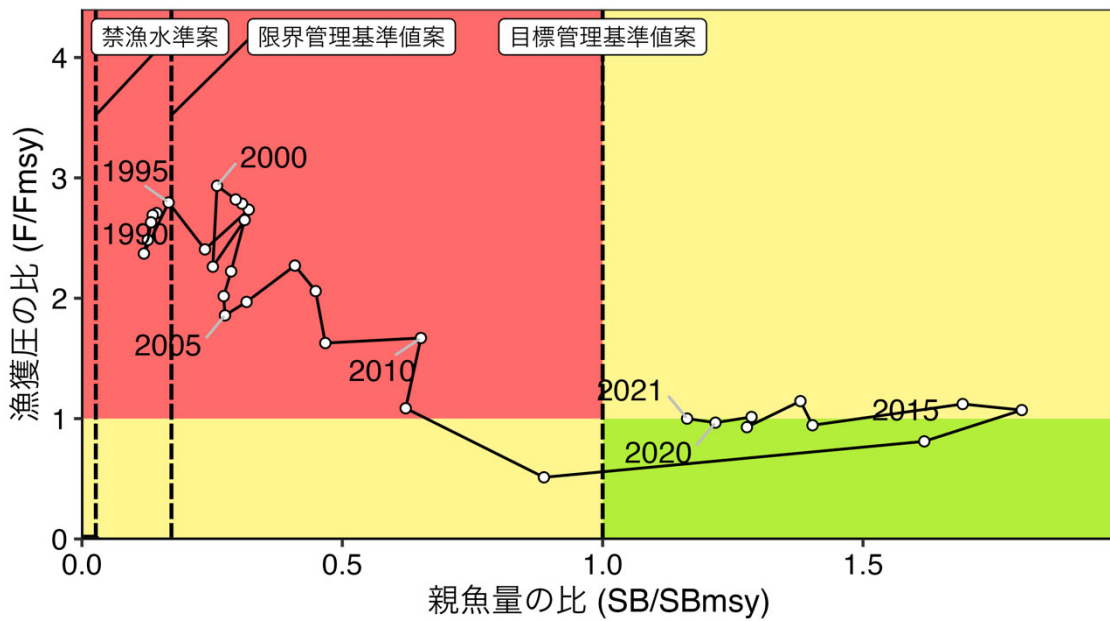
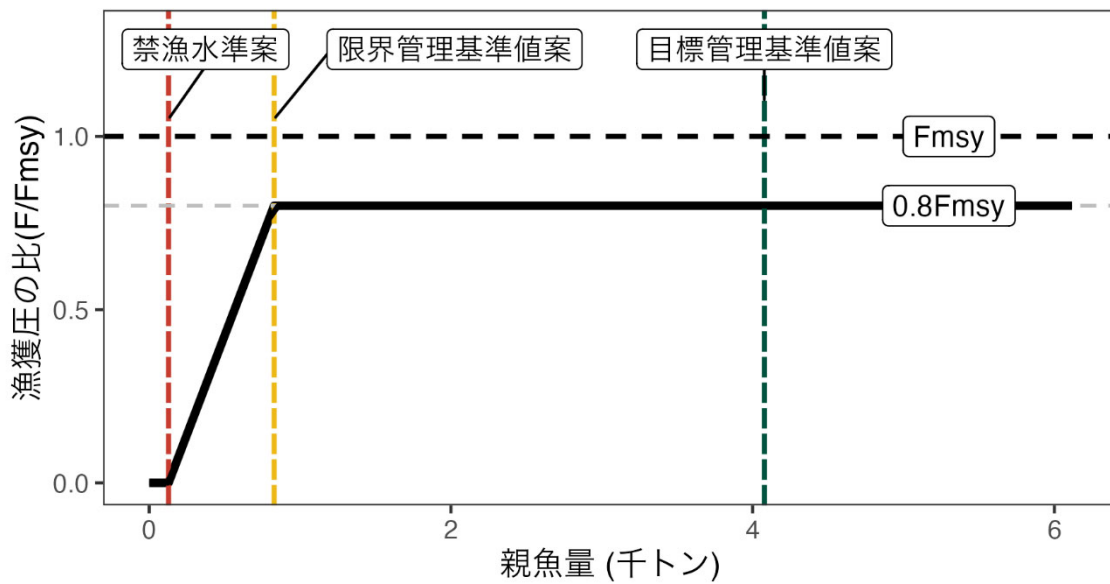


図4. 神戸プロット

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

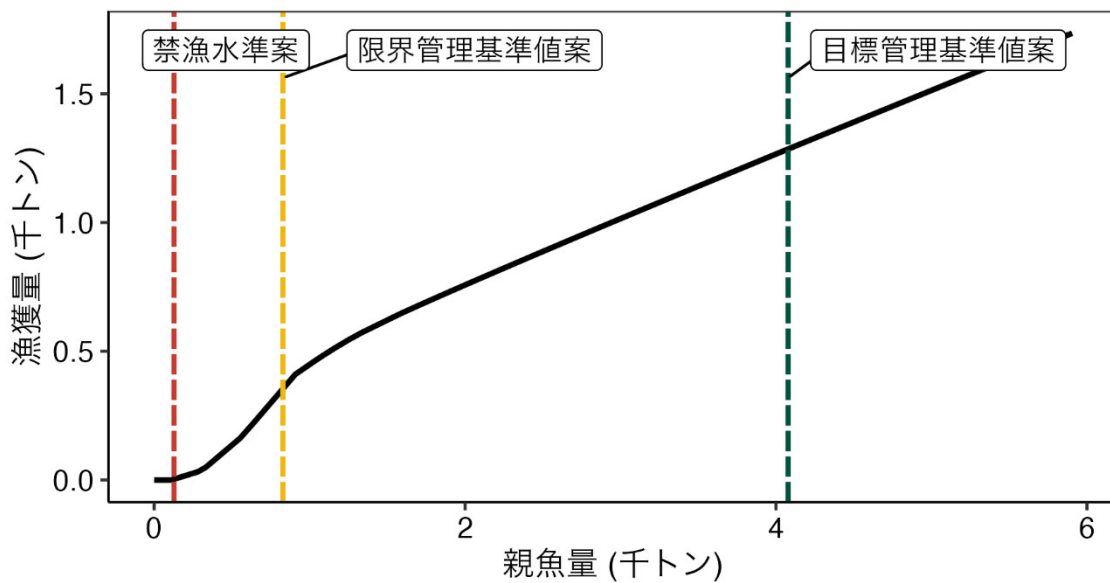
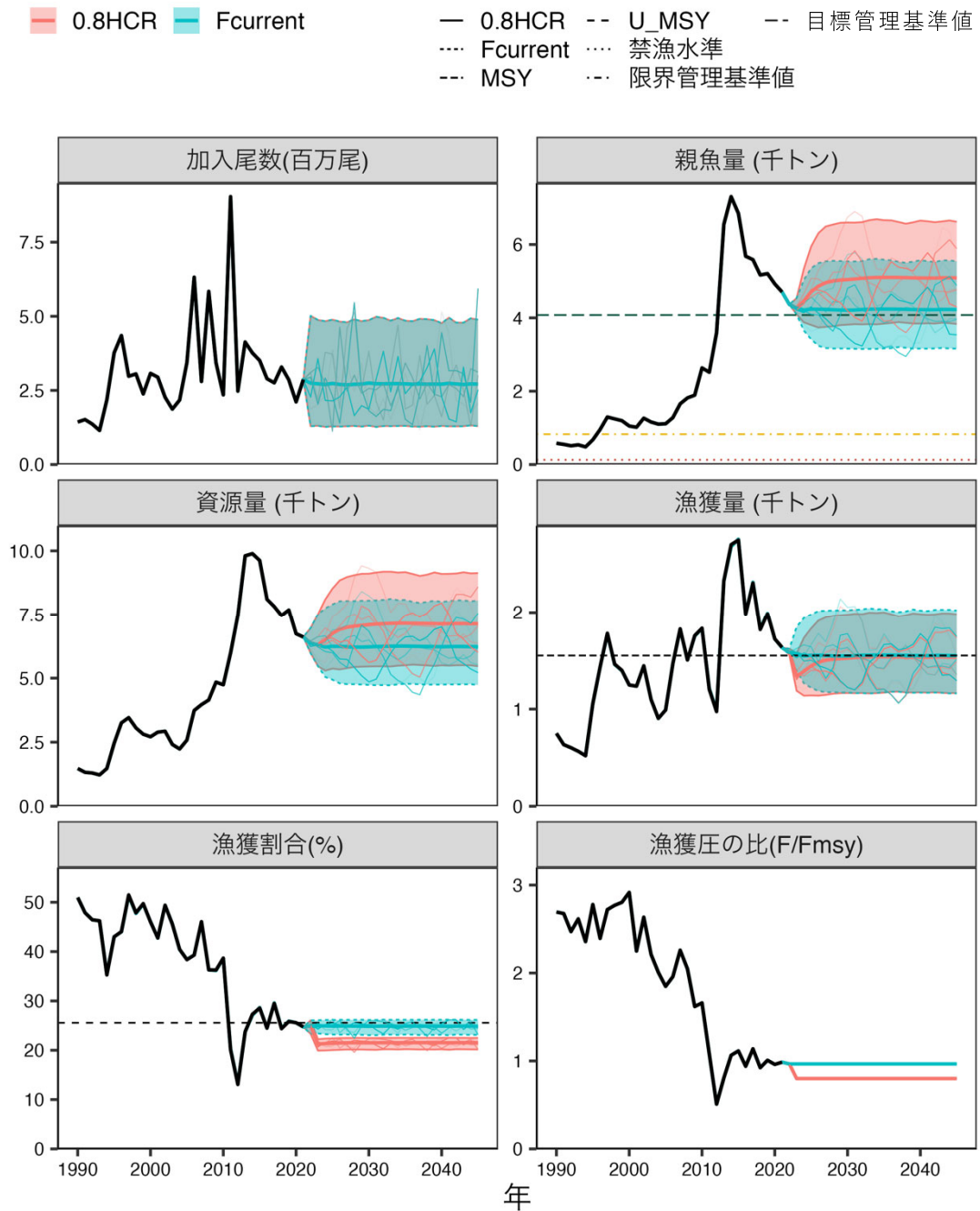


図 5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値案 (SBtarget) は HS 再生産関係に基づき算出した SBmsy である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) には、それぞれ標準値を用いている。調整係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は Fmsy、灰色破線は 0.8Fmsy、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。



(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 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、赤点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Umsyを示す。2022年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧(Fcurrent)により仮定し、2023年以降の漁獲は漁獲管理規則案(図5)に従うものとした。調整係数βには0.8を用いた。

表 1. 再生産関係式の検討候補

再生産関係式	最適化法	自己相関	AICc	順位
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	同時	37.7	9
リッカー(RI)	最小二乗法	同時	37.5	8
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	同時	36.8	7
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	無	35.7	6
リッカー(RI)	最小二乗法	無	35.5	5
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	無	35.0	4
ホッケー・スティック(HS)	最小絶対値法	無	32.4	1
リッカー(RI)	最小絶対値法	無	34.3	3
ベバートン・ホルト(BH)	最小絶対値法	無	32.7	2

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	0.23	0.00	263	0.198	0.075
2	0.23	0.25	646	0.871	0.331
3	0.23	0.75	1,119	1.000	0.380
4	0.23	1.00	1,581	0.981	0.373
5+	0.23	1.00	2,637	0.981	0.373

*2011～2021 年の精密測定データから得られた雌雄込の平均体重を示す。

Fcurrent は 2018～2020 年の平均である。

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	4,078	0.23	1,551	22.9	0.256	1.03
限界管理基準値案	SB0.6msy	828	0.05	931	6.6	0.457	2.72
禁漁水準案	SB0.1msy	128	0.01	155	6.0	0.473	2.91
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳以上) =(0.08, 0.34, 0.39, 0.39, 0.39)					

表 4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	97	50	49	48	47	46	46	45	45	46	46	45	47
0.9	100	100	97	66	69	68	69	70	70	69	70	70	70	71	70
0.8	100	100	97	81	85	85	88	88	89	89	89	90	89	90	89
0.7	100	100	97	92	95	95	96	97	98	98	98	98	98	98	98
0.6	100	100	97	98	99	99	99	99	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	97	56	55	54	55	54	54	53	53	54	54	55	55

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (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 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
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 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (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 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
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 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (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）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	4,699	4,364	4,268	4,155	4,148	4,118	4,101	4,083	4,071	4,064	4,068	4,081	4,088	4,082	4,079
0.9	4,699	4,364	4,268	4,305	4,420	4,474	4,505	4,514	4,516	4,517	4,525	4,542	4,551	4,546	4,544
0.8	4,699	4,364	4,268	4,461	4,713	4,866	4,960	5,006	5,030	5,043	5,058	5,080	5,093	5,093	5,090
0.7	4,699	4,364	4,268	4,623	5,026	5,299	5,473	5,570	5,625	5,657	5,685	5,715	5,734	5,742	5,739
0.6	4,699	4,364	4,268	4,791	5,363	5,777	6,053	6,216	6,317	6,377	6,424	6,468	6,497	6,521	6,518
0.5	4,699	4,364	4,268	4,965	5,725	6,306	6,707	6,960	7,123	7,226	7,302	7,368	7,413	7,468	7,464
0.4	4,699	4,364	4,268	5,146	6,113	6,891	7,449	7,818	8,067	8,231	8,352	8,452	8,522	8,634	8,631
0.3	4,699	4,364	4,268	5,334	6,530	7,538	8,289	8,809	9,175	9,428	9,616	9,767	9,877	10,096	10,096
0.2	4,699	4,364	4,268	5,529	6,978	8,255	9,242	9,956	10,480	10,858	11,145	11,376	11,549	11,964	11,973
0.1	4,699	4,364	4,268	5,732	7,460	9,048	10,324	11,288	12,023	12,576	13,008	13,359	13,633	14,407	14,446
0	4,699	4,364	4,268	5,942	7,978	9,928	11,556	12,836	13,852	14,650	15,292	15,826	16,255	17,689	17,813
Fcurrent	4,699	4,364	4,268	4,205	4,237	4,234	4,231	4,222	4,214	4,209	4,214	4,228	4,235	4,230	4,227

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (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）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	1632	1583	1616	1575	1571	1564	1557	1550	1548	1548	1552	1555	1555	1553	1551
0.9	1632	1583	1480	1487	1515	1531	1537	1538	1539	1541	1546	1550	1551	1550	1547
0.8	1632	1583	1339	1386	1445	1483	1504	1513	1520	1524	1531	1535	1537	1537	1534
0.7	1632	1583	1192	1273	1358	1417	1452	1471	1484	1492	1500	1506	1509	1511	1508
0.6	1632	1583	1040	1145	1251	1329	1379	1407	1427	1439	1450	1457	1462	1466	1464
0.5	1632	1583	882	1002	1122	1214	1276	1314	1341	1358	1372	1381	1388	1396	1394
0.4	1632	1583	719	842	967	1067	1137	1183	1216	1238	1255	1267	1275	1290	1288
0.3	1632	1583	549	664	782	881	953	1003	1039	1065	1084	1099	1109	1130	1129
0.2	1632	1583	373	465	562	647	712	759	794	820	840	855	866	893	893
0.1	1632	1583	190	245	304	358	400	433	458	477	492	503	512	539	540
0	1632	1583	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	1632	1583	1571	1547	1554	1554	1552	1547	1546	1547	1551	1554	1555	1553	1550

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (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

β	10年後の 目標達成 確率	予測平均親魚量 (トン)		予測平均漁獲量 (トン)			リスク(10年間に1度でも 起きる確率)		
	親魚資源 量が目標 管理基準 値案を上 回る	5年後	10年 後	0年後	5年後	10年 後	親魚量 が現在 の水準 を下回 る	親魚量 が限界 管理基 準値を 下回る	漁獲量 が半減 する
		2028 年	2033 年	2023 年	2028 年	2033 年			
1	46%	4,083	4,088	1,616	1,550	1,555	0%	0%	0%
0.9	71%	4,514	4,551	1,480	1,538	1,551	0%	0%	0%
0.8	89%	5,006	5,093	1,339	1,513	1,537	0%	0%	0%
0.7	98%	5,570	5,734	1,192	1,471	1,509	0%	0%	0%
0.6	100%	6,216	6,497	1,040	1,407	1,462	0%	0%	0%
0.5	100%	6,960	7,413	882	1,314	1,388	0%	0%	0%
0.4	100%	7,818	8,522	719	1,183	1,275	0%	0%	0%
0.3	100%	8,809	9,877	549	1,003	1,109	0%	0%	0%
0.2	100%	9,956	11,549	373	759	866	0%	0%	0%
0.1	100%	11,288	13,633	190	433	512	0%	0%	0%
0	100%	12,836	16,255	0	0	0	0%	0%	0%

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した結果をまとめた。漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度（0年後）の 2023 年の値と、5 年および 10 年管理を行った後の値（2028 年および 2033 年）を示した。

補足資料 1 再生産関係式のモデル診断結果について

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

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

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

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

いずれの再生産関係式でも、推定するパラメータは a および b の 2 つである。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.) および h (スティーブネス) も併せて算出した。h は密度補償効果 (資源量が少なくなると親魚量あたりの加入尾数が多くなる) を示す指標であり、最適化法や推定法による違いは小さかったものの、生産関係式では RI 型でやや高く、HS 型と BH 型には大差なかった。

候補とした再生産関係を表 1、補足図 1-1、補足表 1-1 に示した。加入の時系列トレンドを調べるため、最小絶対値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求めた (補足図 1-2)。その結果、いずれの再生産関係を仮定した場合でも、自己相関は有意でなかったため、本資源については自己相関を考慮しないこととした。各再生産関係モデルについて Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定により残差の正規性を調べたところ、正規性からの有意な逸脱は検出されなかった (補足図 1-3)。AICc を比較したところ、最小絶対値法により最適化した HS 型 (AICc=32.4) と BH 型 (32.7) の差は 0.3 であり、HS 型と RI 型 (34.3) の差は 1.9 であった。HS 型と BH 型には大差はなく、次いで RI 型の順となった (表 1)。

ジャックナイフ法により、個々のデータを取り除いた際の推定パラメータへの影響を調べた。その結果、いずれの再生産関係式においても影響は小さく、とくに HS 型と RI 型で頑健であることが示された (補足図 1-4、1-5)。また、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結果、パラメータ a および b について、いずれの再生産関係式においても推定値の中央値と点推定値はほぼ一致した (補足図 1-6、1-7)。各再生産関係モデルのプロファイル尤度を補足図 1-8 に示す。この結果、いずれの再生産関係式でもパラメータが収束することが示された。

AICc の予測力やその他の点で HS 型と BH 型に大差がなかったことから、異なる再生産関係を用いた場合のリスクの非対称性の評価を行った。真は BH 型であったが選択を間違

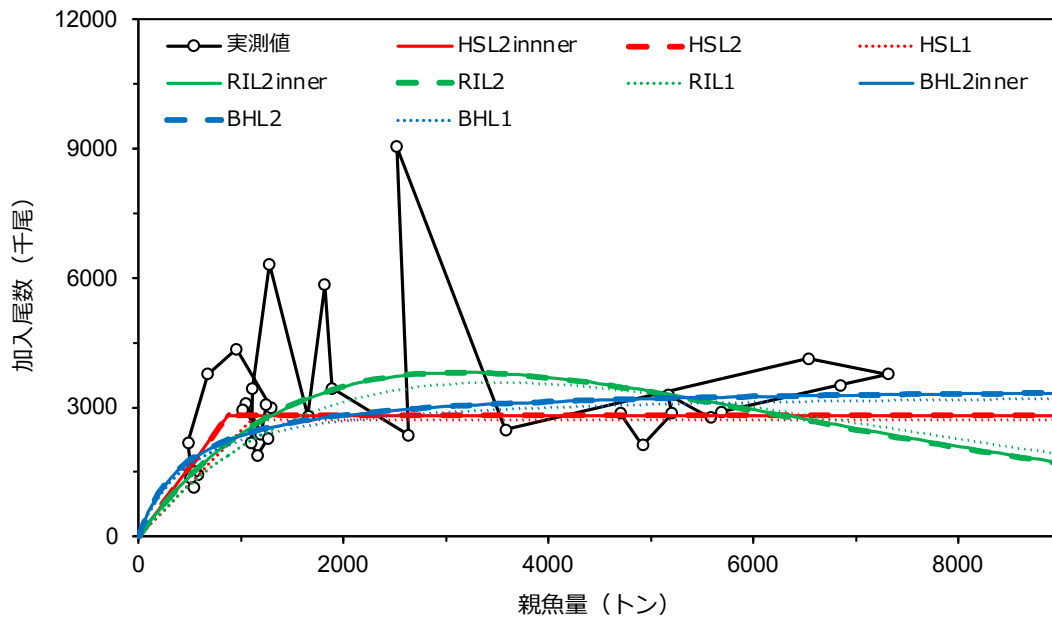
って HS 型で管理した場合と、真は HS 型であったが BH 型で管理した場合において将来予測をしたところ、いずれの場合でも SBmsy の達成確率は 50%を超えており、将来予測におけるリスクに大きな違いは見られなかった（補足表 1-2）。また同様に、HS 型と RI 型とのリスクの非対称性の評価も行っているが、将来予測のリスクに大きな違いは見られなかった。

本資源の水準は、震災前に比べれば依然として高いことから、Fmsy が BH 型より高い HS 型で管理しても SBmsy の達成確率が 50%を下回る確率は非常に低いと考えられる。また、MSY 管理基準値（SBmsy、SB0.6msy、および SB0.1msy）は、現状の親魚量・漁獲量を考慮すると HS 型の方がより現実的な目標となっている。従って、本資源の再生産関係の候補としては、自己相関を考慮しない最小絶対値法で最適化した HS 型再生産関係式が最も適していると判断した。

なお、モデル診断の詳細は「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）（FRA-SA2022-ABCWG01-02）」を参照のこと。

引用文献

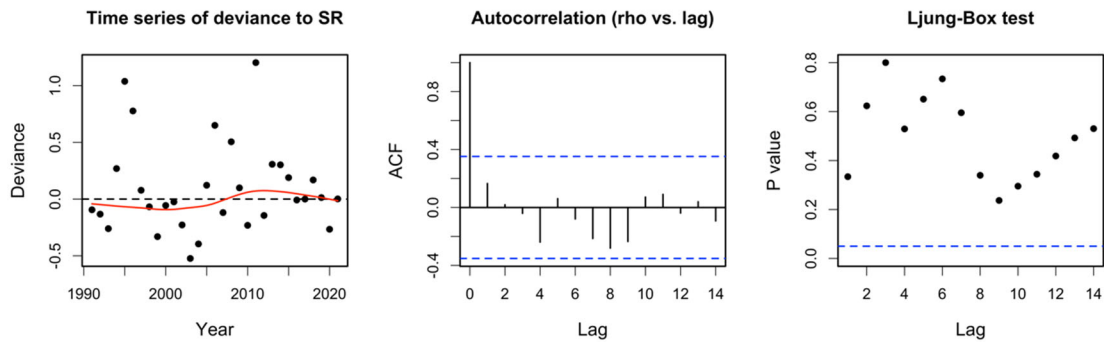
- ABCWG (2022) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和 3 年度）. FRA-SA-2022-ABCWG01-02.
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957) On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Clark C. W., A. T. Charles, J. R. Beddington, and M. Mangel (1985) Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Mar. Resour. Econ.*, **2**, 25-53.
- Ricker W. E. (1954) Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Board Can.*, **11**, 559-623.



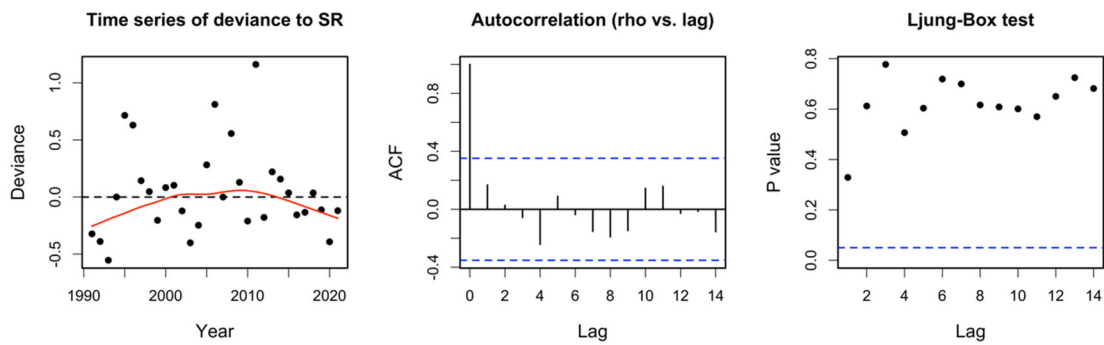
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

ホッケー・スティック型 (HS)、リッカー型 (RI)、ベバートン・ホルト型 (BH) の再生産関係式を、自己相関を同時推定した最小二乗法 (L2inner)、自己相関を考慮しない最小二乗法 (L2)、自己相関を考慮しない最小絶対値法 (L1) により当てはめた。図中の白丸は分析に使用した 1990～2020 年における親魚資源量と翌年 (1991～2021 年) の 1 歳魚の加入尾数の実測値である。

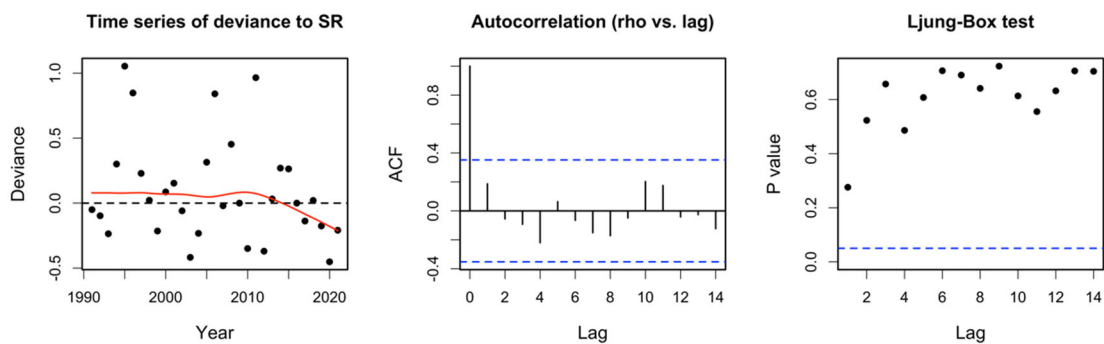
a) ホッケー・スティック（HS）型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合



b) 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

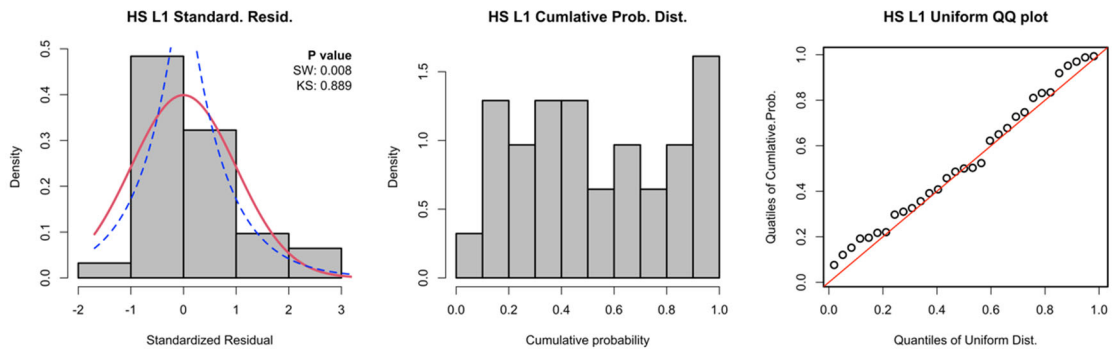


c) リッカー（RI）型の再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合

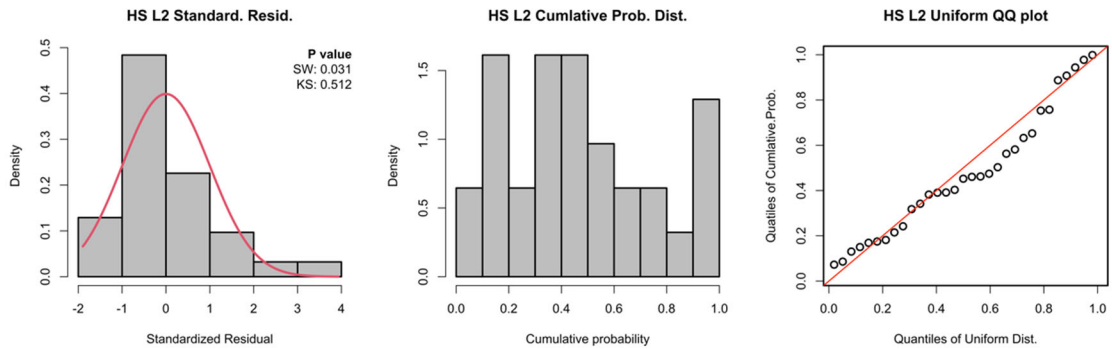


補足図 1-2. ホッケー・スティック型（HS）、ベバートン・ホルト型（BH）、リッカー型（RI）における再生産関係との逸脱度（deviance）の時系列トレンド（左図）、自己相関プロット（中央図）、および Ljung-Box 検定における P 値（右図）
残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値（縦軸）の青色の点線は 5%水準を表す。

最小絶対値法で当てはめた場合



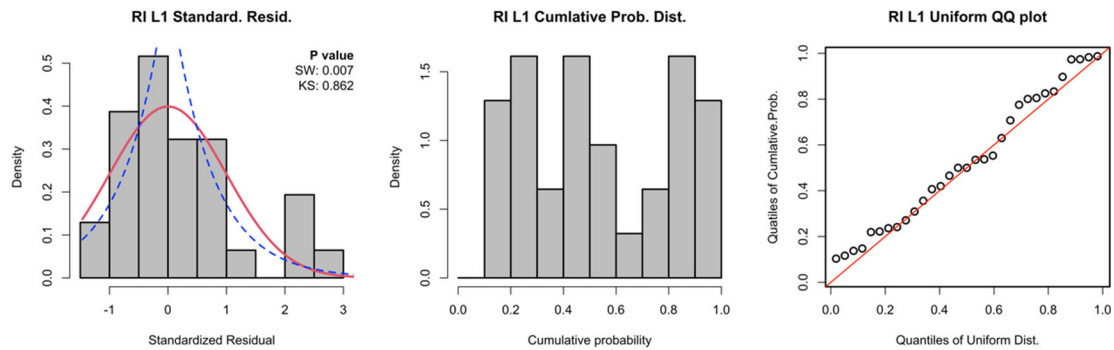
最小二乗法で当てはめた場合



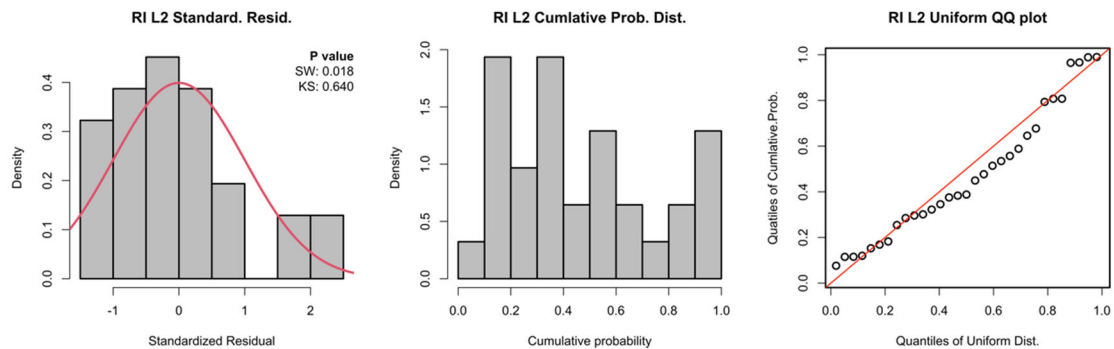
補足図 1-3a. 自己相関を考慮しないホッケー・スティック型 (HS) における標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果 (左図)、残差の累積確率密度のヒストグラム (中央図)、および一様分布を仮定した QQ プロット (右図)

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。最小絶対値法で当てはめた場合の残差のヒストグラムの青点線はラプラス分布を表している。最小絶対値法で推定した場合、正規分布を仮定していないため、SW 検定は参考となる。QQ プロットの赤線は理論値を示している。

最小絶対値法で当てはめた場合



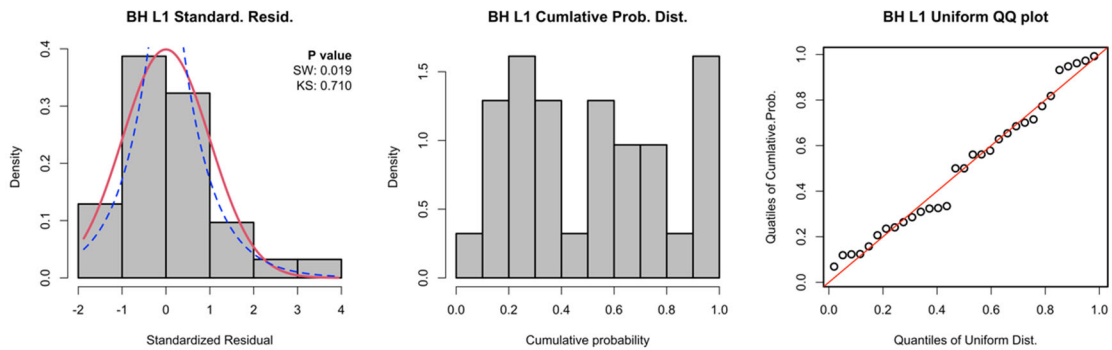
最小二乗法で当てはめた場合



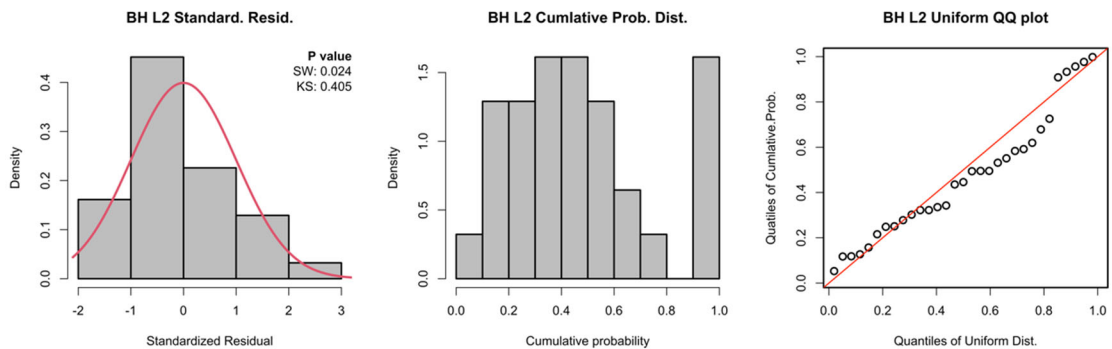
補足図 1-3b. 自己相関を考慮しないリッカー型 (RI) における標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果 (左図)、残差の累積確率密度のヒストグラム (中央図)、および一様分布を仮定した QQ プロット (右図)

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。最小絶対値法で当てはめた場合の残差のヒストグラムの青点線はラプラス分布を表している。最小絶対値法で推定した場合、正規分布を仮定していないため、SW 検定は参考となる。QQ プロットの赤線は理論値を示している。

最小絶対値法で当てはめた場合

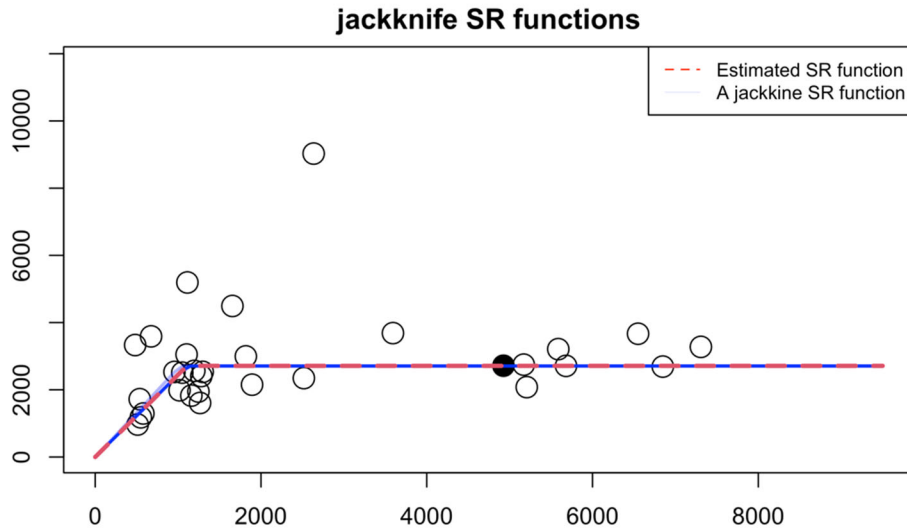


最小二乗法で当てはめた場合

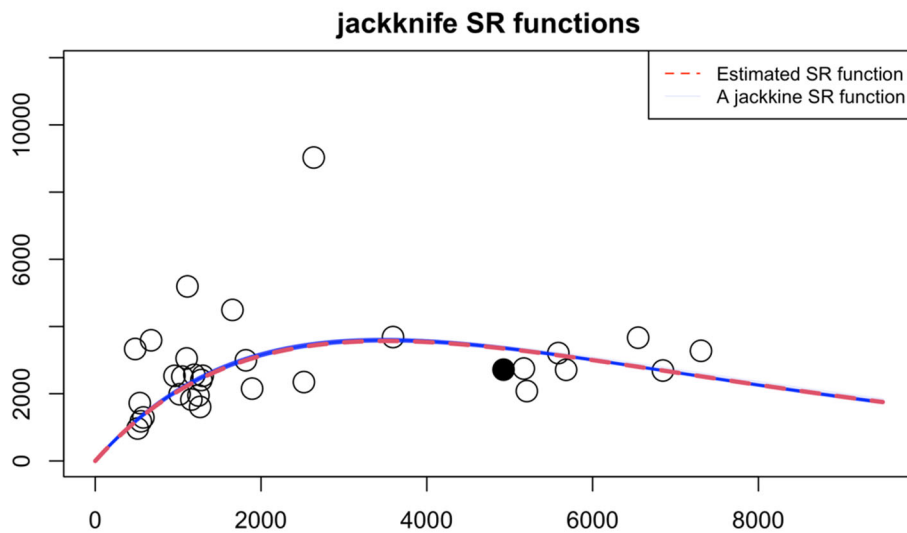


補足図 1-3c. 自己相関を考慮しないベバートン・ホルト型 (BH) における標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果 (左図)、残差の累積確率密度のヒストグラム (中央図)、および一様分布を仮定した QQ プロット (右図)

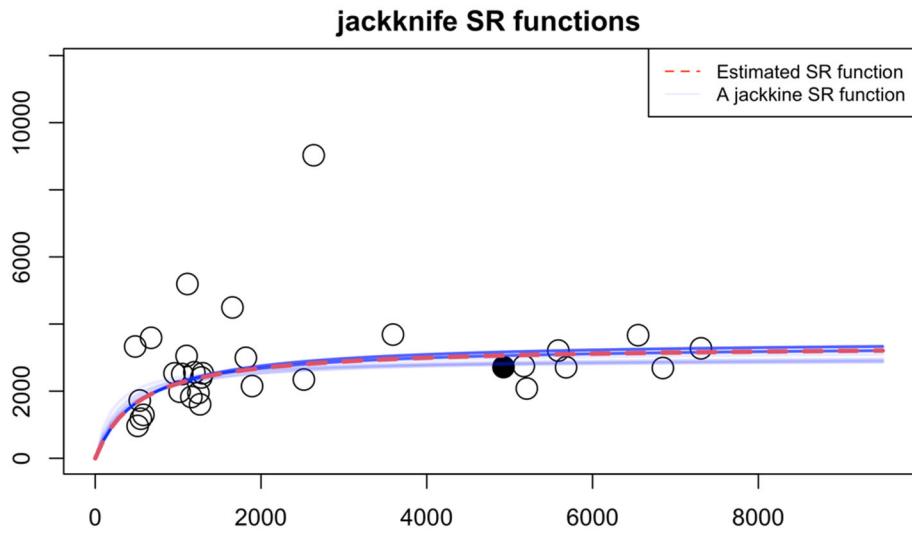
残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。最小絶対値法で当てはめた場合の残差のヒストグラムの青点線はラプラス分布を表している。最小絶対値法で推定した場合、正規分布を仮定していないため、SW 検定は参考となる。QQ プロットの赤線は理論値を示している。



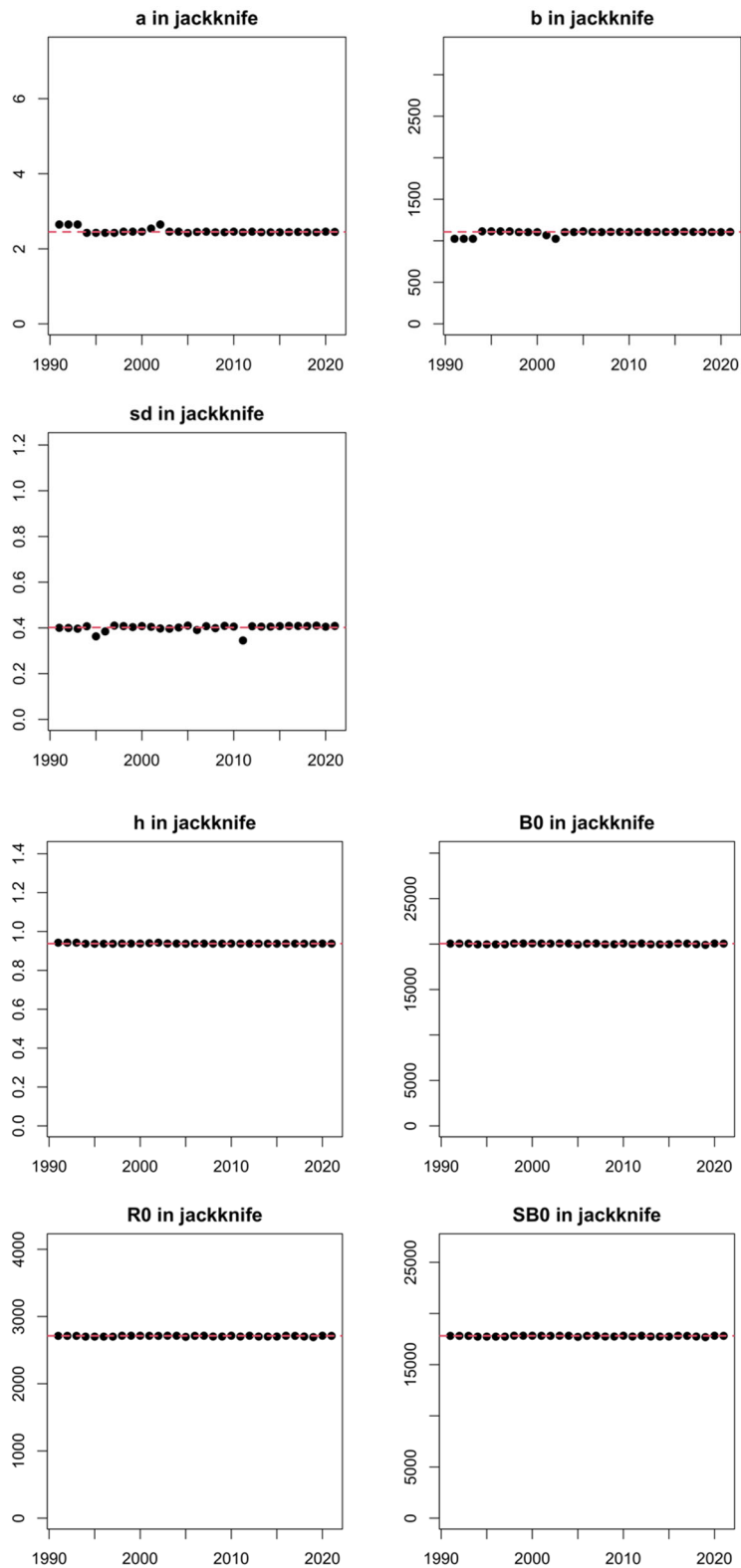
補足図 1-4a. 自己相関を考慮しないホッケー・スティック型 (HS) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果 丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



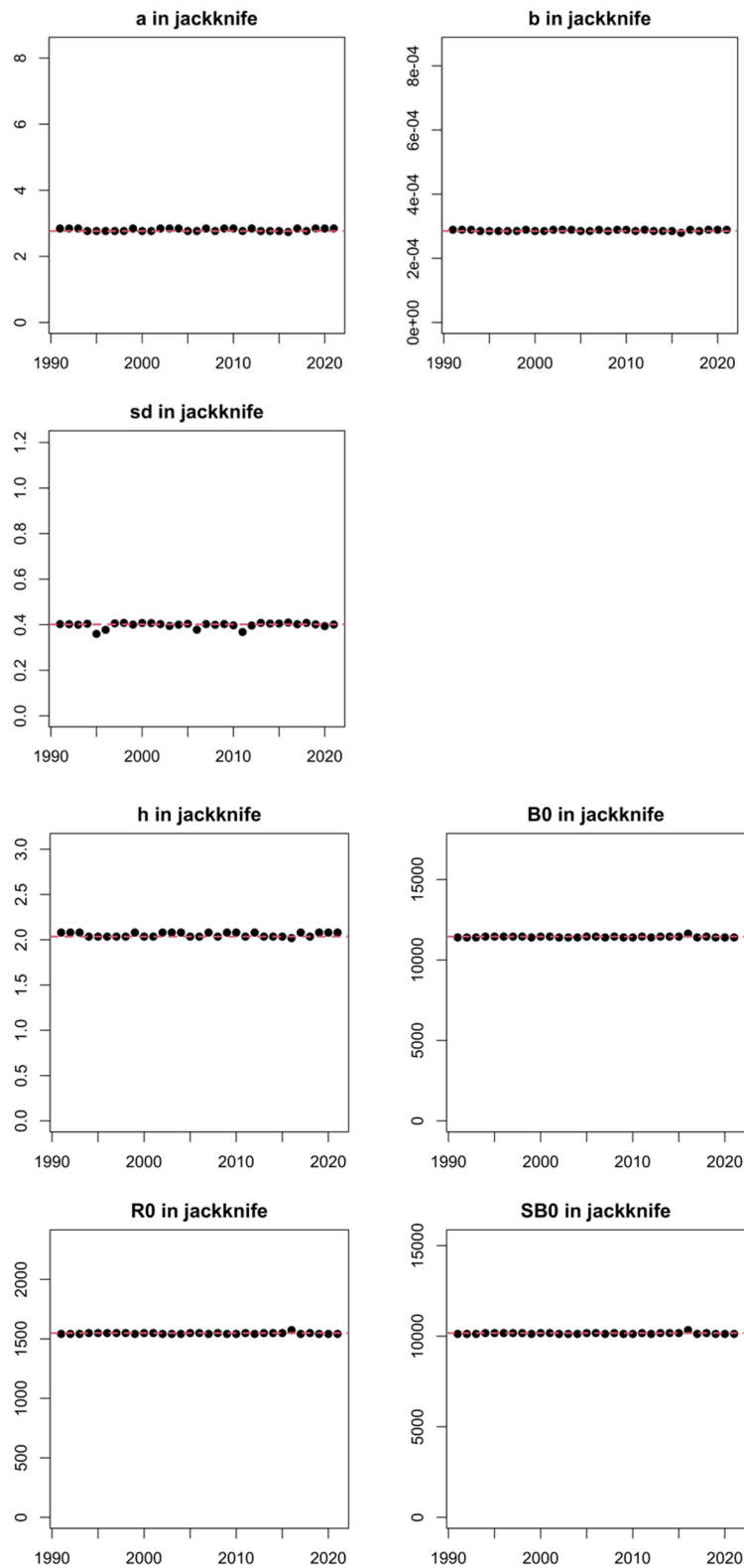
補足図 1-4b. 自己相関を考慮しないリッカー型 (RI) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果 丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



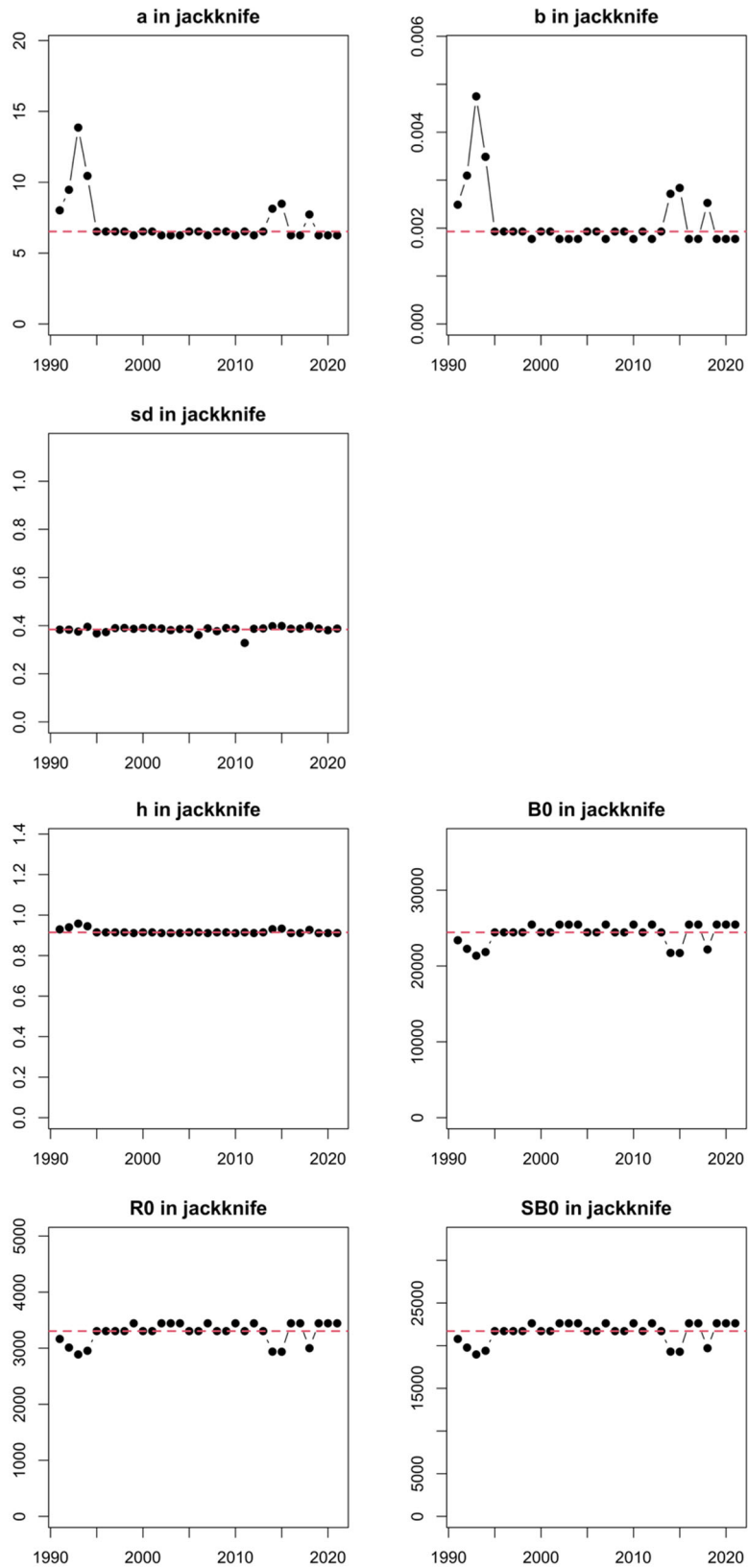
補足図 1-4c. 自己相関を考慮しないベバートン・ホルト型 (BH) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



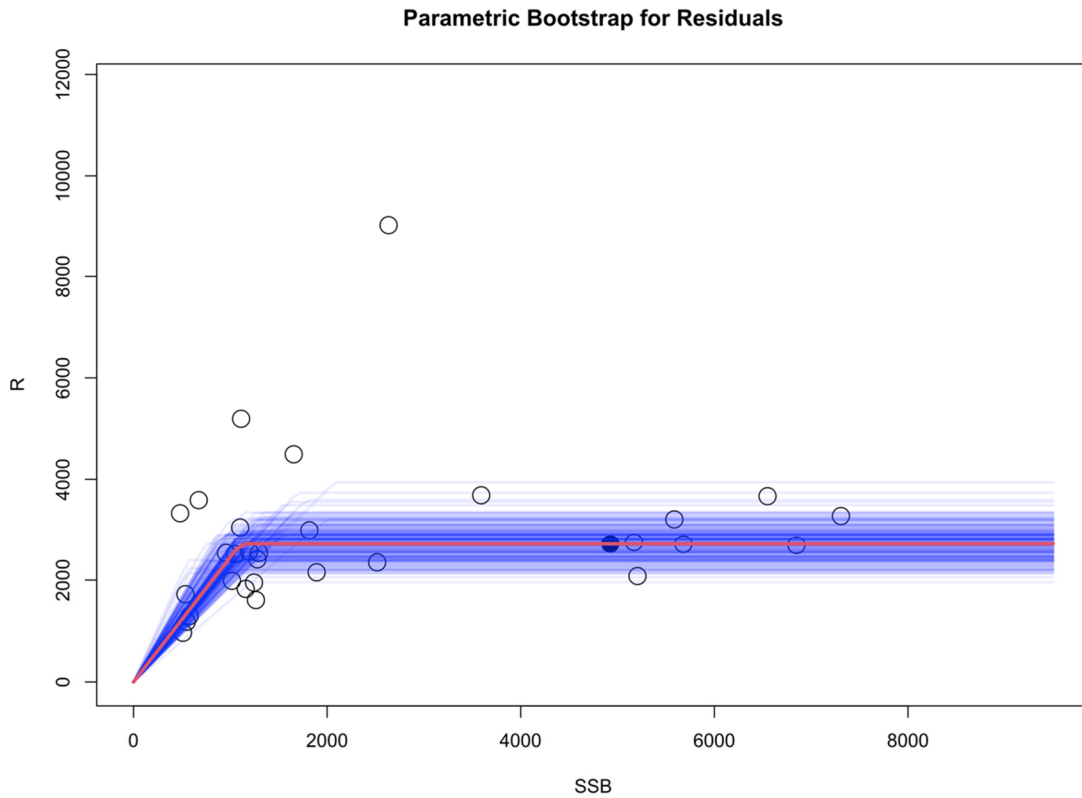
補足図 1-5a. 自己相関を考慮しないホッカー・スティック型 (HS) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



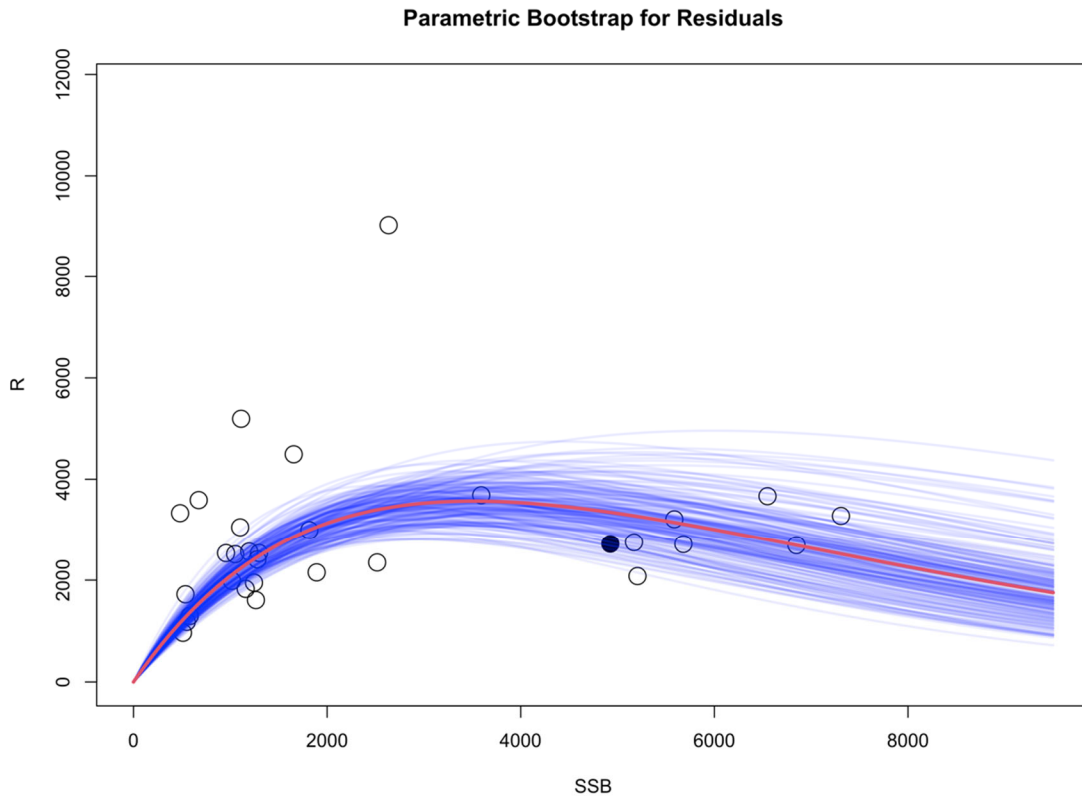
補足図 1-5b. 自己相関を考慮しないリッカー型 (RI) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



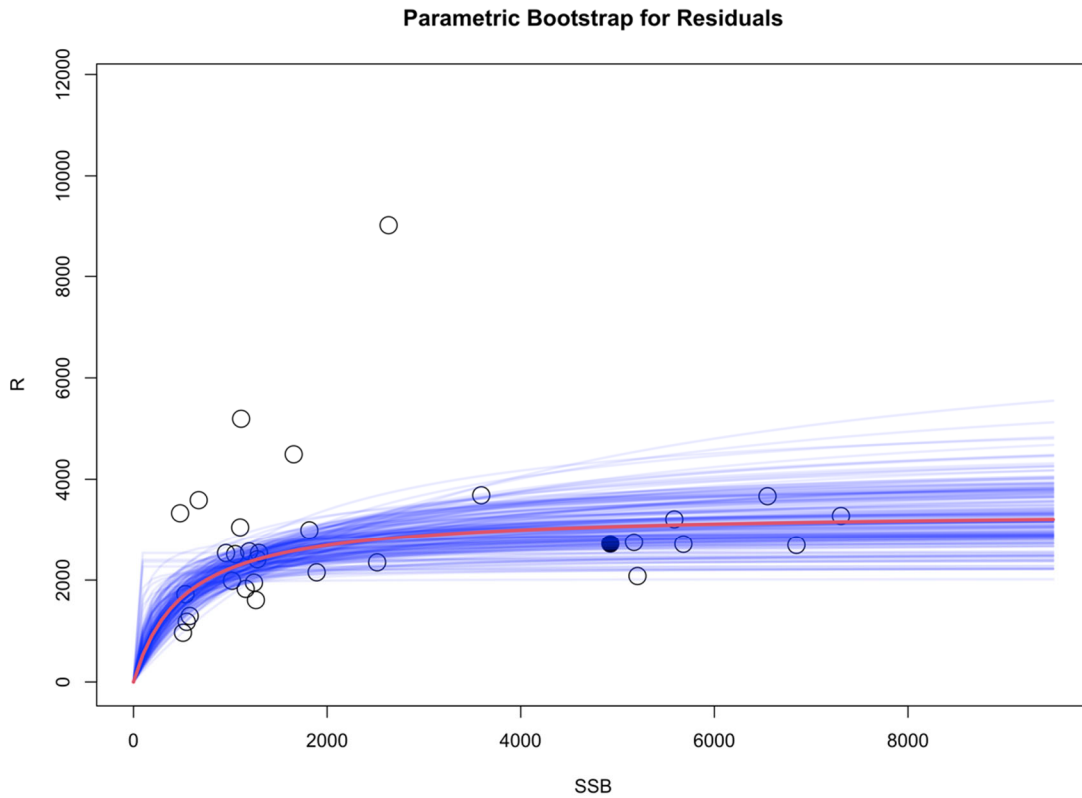
補足図 1-5c. 自己相関を考慮しないベバートン・ホルト型 (BH) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



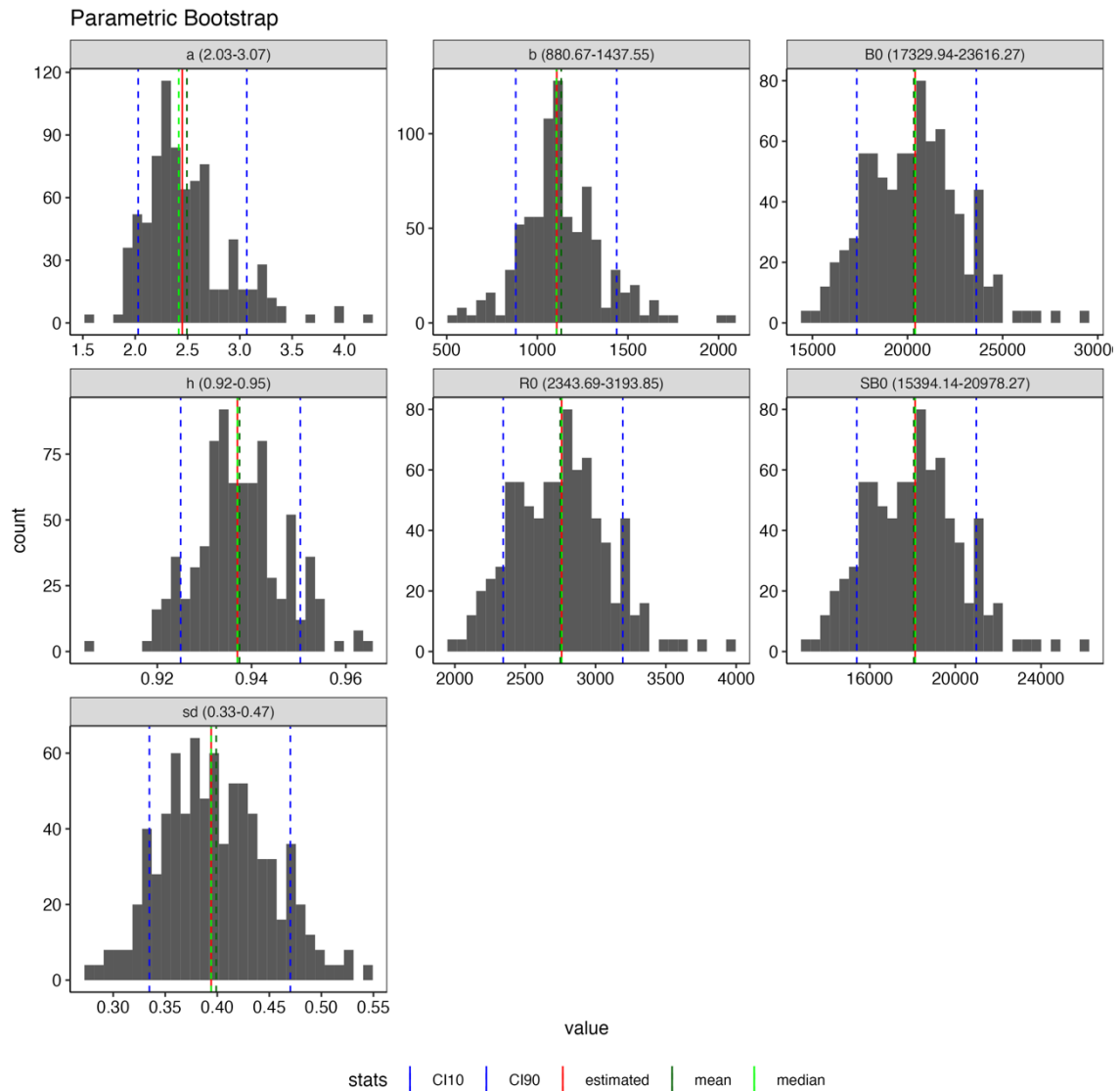
補足図 1-6a. 自己相関を考慮しないホッカー・スティック型 (HS) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果。赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量(トン)、縦軸は加入尾数(尾)である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年(2020年)を示す。



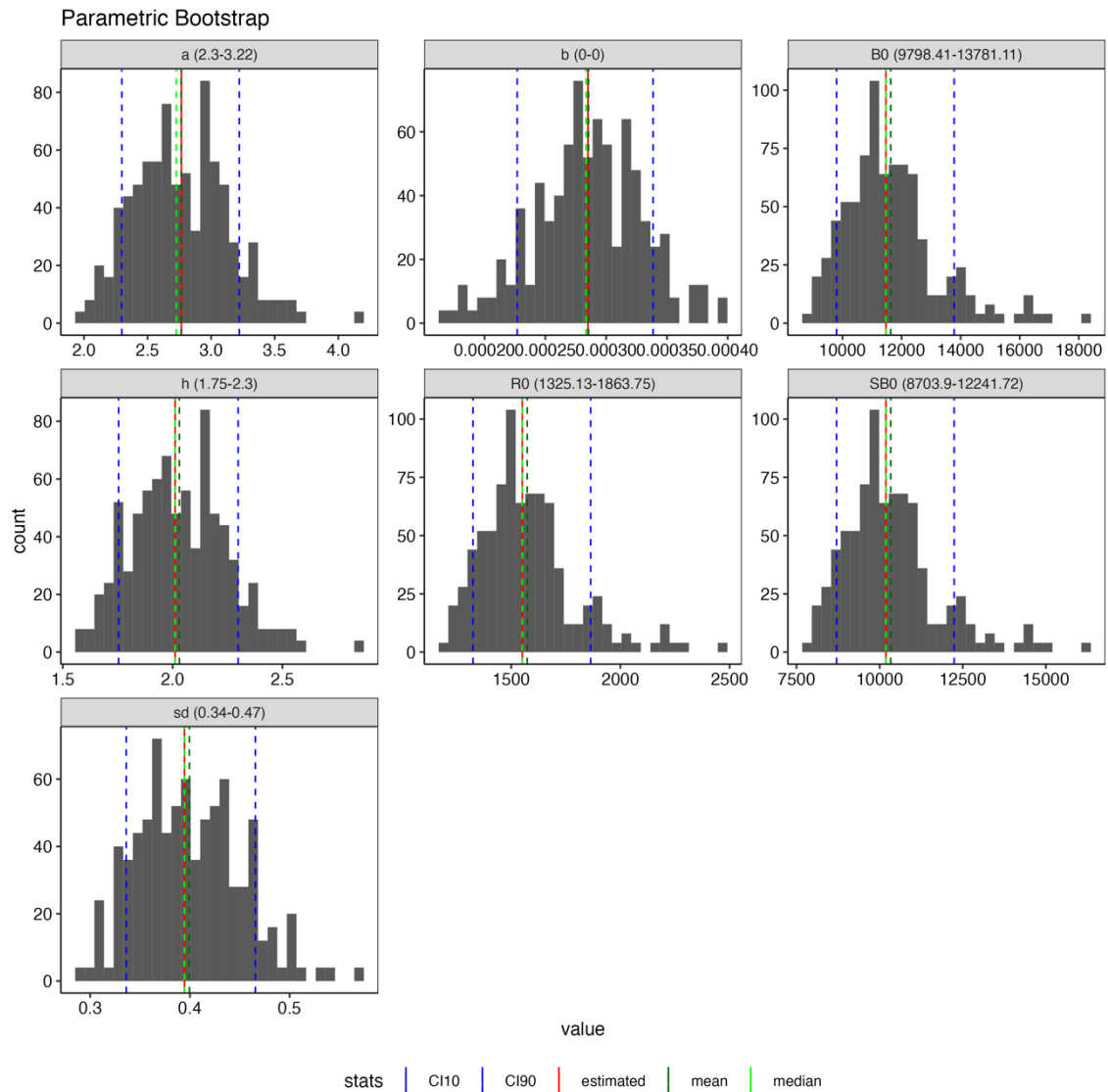
補足図 1-6b. 自己相関を考慮しないリッカー型 (RI) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果。赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量 (トン)、縦軸は加入尾数 (尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



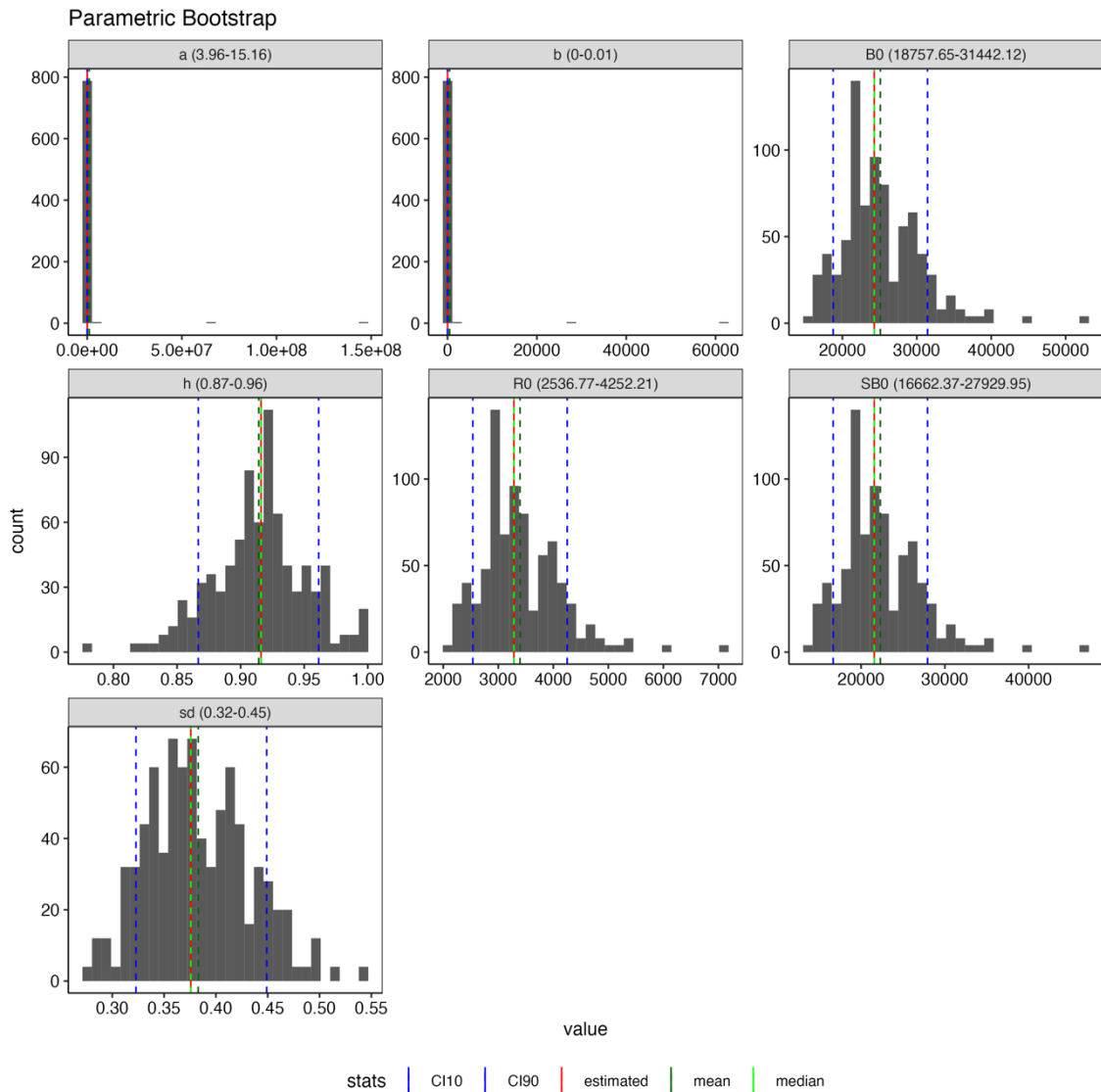
補足図 1-6c. 自己相関を考慮しないベバートン・ホルト型 (BH) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果。赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量 (トン)、縦軸は加入尾数 (尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



補足図 1-7a. 自己相関を考慮しないホッカー・スティック型 (HS) 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平均値 (緑点線)、中央値 (黄緑点線) と 80%信頼区間 (青線) 赤線はパラメータの点推定値である。

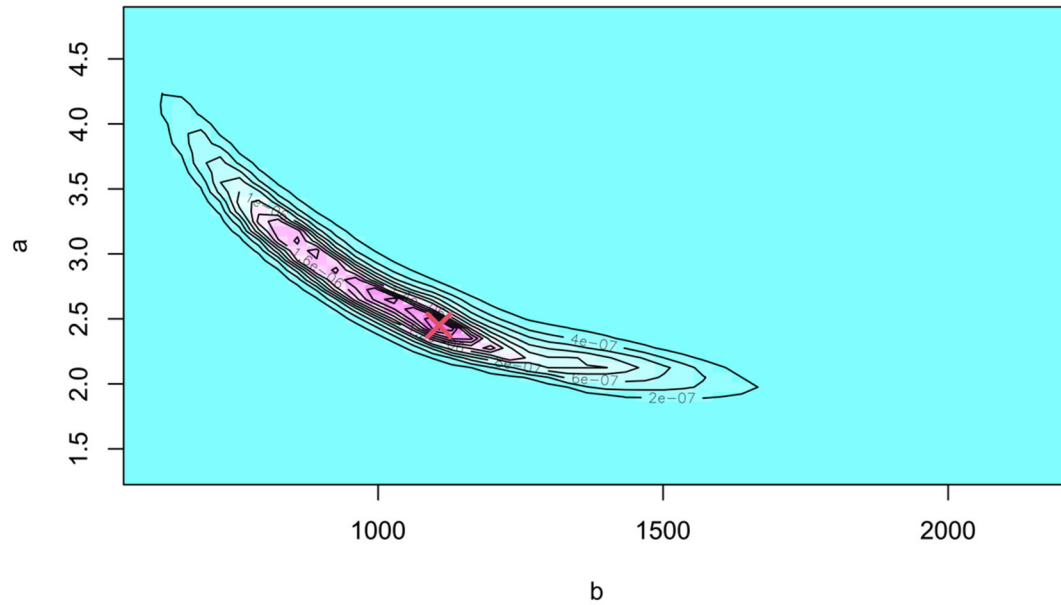


補足図 1-7b. 自己相関を考慮しないリッカー型 (RI) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での平均値 (緑点線)、中央値 (黄緑点線) と 80%信頼区間 (青線) 赤線はパラメータの点推定値である。



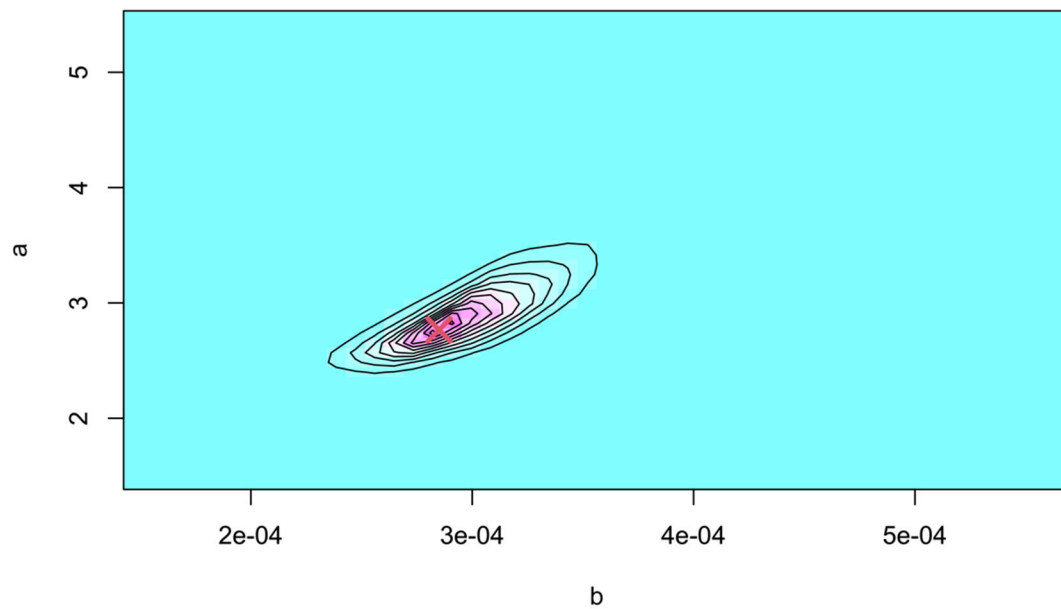
補足図 1-7c. 自己相関を考慮しないベバートン・ホルト型 (BH) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での平均値 (緑点線)、中央値 (黄緑点線) と 80%信頼区間 (青線) 赤線はパラメータの点推定値である。

Profile Likelihood

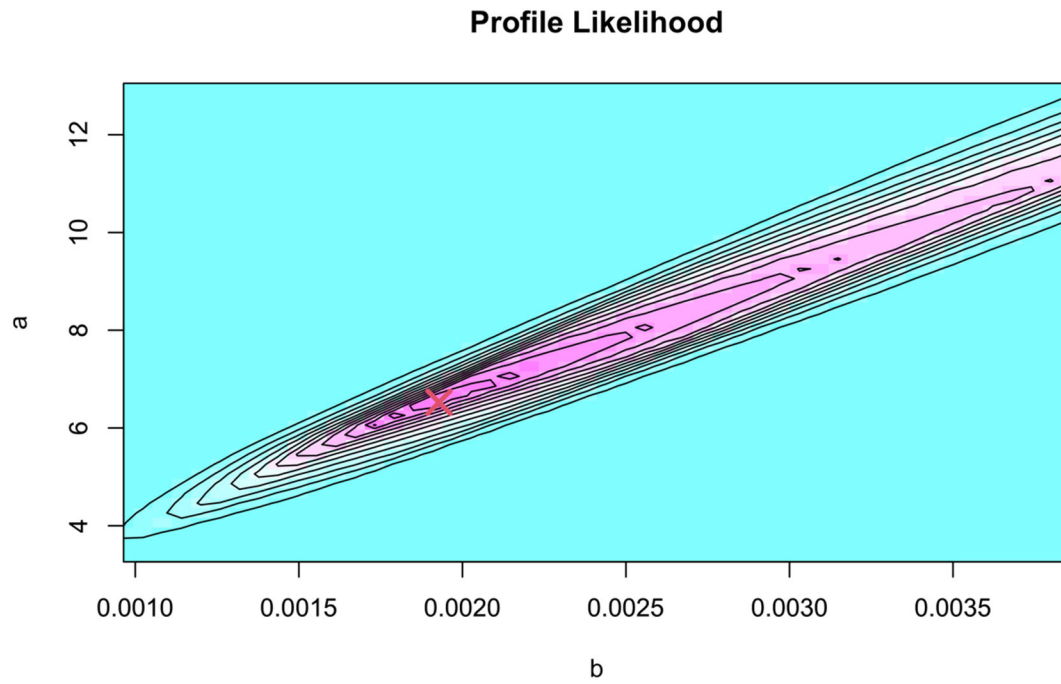


補足図 1-8a. 自己相関を考慮しないホッカー・スティック型 (HS) 再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の推定パラメータのプロファイル尤度 ×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。

Profile Likelihood



補足図 1-8b. 自己相関を考慮しないリッカー型 (RI) 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 1-8c. 自己相関を考慮しないベバートン・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.	ρ	h	データ 数
ホッケー・ スティック(HS)	最小 二乗法	有	同時	3.228	869	0.381	0.146	0.953	31
リッカー(RI)	最小 二乗法	有	同時	3.263	3.16e-04	0.380	0.144	2.322	31
ベバートン・ ホルト(BH)	最小 二乗法	有	同時	7.008	1.99e-03	0.375	0.168	0.920	31
ホッケー・ スティック(HS)	最小 二乗法	無	-	3.197	881	0.385	0	0.952	31
リッカー(RI)	最小 二乗法	無	-	3.296	3.19e-04	0.384	0	2.341	31
ベバートン・ ホルト(BH)	最小 二乗法	無	-	7.124	2.03e-03	0.381	0	0.921	31
ホッケー・ スティック(HS)	最小 絶対値法	無	-	2.450	1107	0.402	0	0.938	31
リッカー(RI)	最小 絶対値法	無	-	2.766	2.85e-04	0.401	0	2.035	31
ベバートン・ ホルト(BH)	最小 絶対値法	無	-	6.526	1.93e-03	0.384	0	0.915	31

推奨する再生産関係式を太字とした。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。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。h（ステイプネス）は小さいほど再生産関係の密度補償効果（資源量が少なくなると親魚量あたりの加入尾数が多くなる）が小さくなることを示す指標であり、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。

補足表 1-2a. 真は BH 型であったが HS 型で管理した場合、将来における親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	0	1	7	13	16	16	19	19	19	18	18	19	16
0.9	0	2	12	23	30	32	35	38	38	36	34	36	34
0.8	0	3	20	37	47	53	57	59	60	59	60	62	57
0.7	0	6	31	54	65	72	78	79	81	84	83	84	82
0.6	0	8	46	70	83	89	91	93	94	94	95	95	96
0.5	0	12	62	85	94	97	98	99	99	98	99	100	100
0.4	0	16	76	94	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	23	89	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	32	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	44	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	57	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

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。HS 型での漁獲が開始される 2023 年以降を表記した。

補足表 1-2b. 真は HS 型であったが BH 型で管理した場合、将来における親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	91	61	64	67	68	70	70	69	71	71	70	71	66
0.9	91	74	80	83	85	88	88	88	89	89	90	91	89
0.8	91	86	92	94	96	96	97	97	97	98	98	98	98
0.7	91	95	98	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	91	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	91	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	91	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	91	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	91	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	91	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	91	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

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。BH 型での漁獲が開始される 2023 年以降を表記した。

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 法	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)	最小絶 対値法	無	—	4,078	828	128	1,551	0.26	1.03
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	無	—	4,237	699	108	1,612	0.26	1.03
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	有	同時	4,213	699	107	1,604	0.26	1.04
リッカー (RI)	最小絶 対値法	無	—	3,923	1,235	159	1,971	0.31	1.34
リッカー (RI)	最小 二乗法	無	—	3,621	1,125	144	2,064	0.33	1.51
リッカー (RI)	最小 二乗法	有	同時	3,660	1,138	146	2,060	0.33	1.49
ベバートン・ ホルト (BH)	最小絶 対値法	無	—	5,691	943	77	1,754	0.22	0.85
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	無	—	5,871	943	75	1,836	0.22	0.86
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	有	同時	5,885	954	76	1,834	0.22	0.85

各管理基準値および MSY は、パラメータの最適化法ならびに推定法による違いは小さいものの、再生産関係式による違いは大きかった。AICc に大差がなく RI 型よりも小さか

った HS 型と BH 型に注目すると、SBmsy は BH 型の方が HS 型より 1.4 倍ほど高く推定された。BH 型のいずれの最適化法ならびに推定法でも、Fmsy/Fcurrent は 1 以下と推定され、現状の漁業を制限する必要が想定された。一方、HS 型の Fmsy/Fcurrent は 1 付近で、MSY は BH 型よりも低く推定された。SBmsy および MSY が BH 型 > HS 型となったのは、Fmsy は BH 型の方が低いため、将来予測の初期の漁獲量を少なく管理し、その後の親魚量・漁獲量の増大につながるためである。

補足資料 3 現状の種苗放流による加入を考慮した将来予測

将来予測において、現状（2019～2021年の平均）の人工種苗由来の放流尾数（358万尾）を加算させた場合の予測結果をここで示す。人工種苗由来の加入尾数は、放流尾数と2019～2021年の添加効率の平均値（0.0258）の積として求め、9.2万尾となる。添加効率は、資源評価報告書（FRA-SA2022-RC06-05）の資料を基に（翌年の加入尾数×混入率/放流尾数）として計算し、近年の値として2019～2021年（加入年を示す）の平均を用いた。将来予測においては、提案する再生産関係式（自己相関を考慮しないHS型で最小絶対値法により推定）を用いて再生産関係による加入のみの加入尾数を推定し、これに仮定する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。

人工種苗由来の加入尾数を加算した場合の予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率を補足表3-1～3-6に示す。また、再生産関係による加入のみと現状の人工種苗由来の加入を考慮した場合の比較を補足表3-7に示す。将来予測シミュレーションの結果、現状の人工種苗由来の加入尾数を考慮した方が、将来の親魚量・漁獲量は多くなった。管理目標の達成確率への影響については、人工種苗由来の加入尾数を考慮しなかった場合（再生産関係による加入のみ）、 $\beta=0.8$ で漁獲した場合に管理開始10年後に目標管理基準値を上回る確率は89%と推定されている（表4）。一方、人工種苗由来の加入を加算した場合では、 $\beta=0.8$ の場合の達成確率は94%と推定された（補足表3-1）。

以上のことから、将来の親魚量・漁獲量は、人工種苗由来の加入を加算した方が多くなることが示された。一方で、近年の添加効率は低い水準にとどまっている。添加効率が低い要因については、新規加入量調査による稚魚密度と環境要因（餌量、底質など）との解析をより進めるとともに、黒化率、市場調査の強化による混入率データの精度向上も合わせて必要である。

補足表 3-1. 人工種苗由来の加入を現状（9.2 万尾）と仮定した場合に、将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率（%）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	98	55	55	54	54	54	53	52	53	53	54	54	55
0.9	100	100	98	70	74	74	76	77	77	77	78	78	79	78	77
0.8	100	100	98	85	89	90	91	92	93	93	93	94	94	94	93
0.7	100	100	98	95	97	97	98	98	99	99	99	99	99	99	99
0.6	100	100	98	99	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	98	60	61	61	62	62	62	61	61	62	62	63	62

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。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. 人工種苗由来の加入を現状（9.2 万尾）と仮定した場合に、将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率（%）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
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 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧（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. 人工種苗由来の加入を現状（9.2 万尾）と仮定した場合に、将来の親魚量が禁漁水準値案を上回る確率（%）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
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 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧（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. 人工種苗由来の加入を現状（9.2 万尾）と仮定した場合の将来の平均親魚量の推移（トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	4,699	4,364	4,279	4,198	4,224	4,223	4,221	4,212	4,204	4,200	4,205	4,219	4,226	4,221	4,218
0.9	4,699	4,364	4,279	4,350	4,500	4,586	4,636	4,655	4,664	4,667	4,677	4,695	4,704	4,701	4,698
0.8	4,699	4,364	4,279	4,507	4,796	4,987	5,103	5,162	5,193	5,210	5,228	5,251	5,265	5,266	5,263
0.7	4,699	4,364	4,279	4,670	5,114	5,429	5,629	5,741	5,806	5,844	5,875	5,907	5,927	5,937	5,934
0.6	4,699	4,364	4,279	4,839	5,456	5,917	6,223	6,406	6,518	6,586	6,638	6,685	6,716	6,743	6,740
0.5	4,699	4,364	4,279	5,015	5,823	6,457	6,894	7,170	7,348	7,461	7,544	7,614	7,662	7,722	7,718
0.4	4,699	4,364	4,279	5,197	6,216	7,054	7,654	8,051	8,319	8,497	8,627	8,733	8,807	8,928	8,925
0.3	4,699	4,364	4,279	5,387	6,639	7,714	8,514	9,069	9,459	9,730	9,930	10,090	10,206	10,440	10,439
0.2	4,699	4,364	4,279	5,583	7,094	8,445	9,490	10,247	10,802	11,202	11,506	11,749	11,932	12,371	12,381
0.1	4,699	4,364	4,279	5,788	7,582	9,255	10,599	11,613	12,388	12,971	13,426	13,795	14,082	14,897	14,938
0	4,699	4,364	4,279	6,000	8,106	10,152	11,859	13,201	14,268	15,104	15,778	16,337	16,786	18,289	18,419
Fcurrent	4,699	4,364	4,279	4,249	4,314	4,341	4,355	4,354	4,351	4,349	4,356	4,371	4,379	4,374	4,371

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年現状の漁獲圧（Fcurrent）で漁獲し、2023 年漁期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 3-5. 人工種苗由来の加入を現状（9.2 万尾）と仮定した場合の、将来の平均漁獲量の推移（トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	1632	1584	1629	1601	1605	1607	1605	1600	1599	1600	1604	1607	1608	1606	1603
0.9	1632	1584	1492	1511	1548	1573	1584	1587	1590	1593	1599	1602	1604	1602	1600
0.8	1632	1584	1349	1408	1476	1523	1549	1561	1569	1575	1582	1587	1589	1589	1586
0.7	1632	1584	1202	1293	1387	1455	1495	1517	1532	1542	1550	1557	1560	1562	1560
0.6	1632	1584	1048	1163	1277	1364	1419	1451	1473	1487	1498	1506	1511	1516	1514
0.5	1632	1584	889	1018	1145	1246	1313	1355	1383	1402	1417	1428	1434	1444	1442
0.4	1632	1584	725	855	986	1094	1170	1220	1254	1278	1296	1309	1318	1334	1332
0.3	1632	1584	553	674	797	903	980	1034	1072	1099	1120	1135	1146	1169	1168
0.2	1632	1584	376	472	573	663	732	782	819	846	867	883	895	924	924
0.1	1632	1584	191	248	310	366	411	445	472	492	507	520	529	557	558
0	1632	1584	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	1632	1584	1583	1572	1588	1597	1599	1597	1597	1599	1603	1607	1608	1606	1603

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧（Fcurrent）で漁獲し、2023 年漁期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. 人工種苗由来の加入を現状 (9.2 万尾) と仮定した場合の、予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

β	10年後の 目標達成 確率	予測平均親魚量 (トン)		予測平均漁獲量 (トン)			リスク(10年間に1度でも 起きる確率)		
	親魚資源 量が目標 管理基準 値案を上 回る	5年後	10年 後	0年後	5年後	10年 後	親魚量 が現在 の水準 を下回 る	親魚量 が限界 管理基 準値を 下回る	漁獲量 が半減 する
		2028 年	2033 年	2023 年	2028 年	2033 年			
1	54%	4,212	4,226	1,629	1,600	1,608	0%	0%	0%
0.9	79%	4,655	4,704	1,492	1,587	1,604	0%	0%	0%
0.8	94%	5,162	5,265	1,349	1,561	1,589	0%	0%	0%
0.7	99%	5,741	5,927	1,202	1,517	1,560	0%	0%	0%
0.6	100%	6,406	6,716	1,048	1,451	1,511	0%	0%	0%
0.5	100%	7,170	7,662	889	1,355	1,434	0%	0%	0%
0.4	100%	8,051	8,807	725	1,220	1,318	0%	0%	0%
0.3	100%	9,069	10,206	553	1,034	1,146	0%	0%	0%
0.2	100%	10,247	11,932	376	782	895	0%	0%	0%
0.1	100%	11,613	14,082	191	445	529	0%	0%	0%
0	100%	13,201	16,786	0	0	0	0%	0%	0%

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

漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度 (0 年後) の 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

人工種苗由来の加入尾数	β	10年後の目標達成確率(%)	予測平均親魚量(トン)		予測平均漁獲量(トン)		
		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	46	4,083	4,088	1,616	1,550	1,555
	0.9	71	4,514	4,551	1,480	1,538	1,551
	0.8	89	5,006	5,093	1,339	1,513	1,537
	0.7	98	5,570	5,734	1,192	1,471	1,509
	0.6	100	6,216	6,497	1,040	1,407	1,462
	0.5	100	6,960	7,413	882	1,314	1,388
	Fcurrent	54	4,222	4,235	1,571	1,547	1,555
種苗放流*を考慮 (358万尾放流、添加効率0.03)	1	54	4,212	4,226	1,629	1,600	1,608
	0.9	79	4,655	4,704	1,492	1,587	1,604
	0.8	94	5,162	5,265	1,349	1,561	1,589
	0.7	99	5,741	5,927	1,202	1,517	1,560
	0.6	100	6,406	6,716	1,048	1,451	1,511
	0.5	100	7,170	7,662	889	1,355	1,434
	Fcurrent	62	4,354	4,379	1,583	1,597	1,608

漁獲管理規則案での調整係数 β 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。

*人口種苗由来の加入尾数は、現状（358 万尾、2019～2021 年の平均）の放流尾数と 2019～2021 年の平均添加効率（0.0258）の積である。

添加効率は、資源評価報告書（FRA-SA2022-RC06-05）の資料を基に（翌年の加入尾数×混入率/放流尾数）として計算し、近年の値として 2019～2021 年（加入年を示す）の平均を用いた。