

令和 4（2022）年度マダイ瀬戸内海東部系群の 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。ただし、再生産関係の推定には 2020 年までの年齢別漁獲尾数データを用いた資源量推定における親魚量と加入量の値を使用した。本系群の再生産関係式の候補として、この資源量推定による 1977～2020 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同時推定したベバートン・ホルト型再生産関係（BH）の適用を提案する。BH 再生産関係のパラメータ推定方法には最小二乗法を使用する。再生産関係に基づき算出される SBmsy (146.5 百トン) を目標管理基準値として、SB0.6msy (15.4 百トン) を限界管理基準値として、SB0.1msy (0.9 百トン) を禁漁水準としてそれぞれ提案する。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 0.62 倍である。

親魚量 (百トン)	現状の親魚量*1 に対する比	初期親魚量 に対する比	期待できる 平均漁獲量 (百トン)	現状の漁獲圧 に対する比*2	説 明
目標管理基準値案					
146.5	1.52	0.24	32.1	0.62	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					
15.4	0.16	0.03	19.2	1.90	MSY の 60%の漁獲 が得られる親魚量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
0.9	0.01	0.00	3.2	2.89	MSY の 10%の漁獲 が得られる親魚量 (SB0.1msy)
2021 年					
96.2	1.00	0.16	38.2	—	2021 年の値

*1 現状の親魚量とは 2021 年の親魚量（96.2 百トン）である。

*2 現状の漁獲圧とは令和 4 年度の資源評価における Fcurrent に相当する漁獲圧である。

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。ここで、2021 年までの年齢別漁獲尾数（CAA）を用いて計算された資源量推定値と、2020 年までの CAA を用いて推定された結果に大きな差が生じたことから（補足資料 3）、再生産関係の検討には 2020 年までの CAA を用いた推定結果に基づくデータセットにより計算した。解析には統計ソフトウェア R（version 4.2.1）および計算パッケージ frasyr（ver. 2.2.0.3）を用いた。frasyr で用いた式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和 4 年度研究機関会議版）（FRA2022-ABCWG01-05）」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
加入量・親魚量	令和 4（2022）年度 マダイ瀬戸内海中・西部系群の資源評価（水産庁・水産機構）追加補足資料（2020 年までの CAA を用いた資源評価結果の概要）

1-2) 再生産関係の検討

本資源の管理基準値案の算出と将来予測に使用する再生産関係として、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）型再生産関係を候補とした（補足資料 1）。最適化方法として、最小二乗法および最小絶対値法を検討した。また、加入量の残差に対する自己相関を考慮すべきかも検討した。最適化方法に最小二乗法を用いる場合は、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）と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）を用いて自己相関パラメータを推定した。最小絶対値法を用いる場合は、二段階推定法を使って自己相関パラメータを推定した。また、使用するデータセットに関して、2021 年値をデータセットに加えるか否かによって推定される SB_{msy} や MSY に大きな差が生じることが示されたことから（補足資料 3）、より妥当な推定結果が得られると考えられる 1977～2020 年データセットを使用して推定を行った。再生産関係の検討候補を表 1 に示す。

補正赤池情報量規準（AICc）は BH 型、HS 型および RI 型の各再生産関係式で、最小二乗法を用いて自己相関を同時推定とした場合が最も小さく、再生産関係式間では BH 型、HS 型、RI 型の順で AICc が低い結果となった（表 1）。加入残差の自己相関は二段階推定法、同時推定法のどちらも、全ての再生産関係式で自己相関係数（ ρ ）が 0.47～0.88 と高く、自己相関が認められた。

BH 型、HS 型および RH 型の各再生産関係式で、最小二乗法を用いて自己相関を同時推定したモデルと BH 型は最小絶対値法を用いて自己相関を二段階推定したモデルも検討対象とした。これらのうち、RH 型は再生産プロットとの当てはまりが悪く AICc の差も大き

いことから候補から除外した。残された BH 型および HS 型においても、同様に予測力及びプロファイル尤度において BH 型の優位性が認められた。以上の結果から、「再生産関係の決定に関するガイドライン（FRA-SA2022-ABCWG01-05）」の a（予測力）および h（自己相関）に基づき、BH 型再生産関係式、同時推定法による自己相関を考慮したモデルを本資源の再生産関係として選択した。（表 1、補足資料 1）。

1-3) 再生産関係の候補

上述の通り、本系群の再生産関係の候補としては、「再生産関係の決定に関するガイドライン（FRA-SA2022-ABCWG01-05）」の a（予測力）および h（自己相関）の基準に従い、最小二乗法で最適化した自己相関を用いた BH 型再生産関係式を候補として提案する（図 1）。この再生産関係のパラメータ推定値を表 1b に示した。

2. 管理基準値

2-1) データセットおよび計算方法

最大持続生産量（MSY）に対応する管理基準値案等の算出、および将来予測は、「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」の 1 系資源の管理規則に従い、1-3) で候補とした再生産関係と、令和 4 年度の資源評価の 2020 年までの CAA を用いた資源量推定における各種設定および生物パラメータ（自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重、選択率）を使用して実施した（表 2）。選択率はこの資源評価における 2020 年の漁獲圧（F2020）と同値とした。本系群では、平均世代時間（8.4 年）の 20 倍の年数のシミュレーション期間後を平衡状態と仮定し、その際の平均漁獲量が最大化される F 値を F_{msy} 、その F_{msy} で漁獲した場合の平衡状態での平均親魚量を SB_{msy} とした。各値を推定するための計算回数は 5,000 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（ SB_{target} ）として MSY 水準における親魚量（ SB_{msy} : 145.6 百トン）、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（ $SB_{0.6msy}$: 15.4 百トン）、禁漁水準（ SB_{ban} ）として MSY の 10%の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.1msy}$: 0.9 百トン）を用いることを提案する。これらの基準値案について、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量（ SB_0 ）に対する比、対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量、対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比などを表 3 に示す。目標管理基準値として提案する SB_{msy} は SB_0 の 24%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 32.1 百トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧（MSY を実現する漁獲圧： F_{msy} ）の、2020 年の漁獲圧に対する比（ F_{msy}/F_{2020} ）は 0.62 で、その時の漁獲割合（ U_{msy} ）は 15%である。限界管理基準値として提案する $SB_{0.6msy}$ は SB_0 の 3%、禁漁水準として提案する $SB_{0.1msy}$ は SB_0 の 0%である。

様々な F 値における平衡状態となる親魚量、および各親魚量に対する年齢別漁獲量の平

均値との関係を示した図（漁獲量曲線）を図 3 に示す。

2-3) 神戸プロット

目標管理基準値案である SB_{msy} と、その時の漁獲圧 F_{msy} を基準にした神戸プロットを図 4 に示す。ここで用いた親魚量と漁獲係数（F 値）は、令和 4 年度の資源評価における 2021 年までの CAA を用いた資源量推定値である。本系群における漁獲係数（F 値）は 1977～2021 年では F_{msy} を上回ると判断される。しかし、F 値は減少傾向で推移しており、近年は F_{msy} に近接している。現状の親魚量（2021 年の親魚量：96.2 百トン）は限界管理基準値案を上回っているが、目標管理基準値案を下回っている。現状の親魚量に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案の比は、それぞれ 1.52、0.16 および 0.01 である。

2-4) 漁獲管理規則案

本資料で提案する漁獲管理規則は、限界管理基準値案および禁漁水準案となる親魚量を閾値として漁獲管理の基礎となる漁獲係数（F 値）を変えるルールであり、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げる。F 値の上限は F_{msy} に調整係数 β を乗じたものである。限界管理基準値案および禁漁水準案に標準値（ SB_{limit} に $SB_{0.6msy}$ 、 SB_{ban} に $SB_{0.1msy}$ ）を用いた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、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て、 β を 0.8 とした漁獲管理規則案（図 5a）で将来予測した場合の、資源量、親魚量、漁獲量、加入量、漁獲割合および漁獲圧の比の推移を図 6 に示す。ここでも、将来予測開始以前（2021 年まで）の資源には令和 4 年度の資源評価における 2021 年までの CAA を用いた資源量推定値を用いた。漁獲管理規則案による漁獲制御は 2023 年から開始し、2022 年の漁獲量は予測資源量と現状の漁獲圧（ F_{2022} ）から計算した。現状の漁獲圧は、管理基準値案の算出と同じ選択率や生物パラメータ（平均体重等）の条件下で、令和 4 年度の資源評価における $F_{current}$ の漁獲圧に対応する %SPR を与える F 値とした。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、 βF_{msy} での漁獲が行われるものとした。 $\beta=0.8$ の場合、 βF_{msy} での漁獲圧は、現在の漁獲努力量の約 0.8 倍の漁獲圧に相当する。中長期的には、 F_{msy} での漁獲の継続により漁獲量および親魚量は平均的には MSY 水準へ向かって推移していくと予測される。

(2) 調整係数 β を変えた場合

漁獲管理規則案を用いた将来予測について、調整係数 β を 0.5～1.0 の間で変えた場合の

親魚量が目標管理基準値案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、禁漁水準案を上回る確率、親魚量平均値の推移、および漁獲量平均値の推移を表 4～8 に示した。それぞれの表には、現状の漁獲圧（F2022）で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。なお F2022 の漁獲圧は $\beta = 1.25$ に相当する。

本資源の親魚量は 2023 年時点で目標管理基準値案を下回っているが、 β が 0.8 であれば漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2033 年には 100% の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された（表 4）。また、 β が 1.0 以下であれば、2033 年には 50% 以上の確率で目標管理基準値案以上に親魚量を維持できると予測された。限界管理基準値案は、 β が 1.0 以下であれば、すべて上回ることが示された（表 5）。本資源では近年でも 2020 年及び 2021 年の加入が非常に多く、加入群が成長することにより 2027 年までは平均親魚量は増加傾向であり、その後 MSY 水準に向かって減少していく。2033 年時点では平均親魚量は減少の途中であり、目標管理基準値案を上回る確率は平衡状態における値よりも高くなっている。2023 年以降の平均親魚量は β が低い程多くなった（表 7）。2023 年以降の平均漁獲量は β が 1.0 であっても、現状（2021 年：38.2 百トン）より少なくなった（表 8）。表 9 に、上述の結果の要約と、親魚量や漁獲量に係るリスク評価の結果を示した。親魚量が限界管理基準値案を下回るリスクや漁獲量が半減するリスクは漁獲管理規則案に沿った漁獲を継続した場合は低いと予測された。

なお、本資源は、栽培対象種であるため人工種苗の放流が実施されている。人工種苗由来の加入を考慮した場合の将来予測を補足資料 2 に示した。

3. まとめ

本資源では、1977～2020 年の年齢別漁獲尾数を用いて推定された 1977～2020 年の加入量および親魚量に基づき、再生産関係モデルとして自己相関を考慮した BH 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（146.5 百トン）とすることを提案する。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 SB0.6msy（15.4 百トン）および SB0.1msy（0.9 百トン）を提案する。現在の本系群の親魚量は目標管理基準値案以下にあると考えられる。 β が 1.0 以下であれば、管理開始から 10 年後となる 2033 年の平均親魚量が 50% 以上の確率で MSY を実現する水準を上回ると予測される。

4. 今後の検討事項

本資源の将来予測において、今後の人工種苗由来加入尾数として近年の平均値を用いた。この推定結果は、全体として平均親魚量と目標管理基準案がわずかに増加するという予測に落ち着いたが、今後の種苗放流の体制に変化があれば管理目標の達成確率などにも影響が生じることが想定される。

5. 引用文献

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

ABCWG (2022) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する
技術ノート(令和4年度研究機関会議版). FRA-SA2022-ABCWG01-04.

ABCWG (2022) 再生産関係の決定に関するガイドライン. FRA-SA2022-ABCWG01-05.

(執筆者：山本圭介、金谷彩友美、片町太輔、山下夕帆)

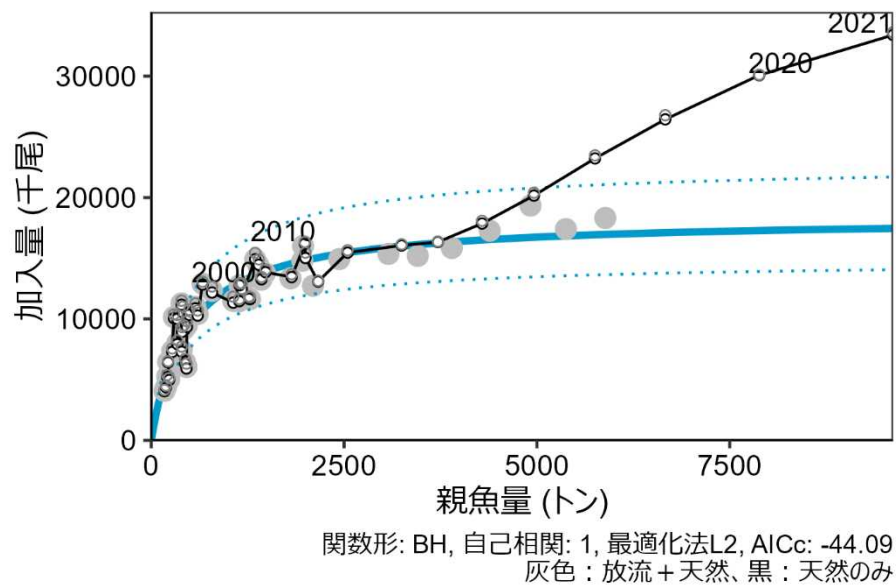


図 1. 再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮しないベバートン・ホルト（BH）型再生産関係式を用い、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。灰色丸印は再生産関係式の推定に用いた親魚量と加入量の値（1977～2020年の年齢別漁獲尾数による資源量推定値）であり、白丸印は1977～2021年の年齢別漁獲尾数による資源量推定値である。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。

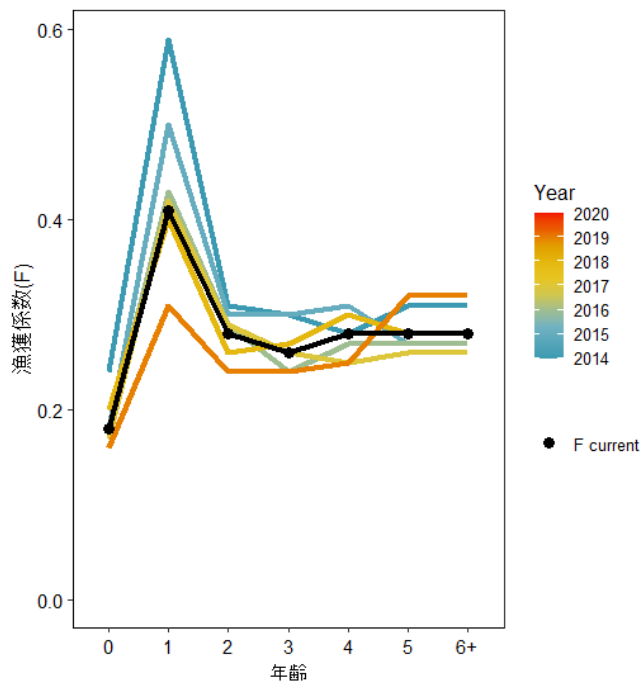


図 2. 年齢別の漁獲係数（F 値）

2014年以降の各年の年齢別F値を示す。黒線は2020年までの年齢別漁獲尾数（CAA）を用いた資源量推定における2020年の漁獲圧（F2020）である。

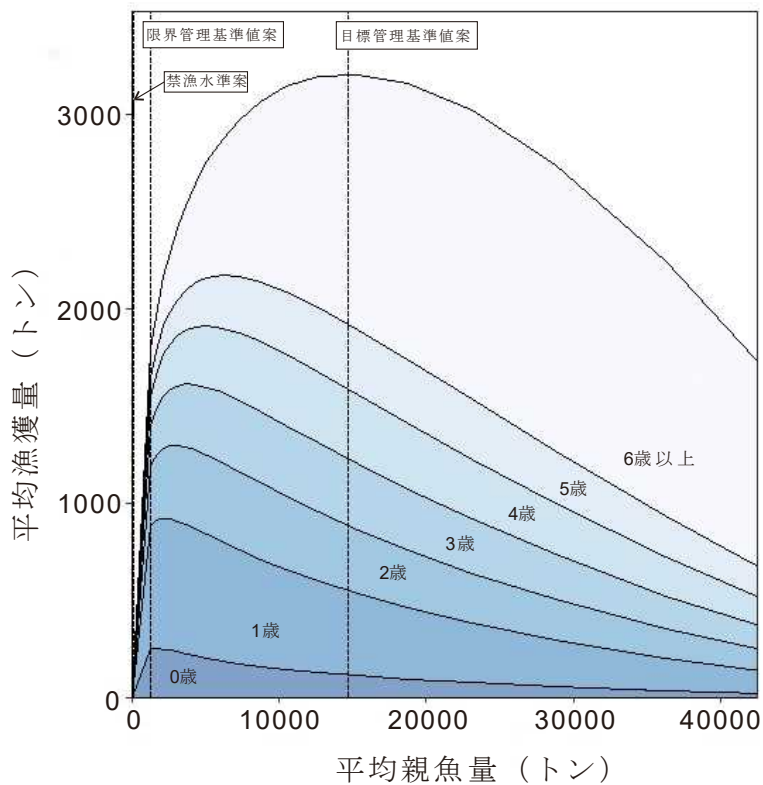


図 3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

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 606 百トンである。

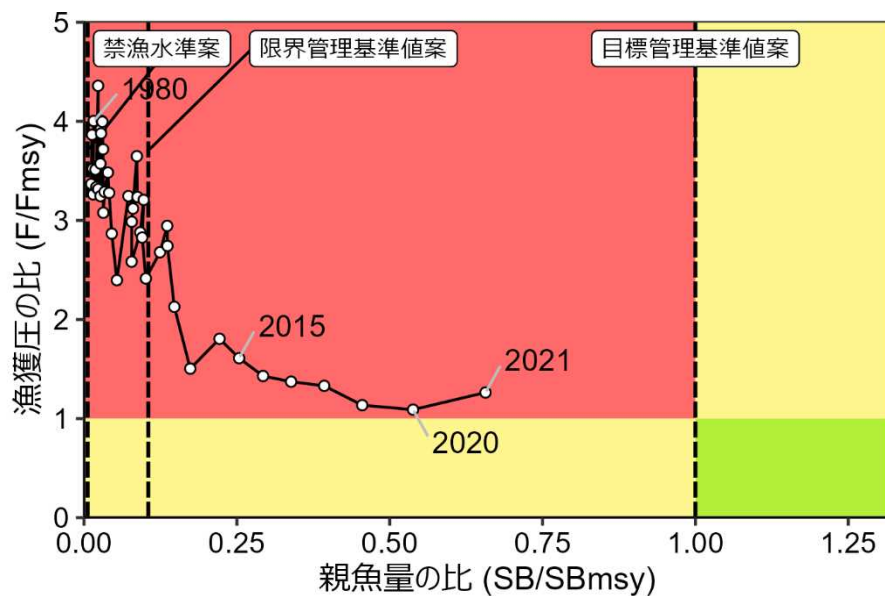
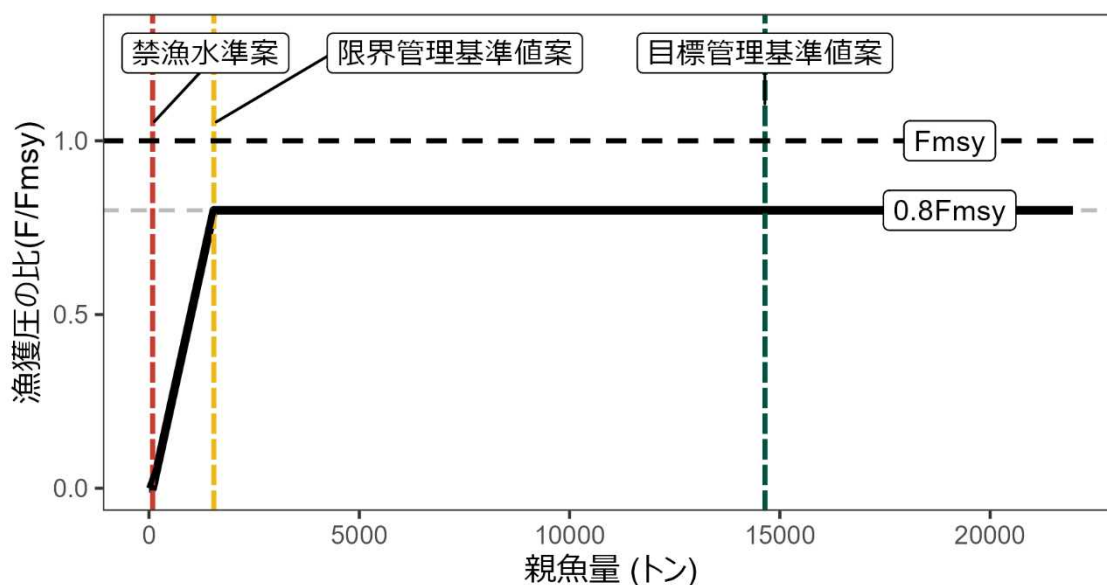


図 4. 神戸プロット

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

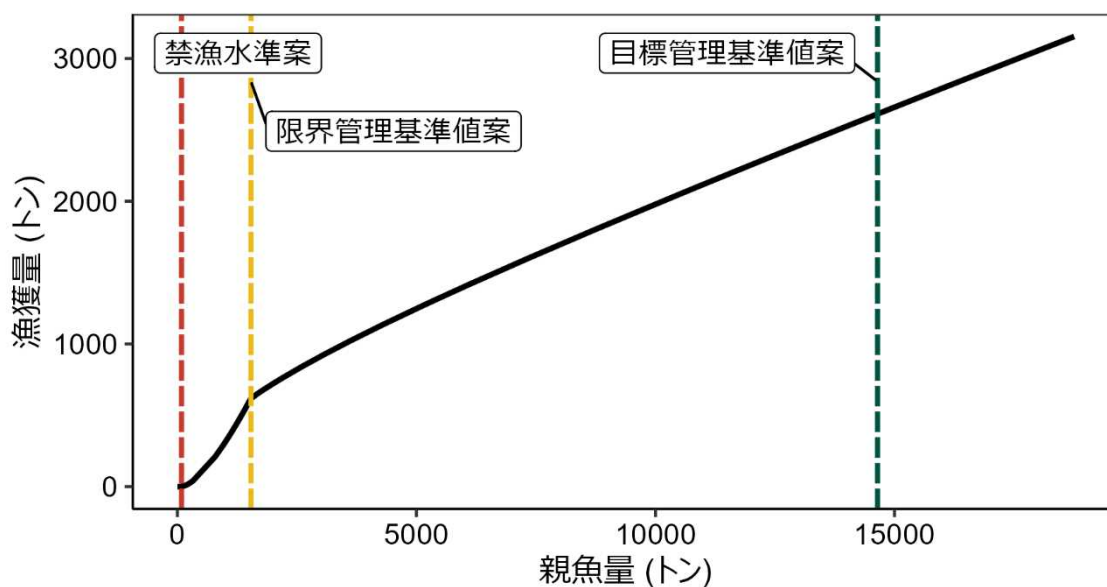
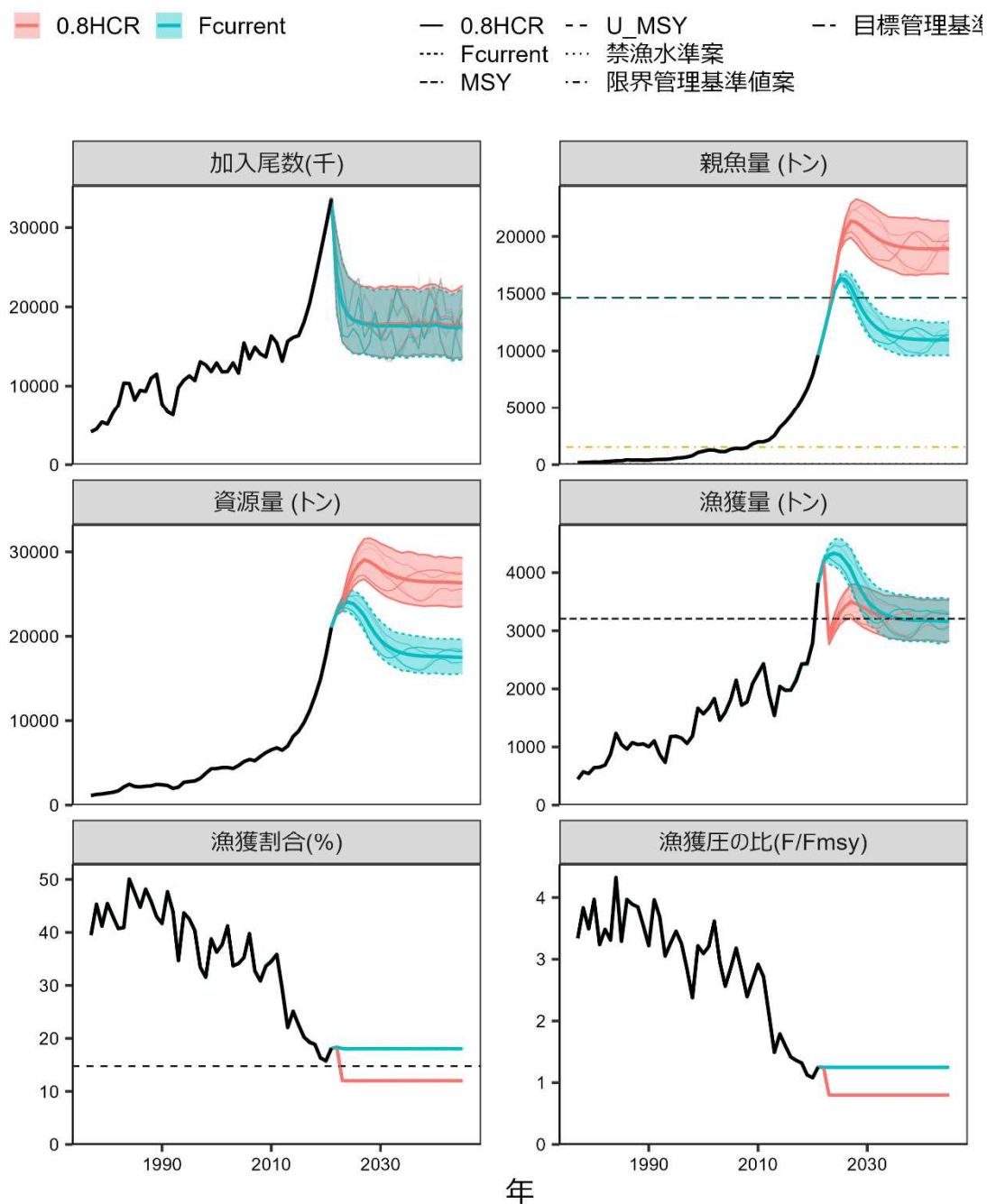


図 5. 漁獲管理規則案

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



(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、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F_{2022}) 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	自己相関係数	AICc	ΔAIC	順位
ベバートン・ホルト	最小二乗法	同時	0.47	-44.1		1
ベバートン・ホルト	最小絶対値法	二段階	0.49	-37.7	-9.6	2
ホッケースティック	最小二乗法	同時	0.67	-36.5		3
ベバートン・ホルト	最小二乗法	二段階	0.47	-35.9	-8.6	4
リッカー	最小二乗法	同時	0.83	-27.8		5

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。二段階推定法を用いて自己相関を考慮したモデルの ΔAIC は再生産関係式のパラメータを推定した後自己相関を考慮した場合に変化する AIC の値を示し、AICc は自己相関を考慮しない段階の値を示す。

b) 選択した再生産関係のパラメータ推定値

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
ベバートン・ホルト	最小二乗法	同時推定	39.06	0.0021	0.130	0.47

a は卵から加入までの密度独立な生残率、b は密度効果の強さを決めるパラメータ、S.D. は加入のばらつきの大きさをあらわす指標 (対数残差の標準偏差)、 ρ は自己相関係数である。

表 2. MSY 管理基準値等の算出および将来予測計算に用いた各種設定

年齢	自然死亡 係数	成熟率	平均重量 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (F2022)
0	0.39	0.0	77	0.44	0.14
1	0.24	0.0	201	1	0.32
2	0.17	0.0	353	0.68	0.22
3	0.17	0.5	534	0.63	0.20
4	0.17	1.0	734	0.68	0.22
5	0.17	1.0	967	0.68	0.22
6+	0.17	1.0	1,526	0.68	0.22

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 (F2022) 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 (百トン)	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	146.5	0.24	3207	24.8	0.15	0.62
限界管理基準値案	SB0.6msy	15.4	0.03	1924	3.3	0.37	1.90
禁漁水準案	SB0.1msy	0.9	0.00	321	0.9	0.49	2.89
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6+歳) =(0.11, 0.26, 0.17, 0.16, 0.17, 0.17, 0.17)					

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
1.0	0	0	0	100	100	100	100	100	99	96	91	82	73	53	50
0.9	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	96	95
0.8	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	0	100	100	100	94	45	14	4	1	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 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (F2022) 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 F2022 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
1.0	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
現状の漁獲圧	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 (F2022) 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 F2022 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を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

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（F2022）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 F2022 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
1.0	9,620	11,463	13,426	15,953	17,828	18,497	18,568	17,955	17,259	16,636	16,134	15,747	15,444	14,753	14,669
0.9	9,620	11,463	13,426	16,230	18,466	19,508	19,905	19,524	18,979	18,445	17,996	17,639	17,353	16,680	16,589
0.8	9,620	11,463	13,426	16,511	19,127	20,575	21,339	21,232	20,876	20,462	20,088	19,781	19,525	18,912	18,813
0.7	9,620	11,463	13,426	16,797	19,811	21,700	22,878	23,092	22,968	22,710	22,443	22,208	22,001	21,507	21,405
0.6	9,620	11,463	13,426	17,088	20,520	22,887	24,527	25,117	25,276	25,218	25,093	24,961	24,828	24,540	24,441
0.5	9,620	11,463	13,426	17,384	21,255	24,139	26,296	27,323	27,824	28,016	28,078	28,088	28,060	28,105	28,023
0.4	9,620	11,463	13,426	17,686	22,016	25,460	28,194	29,726	30,636	31,141	31,444	31,642	31,760	32,319	32,280
0.3	9,620	11,463	13,426	17,992	22,805	26,853	30,229	32,343	33,741	34,631	35,240	35,686	36,003	37,330	37,380
0.2	9,620	11,463	13,426	18,304	23,622	28,323	32,411	35,193	37,170	38,530	39,526	40,292	40,874	43,329	43,549
0.1	9,620	11,463	13,426	18,621	24,468	29,874	34,752	38,299	40,957	42,887	44,367	45,545	46,475	50,561	51,087
0	9,620	11,463	13,426	18,944	25,345	31,509	37,263	41,682	45,141	47,760	49,838	51,539	52,924	59,340	60,410
現状の漁獲圧	9,620	11,463	13,426	15,285	16,334	16,201	15,616	14,580	13,639	12,893	12,335	11,926	11,622	10,976	10,911

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（F2022）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 F2022 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 8. 将来の平均漁獲量の推移（トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	3,822	4,200	3,519	3,695	3,810	3,840	3,818	3,712	3,602	3,504	3,427	3,370	3,326	3,221	3,210
0.9	3,822	4,200	3,195	3,412	3,571	3,648	3,672	3,606	3,527	3,450	3,387	3,339	3,302	3,210	3,199
0.8	3,822	4,200	2,866	3,112	3,306	3,425	3,489	3,463	3,414	3,360	3,313	3,276	3,246	3,172	3,161
0.7	3,822	4,200	2,530	2,794	3,014	3,165	3,265	3,276	3,257	3,226	3,196	3,171	3,150	3,098	3,087
0.6	3,822	4,200	2,188	2,457	2,691	2,866	2,994	3,038	3,048	3,039	3,026	3,014	3,003	2,977	2,968
0.5	3,822	4,200	1,840	2,101	2,337	2,524	2,671	2,741	2,775	2,787	2,791	2,792	2,791	2,795	2,789
0.4	3,822	4,200	1,485	1,725	1,948	2,134	2,288	2,376	2,429	2,458	2,476	2,488	2,497	2,532	2,530
0.3	3,822	4,200	1,124	1,328	1,523	1,692	1,838	1,932	1,995	2,035	2,063	2,084	2,100	2,162	2,165
0.2	3,822	4,200	756	909	1,058	1,193	1,313	1,397	1,458	1,500	1,531	1,555	1,574	1,652	1,659
0.1	3,822	4,200	382	466	551	631	704	758	800	830	853	872	887	953	961
0	3,822	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
現状の漁獲圧	3,822	4,200	4,300	4,331	4,303	4,195	4,053	3,847	3,667	3,525	3,419	3,344	3,290	3,168	3,158

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（F2022）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 F2022 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 9. 管理方策案のパフォーマンス評価の概要

β	管理目標	予測平均親魚量		予測平均漁獲量			リスク(10 年間に 1 度でも起きる確率)			
	(%)	(トン)		(トン)						
	10 年後に目標 管理基準値案 を上回る確率	5 年後 2028 年	10 年後 2033 年	1 年目 2023 年	6 年目 2028 年	11 年目 2033 年	親魚量が現 在水準を下 回る	親魚量が限 界管理基準 値案を下回 る	親魚量が禁 漁水準を下 回る	漁獲量が半 減する
0.0	100	41682	52924	0	0	0	0%	0%	0%	0%
0.1	100	38299	46475	382	758	887	0%	0%	0%	0%
0.2	100	35193	40874	756	1397	1574	0%	0%	0%	0%
0.3	100	32343	36003	1124	1932	2100	0%	0%	0%	0%
0.4	100	29726	31760	1485	2376	2497	0%	0%	0%	0%
0.5	100	27323	28060	1840	2741	2791	0%	0%	0%	0%
0.6	100	25117	24828	2188	3038	3003	0%	0%	0%	0%
0.7	100	23092	22001	2530	3276	3150	0%	0%	0%	0%
0.8	100	21232	19525	2866	3463	3246	0%	0%	0%	0%
0.9	99	19524	17353	3195	3606	3302	0%	0%	0%	0%
1.0	73	17955	15444	3519	3712	3326	0%	0%	0%	0%

補足資料 1 再生産関係式のモデル診断結果について

最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量の算出および将来予測計算に使用する再生産関係として、ホッケー・スティック（HS；Clark et al., 1985）型、ベバートン・ホルト（BH；Beverton and Holt 1957）型、およびリッカー（RI；Ricker 1954）型の再生産関係式を検討候補とした。R_y を y 年の加入量、B_y を y 年当初の親魚量、A_{min} を加入年齢（本系群の場合は A_{min} は 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（千尾/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、BH 型を最小二乗法および最小絶対値法により 1977～2020 年の加入量・親魚量のデータに当てはめた。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。残差の自己相関（AR）については、パラメータ推定を行った後に自己相関パラメータを推定する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“2 段階法”および“同時推定法”を用いた（詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（FRA-SA2022-ABCWG01-04）を参照）。“同時推定法”を用いる場合、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。また、各モデル診断の結果を補足図 1-2a～e、1-3 a～e、1-4 a～d、1-5 a～e、1-6 a～d、1-7 a～e、1-8 a～e に示す。

補正赤池情報量規準（AICc）は RI 型、HS 型および BH 型の各再生産関係式で、最小二乗法を用いて自己相関を同時推定とした場合が最も小さく、再生産関係式間では BH 型、HS 型、RI 型の順で AICc が低い結果となった（表 1）。AICc については、BH 型再生産関係式、同時推定法の組み合わせが、最も AICc が低くなった。次点との差も 6.4 と判断基準とされる 4 よりも大きく、予測力に有意な差があることが示された。

加入残差の自己相関は有意であり、二段階推定法、同時推定法のどちらも、全ての再生産関係式で自己相関係数（ρ）が 0.47～0.83 と高いため、本資源については自己相関を考慮することとした。

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 1-2 に示す。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おおむね解消される (補足図 1-2 中央図) が、この場合でも近年の残差がやや負に偏っている (補足図 1-2 左図) 点には注意が必要である。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 検定と Kolmogorov-Smirnov 検定ともに有意な逸脱は検出されなかった。(補足図 1-3)。

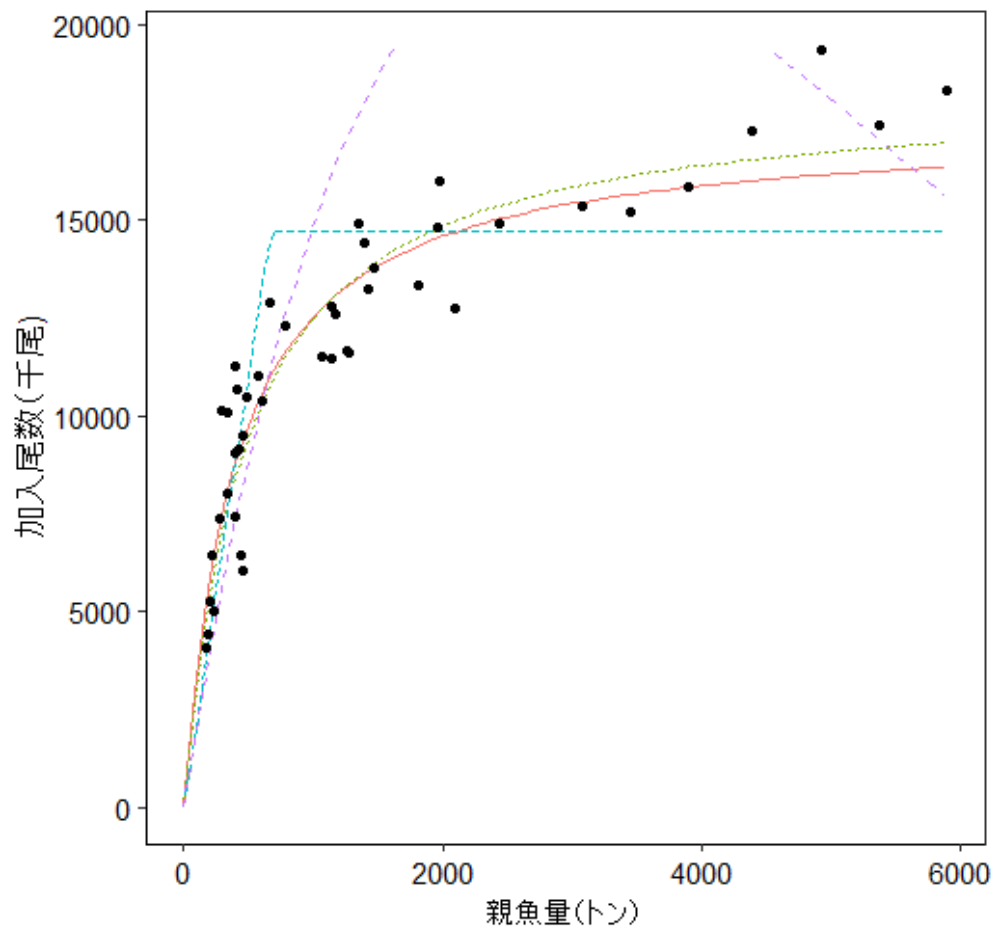
個々のデータの影響をジャックナイフ法により検討したところ、推定の頑健性に大きな問題はみられなかった (補足図 1-4、1-5)。パラメータ推定の信頼区間は残差ブートストラップにより検討した (補足図 1-6、1-7)。

BH 型再生産関係式を最小二乗法により当てはめた場合のプロファイル尤度を補足図 1-8 に示す。BH 型は推定値の安定性が高いと考えられる (補足図 1-8 a~c)。一方で、HS 型については、プロファイル尤度で尤度がほぼ同じとなる複数の局所解が生じており (補足図 1-8d)、BH 型よりも推定値の不安定性が高いと考えられる。

以上の結果から、BH 型再生産関係式、同時推定法による自己相関を考慮したモデルが本資源の再生産関係として最も適していると判断した。

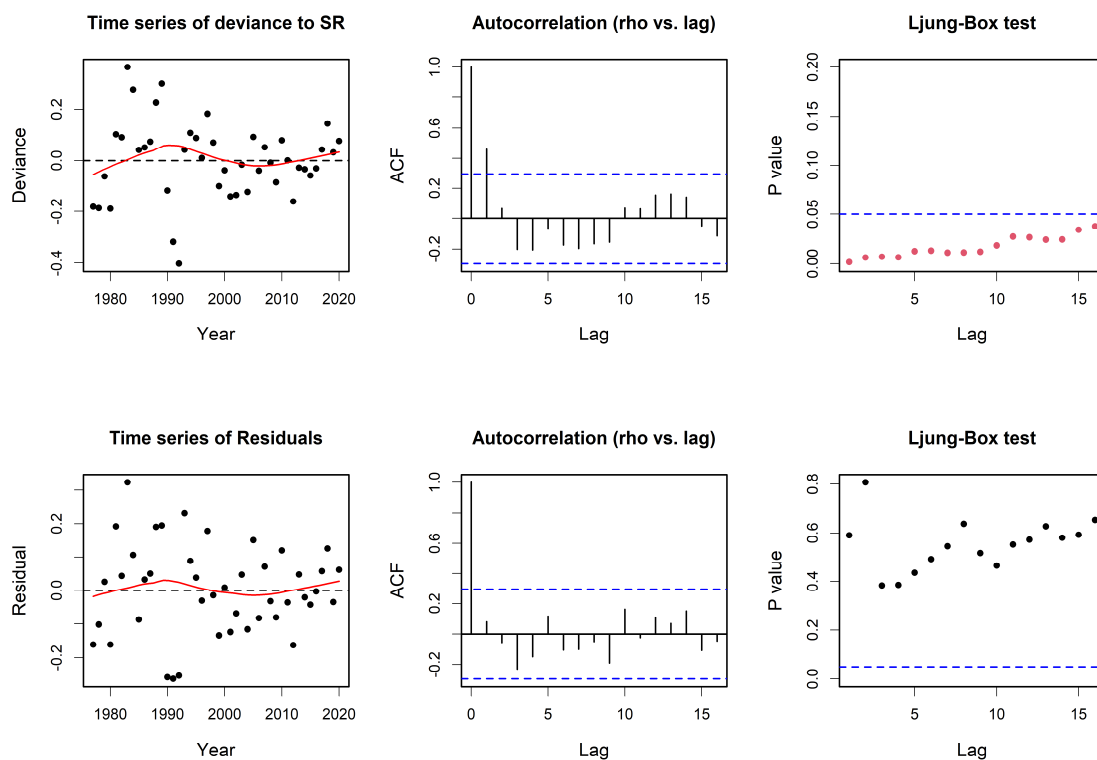
引用文献

- 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 年度研究機関会議版). FRA-SA2022-ABCWG01-04.
- 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.



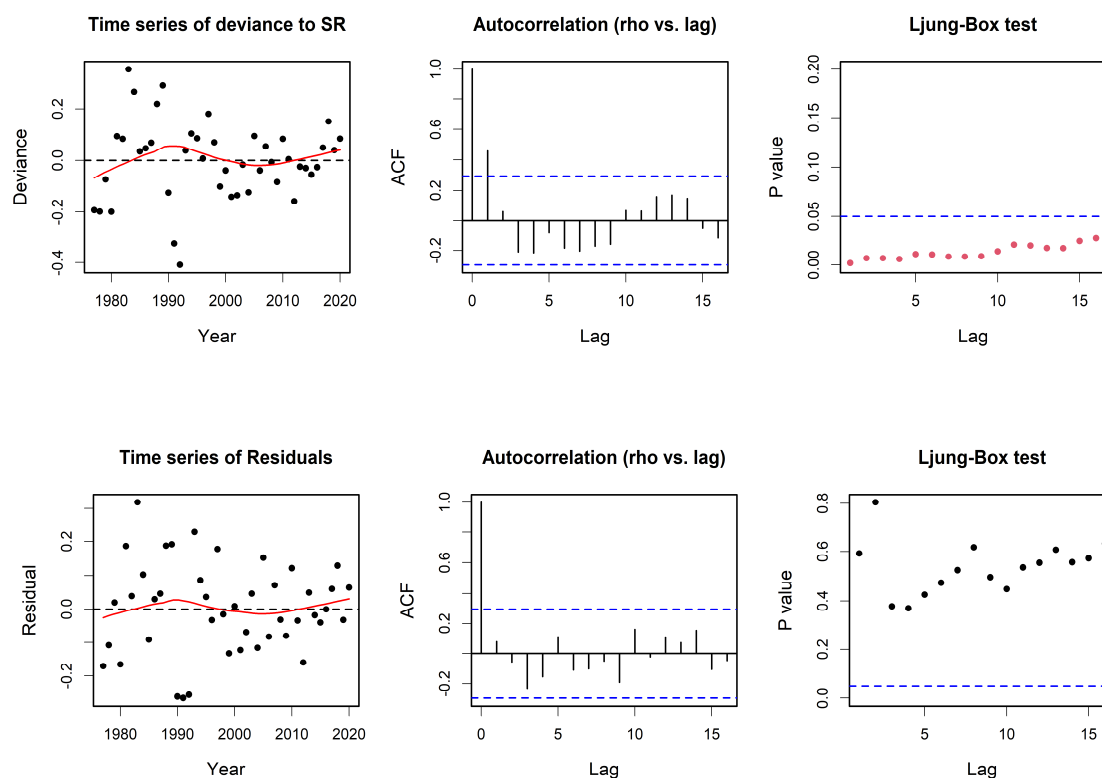
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式の比較

ベバートン・ホルト型 (BH) の最小二乗法 (L2) ・同時推定 (緑破線) と最小絶対値法 (L1) ・二段階推定 (赤実線)、ホッケー・スティック型 (HS) の最小二乗法 (L2) ・同時推定 (青破線)、リッカー型 (RI) の最小二乗法 (L2) ・同時推定 (紫破線) の各再生産関係式を示した。黒丸は分析に使用した親魚量・加入尾数 (1977～2020 年) である。



補足図 1-2a. 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で考慮した残差（residual）のトレンド（左図）、自己相関プロット（中央図）、および Ljung-Box 検定における P 値（右図）

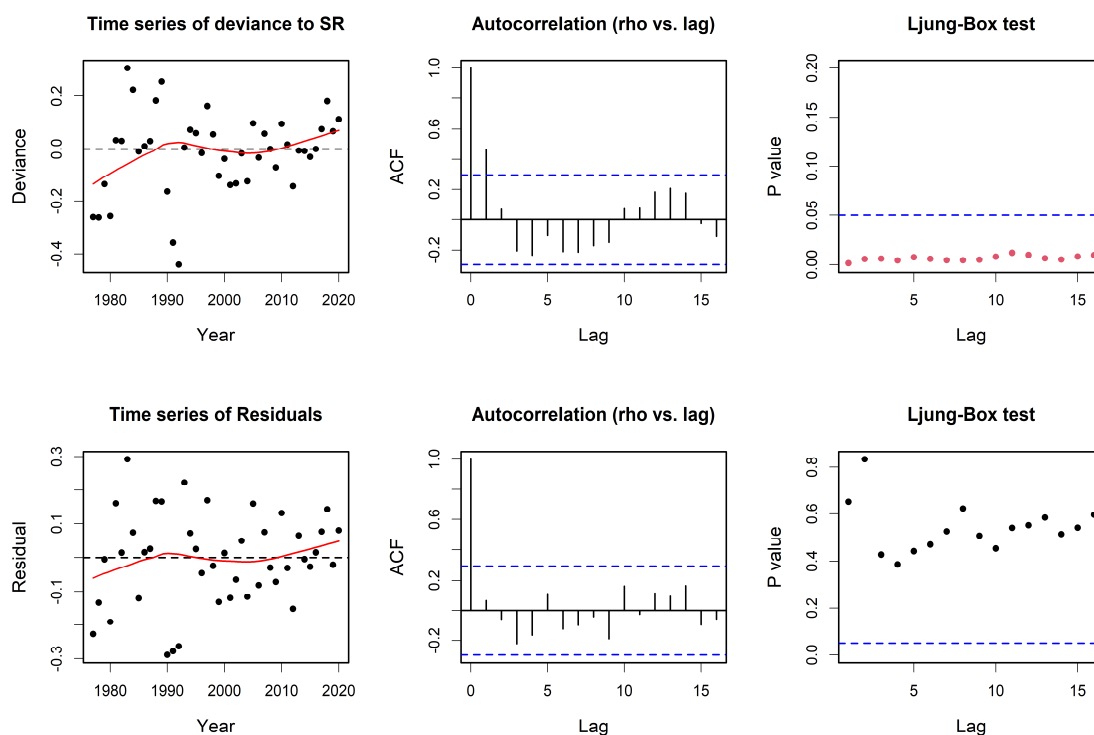
残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値（縦軸）の青色の点線は 5%水準を表す。



補足図 1-2b. 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) および自己相関を二段階推定で考慮した残差

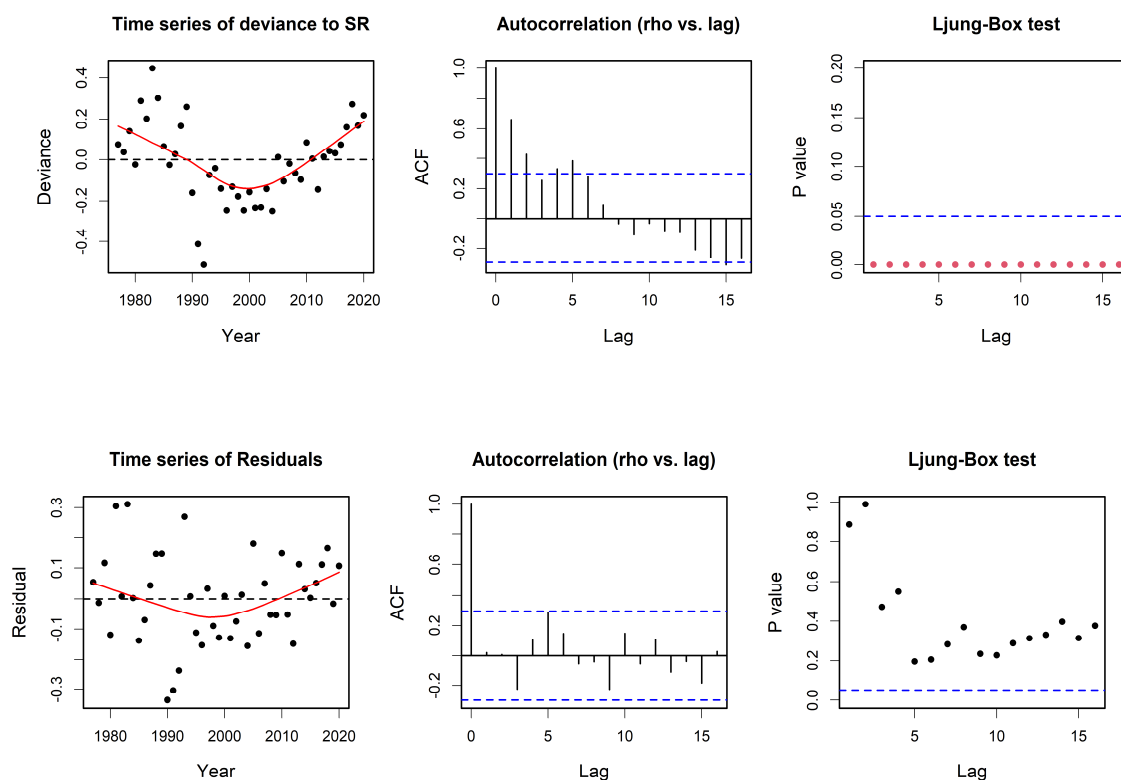
(residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図)

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



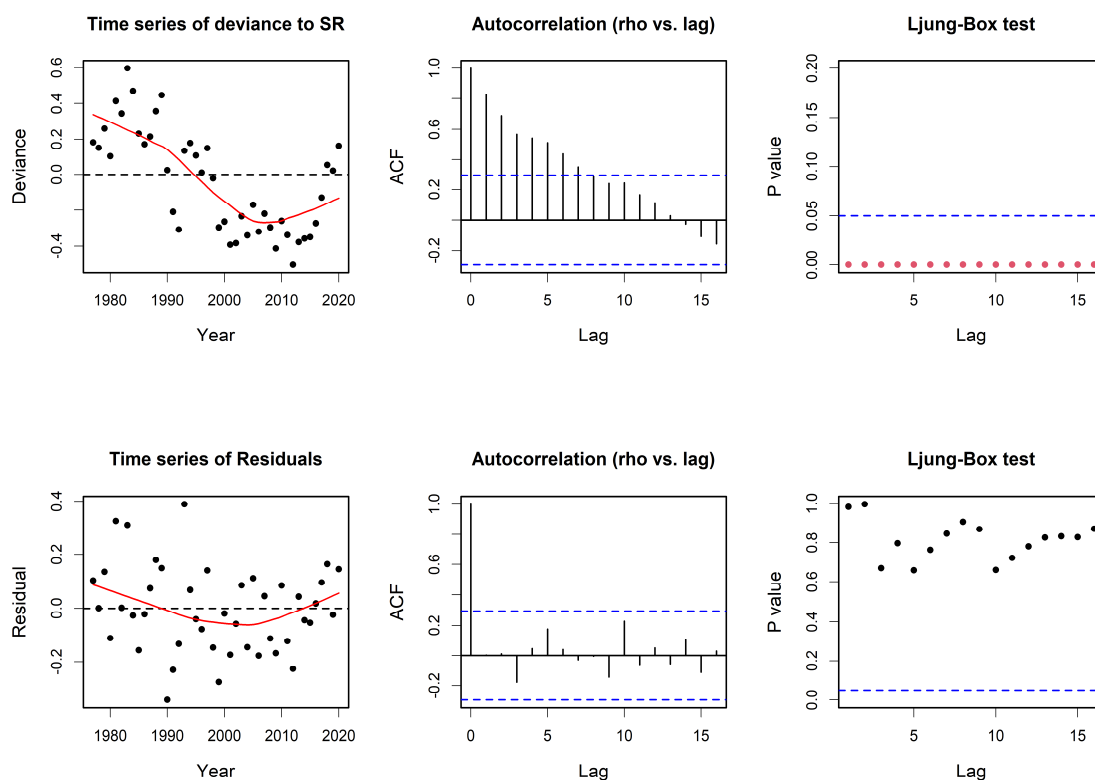
補足図 1-2c. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度（deviance）および自己相関を二段階推定で考慮した残差（residual）のトレンド（左図）、自己相関プロット（中央図）、および Ljung-Box 検定における P 値（右図）

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



補足図 1-2d. 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で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図)

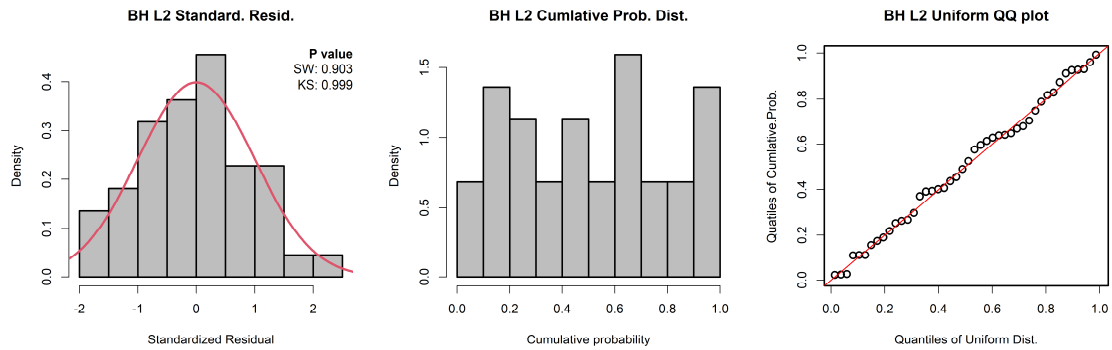
残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。



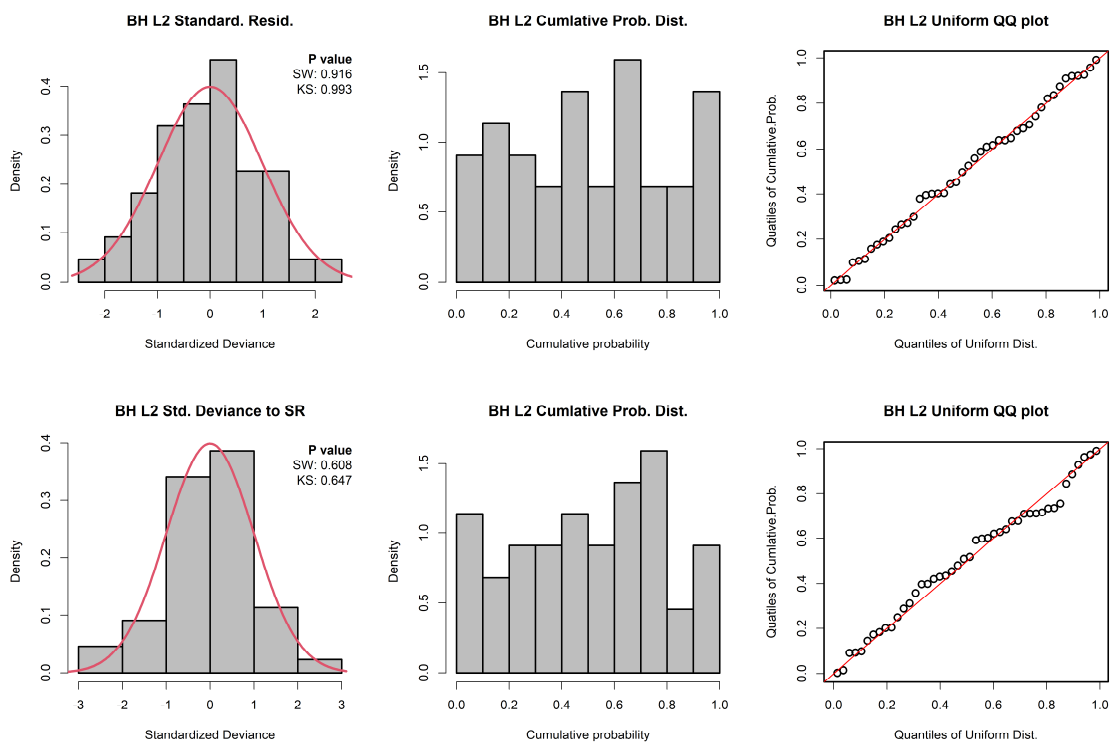
補足図 1-2e. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図)

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

a) 最小二乗法・同時推定



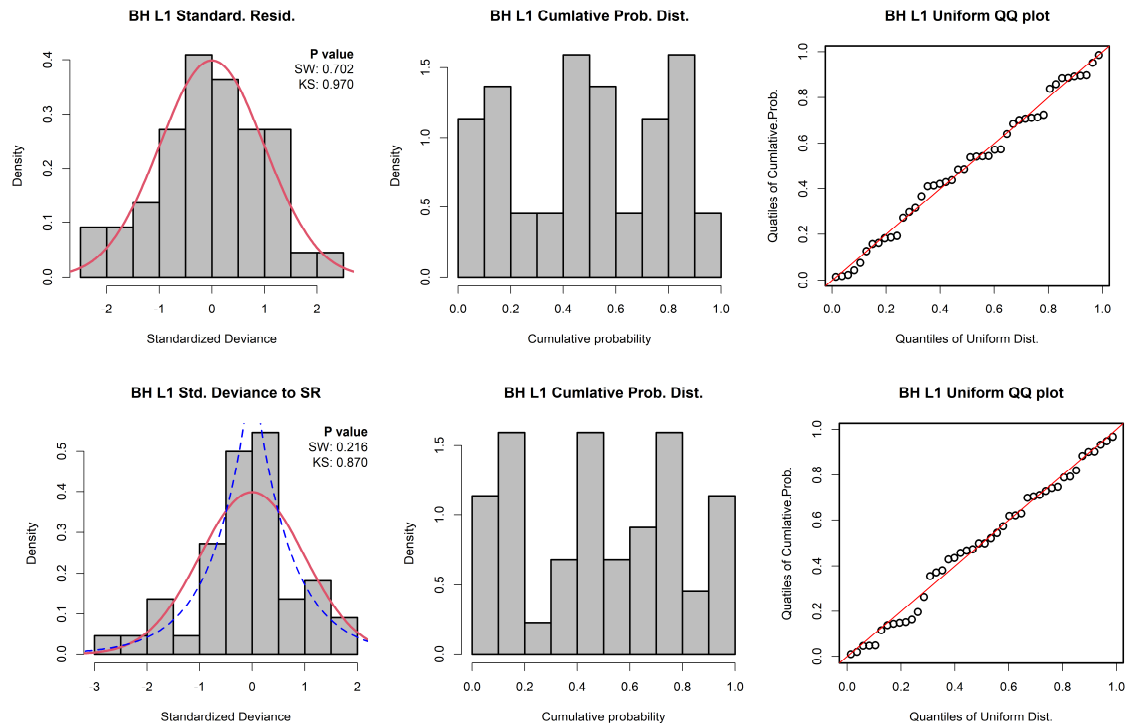
b) 最小二乗法・二段階推定



補足図 1-3 (a, b). 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（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）

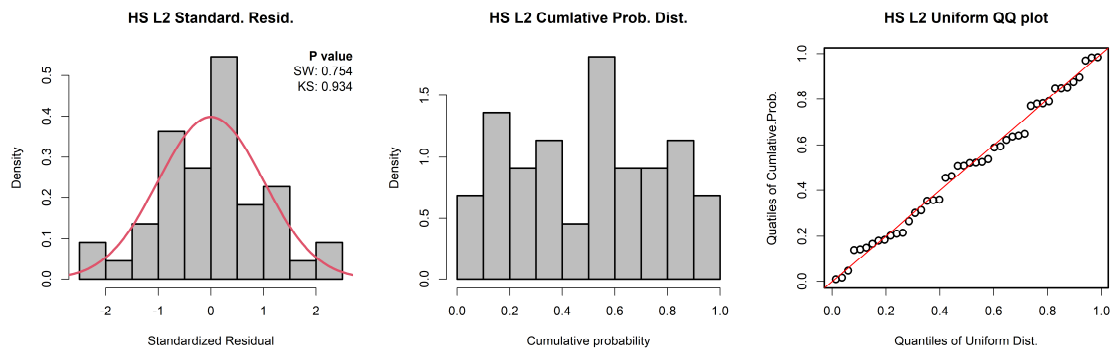
残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。二段階推定については、自己相関の推定における残差（上）、再生産関係の残差（下）を示した。

c) 最小絶対値法・二段階推定



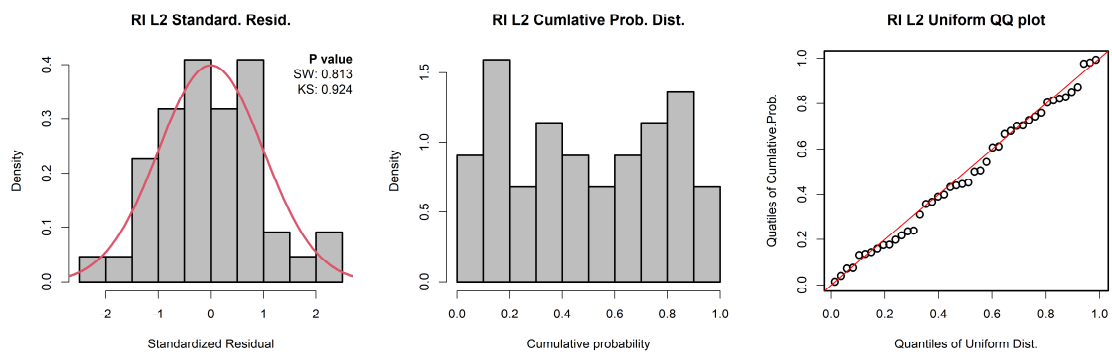
補足図 1-3 (c). ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラム（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）

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。二段階推定については、自己相関の推定における残差（上）、再生産関係の残差（下）を示した。



補足図 1-3 (d). ホッケースティック型再生産関係式を最小二乗法・同時推定で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラム (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)

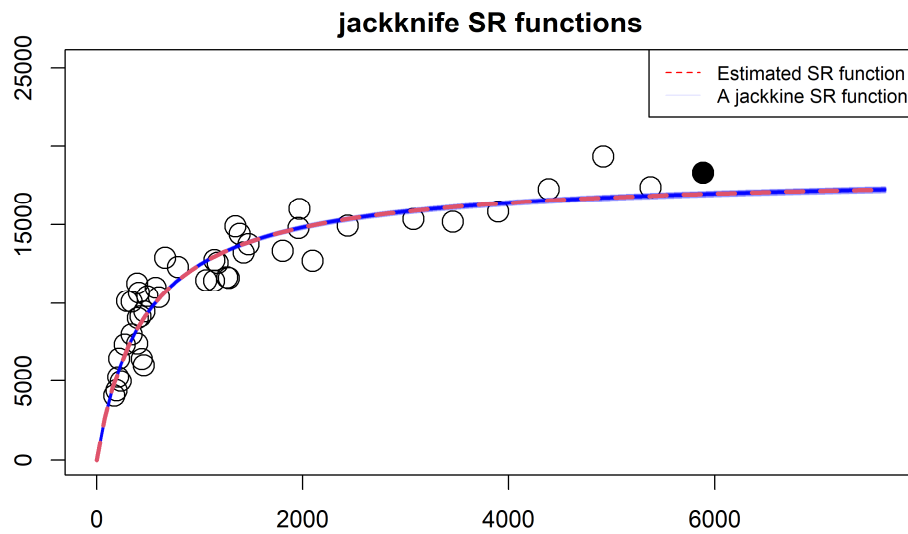
残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。



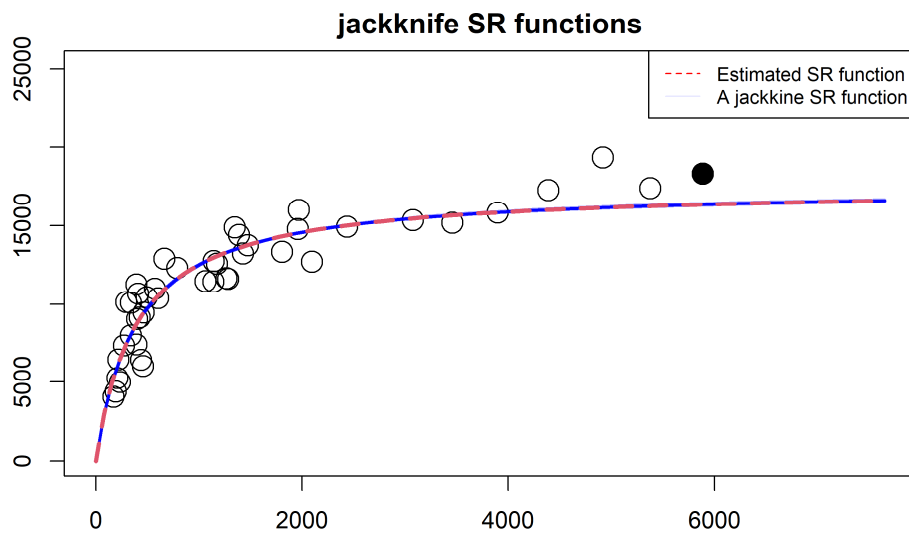
補足図 1-3 (e). リッカー型再生産関係式を最小二乗法・同時推定で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラム (左図)、残差の累積確率密度のヒストグラム (中央図)、および一様分布を仮定した QQ プロット (右図)

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。

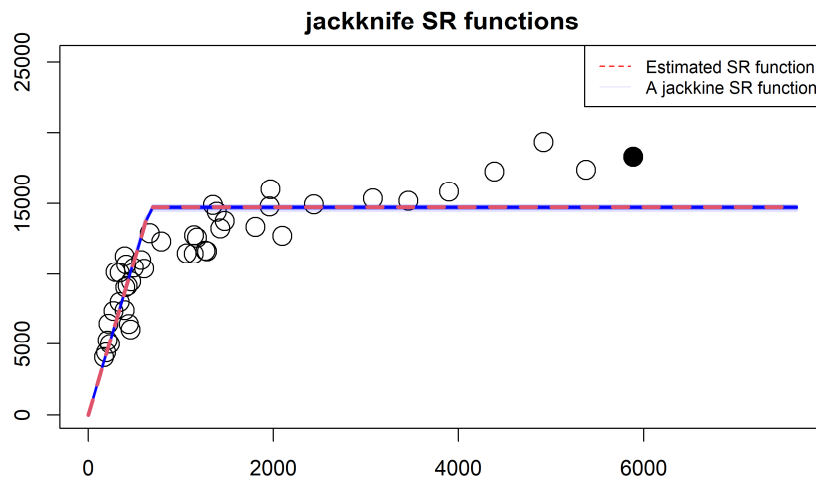
a) 最小二乗法



b) 最小絶対値法

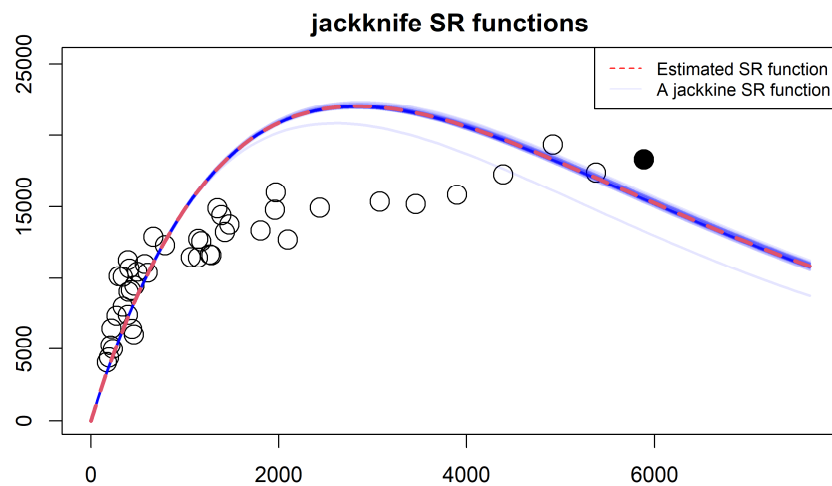


補足図 1-4 (a, b). 自己相関を考慮したヘバートンホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果
 赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量 (kg)、縦軸は加入尾数 (尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



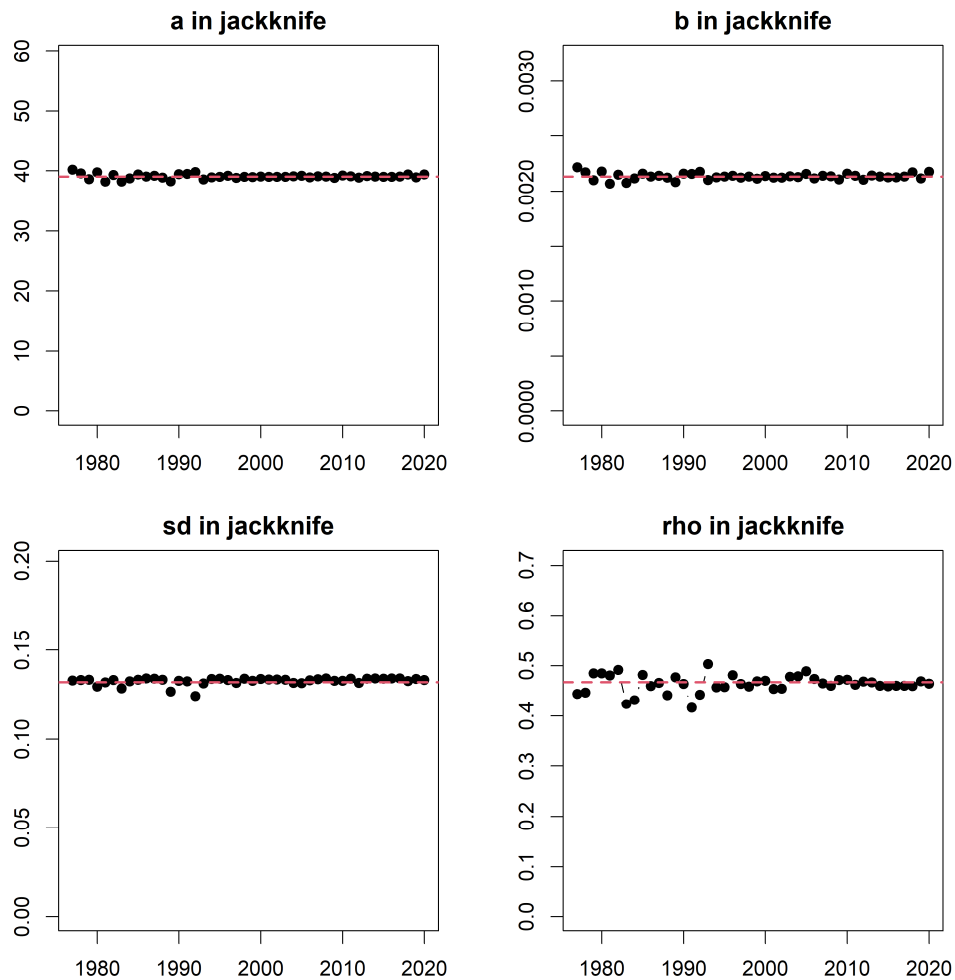
補足図 1-4c. 自己相関を考慮したホッケースティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果

赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量 (kg)、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。

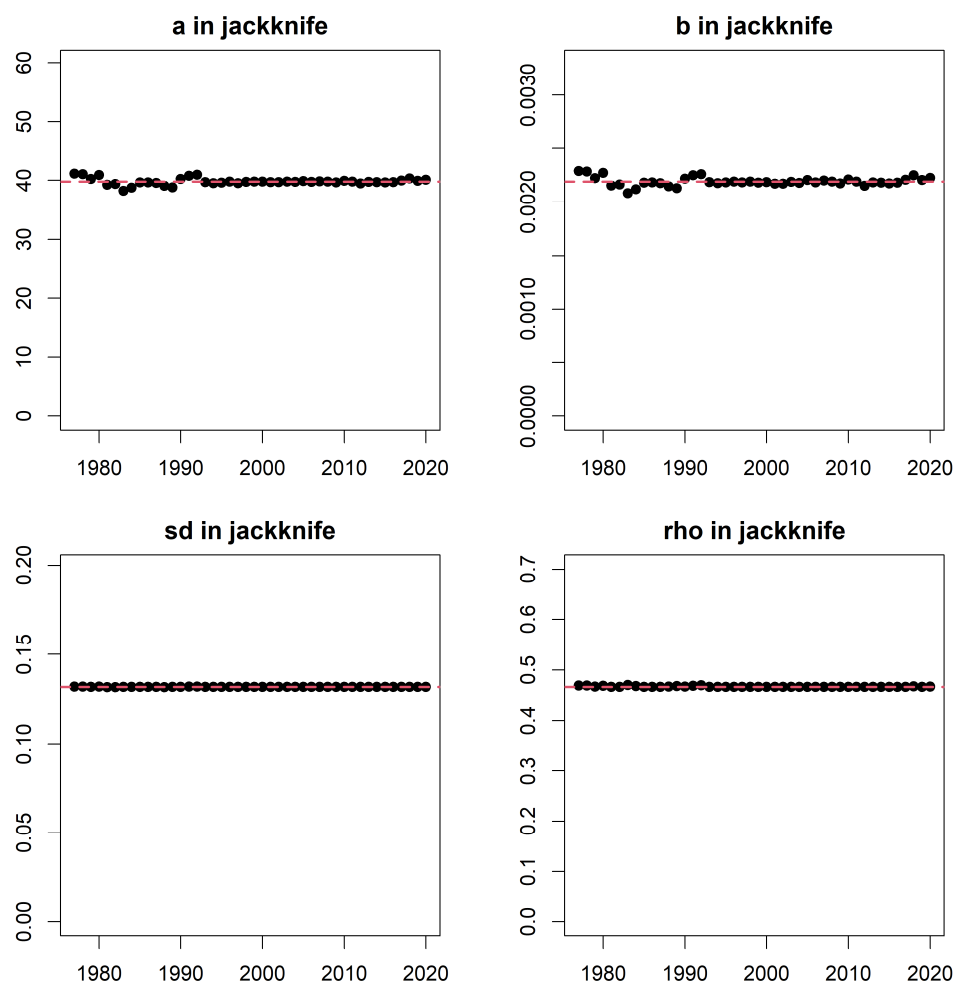


補足図 1-4d. 自己相関を考慮したリッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果

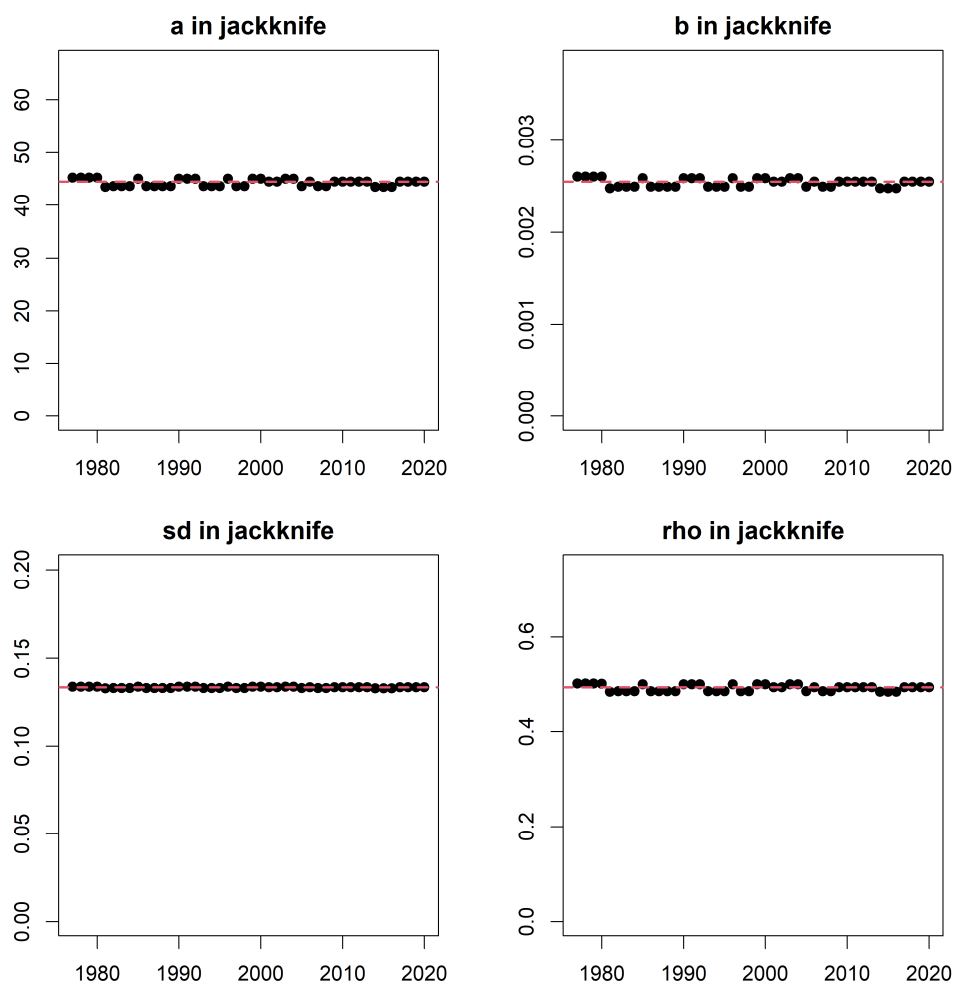
赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量 (kg)、縦軸は加入尾数 (尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



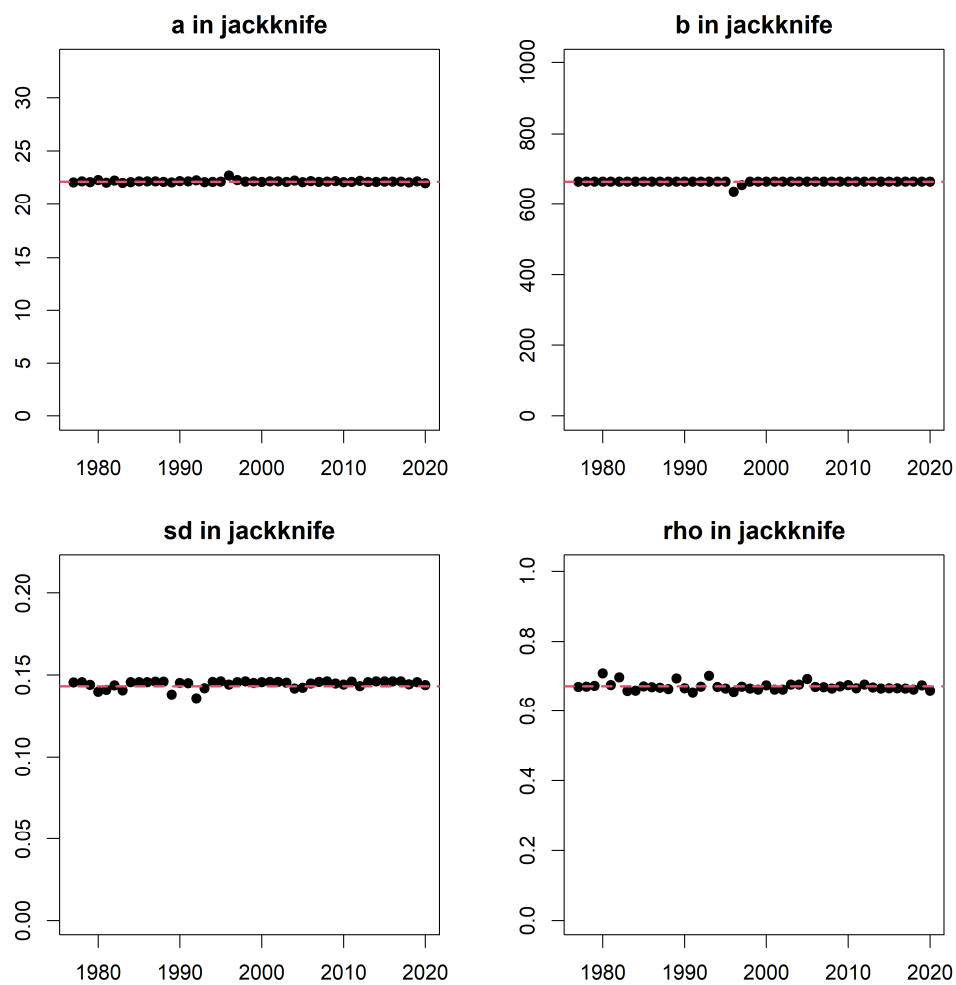
補足図 1-5a. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法・同時推定で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



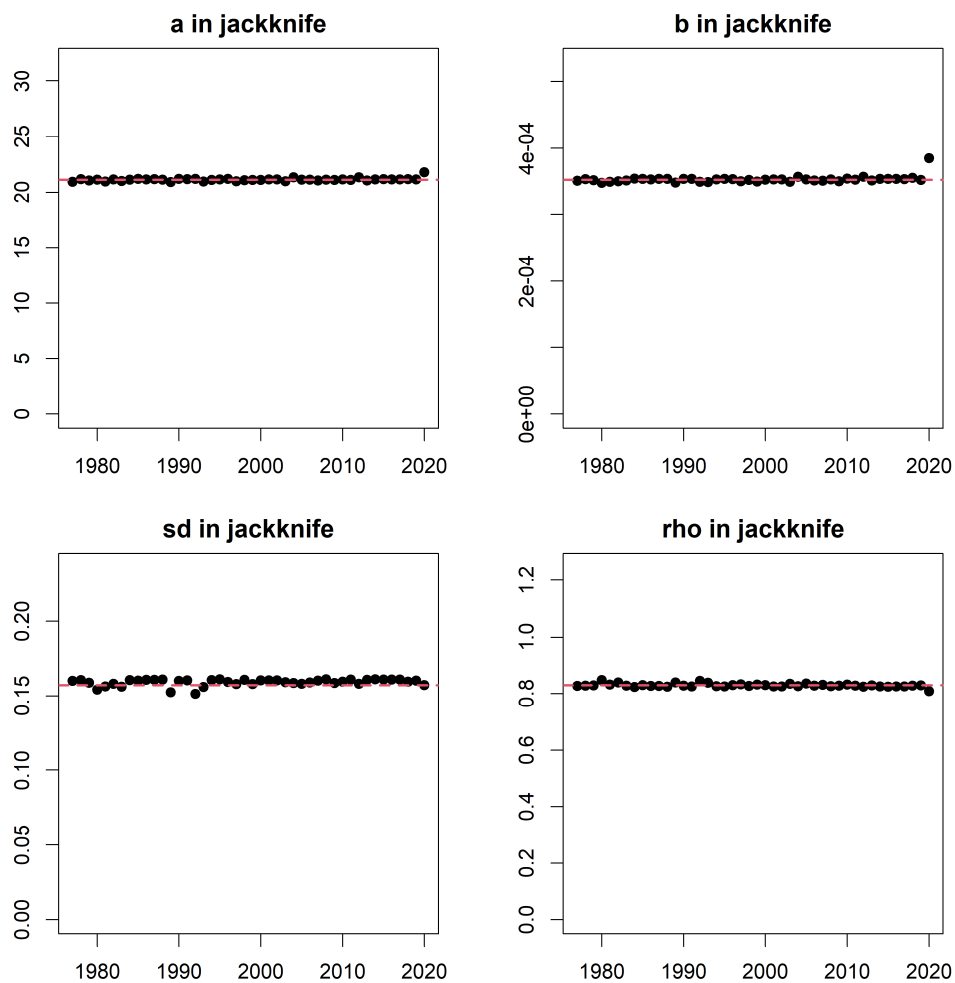
補足図 1-5b. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法・二段階推定で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



補足図 1-5c ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小絶対値法・二段階推定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.

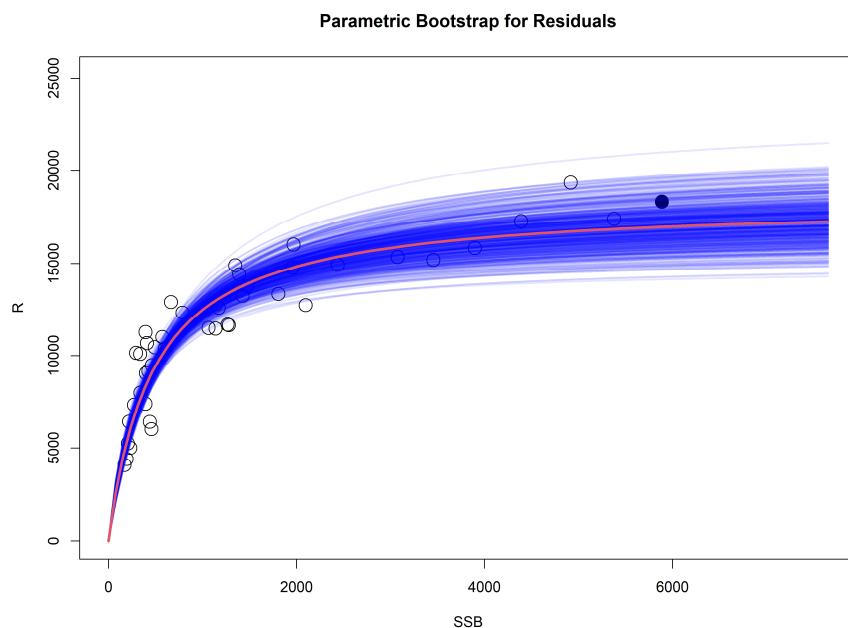


補足図 1-5d. ホッケースティック型再生産関係式を最小二乗法・同時推定で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

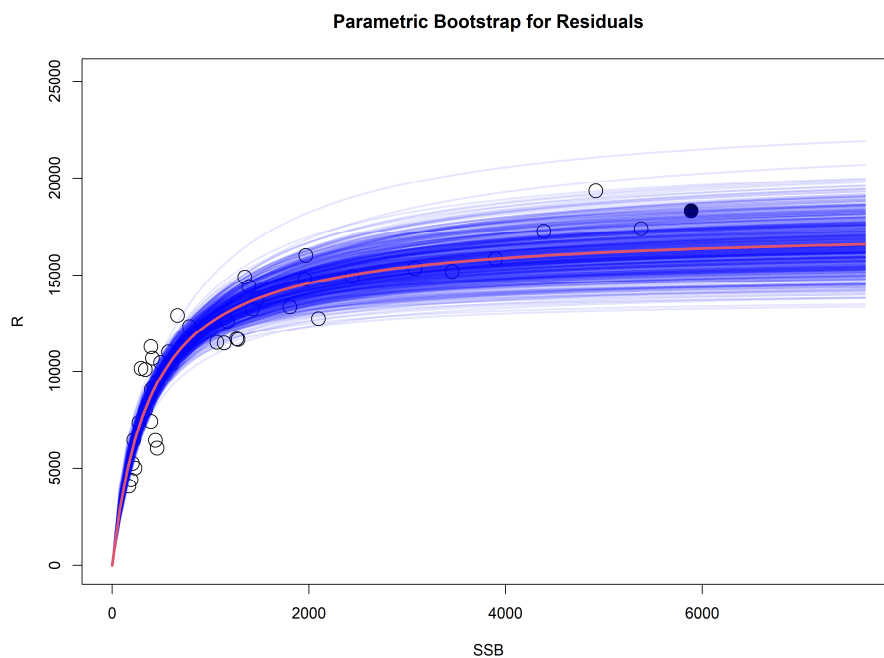


補足図 1-5e. リッカー型再生産関係式を最小二乗法・同時推定で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

a) 最小二乗法

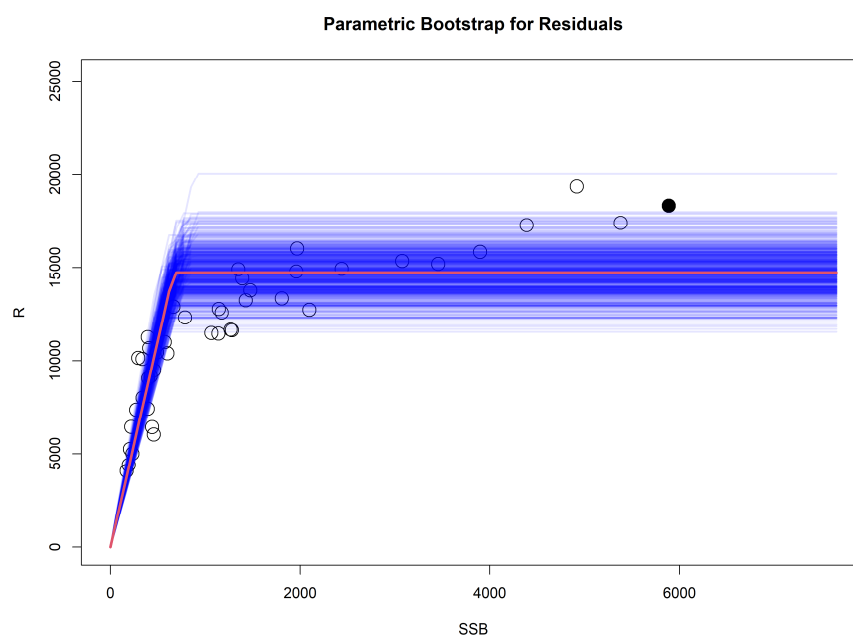


b) 最小絶対値法



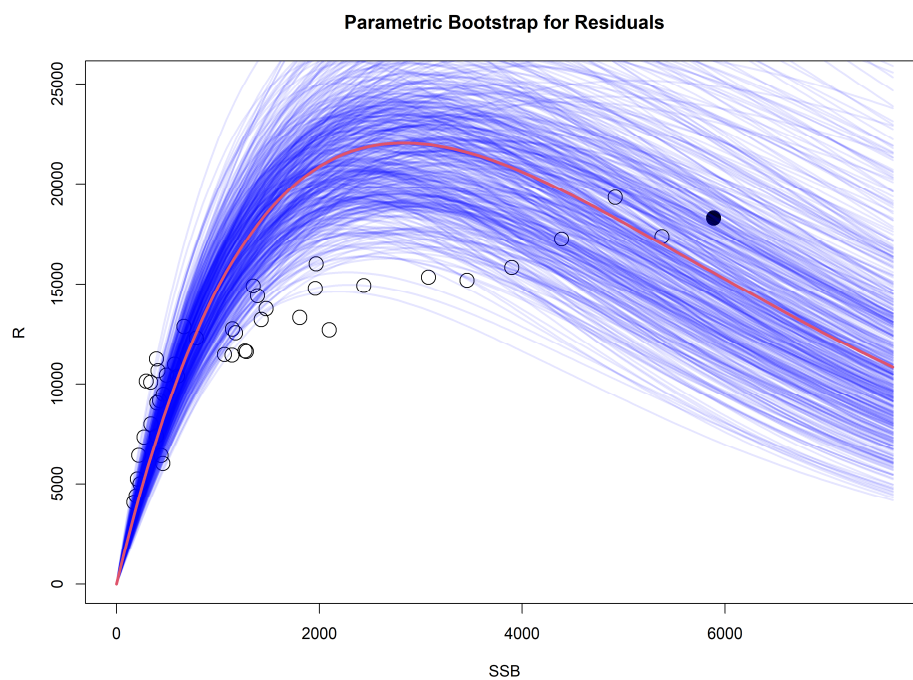
補足図 1-6 (a, b). ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小絶対値法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果

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 (kg)、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。



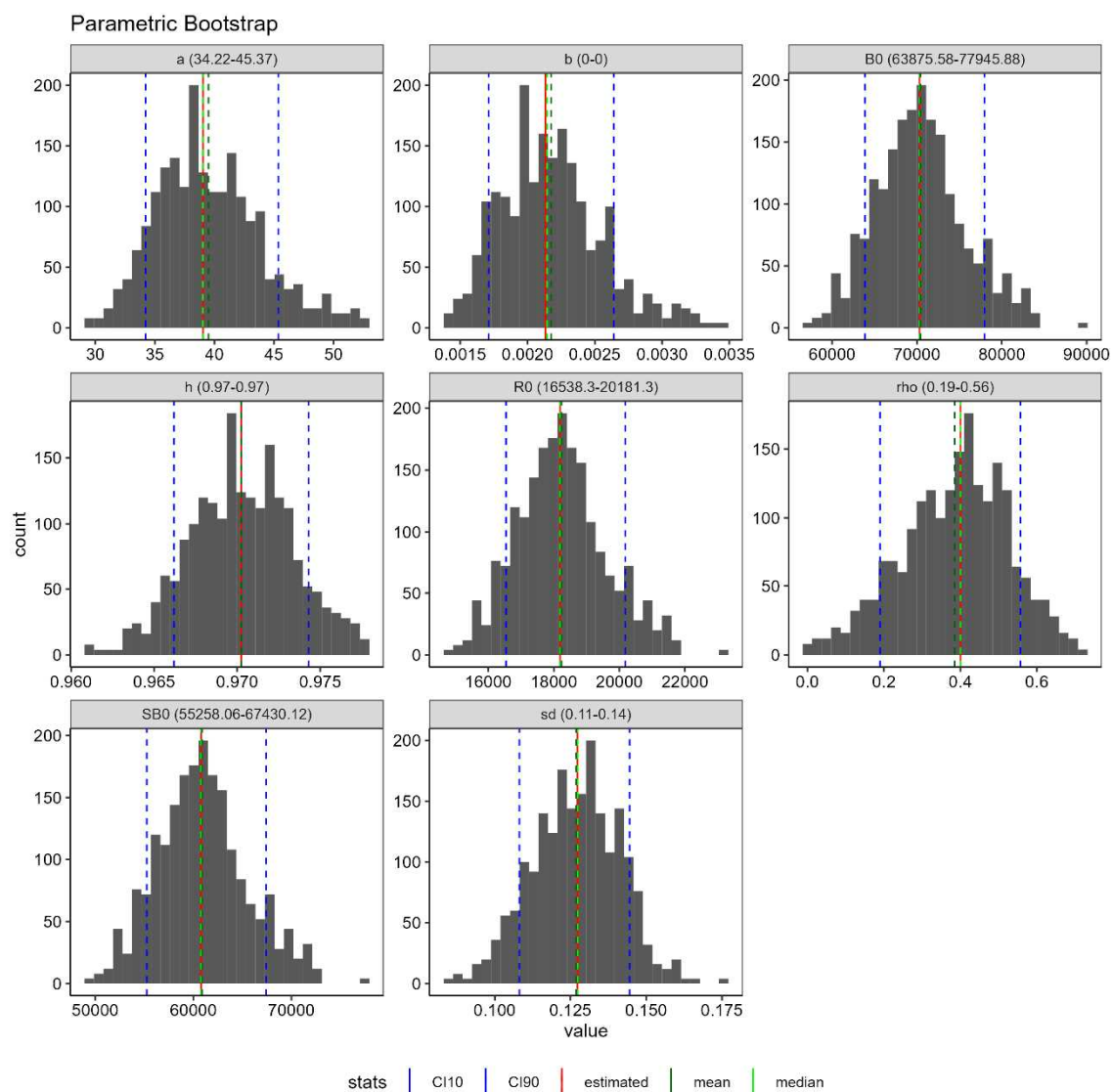
補足図 1-6c. ホッケースティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果

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 (kg)、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。



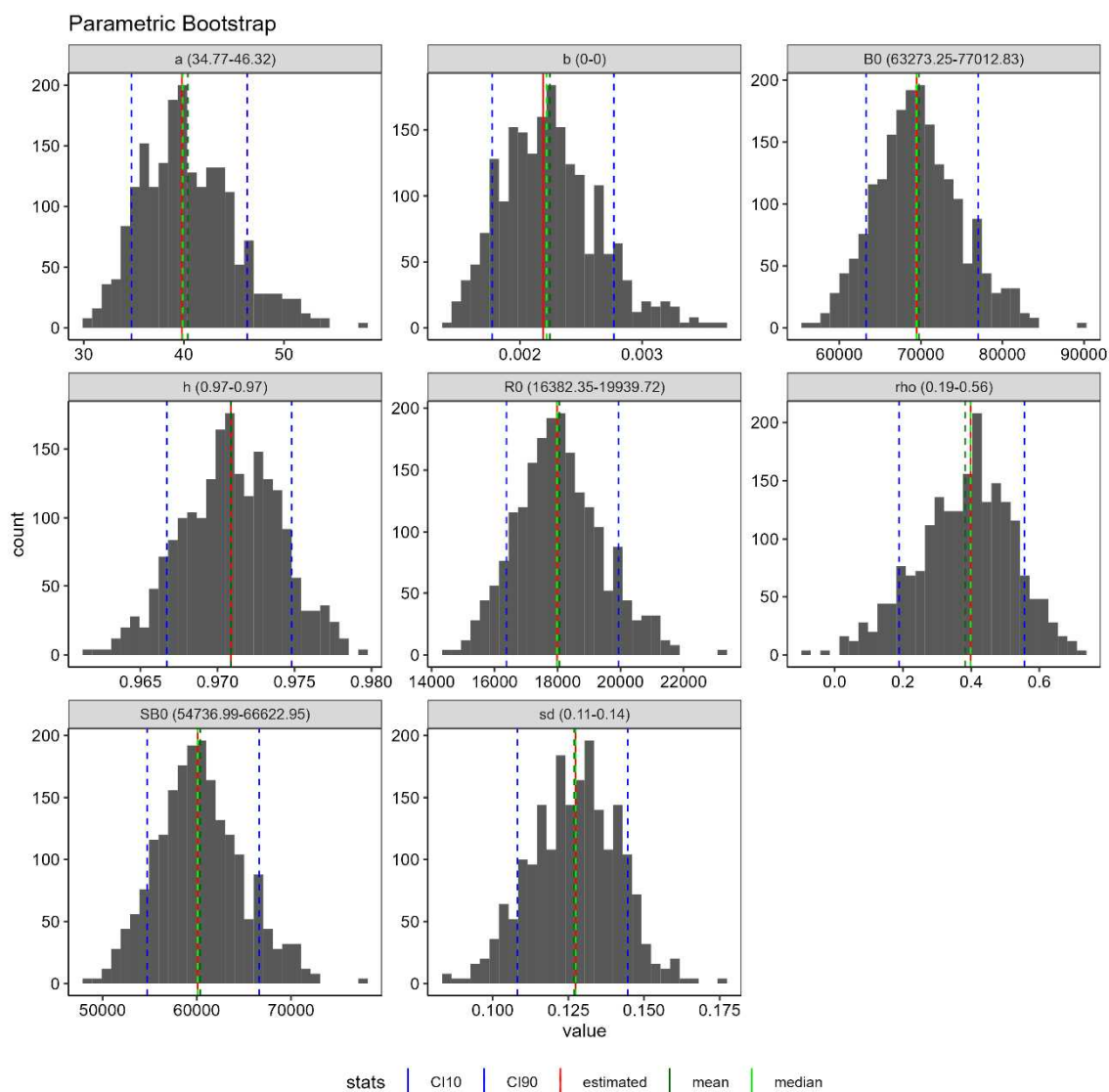
補足図 1-6d. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果

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 (kg)、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。



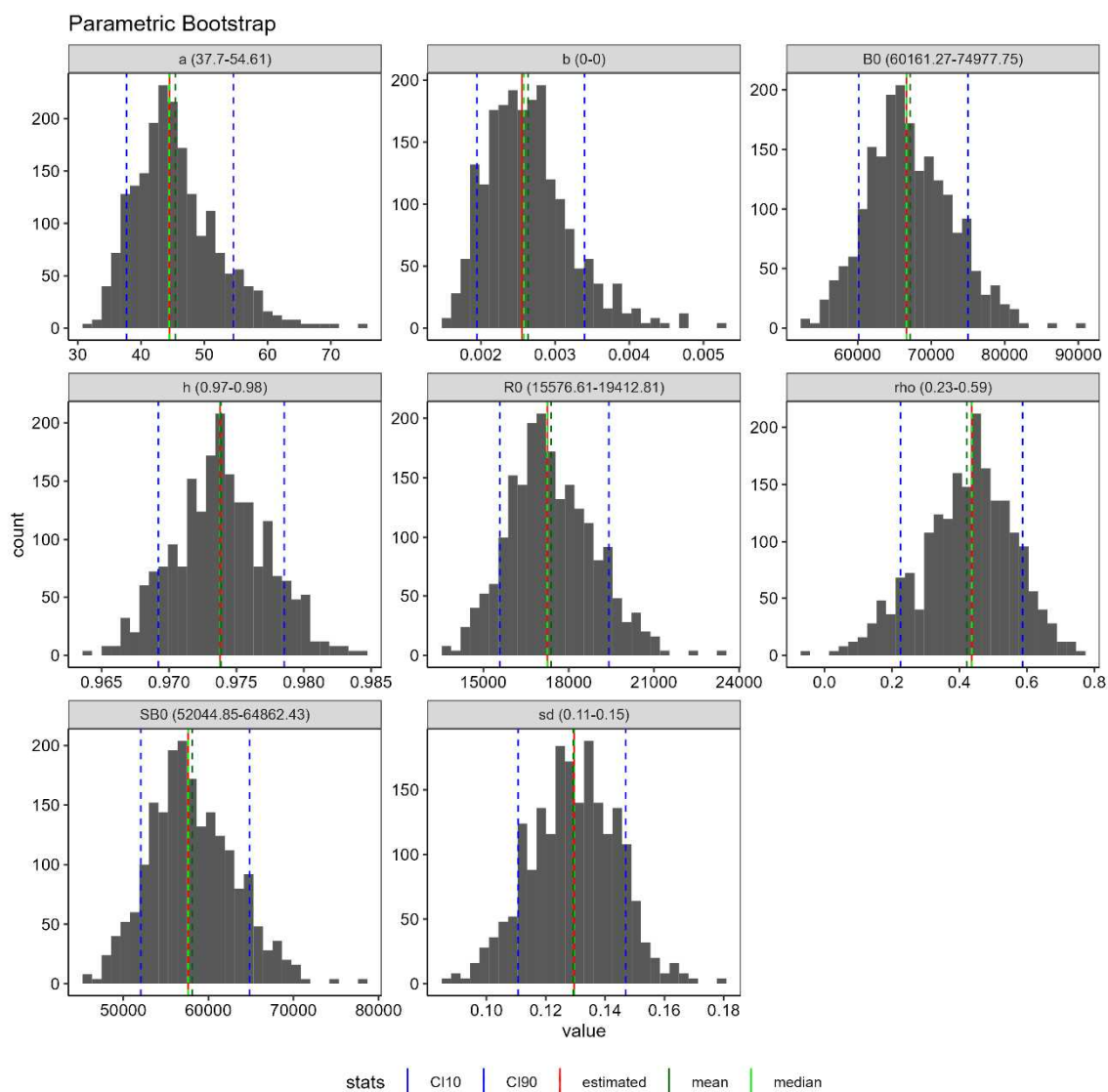
補足図 1-7a. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法・同時推定で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析

中央値（緑点線）、80%信頼区間（青線）、赤線はパラメータの点推定値である。



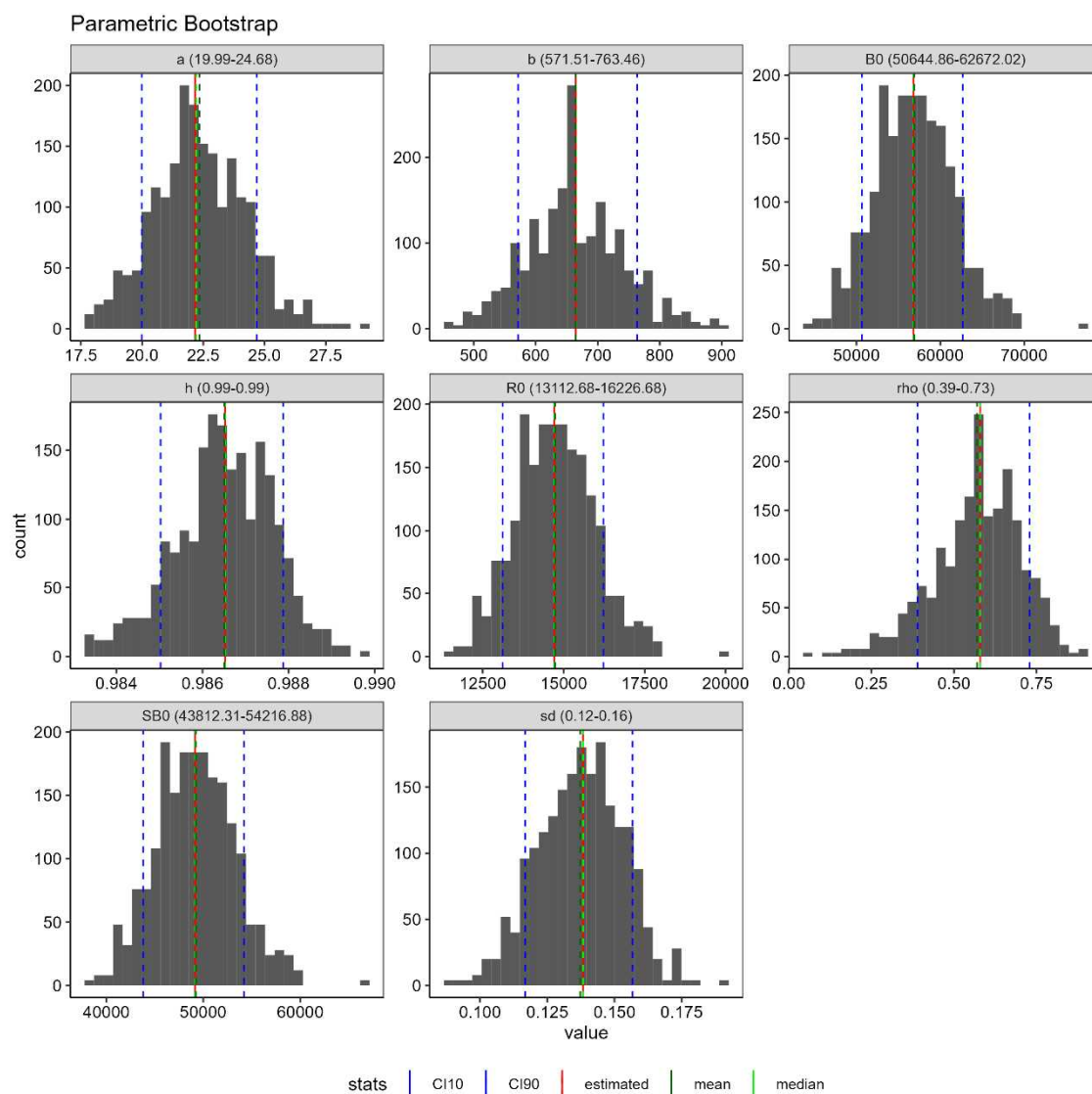
補足図 1-7b. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法・二段階推定で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析

中央値（緑点線）、80%信頼区間（青線）、赤線はパラメータの点推定値である。



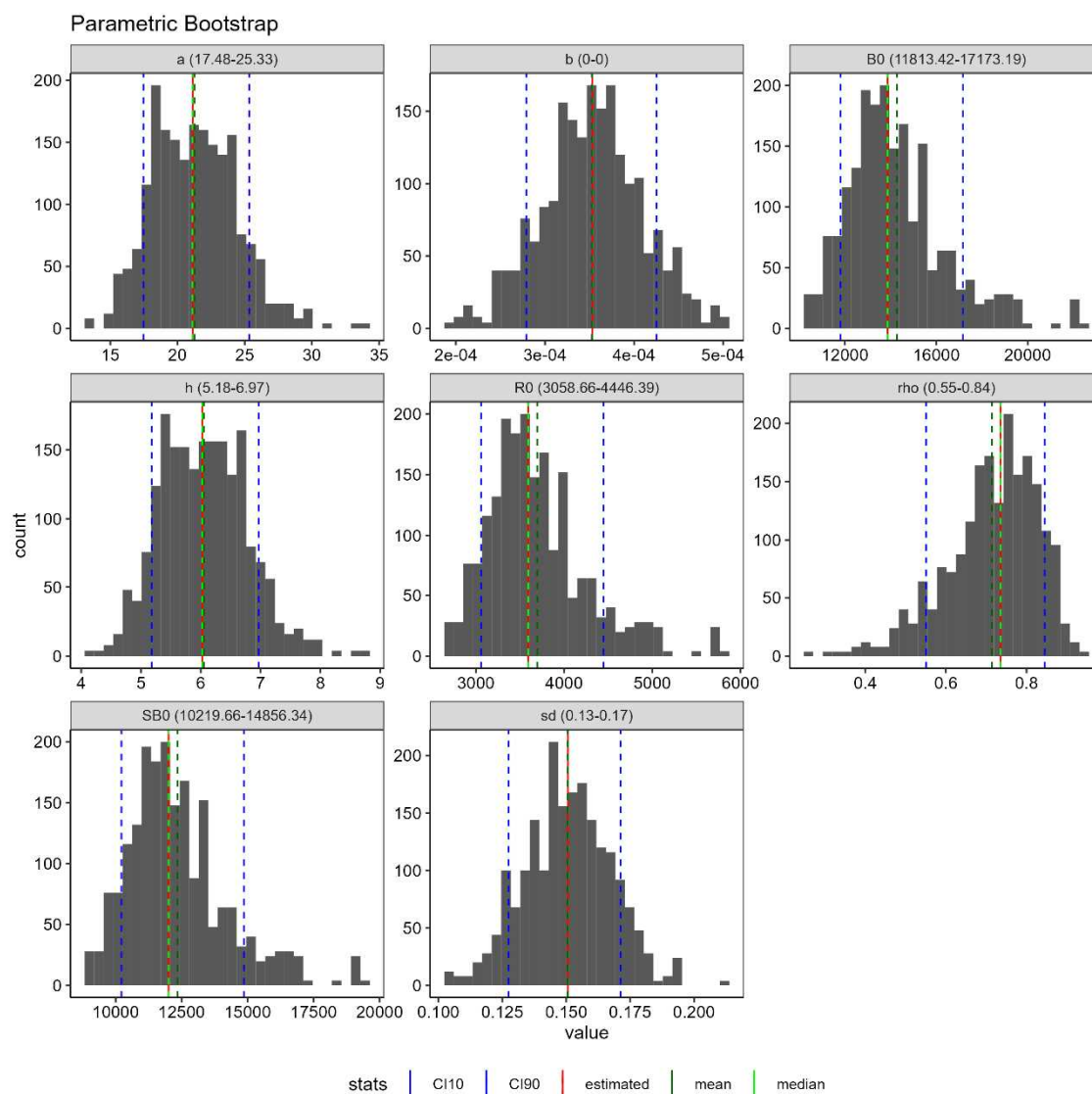
補足図 1-7c. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小絶対値法・二段階推定で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析

中央値（緑点線）、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 1-7d. ホッケースティック型再生産関係式を最小二乗法・同時推定で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析

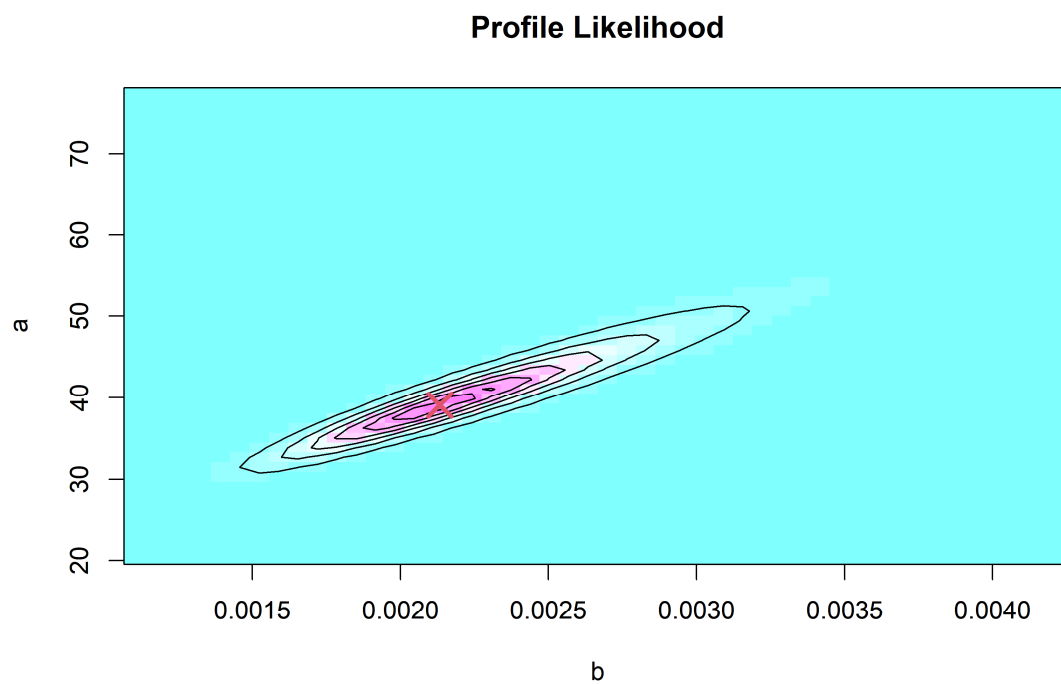
中央値（緑点線）、80%信頼区間（青線）、赤線はパラメータの点推定値である。



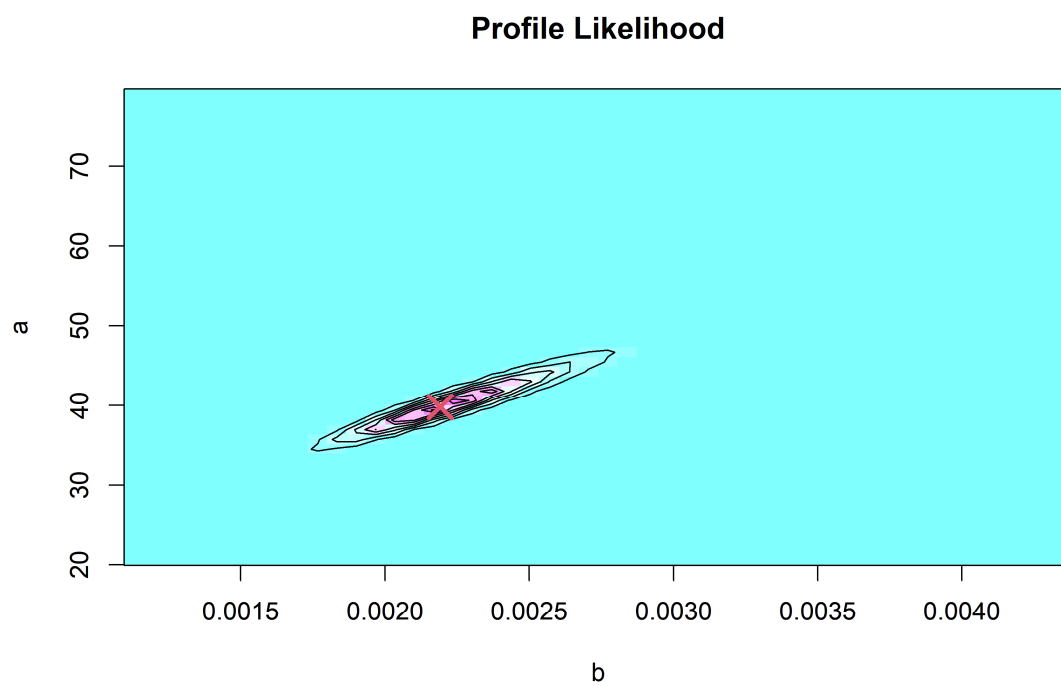
補足図 1-7e. リッカー型再生産関係式を最小二乗法・同時推定で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析

中央値（緑点線）、80%信頼区間（青線）、赤線はパラメータの点推定値である。

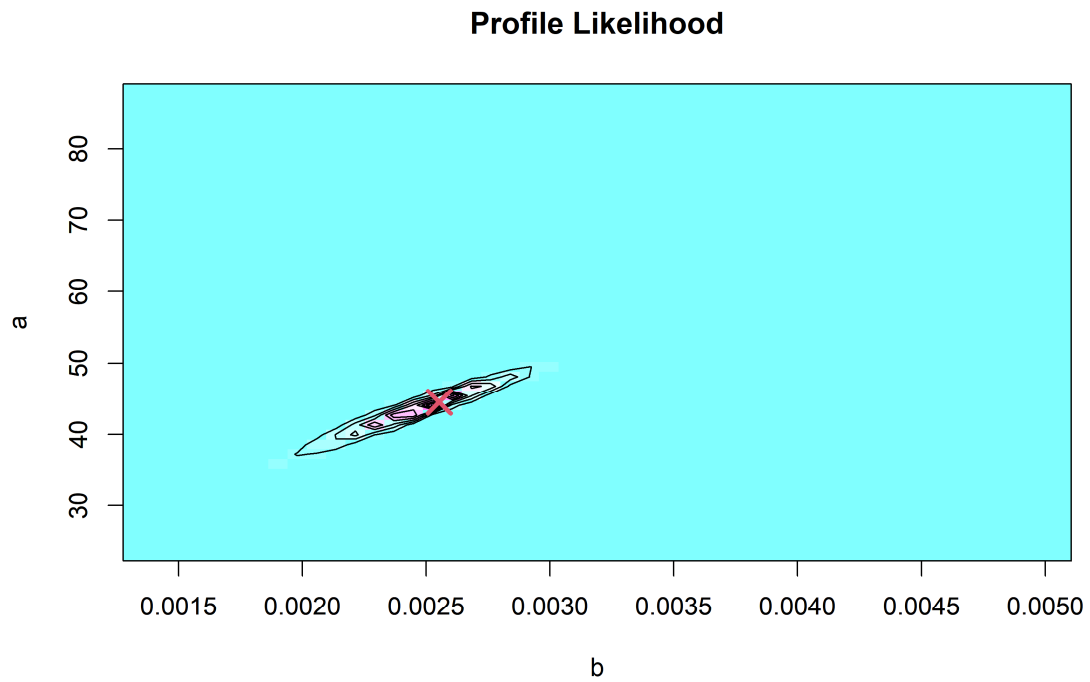
a) 同時推定



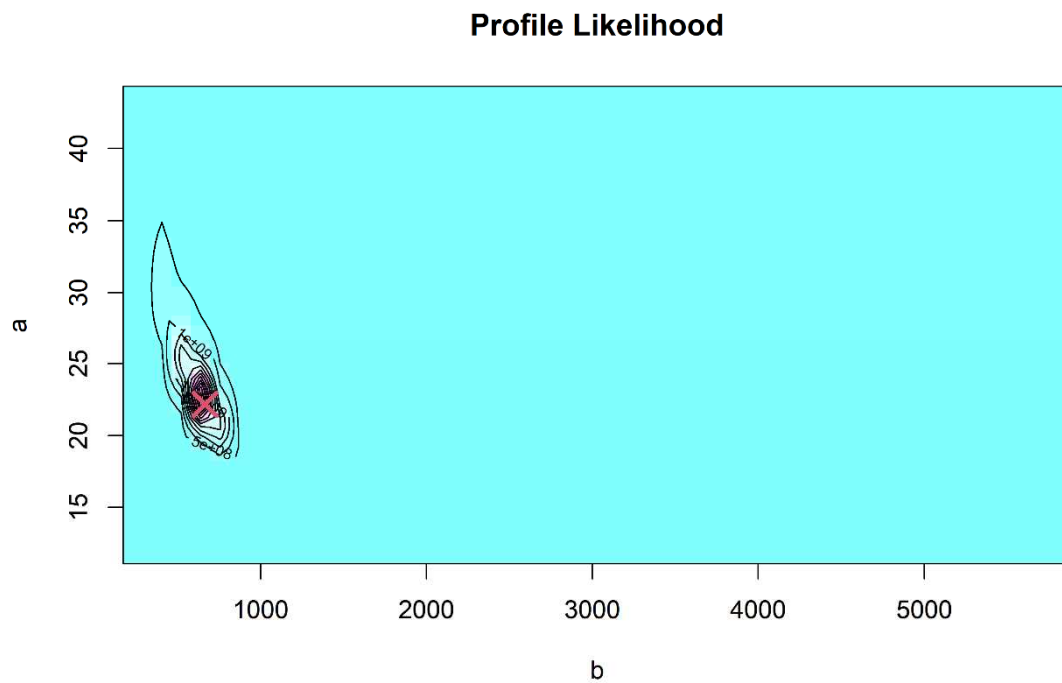
b) 二段階推定



補足図 1-8 (a,b). 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。

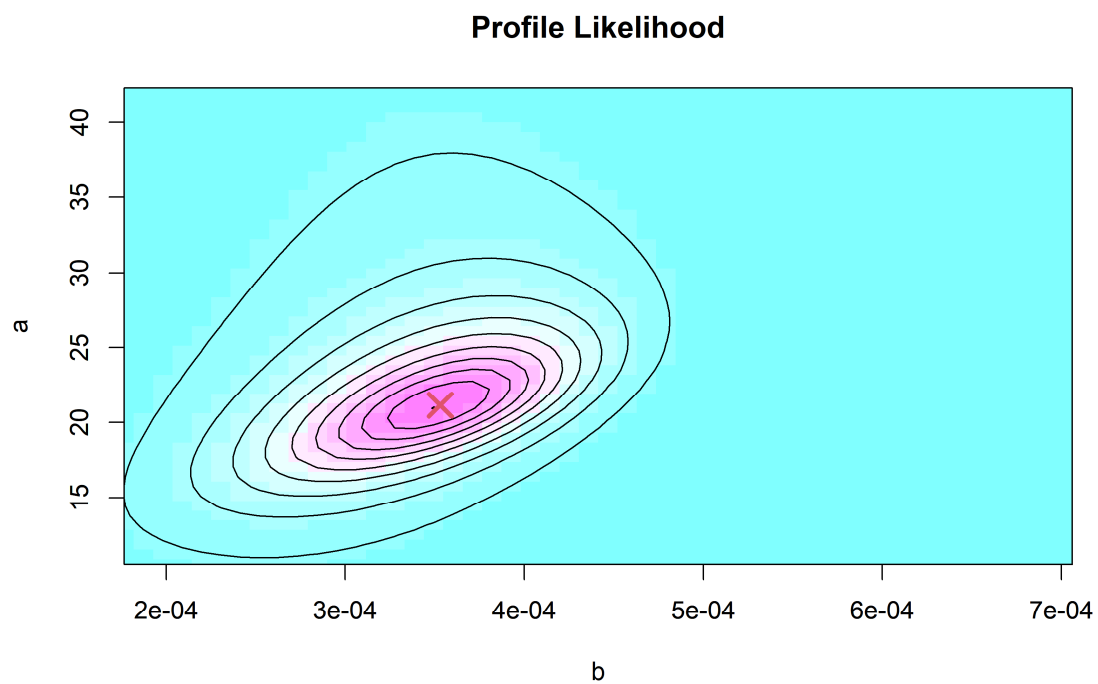


補足図 1-8c. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小絶対値法・二段階推定で当てはめた場合の推定パラメータのプロファイル尤度



補足図 1-8d. ホッケースティック型再生産関係式を最小二乗法・同時推定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 1-8e. リッカー型再生産関係式を最小二乗法・同時推定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 管理基準値算出の候補に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
ベバートン・ホルト	最小二乗法	有	同時	39.06	0.0021	0.13	0.47	0.97	44
ベバートン・ホルト	最小絶対値法	有	二段階	44.51	0.0026	0.13	0.49	0.97	44
ホッケースティック	最小二乗法	有	同時	22.16	664.7	0.14	0.67	0.99	44
ベバートン・ホルト	最小二乗法	有	二段階	39.80	0.0022	0.13	0.47	0.97	44
リッカー	最小二乗法	有	同時	21.13	0.0004	0.16	0.83	6.03	44

推奨する再生産関係式を太字とした。S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標で、対数残差の標準偏差（Standard Deviation、平均二乗誤差の平方根）である。加入残差の自己相関を考慮した場合は、自己相関パラメータ ρ についても示した。R0 は SB0 のときの平均加入尾数である。h（スティープネス）は再生産関係の密度補償効果の程度を示す指標であり、HS 型の場合は $1-SB_{hs}/SB_0$ （ SB_{hs} は HS の折れ点）となる値である。

補足資料 2 人工種苗由来の加入を考慮した場合の将来予測

将来予測において仮定する人工種苗由来の加入尾数を変化させた場合の予測結果をここで示す。仮定した人工種苗由来の加入尾数は、再生産関係による加入のみ（0 尾）、現状の種苗放流を想定した場合（2017～2021 年平均、21.9 万尾）である。ここで、将来予測に用いた人工種苗由来の加入尾数は、仮定した年限における人工種苗由来の加入尾数の平均値とした。シミュレーションにおいては、選択された再生産関係式（自己相関を考慮した BH 型）を用いて天然由来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。

それぞれの場合において予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率を補足表 2-1～2-7 に示す。将来予測シミュレーションの結果、人工種苗由来の加入尾数があれば将来の親魚量、漁獲量が多くなる。しかし、 $\beta=0.8$ で漁獲した場合に、管理開始 10 年後の目標管理基準値案の達成確率は現状の種苗放流を想定した場合（21.9 万尾）は 100%であり、再生産関係による加入のみ場合（100%）との差は見られなかったが、平均親魚量は前者が 19,600 トンに対して後者は 19,579 トンと、人工種苗由来加入によるわずかな増加がみられた。

以上の様に、各 β 値における管理目標の達成確率は種苗放流の状況によって増加するものの、現状の種苗放流の水準では資源に与える影響は小さい。

補足表 2-1. 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 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	100	100	100	100	100	99	96	91	83	74	54	50
0.9	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	96	95
0.8	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	0	100	100	100	94	46	14	4	1	1	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 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (F2022) 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 F2022 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 2-2. 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 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

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 (F2022) 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 F2022 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 2-3. 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 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

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 (F2022) 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 F2022 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 2-4. 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）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	9,620	11,463	13,426	15,953	17,830	18,501	18,575	17,965	17,272	16,651	16,149	15,763	15,461	14,771	14,687
0.9	9,620	11,463	13,426	16,230	18,468	19,513	19,913	19,535	18,993	18,461	18,013	17,657	17,372	16,701	16,610
0.8	9,620	11,463	13,426	16,511	19,128	20,580	21,348	21,244	20,891	20,479	20,107	19,801	19,546	18,935	18,837
0.7	9,620	11,463	13,426	16,797	19,813	21,705	22,887	23,105	22,984	22,729	22,463	22,230	22,025	21,534	21,431
0.6	9,620	11,463	13,426	17,088	20,522	22,893	24,537	25,132	25,294	25,239	25,116	24,986	24,854	24,570	24,472
0.5	9,620	11,463	13,426	17,384	21,257	24,145	26,307	27,339	27,844	28,040	28,104	28,115	28,089	28,139	28,058
0.4	9,620	11,463	13,426	17,686	22,018	25,466	28,205	29,743	30,658	31,166	31,472	31,672	31,793	32,358	32,320
0.3	9,620	11,463	13,426	17,992	22,807	26,860	30,240	32,361	33,765	34,659	35,272	35,720	36,039	37,375	37,426
0.2	9,620	11,463	13,426	18,304	23,624	28,330	32,424	35,213	37,196	38,560	39,561	40,331	40,915	43,381	43,602
0.1	9,620	11,463	13,426	18,621	24,470	29,881	34,766	38,320	40,986	42,922	44,406	45,588	46,521	50,620	51,150
0	9,620	11,463	13,426	18,944	25,347	31,517	37,278	41,706	45,172	47,798	49,881	51,587	52,976	59,409	60,483
現状の漁獲圧	9,620	11,463	13,426	15,285	16,335	16,204	15,622	14,588	13,650	12,905	12,347	11,939	11,635	10,990	10,925

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（F2022）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 F2022 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 2-5. 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）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	3,822	4,201	3,519	3,696	3,812	3,842	3,821	3,715	3,605	3,507	3,431	3,373	3,330	3,225	3,214
0.9	3,822	4,201	3,196	3,413	3,573	3,650	3,674	3,609	3,530	3,453	3,391	3,343	3,306	3,214	3,203
0.8	3,822	4,201	2,866	3,113	3,308	3,426	3,491	3,465	3,417	3,363	3,316	3,279	3,250	3,176	3,165
0.7	3,822	4,201	2,531	2,795	3,015	3,167	3,267	3,278	3,260	3,229	3,199	3,174	3,154	3,102	3,091
0.6	3,822	4,201	2,189	2,458	2,692	2,868	2,996	3,040	3,050	3,042	3,029	3,017	3,006	2,980	2,972
0.5	3,822	4,201	1,840	2,102	2,338	2,525	2,672	2,743	2,778	2,790	2,794	2,795	2,794	2,798	2,792
0.4	3,822	4,201	1,486	1,726	1,949	2,135	2,289	2,377	2,431	2,460	2,478	2,491	2,499	2,535	2,533
0.3	3,822	4,201	1,124	1,328	1,523	1,693	1,839	1,933	1,997	2,037	2,065	2,086	2,102	2,165	2,168
0.2	3,822	4,201	757	909	1,058	1,193	1,314	1,398	1,459	1,501	1,532	1,557	1,576	1,654	1,661
0.1	3,822	4,201	382	466	552	631	704	759	801	831	854	873	888	954	962
0	3,822	4,201	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
現状の漁獲圧	3,822	4,201	4,300	4,332	4,305	4,197	4,055	3,850	3,671	3,528	3,423	3,348	3,294	3,172	3,162

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（F2022）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 F2022 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 2-6. 管理方策案のパフォーマンス評価の概要（現状の放流を想定した場合）

β	管理目標	予測平均親魚量		予測平均漁獲量			リスク(10 年間に 1 度でも起きる確率)			
	(%)	(トン)		(トン)						
	10 年後に目標 管理基準値案 を上回る確率	5 年後 2028 年	10 年後 2033 年	1 年目 2023 年	6 年目 2028 年	11 年目 2033 年	親魚量が現 在水準を下 回る	親魚量が限 界管理基準 値案を下回 る	親魚量が禁 漁水準を下 回る	漁獲量が半 減する
0.0	100	41706	52976	0	0	0	0%	0%	0%	0%
0.1	100	38320	46521	382	759	888	0%	0%	0%	0%
0.2	100	35213	40915	757	1398	1576	0%	0%	0%	0%
0.3	100	32361	36039	1124	1933	2102	0%	0%	0%	0%
0.4	100	29743	31793	1486	2377	2499	0%	0%	0%	0%
0.5	100	27339	28089	1840	2743	2794	0%	0%	0%	0%
0.6	100	25132	24854	2189	3040	3006	0%	0%	0%	0%
0.7	100	23105	22025	2531	3278	3154	0%	0%	0%	0%
0.8	100	21244	19546	2866	3465	3250	0%	0%	0%	0%
0.9	99	19535	17372	3196	3609	3306	0%	0%	0%	0%
1.0	74	17965	15461	3519	3715	3330	0%	0%	0%	0%

補足表 2-7. 人工種苗由来の加入尾数を変化させ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

今後の加入 の想定	β	10 年後の目標 達成確率 (%)	予測平均親魚量 (百トン)		予測平均漁獲量 (百トン)		
		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	73	180	154	35	37	33
	0.9	99	195	174	32	36	33
	0.8	100	212	195	29	35	32
	0.7	100	231	220	25	33	32
	0.6	100	251	248	22	30	30
	0.5	100	273	281	18	27	28
	現状の 漁獲圧	0	146	116	43	38	33
種苗放流を 考慮 (21.9 万 尾)	1	74	180	155	35	37	33
	0.9	99	195	174	32	36	33
	0.8	100	212	195	29	35	33
	0.7	100	231	220	25	33	32
	0.6	100	251	249	22	30	30
	0.5	100	273	281	18	27	28
	現状の 漁獲圧	0	146	116	43	39	33

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および現状の漁獲圧 (F2022) で漁獲した場合の結果をまとめた。

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。

種苗放流を考慮: 人工種苗由来加入尾数の平均値 (2017～2021 年)

補足資料 3 データの使用期間の差異による MSY 管理基準値案の推定結果の変化

本系群で使用したデータは、1977～2020 年県別漁業種類別魚種別漁獲量（確定値）と 2021 年県別漁業種類別魚種別漁獲量（概数値）から関係県の漁獲量を集計した系群漁獲量が元となっているが、その 2021 年値は過去に類例がないほど前年から増加した値となった。1977～2021 年データセット使用時の VPA のレトロスペクティブ解析結果は、1977～2020 年データセット使用時に比べて、ばらつきが大きくなった（令和 4（2022）年度 マダイ瀬戸内海中・西部系群の資源評価（水産庁・水産機構）追加補足資料（2020 年までの CAA を用いた資源評価結果の概要））。これらのことから、1977～2020 年と 1977～2021 年のデータセットを使用した場合の MSY 管理基準値案の推定結果の差異を検討した。

過去最大漁獲量となった 2021 年のデータを使用した場合は、2020 年までのデータを使用した場合と比べて、SBmsy の推定値が 39%増、MSY のそれが 36%増と大幅に増加した（補足表 3-1）。卵から加入までの密度独立な生残率を表すパラメータ a は、1977～2021 年のデータセットの方が小さく、初期の増加傾向がやや異なった（補足図 3-1）。一方で、%SPR、 F_{msy} は、どちらのデータセットにおいても同程度の値に推定された。

どちらのデータセットを使用した場合においても漁獲圧については同様な推移となっており、両者の差異は、SBmsy の推定値の大きさのみである（補足図 3-2）。また、管理開始年（2023 年）直後の親魚量や漁獲量の推移には、大きな差異がみられなかった（補足図 3-3）。

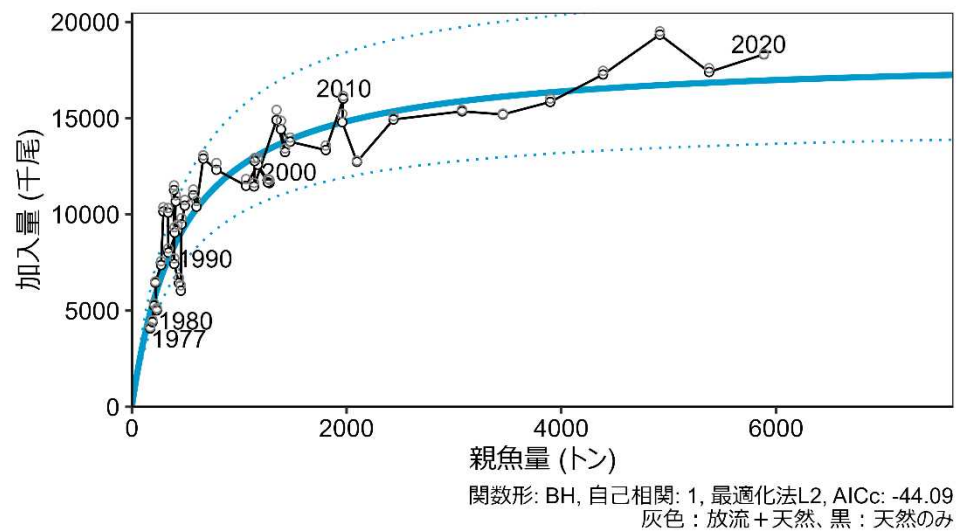
データ使用期間の違い、つまりは 2021 年値をデータセットに加えるか否かにより、SBmsy や MSY に大きな違いが生じることが示された。本系群の近年の漁獲量や親魚量の推移を考慮すると、1977～2021 年データセットを使用した場合の SBmsy や MSY の値は過大であると考えられる。

したがって、再生産関係におけるパラメータ推定には、1977～2020 年のデータを用いることが妥当と考えられる。

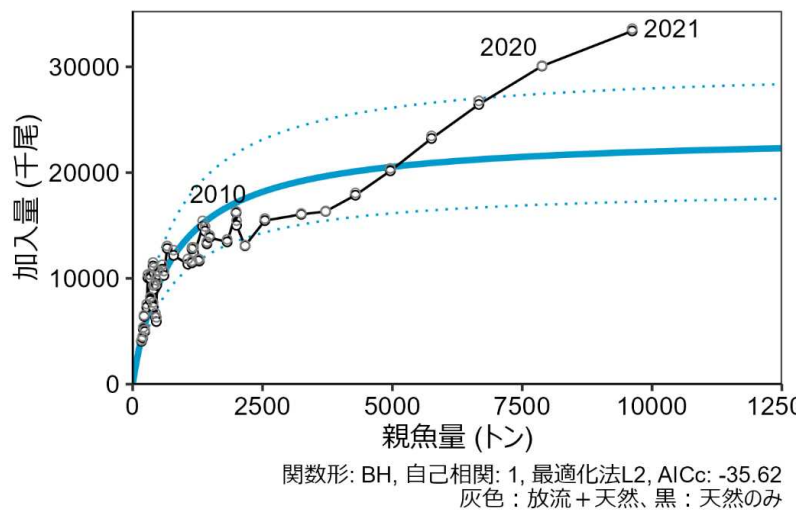
補足表 3-1. データの利用期間と **MSY** 管理基準値案の推定結果

データ使用年	BH 型の推定パラメータ		SBmsy (トン)	MSY (トン)	%SPR	Fmsy
	a	b				
1977～2020 年	39.06	0.002	14,645	3,207	18.6	0.25
1977～2021 年	31.47	0.001	19,153	4,183	18.6	0.25

a) 1977～2020 年のデータを使用した場合



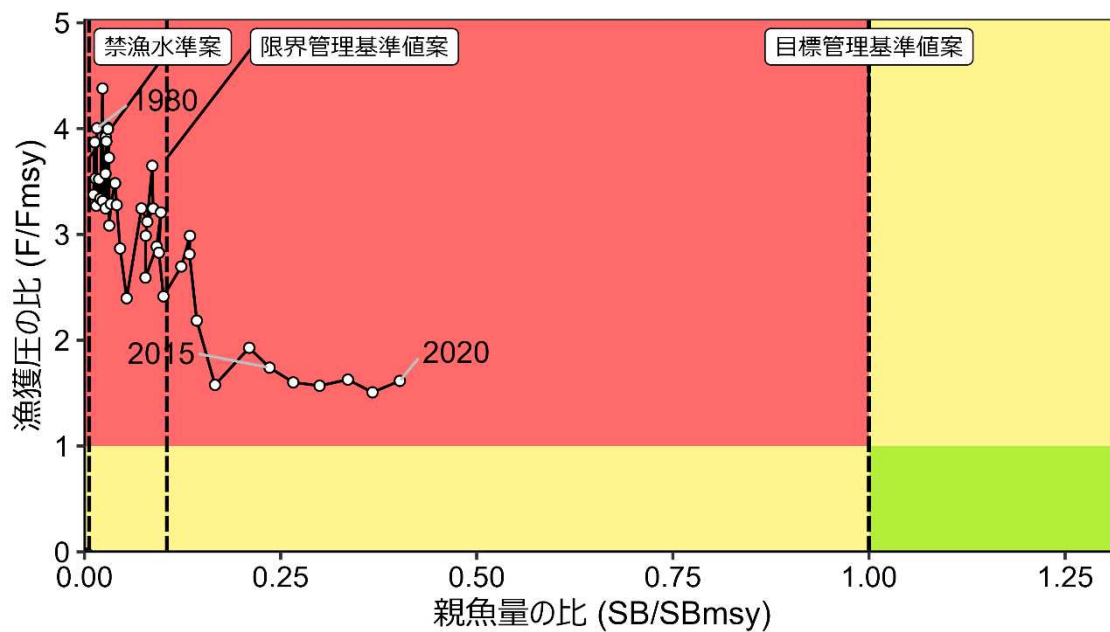
b) 1977～2021 年のデータを使用した場合



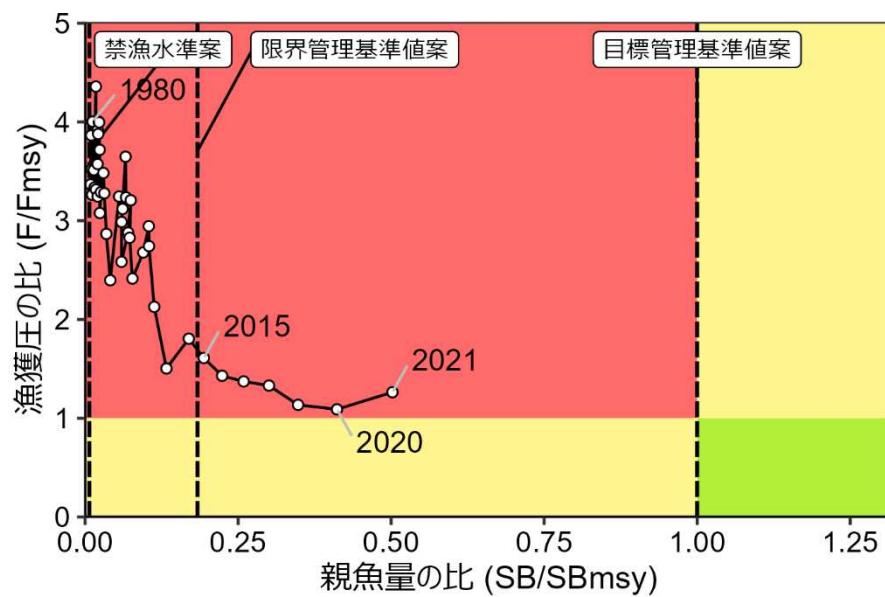
補足図 3-1. 異なるデータにおける再生産関係の比較

a: 1977～2020 年データ、b: 1977～2021 年データ、どちらも BH 型再生産関係、最小二乗法 (L2)、自己相関あり (同時推定) による結果。白丸は a)2020 年まで、および b)2021 年までの年齢別漁獲尾数を用いた資源量推定による親魚量と加入量を示す。

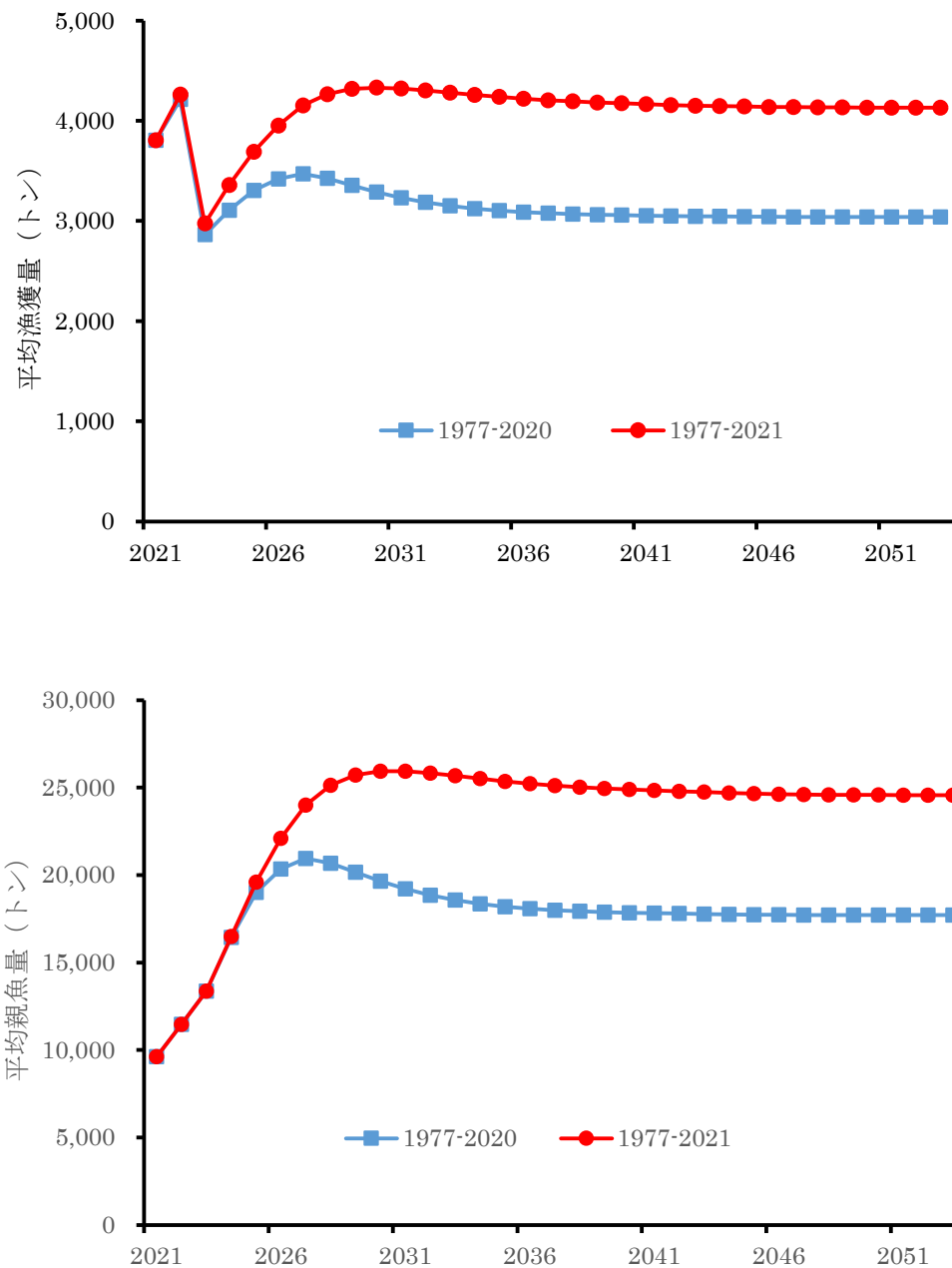
a) 1977～2020 年のデータを使用した場合



b) 1977～2021 年のデータを使用した場合



補足図 3-2. 再生産関係の推定に用いたデータのの違いによる神戸プロットの比較
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} 、 $SB0.6msy$ 、 $SB0.1msy$ を用いた。



補足図 3-3. 再生産関係の推定に用いたデータの違いによる親魚量および漁獲量の将来予測値の比較

β を標準値である 0.8 とした時の将来予測における平均漁獲量（上）と平均親魚量（下）の経年変化を示した。計算の試行回数は 5,000 回とした。2022 年は現状の漁獲圧（F2022）で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。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は、それぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた。青色は 1977～2020 年のデータを用いて再生産関係（BH 型・最小二乗法・自己相関同時推定）を推定して漁獲管理基準値案を定めた場合の結果であり、赤色は 1977～2021 年のデータを用いて同様に推定した場合の結果である。