

令和 4（2022）年度カタクチイワシ瀬戸内海系群の 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 年度の本系群の資源評価データを用いて、再生産関係および管理基準値案等を検討した。本系群の再生産関係式の候補として、資源評価により推定された 1981～2020 年の親魚量と加入量の情報に対し加入の残差の自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係の適用を提案する。HS 型再生産関係のパラメータ推定方法には最小二乗法を使用する。目標管理基準値として、再生産関係に基づき算出される SB_{msy} (43 千トン) を、限界管理基準値として、 $SB_{0.6msy}$ (17 千トン) を提案する。禁漁水準としては、 $SB_{0.1msy}$ (2 千トン) を提案する。目標管理基準値案 (SB_{msy}) を達成する漁獲圧 (F_{msy}) は、現状 (2016～2020 年の平均の漁獲係数) の 1.48 倍である。

親魚量 (千トン)	現状の親魚量* ¹ に対する比	初期親魚量 に対する比	期待できる 平均漁獲量 (千トン)	現状の漁獲圧 に対する比* ²	説 明
目標管理基準値案					
43	0.48	0.44	39	1.48	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					
17	0.19	0.17	23	2.40	MSY の 60%の漁獲 が得られる親魚量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
2	0.03	0.02	4	3.04	MSY の 10%の漁獲 が得られる親魚量 (SB0.1msy)
2021 年					
89	1.00	0.91	34* ³	—	2021 年の値

*¹ 現状の親魚量とは 2021 年の親魚量である。

*² 現状の漁獲圧とは 2016～2020 年の平均漁獲圧である。現状の漁獲圧に対する比とは、各管理基準値案および水準案を達成する漁獲圧が現状の漁獲圧に対して何倍に相当するかを示す。

*³ 2021 年の漁獲量（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（2634f71）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-ABCWG02-02）」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 年度カタクチイワシ瀬戸内海系群の資源評価(水産庁・水産機構)

1-2) 再生産関係の検討

本系群の管理基準値案の算出および将来予測計算に使用する再生産関係（補足資料 1）として、ホッケー・スティック（HS）型再生産関係、リッカー（RI）型再生産関係、およびベバートン・ホルト（BH）型再生産関係を仮定した場合について検討した。最適化方法として、最小二乗法および最小絶対値法を候補とした。また、加入量の残差への自己相関の考慮の有無でモデルを比較した。自己相関パラメータを推定する際は、再生産関係式のパラメータと同時に推定する手法（同時推定法）と再生産関係式のパラメータを推定してから推定する手法（二段階法）を用いた。再生産関係の検討は、資源評価で推定された 1981～2020 年の加入量および親魚量に基づき、直近の 2021 年の推定結果は、加入量の不確実性が高いと考えられることから使用しなかった。再生産関係の検討候補を表 1 に示す。

補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると最小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小さくなったことから、最適化方法については最小二乗法とした。そのうち、同時推定法で推定した場合は二段階法で推定した場合と比較して、親魚量が少ない場合に高い加入量が予測された。親魚量が少ない時に高い加入量を予測値として与えることは、将来予測に基づき適切な資源利用を図る上ではリスクとなる。そのため、二段階法で推定した再生産関係式の方がより適当であると判断した。最小二乗法、かつ二段階法により当てはめた各再生産モデルの自己相関プロットにおいて加入残差に自己相関が認められなかったため、本資源においては再生産関係のモデルに自己相関を積極的に考慮する必要はないと判断し、自己相関を考慮しないモデルを採用することとした。

以上により選択された HS 型、RI 型および BH 型の各再生産関係式では AICc はほぼ同じ値となった（55.0～56.1）。その中で、基本的には HS 型の利用が推奨されていることや、HS 型では親魚量が少ない場合（概ね 2 万 5 千トンよりも少ない場合）に RI 型と BH 型よりも予防的な加入量となっていることから、HS 型の再生産関係式を用いることとした（表 1、補足資料 1）。なお、本系群の分布域である瀬戸内海は閉鎖的な海域であるが、本系群に關する強い密度効果（RI 型）を支持するような報告は存在しない。

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（令和4年度）（FRA-SA2022-ABCWG02-05）」のa（予測力）、e（観察された最小親魚量以下で加入尾数が保守的でない外挿値になるような場合の回避）、h（自己相関）、および「2. 候補となる再生産関係式と注意点」のbの基準に従い、最小二乗法で最適化した自己相関を考慮しないHS型再生産関係式を候補として提案する（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年度の資源評価における将来予測計算に用いた各種設定（自然死亡係数、成熟率、平均体重、選択率、現状の漁獲圧）を使用して実施した。本系群では、平均世代時間（1.1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Fmsy、そのFmsyで漁獲した場合の平衡状態での平均親魚量をSBmsyとした。

2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

目標管理基準値（SBtarget）としてMSY水準における親魚量（SBmsy：43千トン）、限界管理基準値（SBlimit）としてMSYの60%の漁獲が得られる親魚量（SB0.6msy：17千トン）、禁漁水準（SBban）としてMSYの10%の漁獲が得られる親魚量（SB0.1msy：2千トン）を用いることを提案する。これらの基準値案について、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量（SB0）に対する比、対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量、対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比などを表3に示す。目標管理基準値として提案するSBmsyはSB0の44%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39千トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧（MSYを実現する漁獲圧：Fmsy）の、現状の漁獲圧に対する比（Fmsy/Fcurrent）は1.48で、その時の漁獲割合（Umsy）は17%である。限界管理基準値として提案するSB0.6msyはSB0の17%、禁漁水準として提案するSB0.1msyはSB0の2%である。

様々にF値を変えた場合の平衡状態における親魚量、およびこれに対する年齢別漁獲量の平均値を図3に示す。親魚量がSBlimit以下では0歳の割合が高く、SBmsy達成時に近づくにつれ、1歳魚の割合が高くなる。

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。本系群における漁獲係数（F値）は、1980年代から1990年代にかけて多くの年でMSYを実現する水準を上回っていたが、2008年以降はFmsyを実現する水準を下回っていたと判断される。現状の親魚量（2021年の親魚量：89千トン）は目標管理基準値案SBmsy

を上回っている。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 0.48、0.19 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。F 値の上限は F_{msy} には調整係数 β を乗じたものである。限界管理基準値案および禁漁水準案に標準値を用いた場合（すなわち、SBlimit は $SB0.6msy$ 、SBban は $SB0.1msy$ の場合）の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を図 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、加入量、親魚量、資源量、漁獲量、漁獲割合、および努力量の増減率の推移を図 6 に示す。なお、今回の将来予測では、漁獲管理規則案による漁獲制御は 2023 年から開始し、2022 年の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧（ $F_{current}$ 、2016～2020 年の平均漁獲圧）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 βF_{msy} での漁獲が行われる。 $\beta=0.8$ の場合、 βF_{msy} での漁獲圧は、現在の漁獲努力量の 1.5 倍程度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 水準を維持すると予測される。

(2) 調整係数 β を変えた場合

漁獲管理規則案を用いた将来予測について、調整係数 β を 0.0～1.0 の間で変えた場合の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、禁漁水準案を上回る確率、親魚量平均値の推移、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（ $F_{current}$ ）で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。本資源の親魚量は 2022 年時点で目標管理基準値案を超えており、漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2033 年にも、 β が 0.8 であれば 54%の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された（表 4）。 β が 0.8 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が、 β が 0.9 の場合には親魚量が目標管理基準値案を上回る確率が 50%を下回った。なお、 β が 1.0 の場合であっても限界管理基準値案を上回る確率が 95%以上と高かった（表 5）。2024 年以降の親魚量は β が小さい程多くなり（表 7）、 β が 0.6 以上であれば 2023 年の漁獲量は現状（2021 年：34 千トン）より多くなった（表 8）。

3. まとめ

本系群では、資源評価で推定された 1981～2020 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ない 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 SB_{msy} (43 千トン) とすることを提案する。限界管理基準値案、禁漁水準案には、標準値である SB_{0.6msy} (17 千トン)、SB_{0.1msy} (2 千トン) をそれぞれ提案する。

現在の本系群の親魚量は目標管理基準値案以上にあると考えられる。MSY を実現する漁獲割合は 17%、漁獲圧は $F_{current}$ の 1.48 倍である (表 3)。 β が 0.8 以下であれば、今後 50%以上の確率で MSY 水準に維持されると予測される (表 4)。

4. 今後の検討事項

本報告で用いた「令和 4 年度カタクチイワシ瀬戸内海系群の資源評価」の結果は、漁業・養殖業生産統計における「かたくちいわし」銘柄の漁獲量からシラス (1・2 月齢魚) 分を除いた漁獲量に基づくものであることに留意が必要である。

5. 引用文献

- 国立研究開発法人 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 (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
- 資源評価高度化作業部会 (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-ABCWG02-02.
- 資源評価高度化作業部会 (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.

(執筆者：河野悌昌、高橋正知、安田十也、渡邊千夏子、
渡井幹雄、井元順一、木下順二)

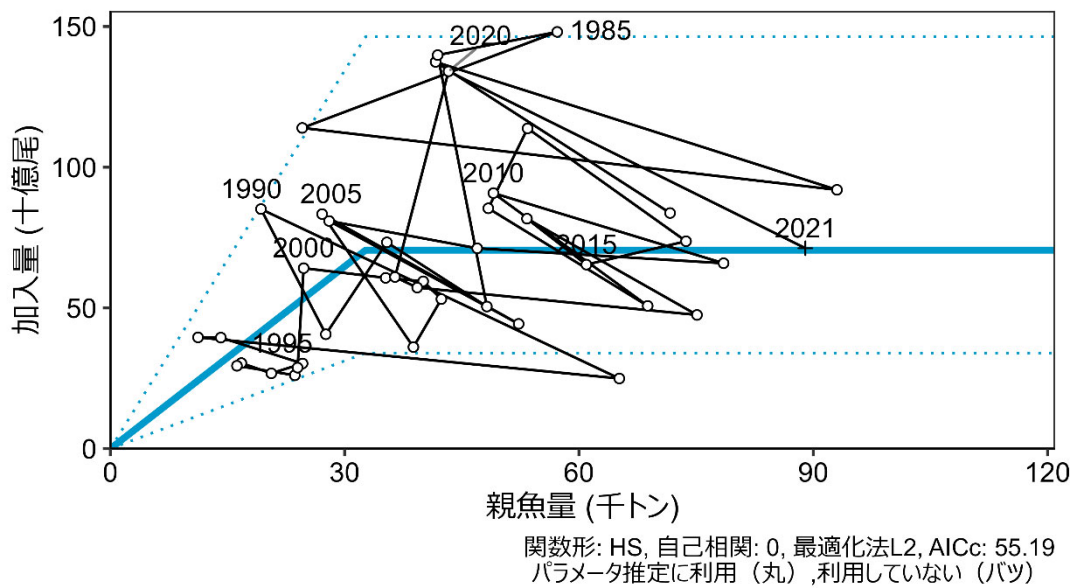


図 1. 再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮しないホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を用い、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。丸印は分析に使用した 1981～2020 年の親魚量と加入量を示す。図中の数字は加入群の年級 (生まれ年) を示す。パラメータ推定の際は加入尾数の推定値に不確実性の高い 2021 年のデータを除いた。図中の再生産関係式 (青実線) の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90% が含まれると推定される範囲である。

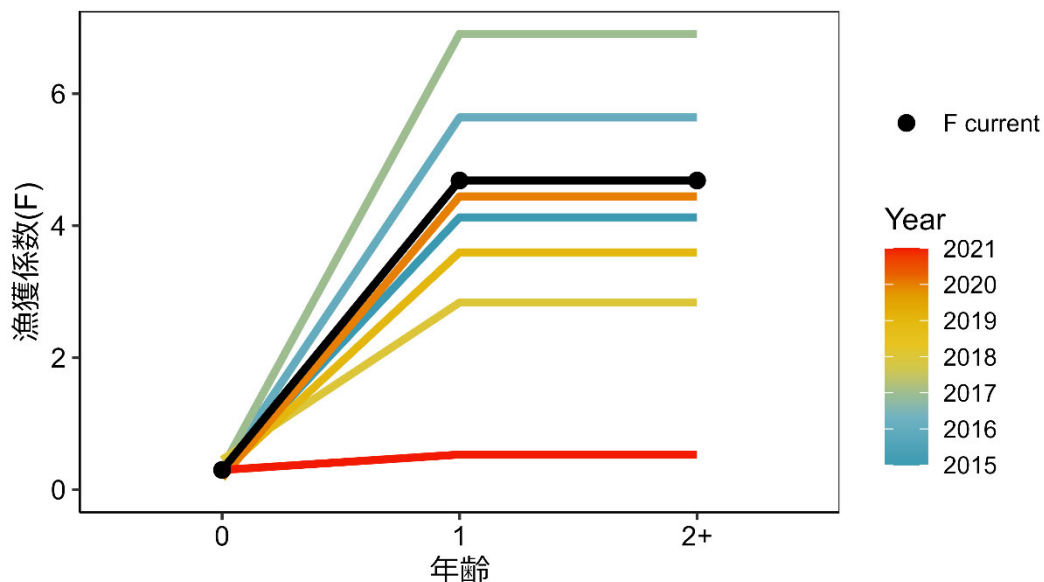


図 2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

2015 年以降の各年の年齢別 F 値を示す。黒線は現状の漁獲圧 (F_{current}) であり、2016～2020 年の F 値の平均である。

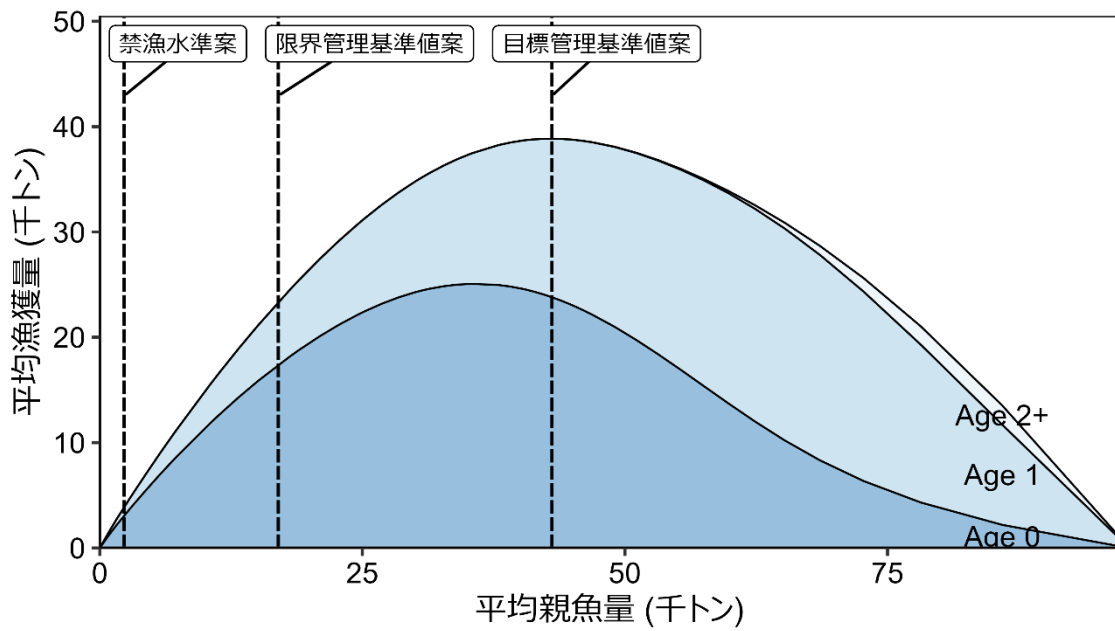


図3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値と、それぞれの管理基準値案の位置関係を示す。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 98 千トンである。

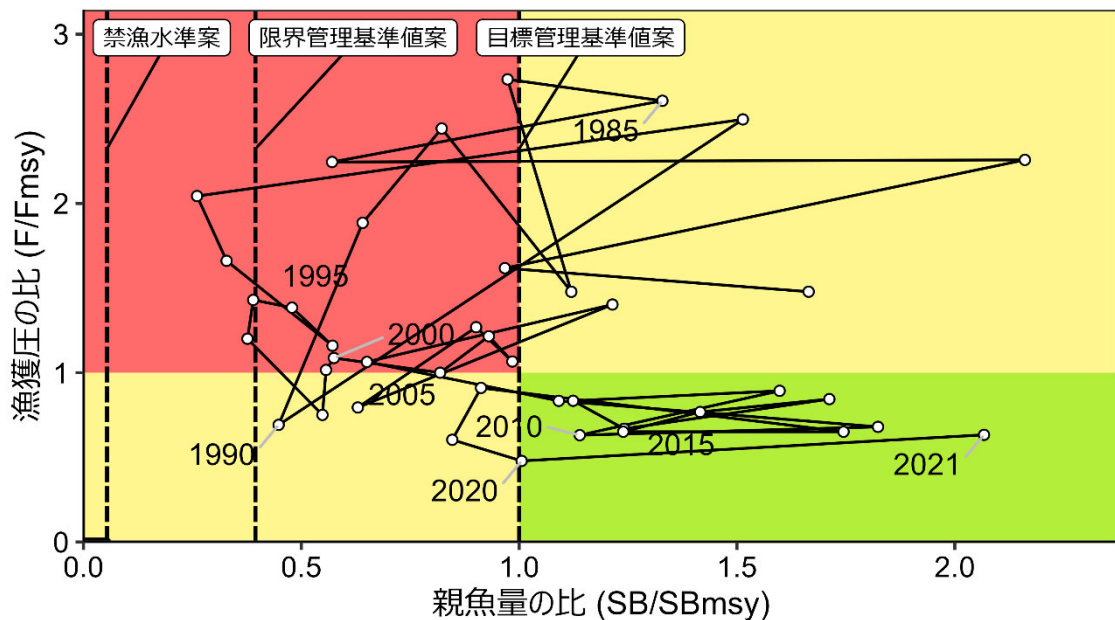
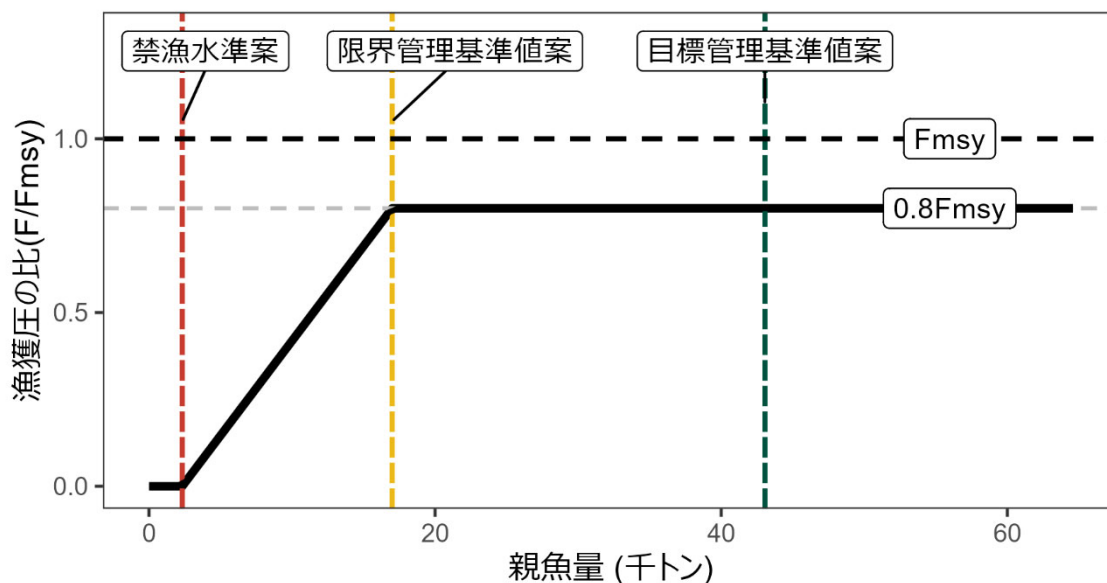


図4. 神戸プロット

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

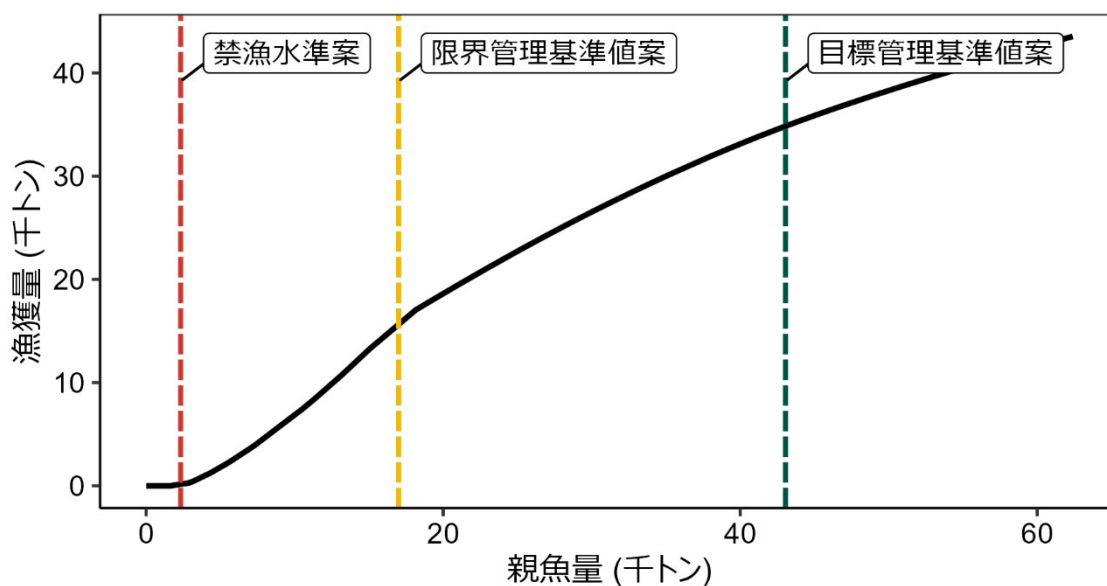


図 5. 漁獲管理規則案

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

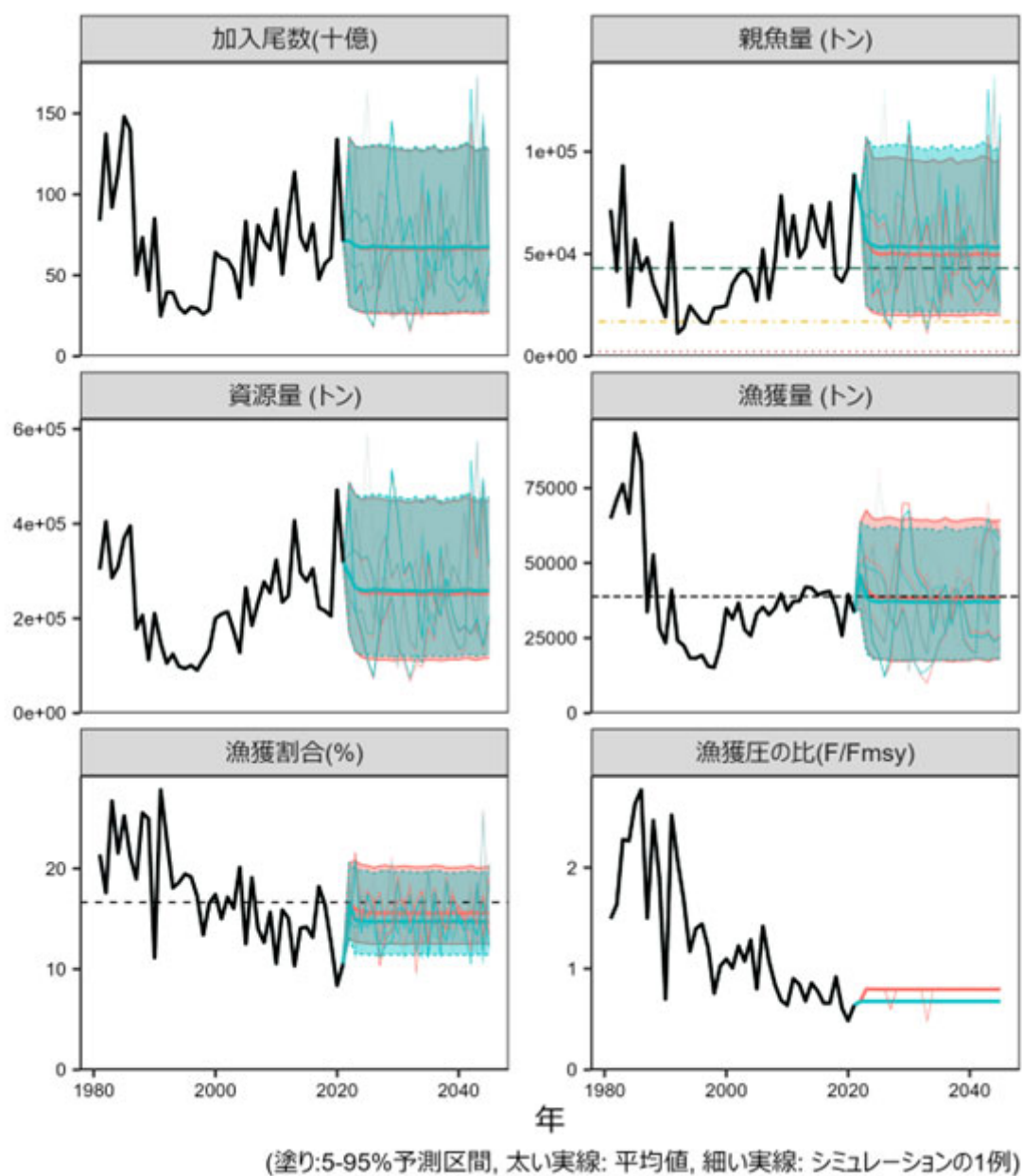


図 6. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

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 5 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、赤破線は禁漁水準案を示す。漁獲量の図の破線は B_{msy} 、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 β には 0.8 を用いた。

表 1. 再生産関係式の検討候補

a) 再生産関係式の検討候補

再生産関係式	最適化法	自己相関	AICc	$\Delta AICc$	順位
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	無	55.2	3.60	6
リッカー(RI)	最小二乗法	無	55.0	3.45	4
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	無	56.1	4.49	8
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	有(同時)	53.2	1.61	2
リッカー(RI)	最小二乗法	有(同時)	51.6	0.00	1
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	有(同時)	53.2	1.61	2
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	有(二段階)	55.2	3.60	6
リッカー(RI)	最小二乗法	有(二段階)	55.0	3.45	4
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	有(二段階)	56.1	4.49	8
ホッケー・スティック(HS)	最小絶対値法	有(二段階)	61.7	10.1	14
リッカー(RI)	最小絶対値法	有(二段階)	61.2	9.57	12
ベバートン・ホルト(BH)	最小絶対値法	有(二段階)	60.8	9.18	10
ホッケー・スティック(HS)	最小絶対値法	無	61.7	10.1	14
リッカー(RI)	最小絶対値法	無	61.2	9.57	12
ベバートン・ホルト(BH)	最小絶対値法	無	60.8	9.18	10

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と二段階法を用いた。同時推定法の場合、残差の正規性を仮定したほうが妥当と考え、最適化法には最小二乗法を用いた。

b) 選択した再生産関係のパラメータ推定値

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
HS 型	最小二乗法	無	2.158	32,678	0.444	-

a は原点から折れ点までの傾き（十億尾/トン）、b は折れ点での親魚量（トン）、S.D. は加入のばらつきの大きさをあらわす指標（対数残差の標準偏差）、 ρ は自己相関係数である。

表 2. MSY 管理基準値等の算出および将来予測計算に用いた各種設定

年齢	自然死亡 係数	成熟率	平均体重 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (Fcurrent)
0	2.1	0.0	3.0	0.06	0.30
1	2.1	1.0	8.7	1.00	4.68
2+	2.0	1.0	18.8	1.00	4.68

Fcurrent は 2016～2020 年の F 値の年齢別平均値である。

表 3. 各種管理基準値案における平衡状態のときの平均親魚量、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する比、平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、現状の漁獲圧 (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 (千トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (千トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBmsy	43	0.44	39	49.2	0.17	1.48
限界管理基準値案	SB0.6msy	17	0.17	23	37.4	0.20	2.40
禁漁水準案	SB0.1msy	2	0.02	4	30.9	0.23	3.04
MSY を実現する 漁獲圧		Fmsy (0 歳, 1 歳, 2+歳)=(0.44, 6.93, 6.93)					

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	100	100	65	49	45	43	44	43	43	44	42	44	43	43	43
0.9	100	100	65	53	49	48	48	49	49	49	48	49	48	49	48
0.8	100	100	65	57	54	53	54	54	54	54	53	54	54	54	54
0.7	100	100	65	61	59	58	59	59	59	59	58	59	59	59	58
0.6	100	100	65	65	63	63	64	64	64	64	63	64	64	63	63
0.5	100	100	65	69	68	68	69	69	69	69	68	69	69	68	68
0.4	100	100	65	73	73	73	73	74	74	74	73	74	74	74	73
0.3	100	100	65	78	78	79	79	79	79	79	79	80	79	79	79
0.2	100	100	65	83	85	85	86	86	86	85	86	86	86	85	86
0.1	100	100	65	89	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
0.0	100	100	65	95	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
Fcurrent	100	100	65	62	60	59	60	60	60	60	59	61	60	60	60

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
1.0	100	100	99	98	96	95	95	95	95	94	95	95	95	95	95
0.9	100	100	99	98	97	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
0.8	100	100	99	98	98	98	98	98	97	97	97	97	97	97	97
0.7	100	100	99	99	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
0.6	100	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.5	100	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.4	100	100	99	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	99	99	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98

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
1.0	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 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（千トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	89	75	56	47	45	44	45	44	44	44	44	44	44	44	44
0.9	89	75	56	49	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
0.8	89	75	56	51	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
0.7	89	75	56	54	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
0.6	89	75	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
0.5	89	75	56	59	59	59	60	59	59	59	59	59	59	59	59
0.4	89	75	56	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
0.3	89	75	56	66	66	67	68	68	68	67	67	68	67	67	67
0.2	89	75	56	71	72	73	74	73	73	73	73	73	73	73	73
0.1	89	75	56	77	81	82	83	82	82	82	82	82	82	82	82
0.0	89	75	56	88	96	98	99	99	99	98	98	99	98	98	98
Fcurrent	89	75	56	54	53	53	54	54	54	53	53	53	53	53	53

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 8. 将来の平均漁獲量の推移（千トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	34	46	46	41	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	39
0.9	34	46	44	40	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
0.8	34	46	41	39	38	39	39	39	38	38	38	38	38	38	38
0.7	34	46	39	38	37	38	38	38	37	37	37	37	37	37	37
0.6	34	46	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
0.5	34	46	34	34	34	35	35	35	35	35	35	35	35	35	34
0.4	34	46	30	32	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
0.3	34	46	26	29	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
0.2	34	46	21	25	25	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
0.1	34	46	13	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
0.0	34	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	34	46	38	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37

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。2021 年の漁獲量は、漁業・養殖業生産統計における「かたくちいわし」銘柄の漁獲量からシラス（1・2 月齢魚）分を除いた漁獲量である。また、2022 年以降の漁獲量についても同様の性質のものである。

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

β	10 年後 の目標達成確率	予測平均親魚量 (千トン)		予測平均漁獲量 (千トン)			リスク(10 年間に 1 度でも起きる確率)		
	親魚資源量が目標管理基準値案を上回る	5 年後	10 年後	0 年後	5 年後	10 年後	親魚量が現在の水準を下回る	親魚量が禁漁水準を下回る	漁獲量が半減する
		2028 年	2033 年	2023 年	2028 年	2033 年			
1	43%	44	44	46	40	40	28%	0%	19%
0.9	48%	47	47	44	39	39	22%	0%	19%
0.8	54%	50	50	41	39	38	16%	0%	20%
0.7	59%	53	53	39	38	37	12%	0%	22%
0.6	64%	56	56	36	36	36	9%	0%	24%
0.5	69%	59	59	34	35	35	6%	0%	27%
0.4	74%	63	63	30	33	33	4%	0%	29%
0.3	79%	68	67	26	30	30	2%	0%	31%
0.2	86%	73	73	21	26	26	1%	0%	31%
0.1	93%	82	82	13	18	18	0%	0%	25%
0	99%	99	98	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（尾/g）、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 1981～2020 年の加入量・親魚量のデータに当てはめた。残差の自己相関（AR）については、自己相関パラメータ ρ もモデルに組み込み、再生産関係式のパラメータと同時に推定する“同時推定法”と再生産関係式のパラメータを推定してから ρ を推定する手法“二段階法”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-ABCWG02-02）を参照）。同時推定法の場合には、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。同時推定法で推定した場合は、二段階法で推定した場合と比較して親魚量が少ないときに高い加入量が予測された（補足図 1-1：上図）。二段階法で推定したモデルと自己相関を考慮しないモデルではパラメータは同じ値であった（補足表 1-1）。二段階法で推定したモデルでは親魚量の変動しても仮定した再生産関係式による加入量の予測値に大きな差はないが、HS 型では親魚量が少ないときに RI 型や BH 型と比較してやや加入量が少なく、親魚量が多いときには BH 型と比較してやや少ない加入量が予測され、HS 型の再生産関係式は親魚量が少ないときや多いときに保守的であった（補足図 1-1：下図）。また、その中間付近の親魚量では RI 型や BH 型と比較してやや多い加入量が予測された。

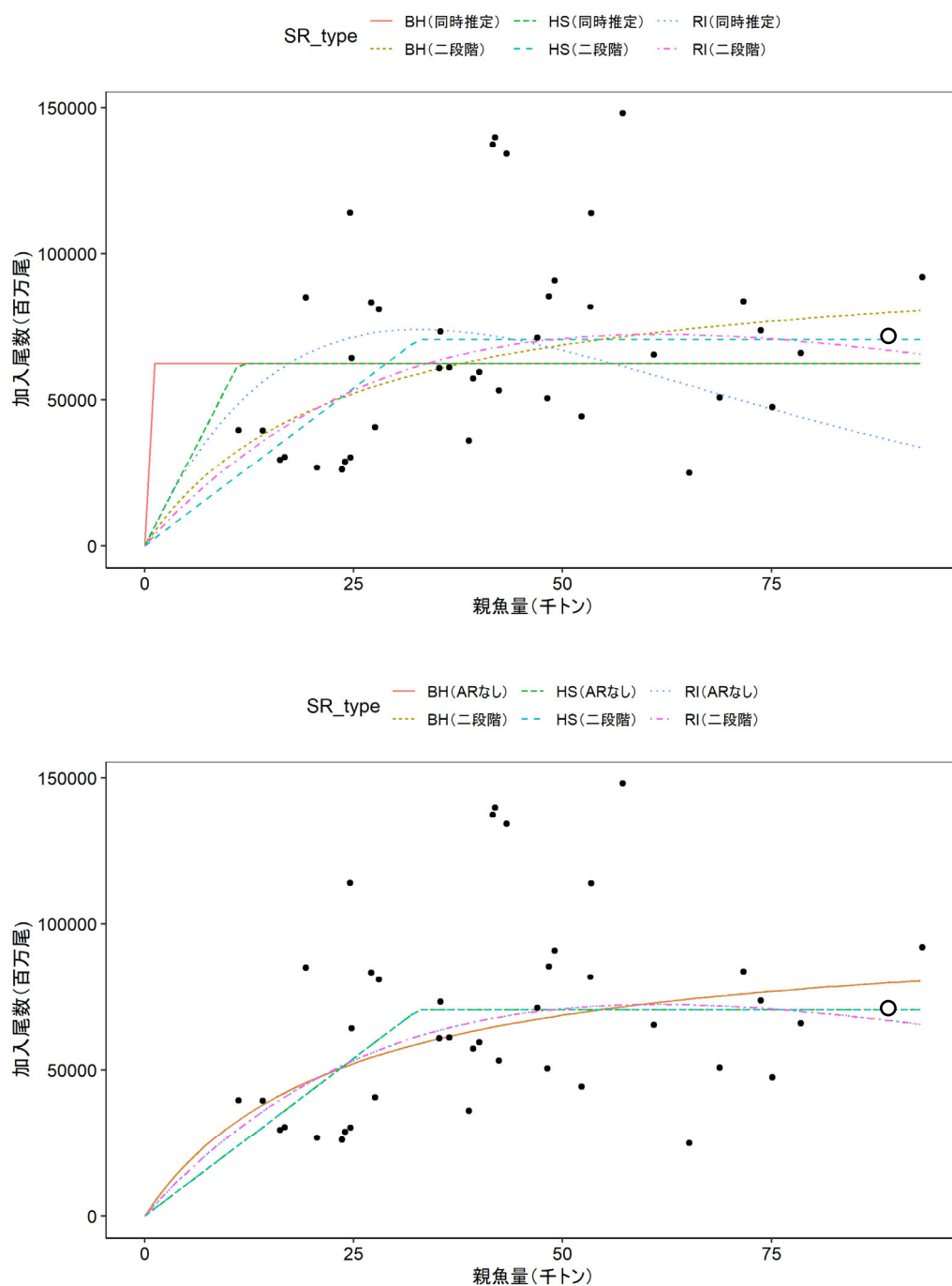
HS 型再生産関係式を最小二乗法により当てはめた場合の残差トレンドと自己相関プロットを補足図 1-2 に示す。HS 型再生産関係を仮定した場合、自己相関プロットの信頼区間に収まっており、本資源については自己相関を考慮する必要はないと考えられた。残差の時系列では、1980 年代に加入量がモデルからの予測値よりも高く、資源が増加傾向にあった要

因と解釈された。再生産関係モデルに対する残差の正規性については、Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定により検討した結果、有意な逸脱は検出されなかった（補足図 1-3）。

最小二乗法による自己相関を考慮しない HS 型再生産関係式について、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、推定の頑健性に問題はみられなかった（補足図 1-4 および 1-5）。パラメータ推定の信頼区間は残差ブートストラップにより検討した（補足図 1-6 および 1-7）。また、プロファイル尤度を補足図 1-8 に示した。これらの結果からは、パラメータ推定において特段の問題は認められず、最適解として推定されていると考えられた。なお参考として、RI 型（補足図 1-9～1-15）や BH 型（補足図 1-16～1-22）についてもモデル診断結果を示した。BH 型のジャックナイフ法においてパラメータ推定値 a と b に若干変動がみられたものの、いずれの再生産関係式においても大きな問題は認められなかった。

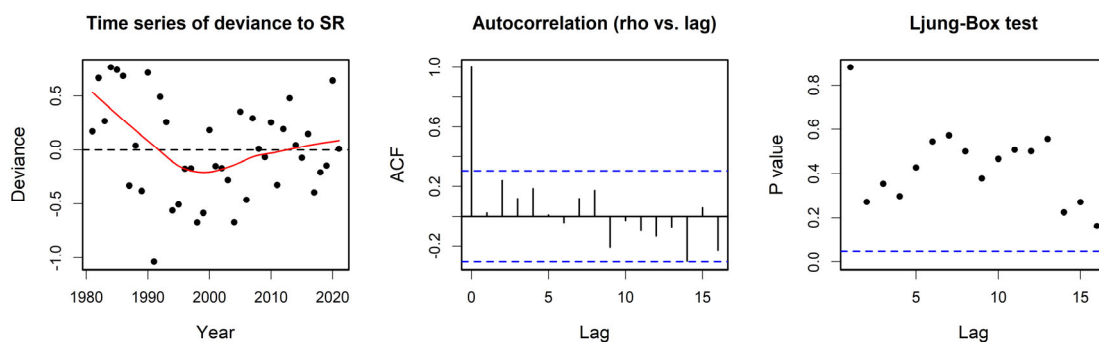
引用文献

- 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.
- 資源評価高度化作業部会 (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-ABCWG02-02.



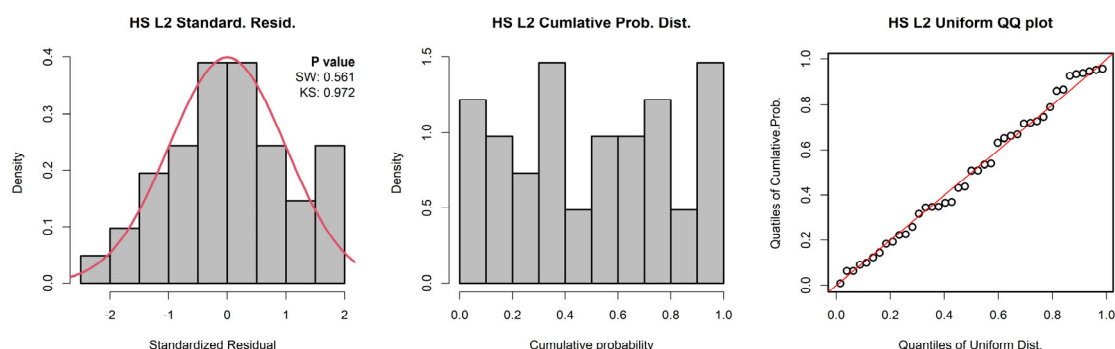
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

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により当てはめた。黒丸は分析に使用した親魚量・加入尾数 (1981～2020 年) で、白丸は 2021 年の親魚量・加入尾数である。AR は自己相関のことである。上図は自己相関あり・同時推定法と自己相関あり・二段階法の比較、下図は自己相関なしと自己相関あり・二段階法の比較である。下図の各再生産モデルにおいては、自己相関なしと自己相関あり・二段階法のパラメータは同じ値であるので、再生産関係式を表す線が重なっている。



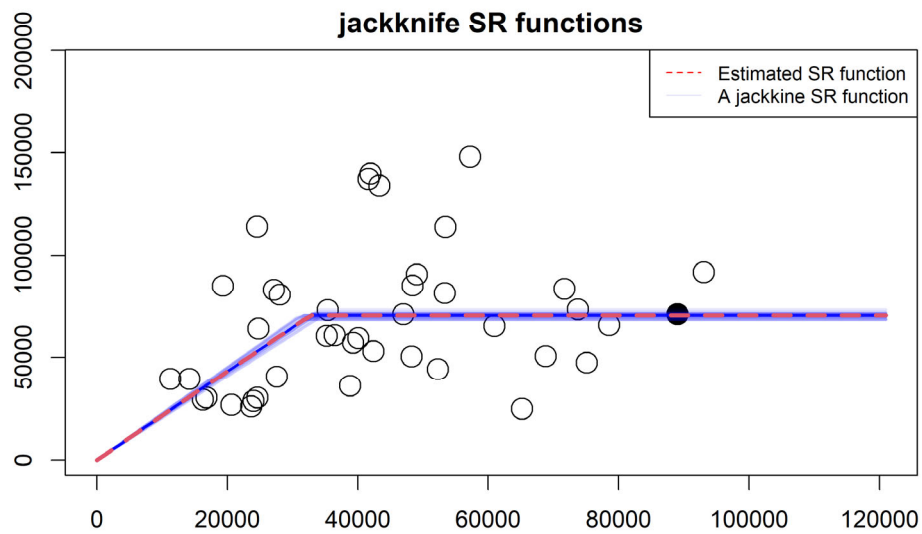
補足図 1-2. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差トレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図)

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



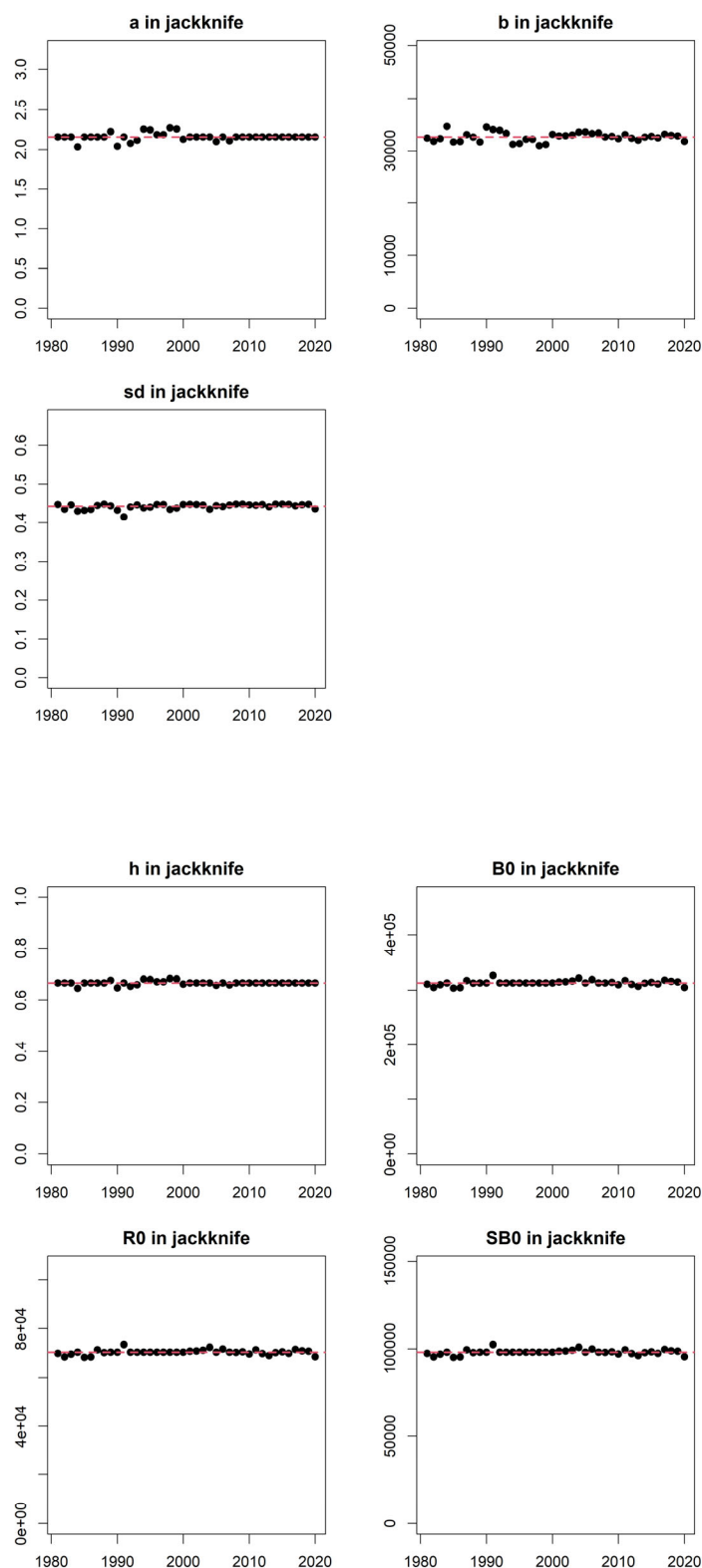
補足図 1-3. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のヒストグラムと正規性テスト結果 (左図)、残差の累積確率密度のヒストグラム (中央図)、および一様分布を仮定した QQ プロット (右図)

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

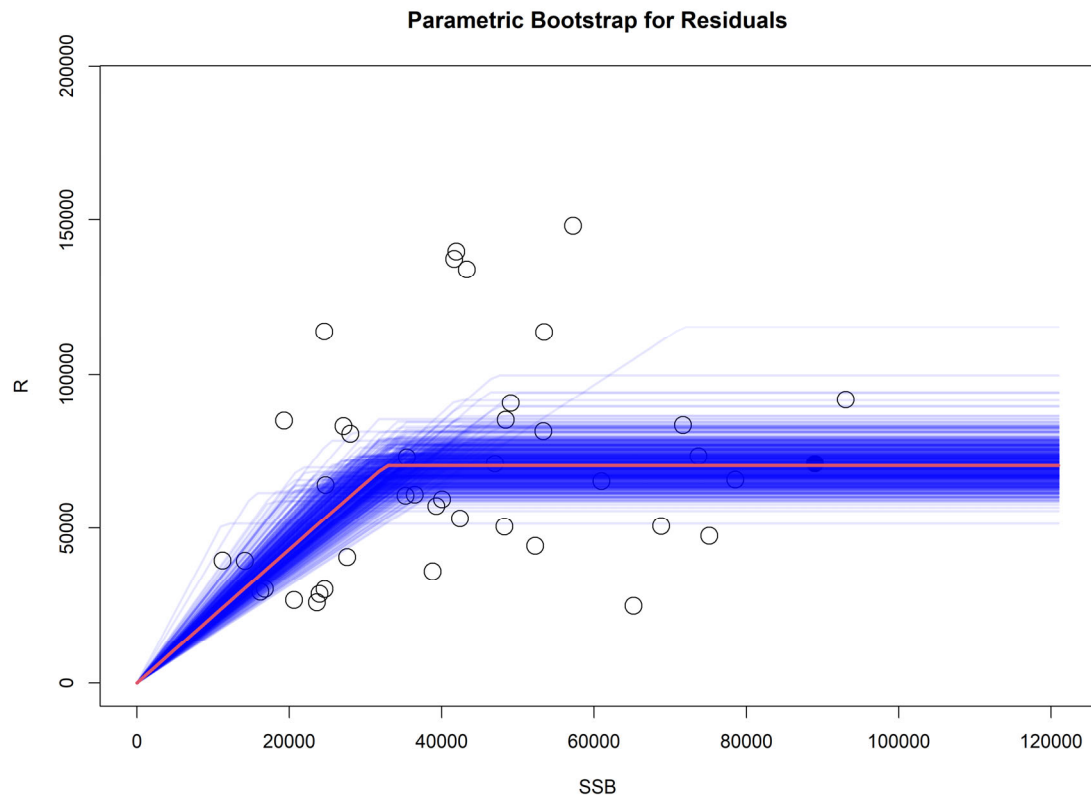


補足図 1-4. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果

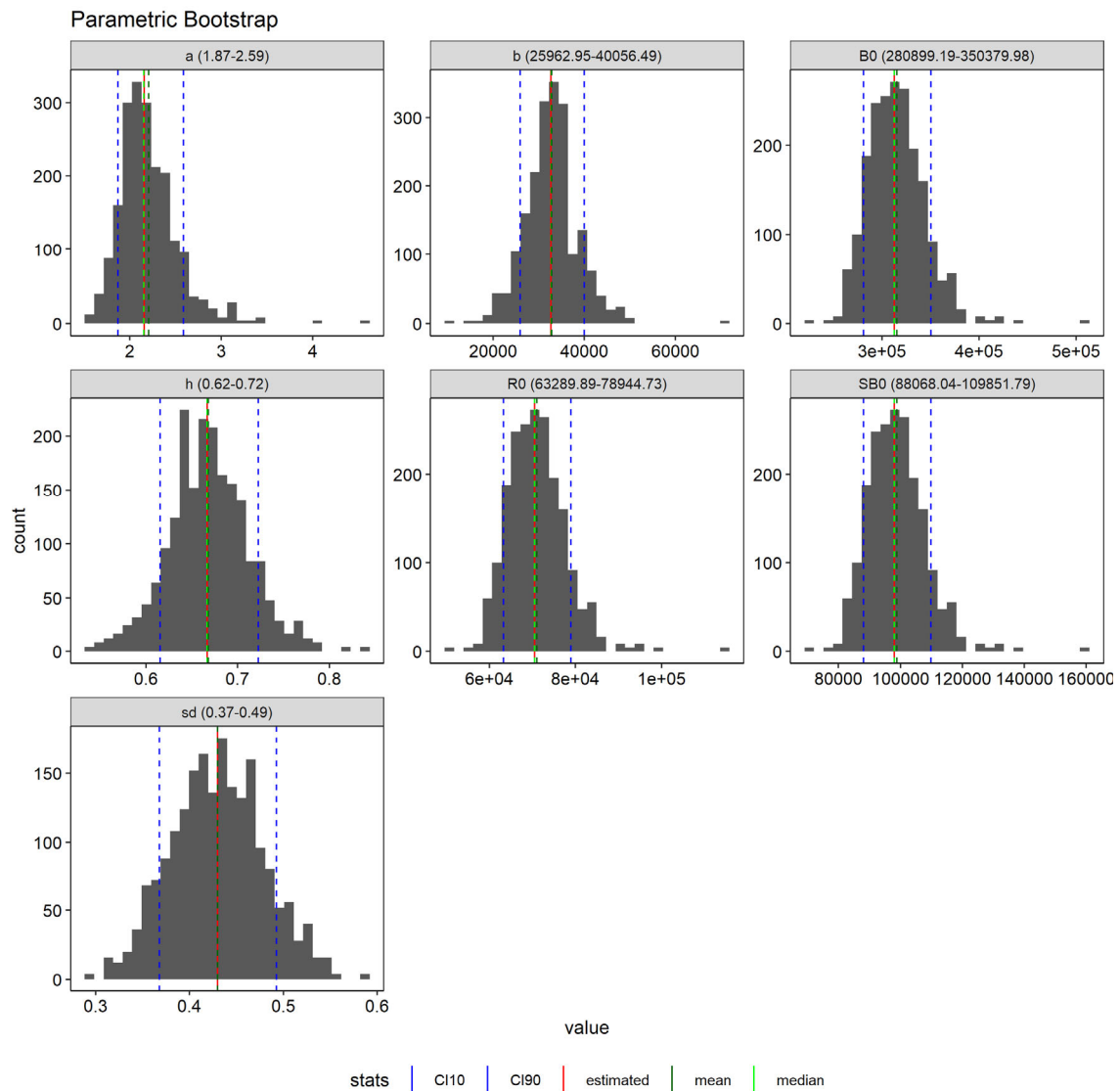
赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。白丸は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用していない 2021 年を示す。



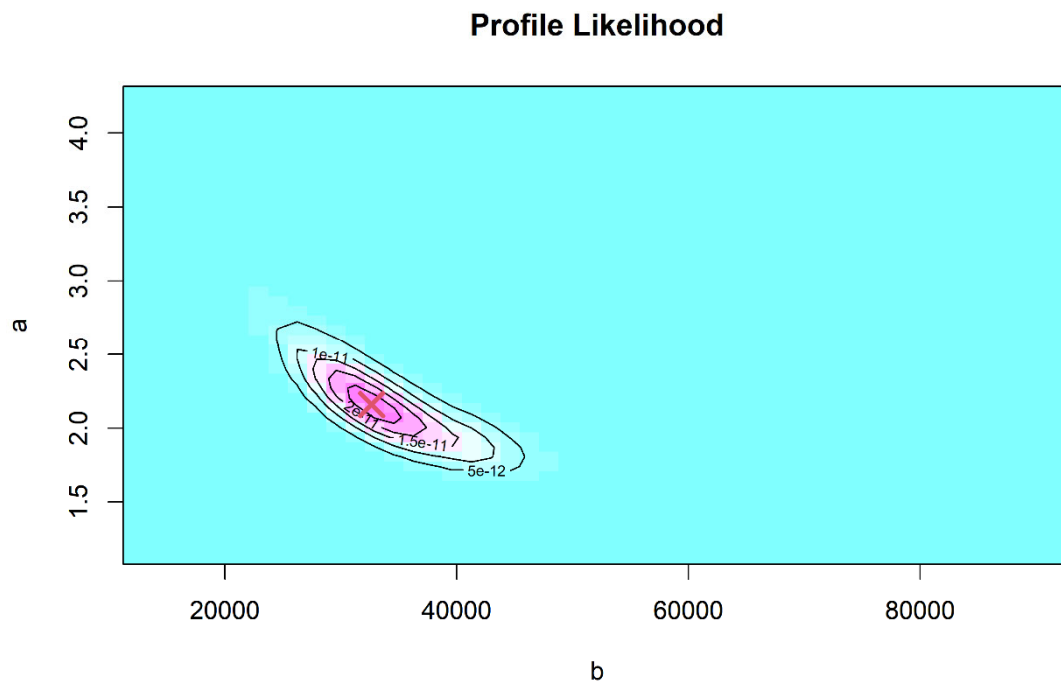
補足図 1-5. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



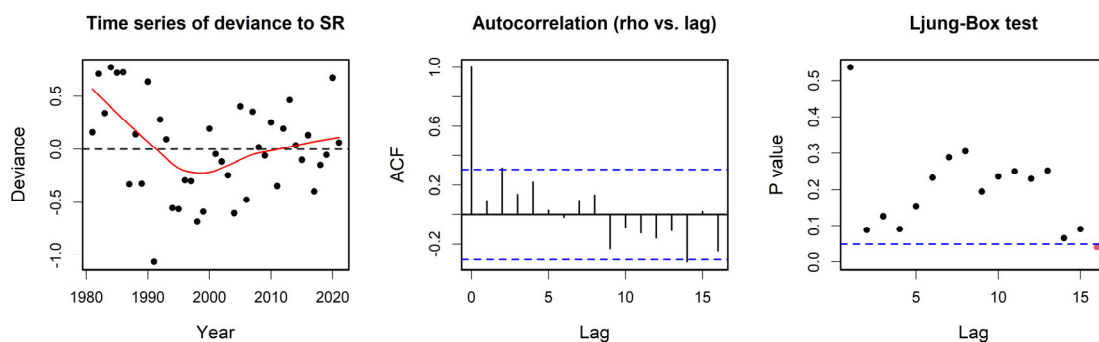
補足図 1-6. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果
赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用していない 2021 年を示す。



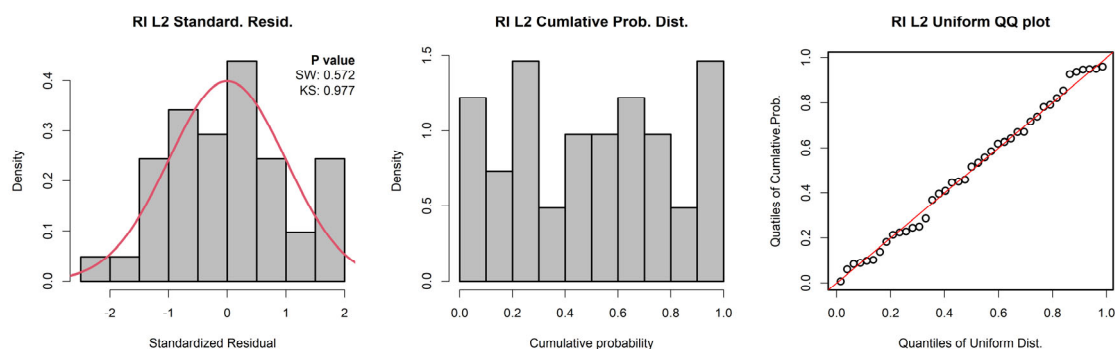
補足図 1-7. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線）
赤線はパラメータの点推定値である。



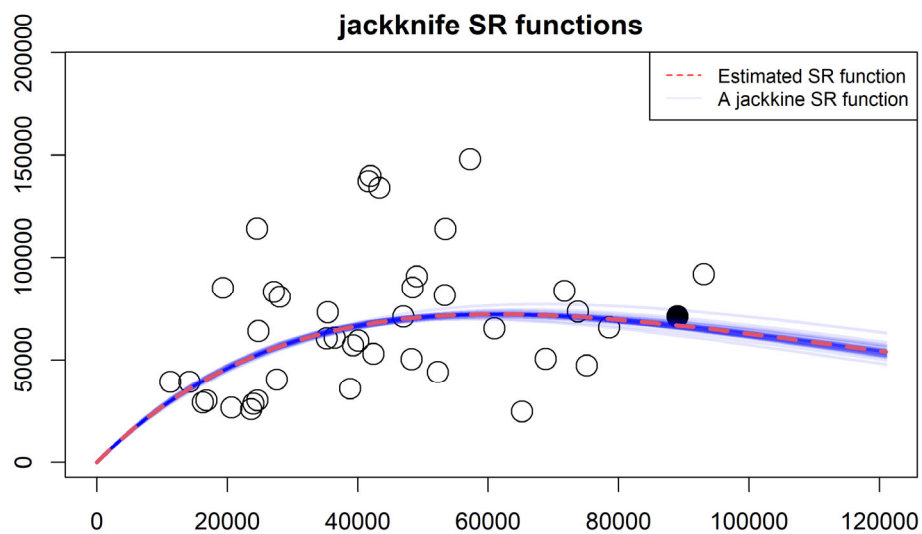
補足図 1-8. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の推定パラメータのプロファイル尤度
×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。



補足図 1-9. 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。

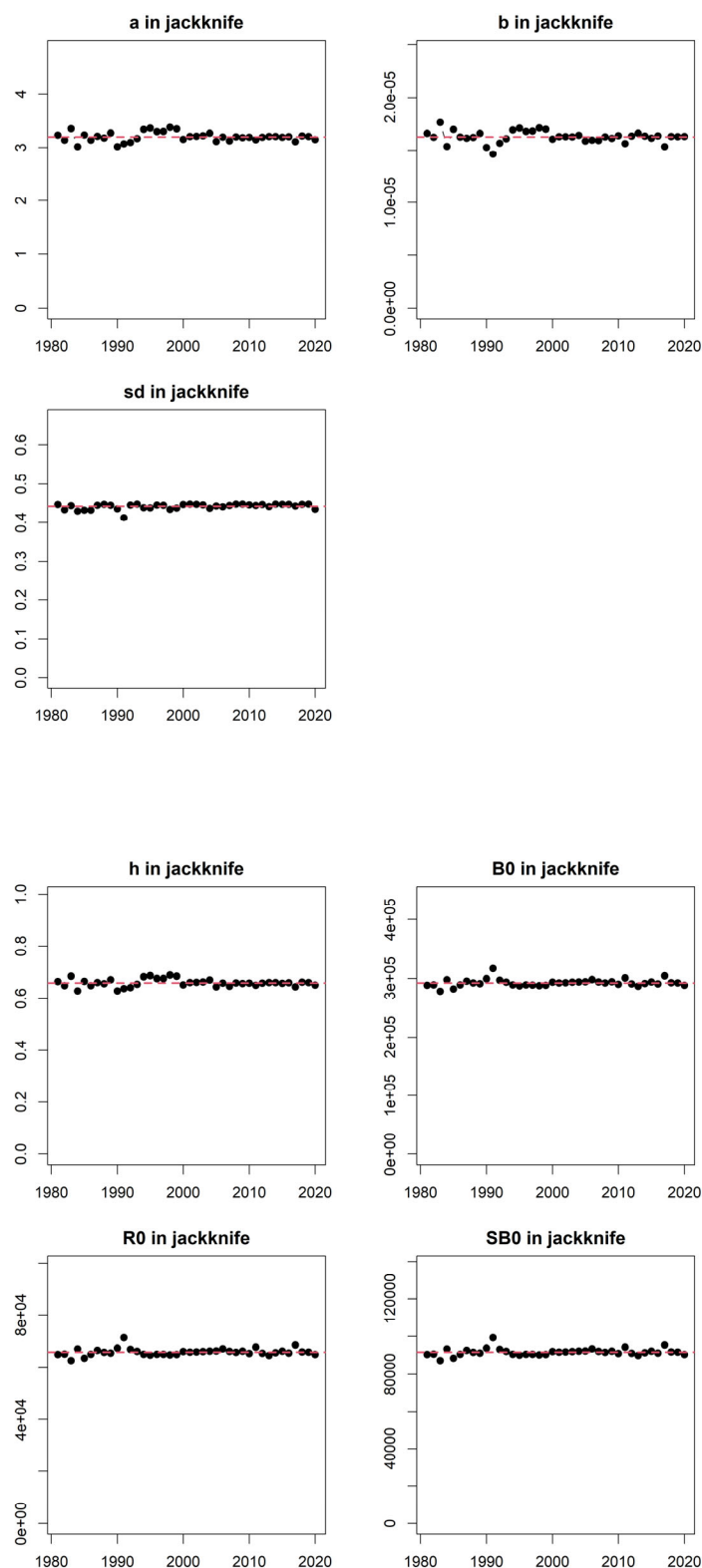


補足図 1-10. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）
残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。

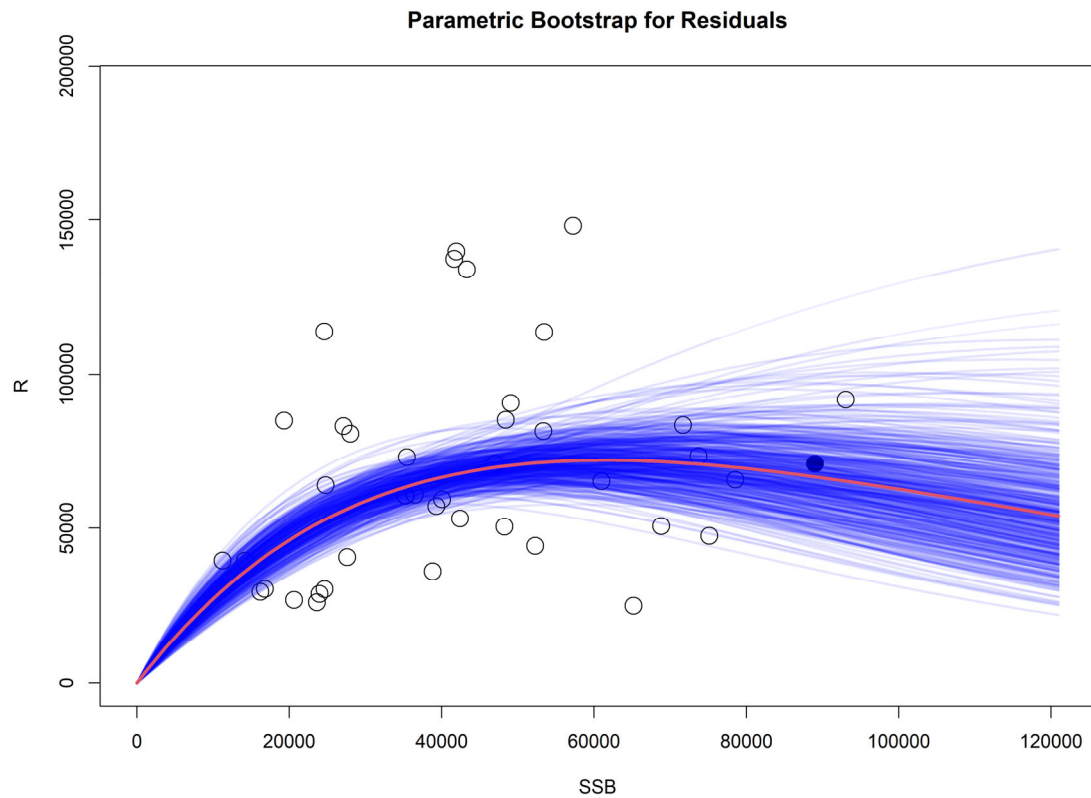


補足図 1-11. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果

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（トン）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。白丸は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用していない 2021 年を示す。

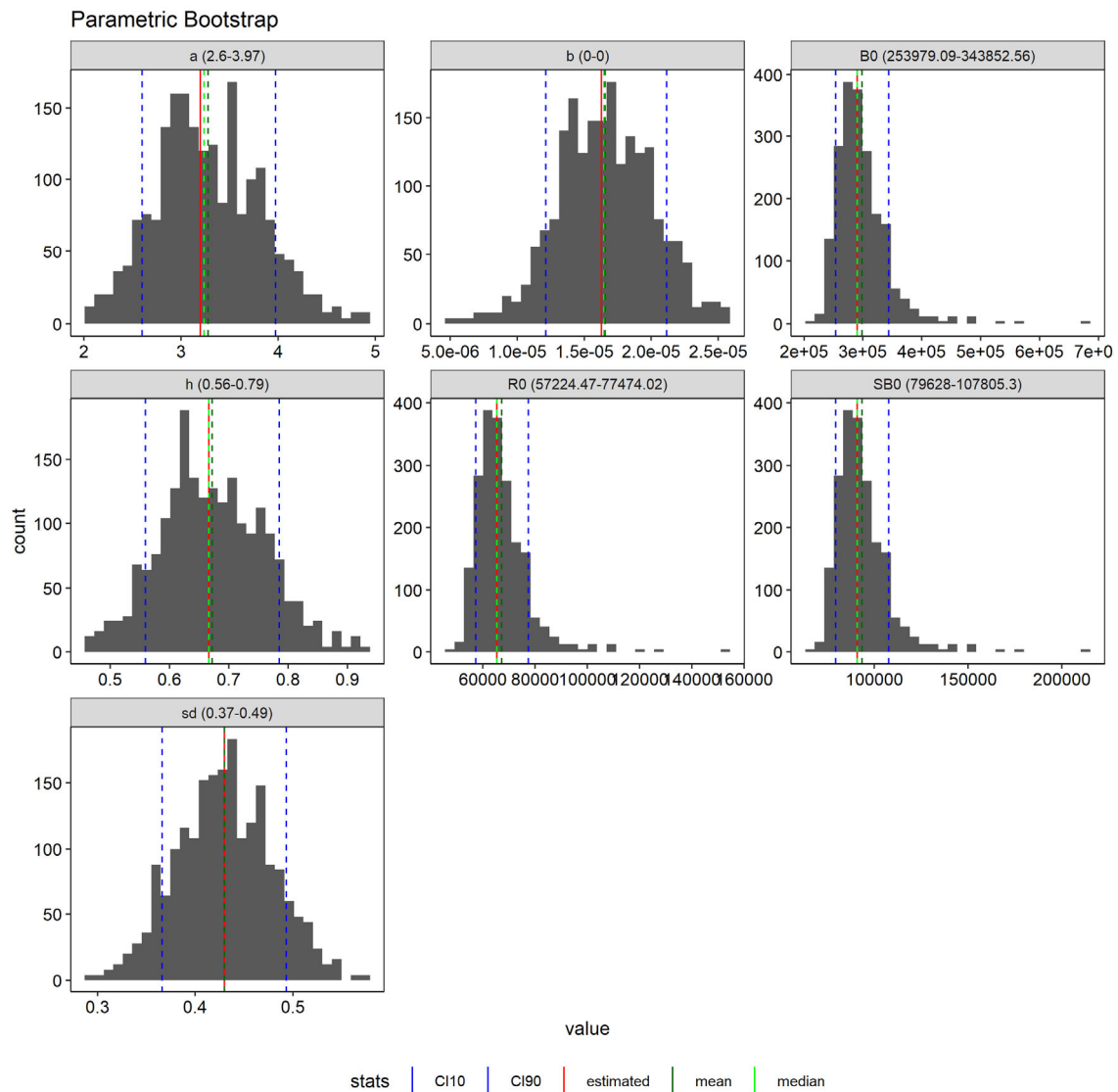


補足図 1-12. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

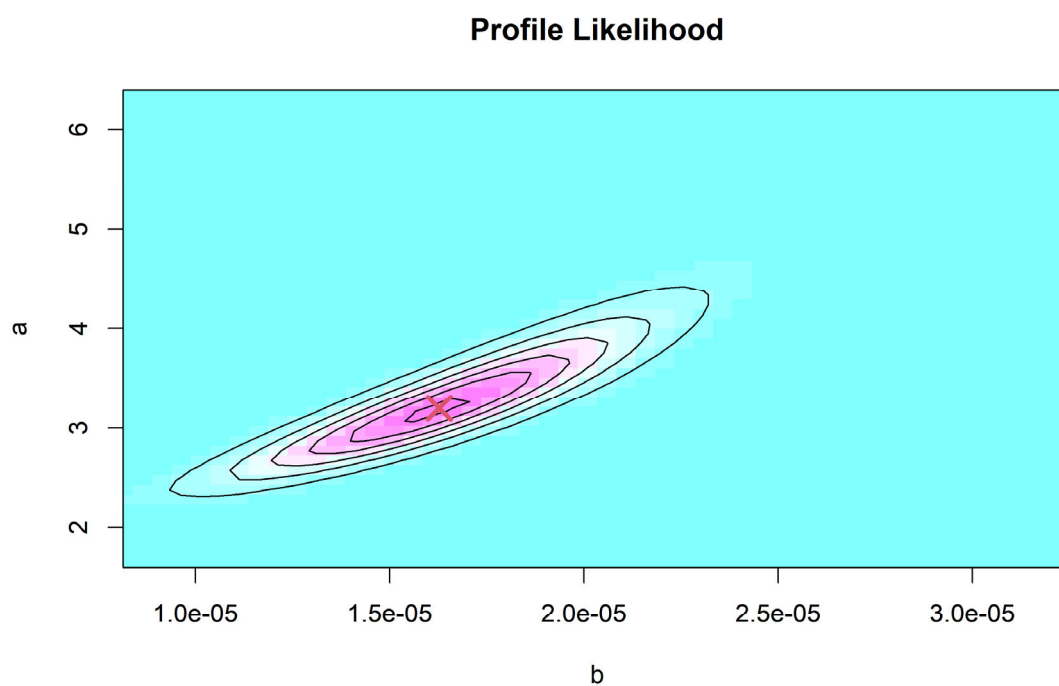


補足図 1-13. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果

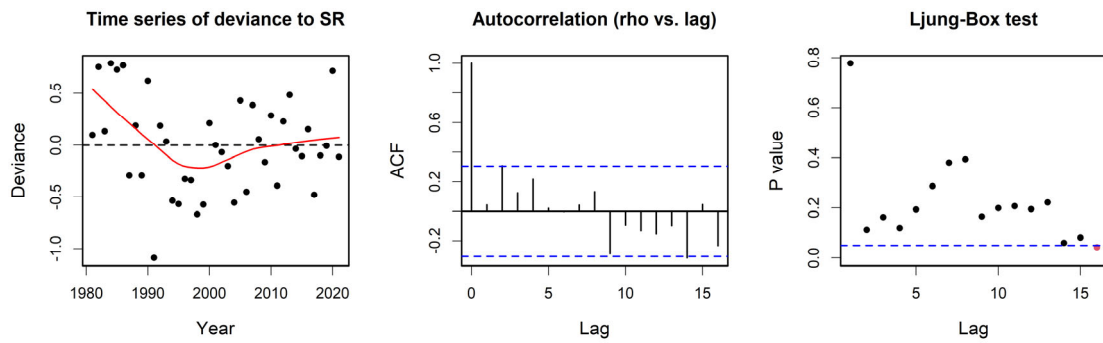
赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用していない 2021 年を示す。



補足図 1-14. 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中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線）
赤線はパラメータの点推定値である。

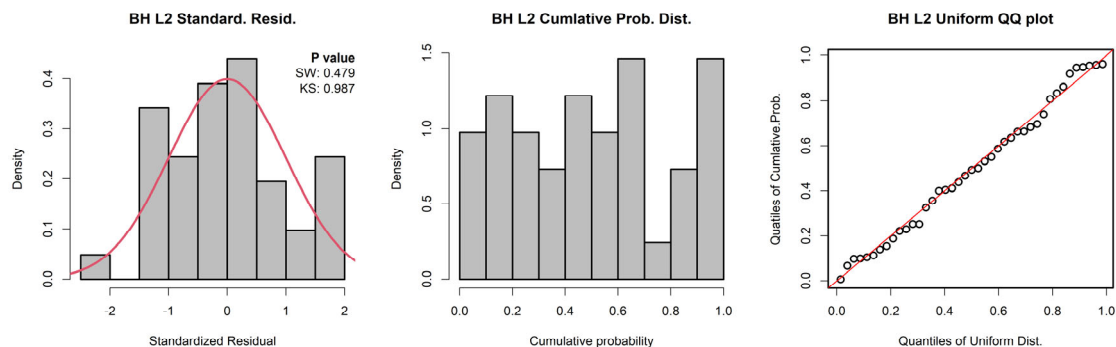


補足図 1-15. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の推定パラメータのプロファイル尤度
×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。



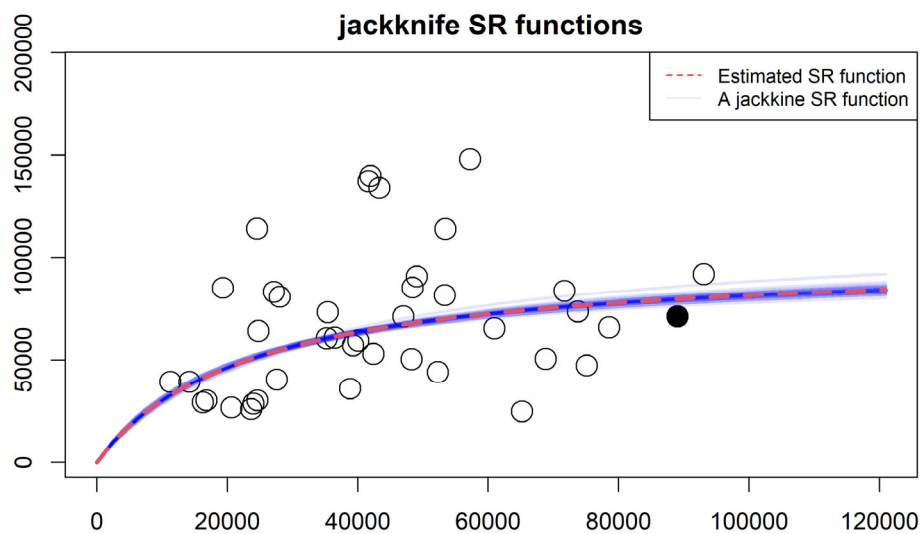
補足図 1-16. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差トレンド（左図）、自己相関プロット（中央図）、および Ljung-Box 検定における P 値（右図）

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。



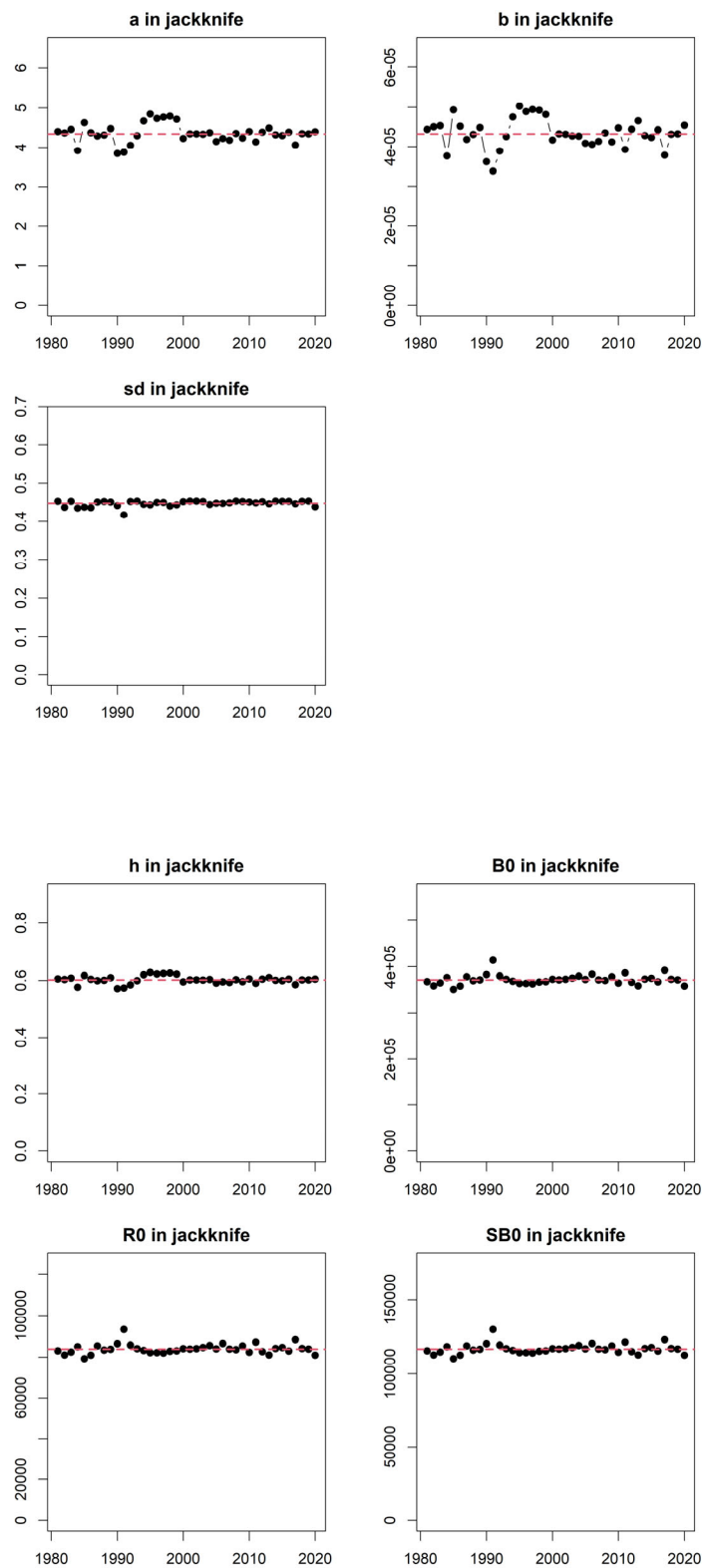
補足図 1-17. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）

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。

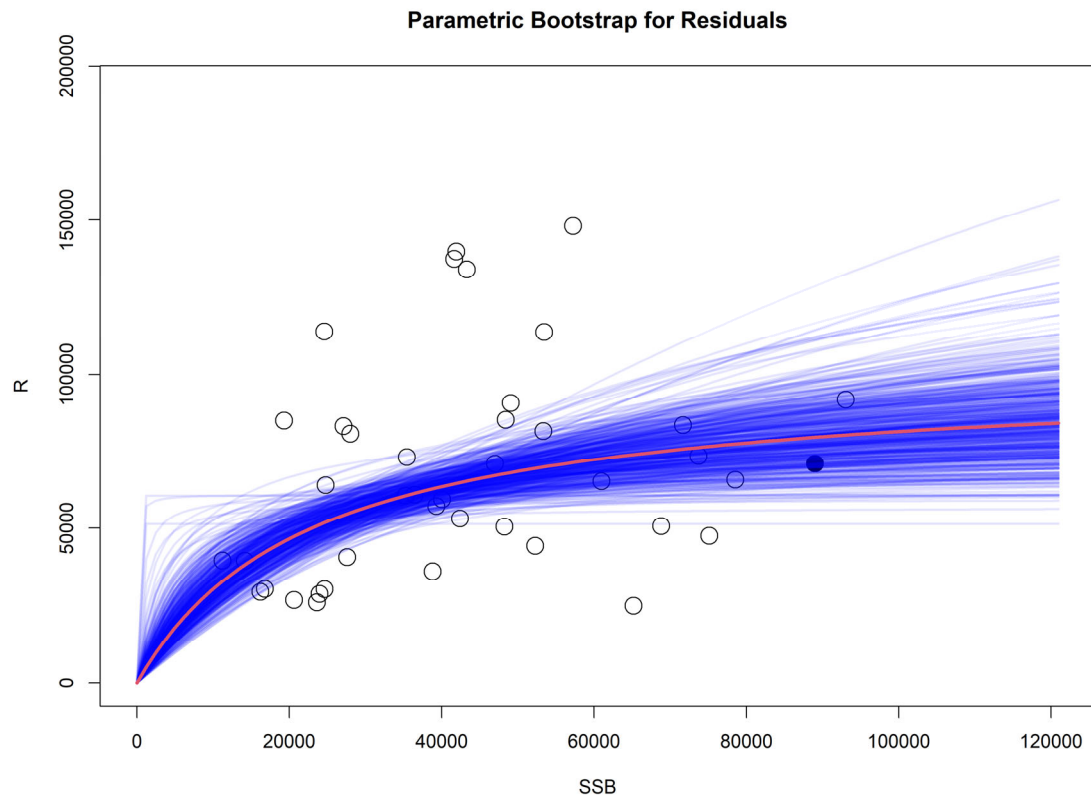


補足図 1-18. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果

赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。白丸は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用していない 2021 年を示す。

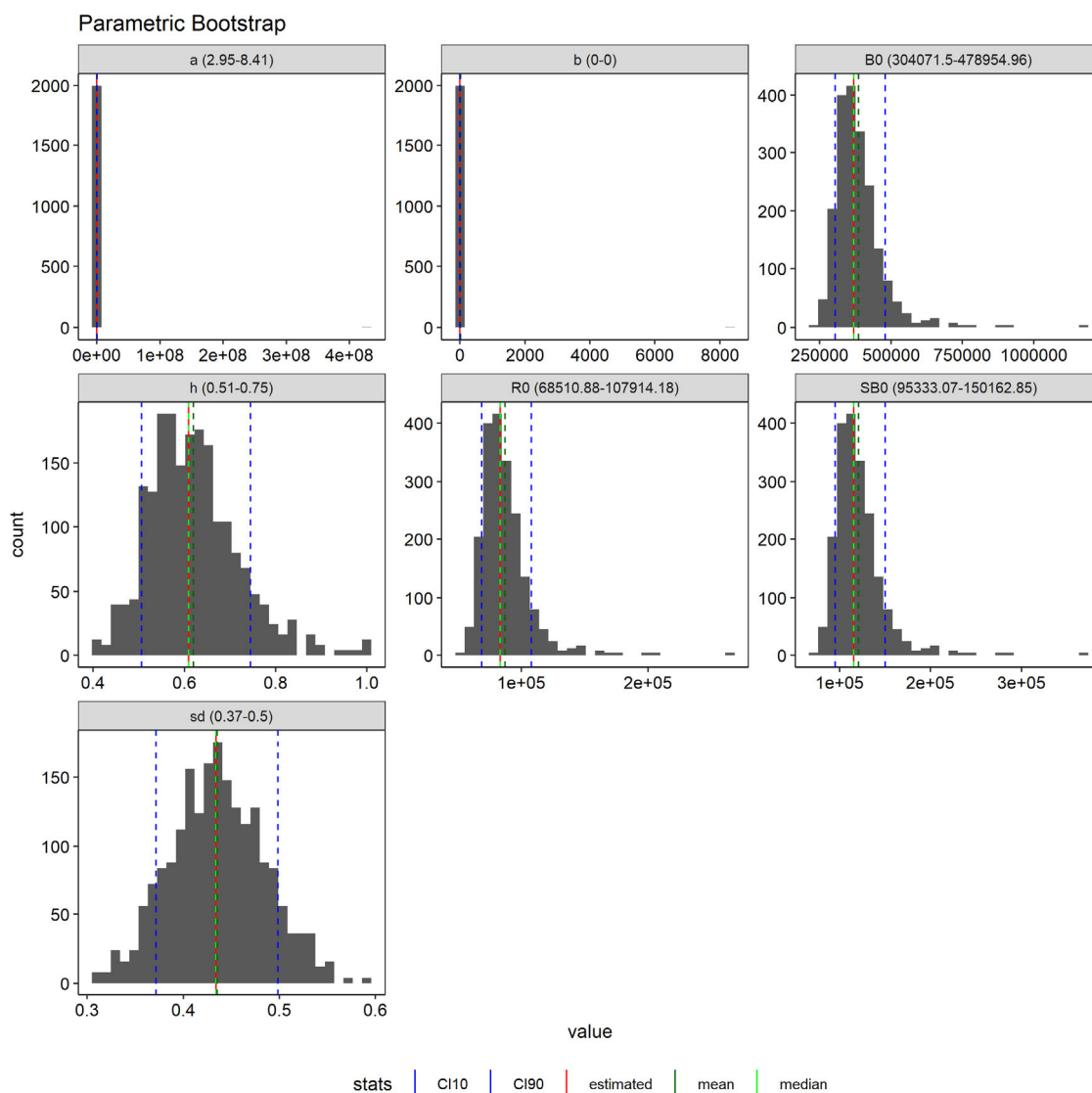


補足図 1-19. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

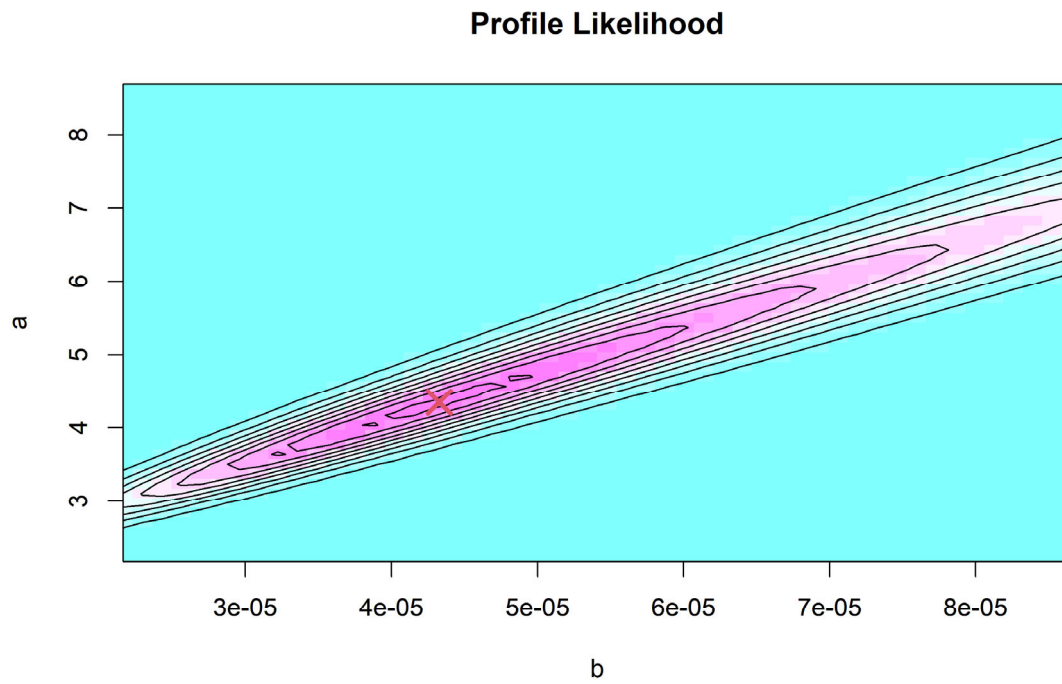


補足図 1-20. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果

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（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用していない 2021 年を示す。



補足図 1-21. 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中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線）
赤線はパラメータの点推定値である。



補足図 1-22. 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	R0	h	データ数
ホッケー・スティック	L2*1	無	-	2.158	32678	0.444	0	70,531	0.667	40
リッカー	L2	無	-	3.197	1.63.E-05	0.443	0	65,918	0.660	40
ベバートン・ホルト	L2	無	-	4.345	4.33.E-05	0.449	0	83,801	0.602	40
ホッケー・スティック	L2	有	同時	5.551	11225	0.418	0.550	62,331	0.871	40
リッカー	L2	有	同時	6.104	3.04.E-05	0.409	0.632	50,613	1.107	40
ベバートン・ホルト	L2	有	同時	—*3	—*3	0.418	0.550	62,313	1.000	40
ホッケー・スティック	L2	有	二段階	2.158	32678	0.438	0.022	70,531	0.667	40
リッカー	L2	有	二段階	3.197	1.63.E-05	0.436	0.091	65,918	0.660	40
ベバートン・ホルト	L2	有	二段階	4.345	4.33.E-05	0.433	0.042	83,801	0.602	40
ホッケー・スティック	L1*2	有	二段階	1.790	41477	0.444	-0.138	74,252	0.599	40
リッカー	L1	有	二段階	2.834	1.41.E-05	0.440	--0.007	69,762	0.599	40
ベバートン・ホルト	L1	有	二段階	4.836	5.19.E-05	0.442	0.093	79,403	0.627	40
ホッケー・スティック	L1	無	-	1.790	41477	0.454	0	74,252	0.599	40
リッカー	L1	無	-	2.834	1.41.E-05	0.446	0	69,762	0.599	40
ベバートン・ホルト	L1	無	-	4.836	5.19.E-05	0.449	0	79,403	0.627	40

*1 最小二乗法、*2 最小絶対値法、*3 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。

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、

RI 型および BH 型の場合は $0.2SB_0$ のときの平均加入尾数を R_0 で割った値、HS 型の場合は $1-SB_{hs}/SB_0$ (SB_{hs} は HS の折れ点) となる値である。

補足資料 2 再生産関係式と MSY 管理基準値推定の感度試験

1) 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、AICc に基づき当てはまりが良いと判断された 3 通りの再生産関係と最適化方法の組み合わせで、それぞれ MSY 管理基準値を推定した。比較対象とした再生産関係と最適化方法の組み合わせは、HS 型再生産関係、RI 型再生産関係、および BH 型再生産関係をそれぞれ最小二乗法で当てはめた場合であり、いずれも自己相関を考慮していないモデルである。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。

	HS 型(最小二乗法)	RI 型(最小二乗法)	BH 型(最小二乗法)
SBmsy	43 千 t	38 千 t	39 千 t
SB0.6msy	17 千 t	12 千 t	10 千 t
SB0.1msy	2 千 t	2 千 t	1 千 t
MSY	39 千 t	38 千 t	38 千 t
Umsy	0.166	0.177	0.174
Fmsy/Fcurrent	1.479	1.722	1.641

RI 型や BH 型再生産関係を用いた場合、HS 型に比べて MSY 管理基準値(SBmsy、SB0.6msy、および SB0.1msy) はやや小さい値となる。また、Fcurrent に対する Fmsy の比はわずかに大きくなり、期待できる MSY はわずかに小さくなる。

補足資料3 VPAにおいてチューニングを適用しない場合の管理基準値案や将来予測

平成4年度の本系群の資源評価では、資源量推定において産卵量を親魚量の指標値としたチューニングを行い、リッジVPAを適用した。ここでは、VPAにチューニングを適用しなかった場合について、再生産関係式の候補の検討、選択した再生産関係式に基づいた管理基準値案や将来予測の結果を示す。

補足表3-1のa)に再生産関係式の候補を示した。本資料と同様の方法で再生産関係式の候補を検討すると、本資料と同様に、最小二乗法で最適化した自己相関を考慮しないHS型再生産関係式が選択された（補足図3-1）。

選択された再生産関係式のパラメータ推定値を補足表3-1のb)に示した。年齢別のFや漁獲量曲線、神戸プロット、漁獲管理規則案、将来予測を補足図3-2～3-6、管理基準値案等を補足表3-2に示した。VPAでチューニングをした場合としない場合では最近2年間の推定値が大きく異なるが、将来予測を行うための再生産関係には最近年を含めていない。このため、VPAにおいてチューニングを適用した場合（表3）としない場合（補足表3-2）で再生産関係式、管理基準値案、および将来予測に大きな違いは生じなかった。

補足表3-1. 再生産関係式の検討候補

a) 再生産関係式の検討候補

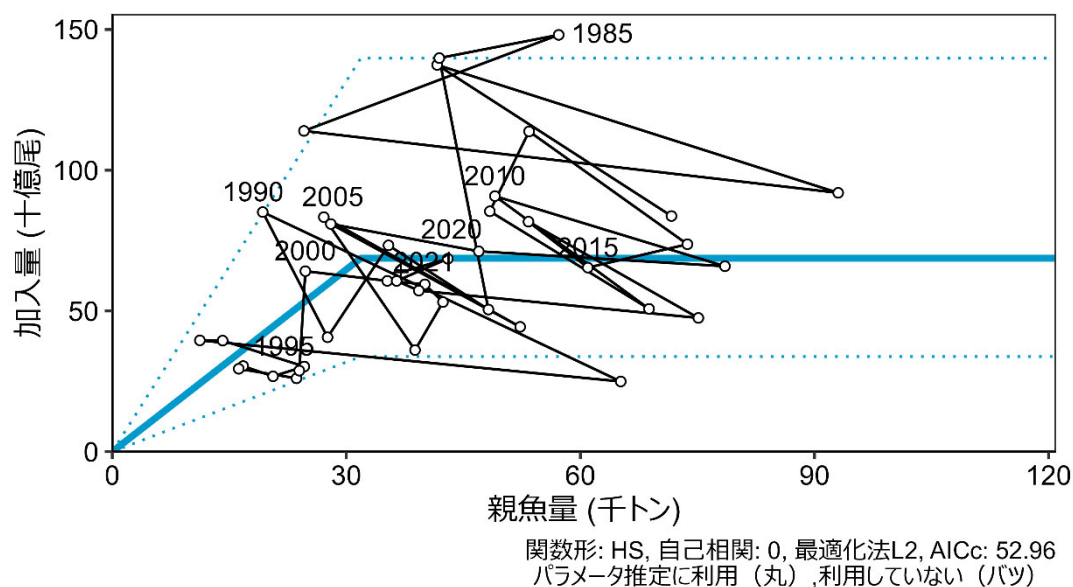
再生産関係式	最適化法	自己相関	AICc	$\Delta AICc$	順位
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	無	53.0	4.97	6
リッカー(RI)	最小二乗法	無	52.6	4.62	4
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	無	53.4	5.40	8
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	有(同時)	49.6	1.59	2
リッカー(RI)	最小二乗法	有(同時)	48.0	0.00	1
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	有(同時)	49.6	1.59	2
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	有(二段階)	53.0	4.97	6
リッカー(RI)	最小二乗法	有(二段階)	52.6	4.62	4
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	有(二段階)	53.4	5.40	8
ホッケー・スティック(HS)	最小絶対値法	有(二段階)	58.5	10.57	14
リッカー(RI)	最小絶対値法	有(二段階)	57.4	9.44	12
ベバートン・ホルト(BH)	最小絶対値法	有(二段階)	57.0	9.02	10
ホッケー・スティック(HS)	最小絶対値法	無	58.5	10.57	14
リッカー(RI)	最小絶対値法	無	57.4	9.44	12
ベバートン・ホルト(BH)	最小絶対値法	無	57.0	9.02	10

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と二段階法を用いた。同時推定法の場合、残差の正規性を仮定したほうが妥当と考え、最適化法には最小二乗法を用いた。

b) 選択した再生産関係のパラメータ推定値

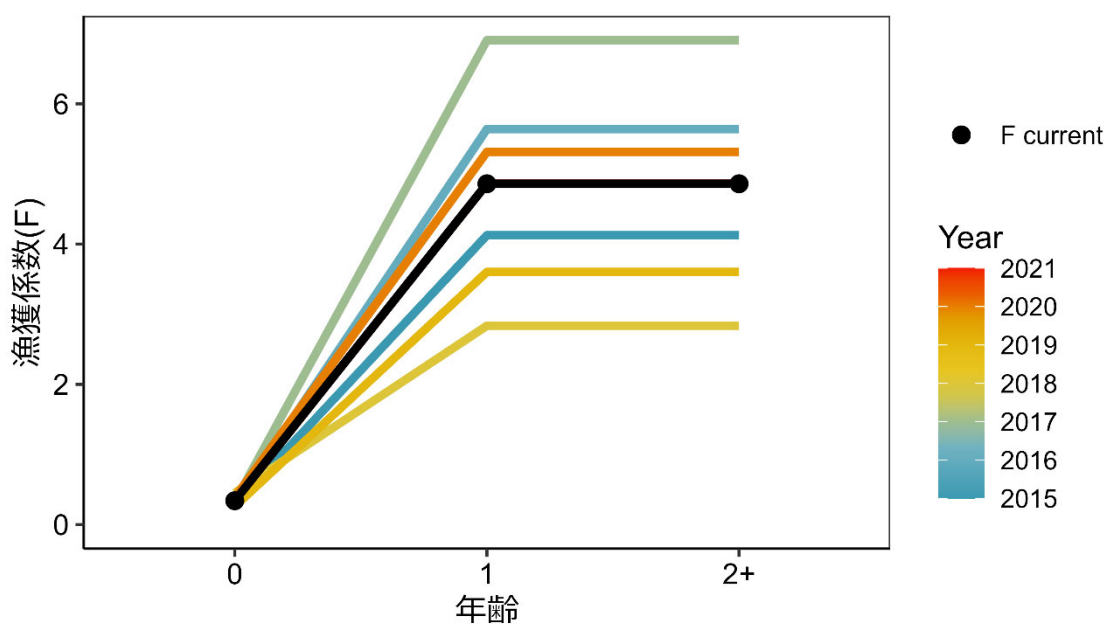
再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
HS 型	最小二乗値法	無	2.158	31,839	0.432	-

a は原点から折れ点までの傾き（十億尾/トン）、b は折れ点での親魚量（トン）、S.D. は加入のばらつきの大きさをあらわす指標（対数残差の標準偏差）、 ρ は自己相関係数である。



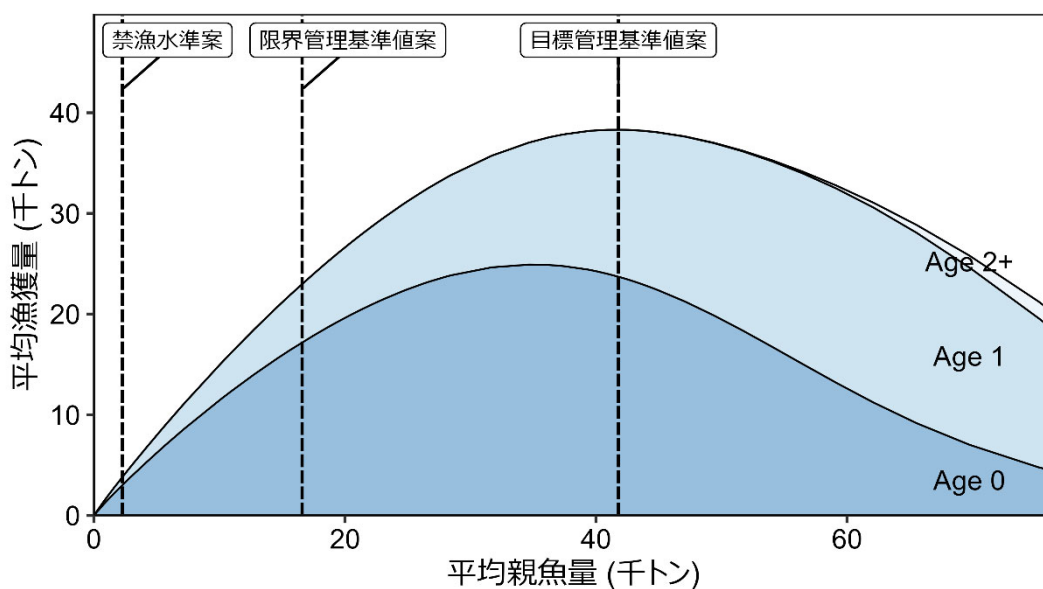
補足図 3-1. 再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮しないホッカー・スティック（HS）型再生産関係式を用い、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。丸印は分析に使用した 1981～2020 年の親魚量と加入量を示す。図中の数字は加入群の年級（生まれ年）を示す。パラメータ推定の際は加入尾数の推定値に不確実性の高い 2021 年のデータを除いた。図中の再生産関係式（青実線）の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。



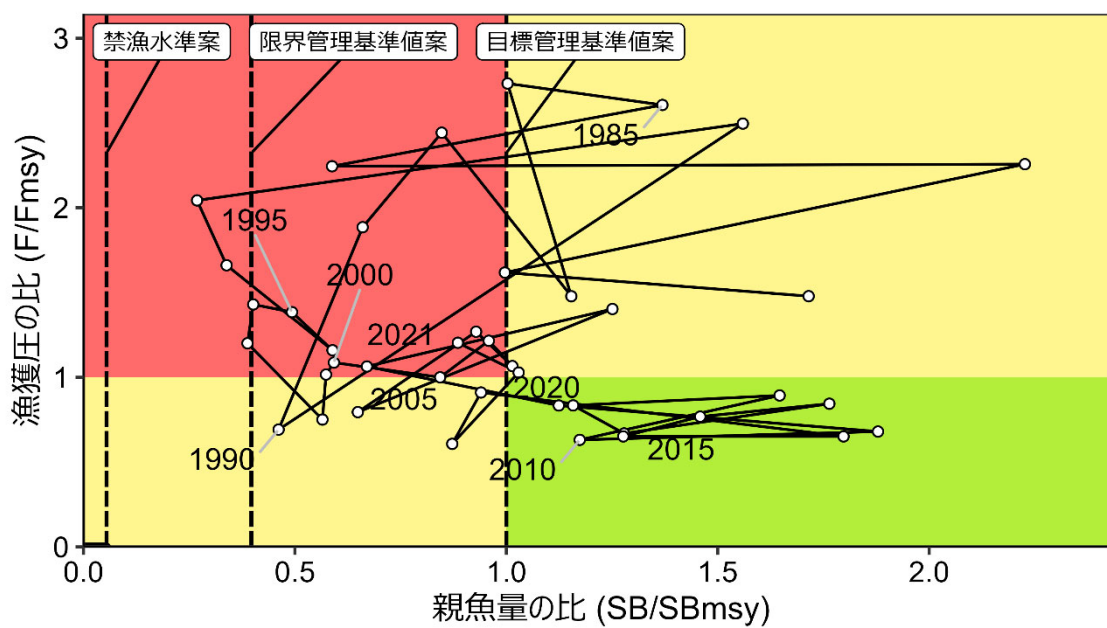
補足図 3-2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

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 (F_{current}) であり、2016～2020 年の F 値の平均である。



補足図 3-3. 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

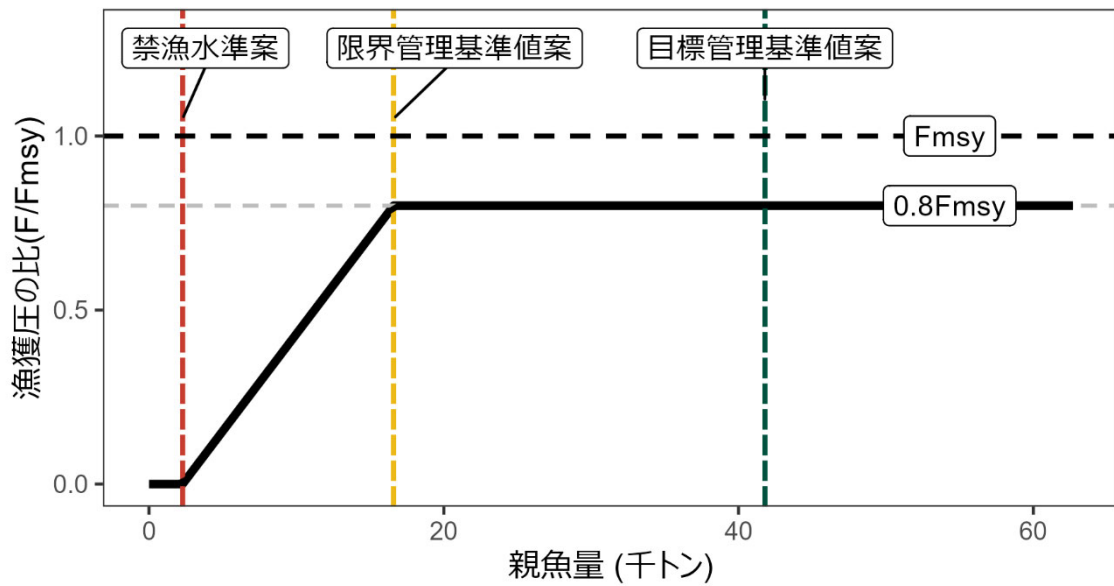
将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値と、それぞれの管理基準値案の位置関係を示す。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 95 千トンである。



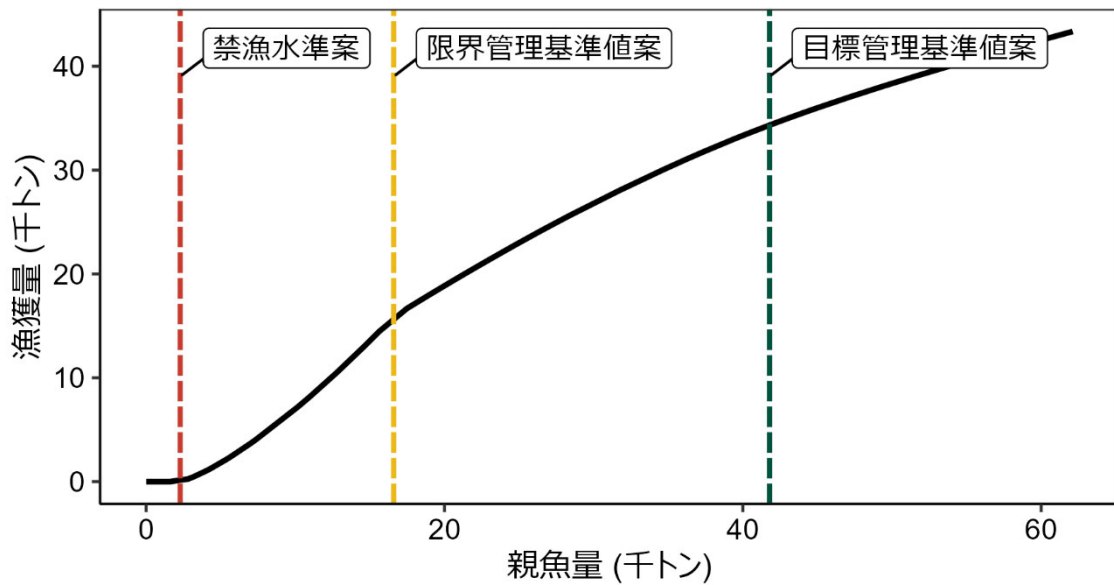
補足図 3-4. 神戸プロット

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

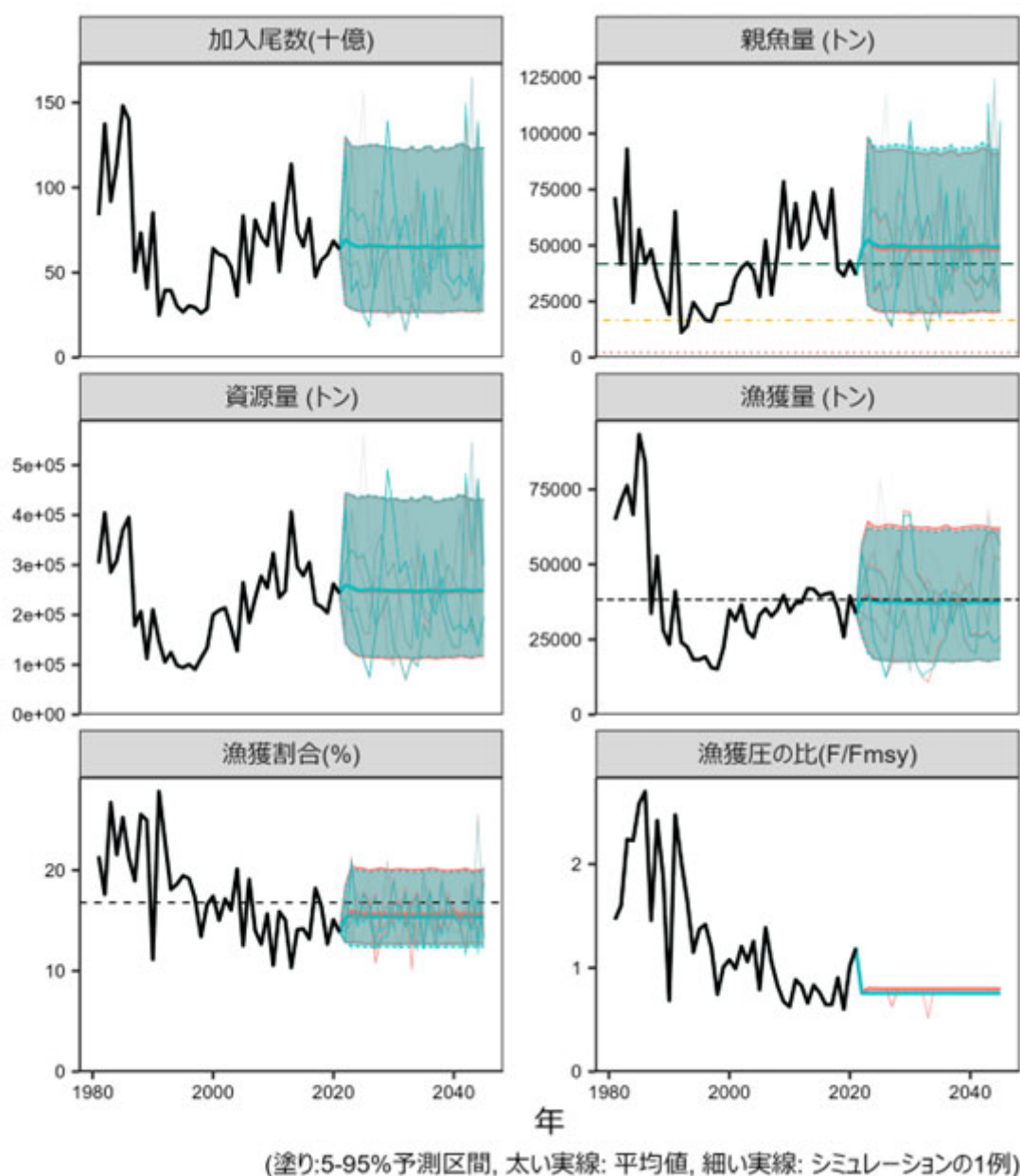


b) 縦軸を漁獲量にした場合



補足図 3-5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値案 (SBtarget) は HS 型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。



補足図 3-6. 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 5 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、赤破線は禁漁水準案を示す。漁獲量の図の破線は B_{msy} 、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 β には 0.8 を用いた。

補足表 3-2. 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 (千トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (千トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBmsy	42	0.44	38	48.8	0.17	1.33
限界管理基準値案	SB0.6msy	17	0.17	23	37.2	0.21	2.12
禁漁水準案	SB0.1msy	2	0.02	4	30.8	0.23	2.67
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2+歳)=(0.45, 6.44, 6.44)					

補足資料 4 カタクチイワシの他系群で仮定されている M を適用した場合の管理基準値案や将来予測

我が国周辺では本系群のほか、太平洋系群と対馬暖流系群で資源評価が行われている。平成 4 年度の本系群の資源評価では、太平洋系群と対馬暖流系群の資源評価で使用されている M（補足表 4-1）を本系群に仮定した場合について、VPA による推定結果を比較している。ここではその結果に基づいて、管理基準値案や将来予測の結果を示す。なお再生産関係式については、本資料で選択された、最小二乗法で最適化した自己相関を考慮しない HS 型モデルとした。再生産関係、漁獲量曲線、神戸プロット、漁獲管理規則案、および将来予測を補足図 4-1～4-7、管理基準値案等を補足表 4-2 に示した。

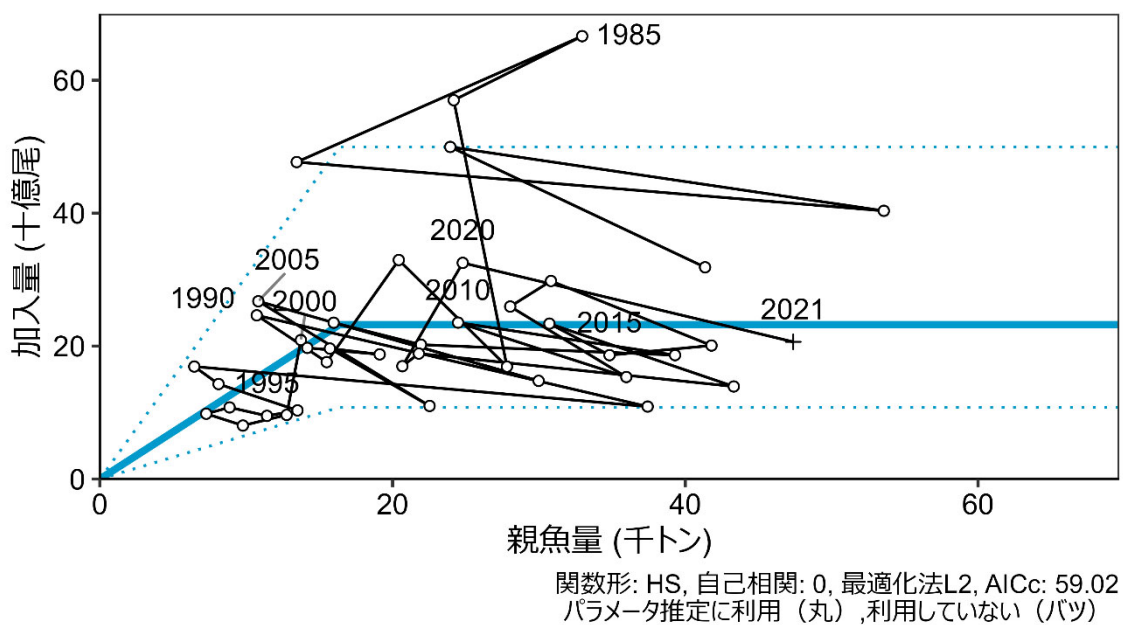
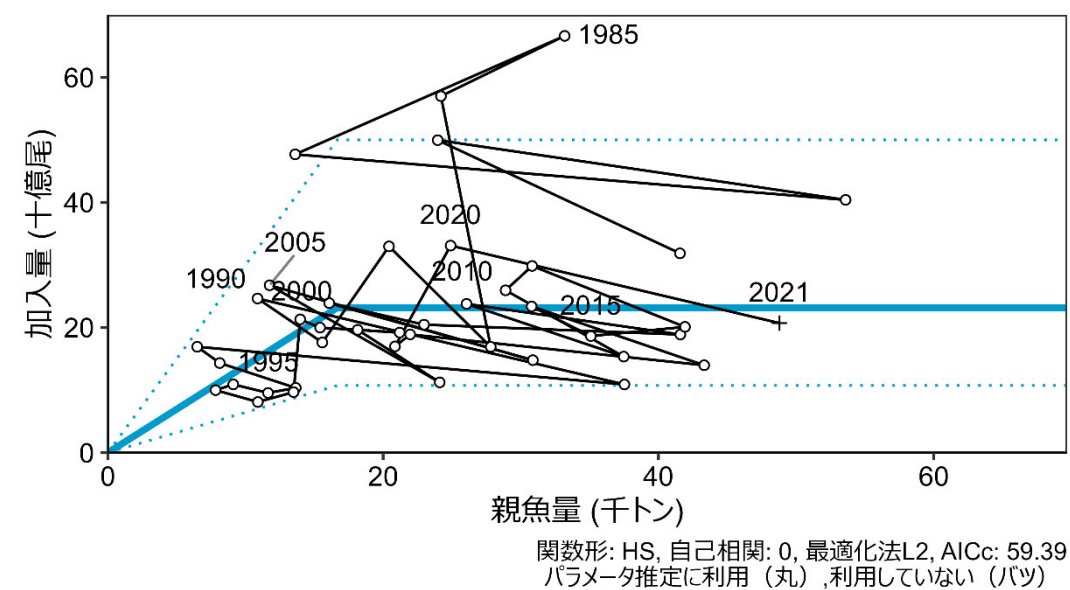
太平洋系群と対馬暖流系群の M の値を仮定した場合の管理基準値案や MSY は、瀬戸内海系群の M を適用した場合よりも高い値となった（表 3、補足表 4-2）。その結果、神戸プロットをみると、ほとんどの年で MSY を達成する親魚量を下回っており、また MSY を達成する漁獲圧を上回っていた（補足図 4-3）。

瀬戸内海系群と他の両系群の M の値を仮定した場合の将来予測結果を比較すると、太平洋系群や対馬暖流系群の M を仮定した場合の資源量は、瀬戸内海系群の M を適用した場合よりも小さいが、そのときの漁獲量が大きいため、漁獲割合は高くなった（図 6、補足図 4-6～4-7）。

補足表 4-1. 各系群で仮定されている M

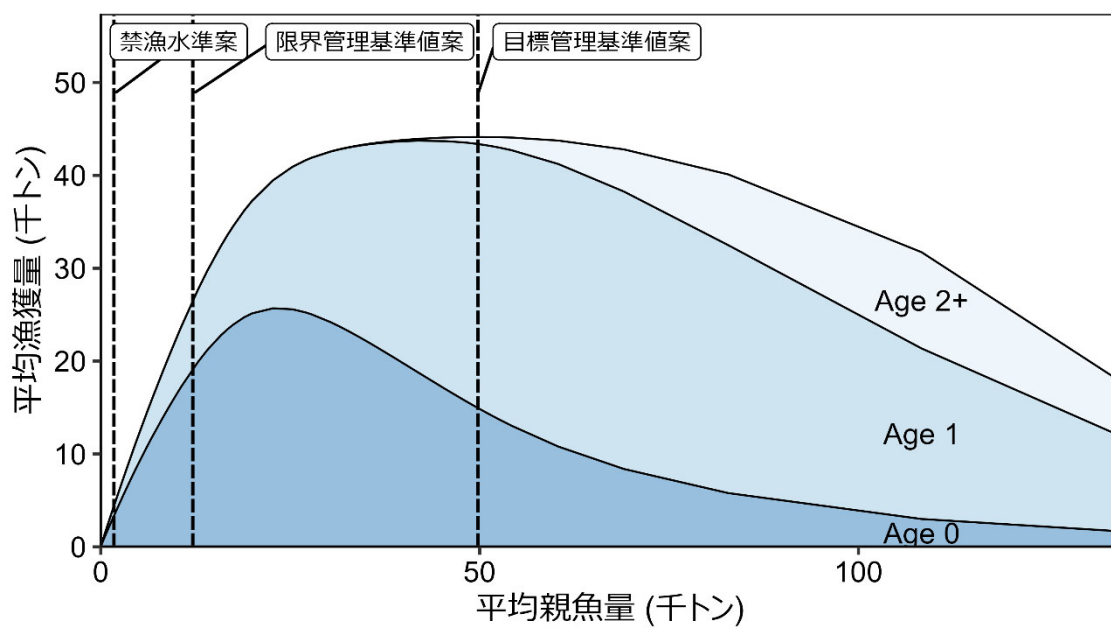
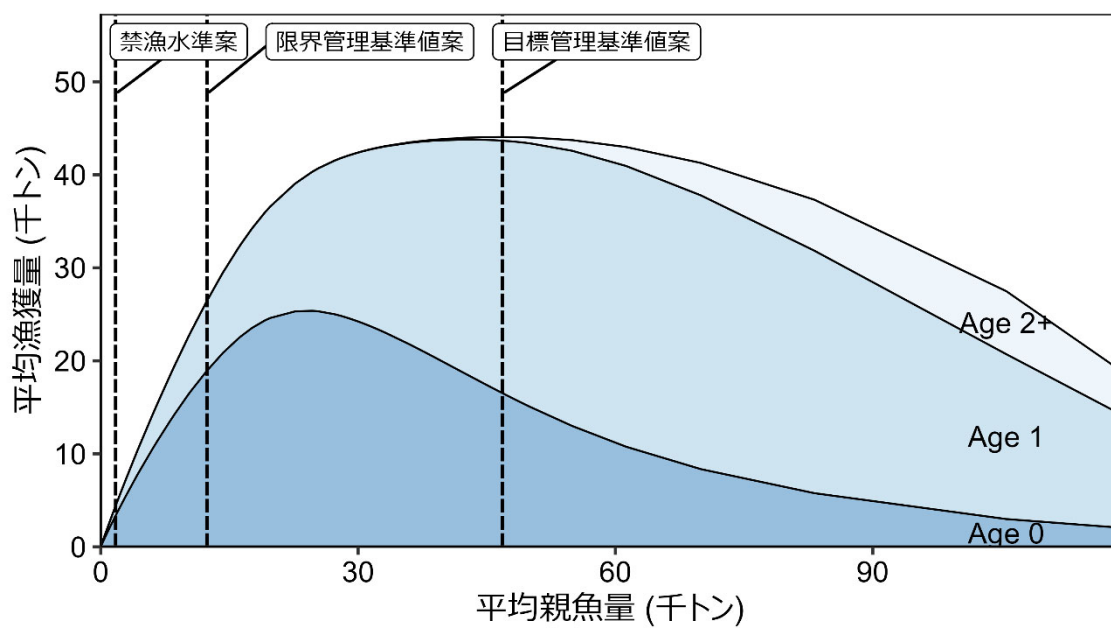
年齢	太平洋系群	対馬暖流系群	瀬戸内海系群
0歳	1.0	1.0	2.1
1歳	1.0	1.0	2.1
2+歳 *	1.6	1.0	2.0

*太平洋系群と対馬暖流系群については 2 歳の値とした。



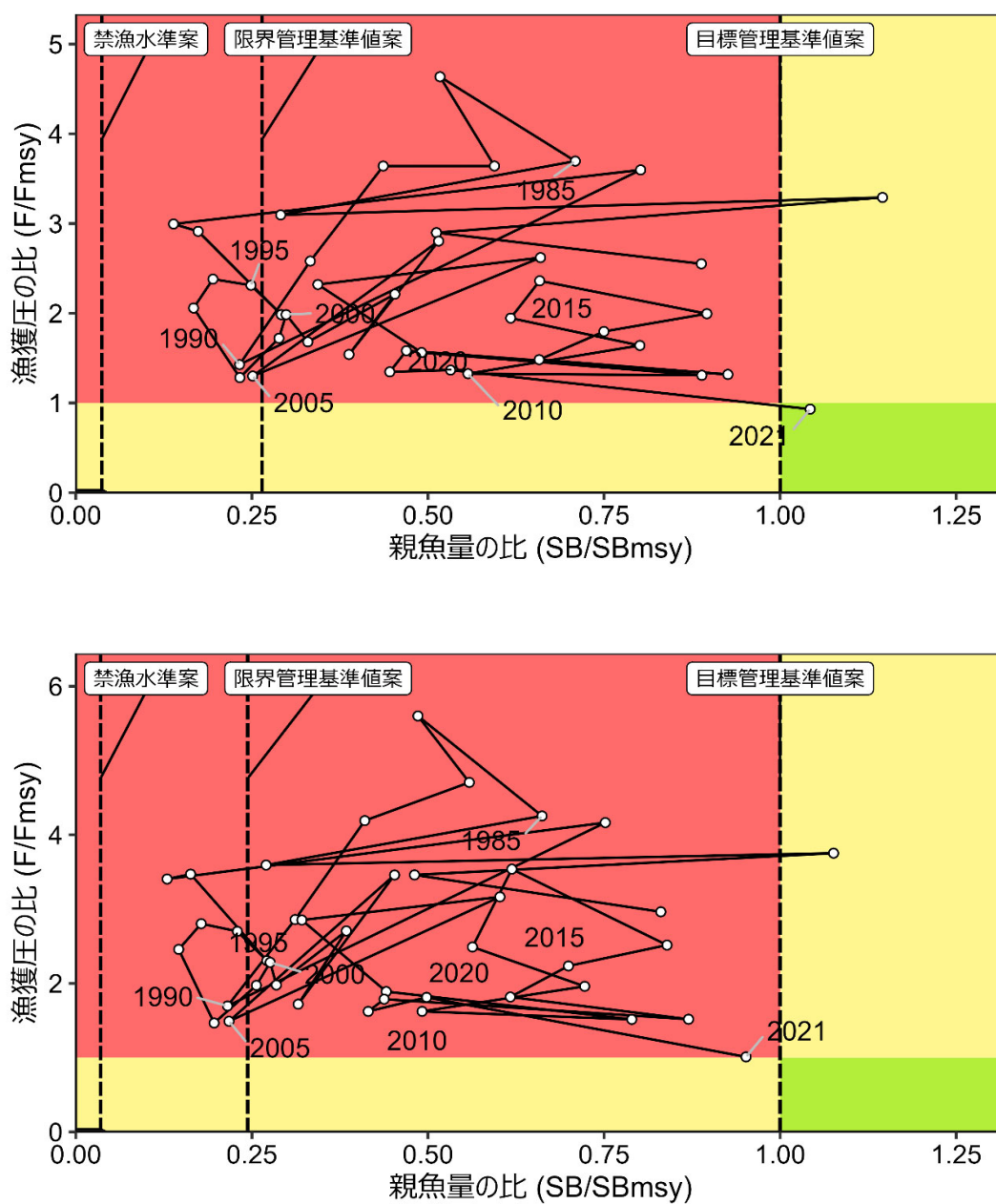
補足図 4-1. 再生産関係

上段は太平洋系群の M を適用した場合、下段は対馬暖流系群の M を適用した場合である。



補足図 4-2. 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

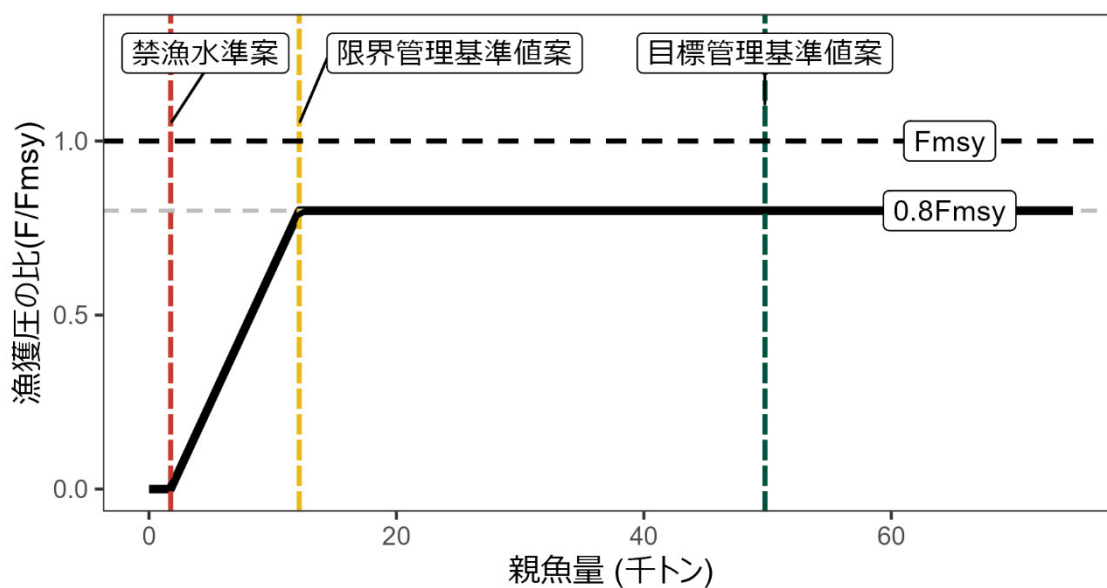
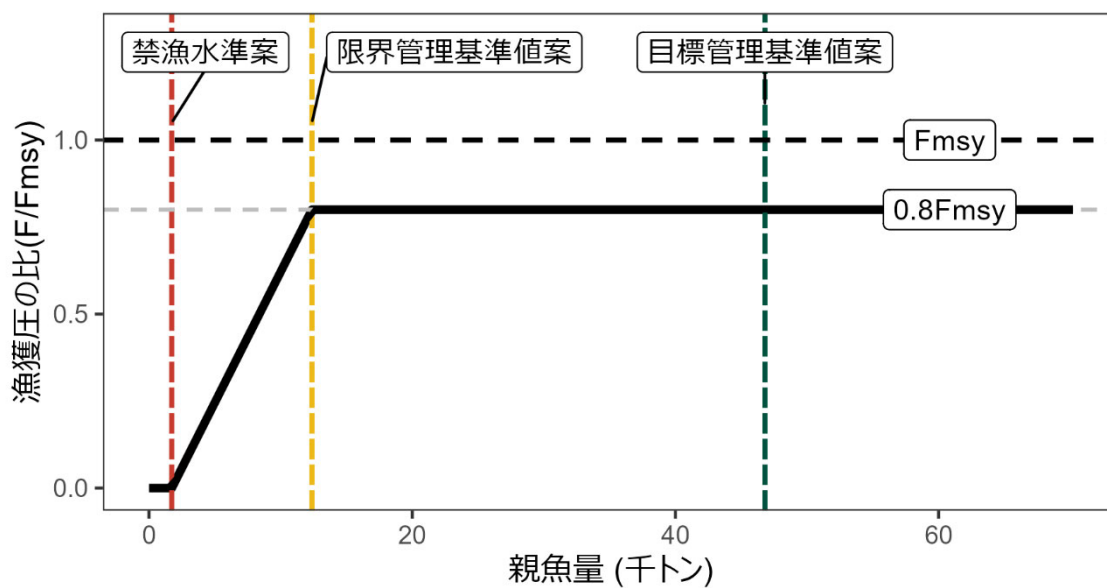
上段は太平洋系群の M を適用した場合、下段は対馬暖流系群の M を適用した場合である。



補足図 4-3. 神戸プロット

上段は太平洋系群の M を適用した場合、下段は対馬暖流系群の M を適用した場合である。

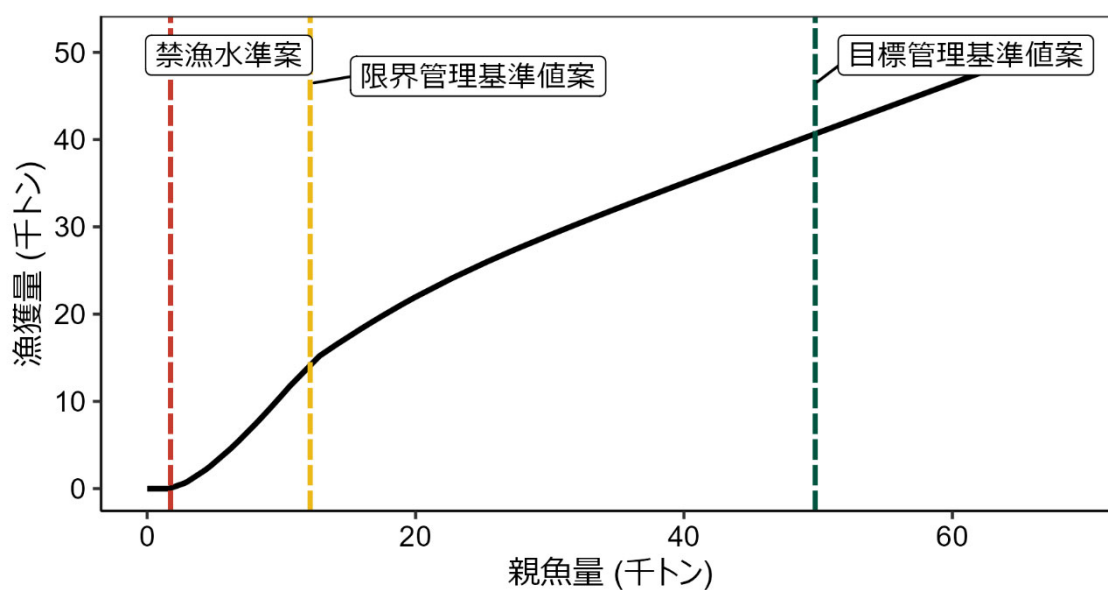
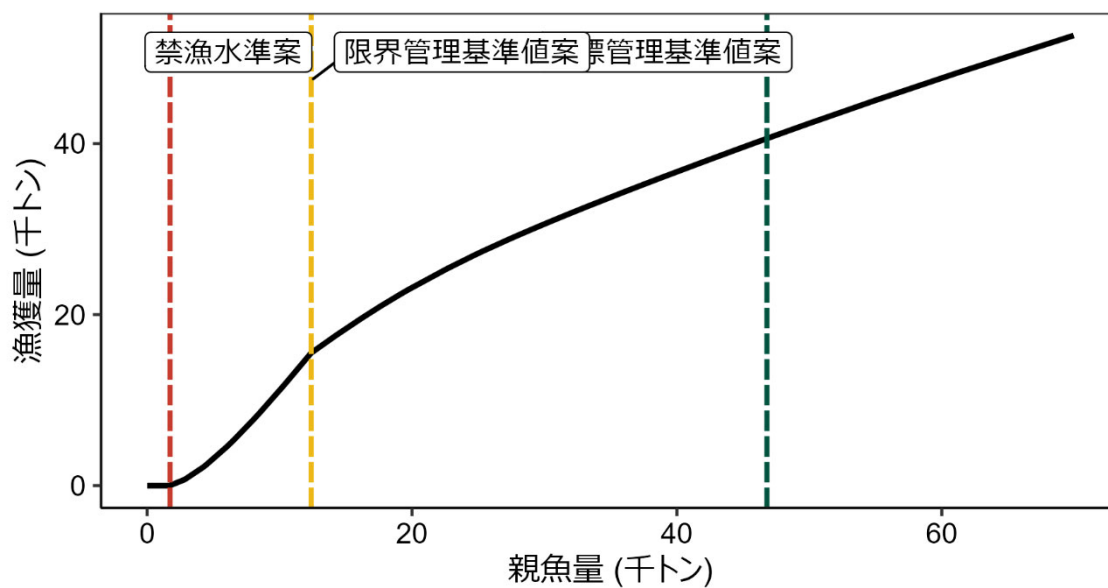
a) 縦軸を漁獲圧にした場合



補足図 4-4. 漁獲管理規則案

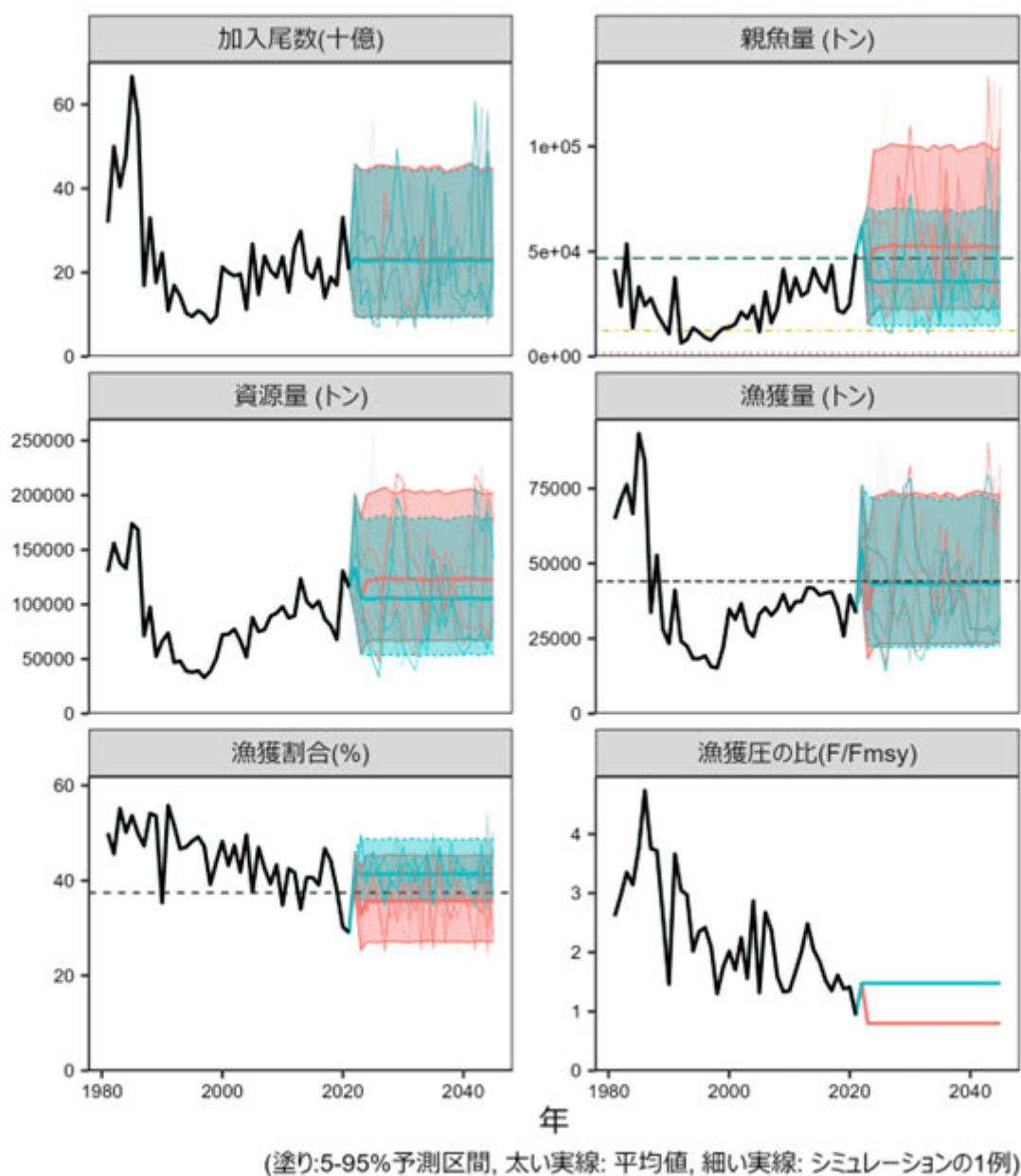
上段は太平洋系群の M を適用した場合、下段は対馬暖流系群の M を適用した場合である。

b) 縦軸を漁獲量にした場合

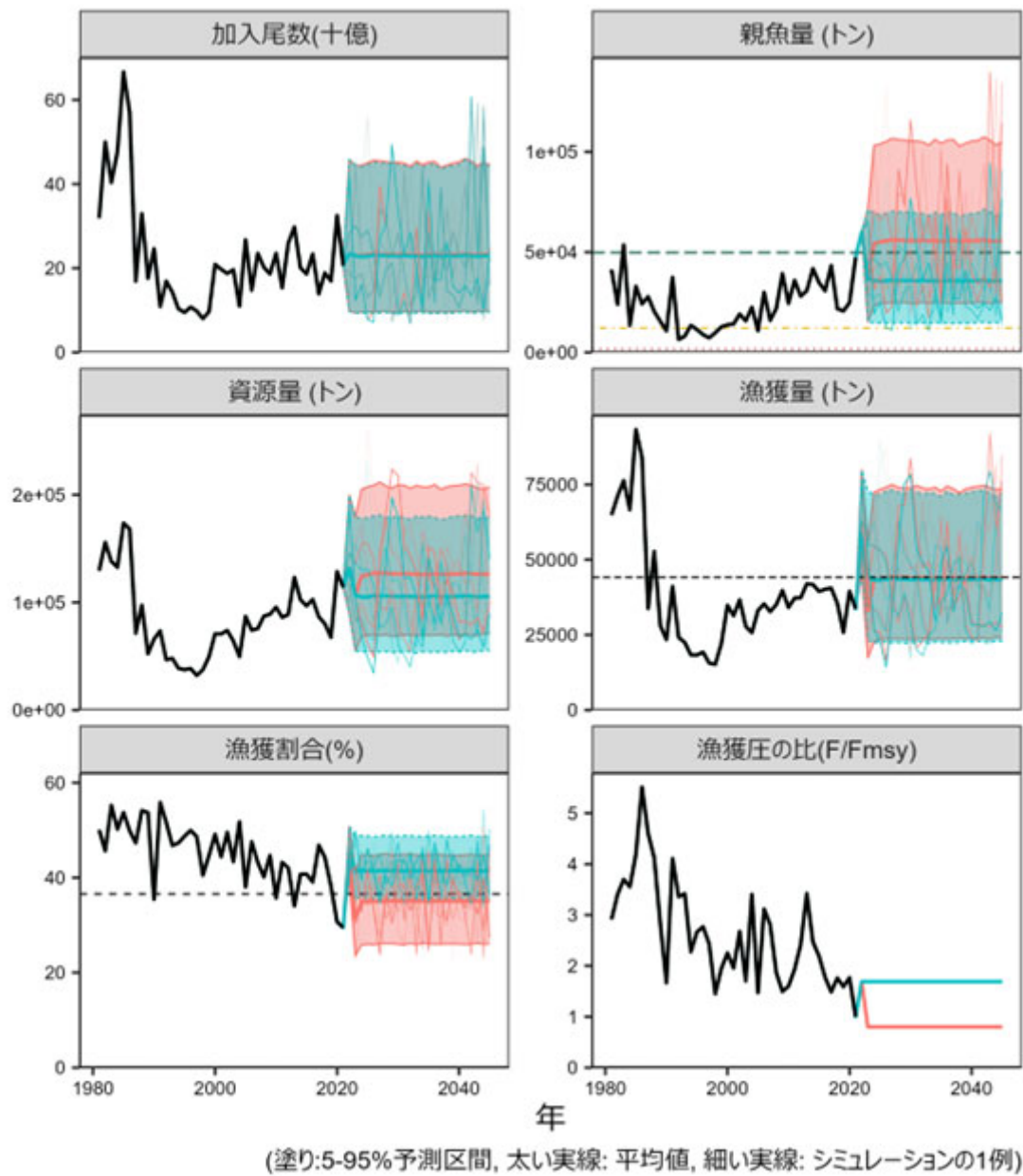


補足図 4-5. 漁獲管理規則案

上段は太平洋系群の M を適用した場合、下段は対馬暖流系群の M を適用した場合である。



補足図 4-6. 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
太平洋系群の M を適用した場合である。



補足図 4-7. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較
対馬暖流系群の M を適用した場合である。

補足表 4-2. 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）

太平洋系群の M を適用した場合

管理基準値案	説明	親魚量 (千トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (千トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBmsy	47	0.32	44	31.4	0.37	0.68
限界管理基準値案	SB0.6msy	12	0.08	26	13.8	0.48	1.80
禁漁水準案	SB0.1msy	2	0.01	4	11.1	0.50	2.10
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2+歳)=(0.49, 3.68, 3.68)					

対馬暖流系群の M を適用した場合

管理基準値案	説明	親魚量 (千トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (千トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBmsy	50	0.30	44	29.7	0.37	0.59
限界管理基準値案	SB0.6msy	12	0.07	26	11.9	0.48	1.82
禁漁水準案	SB0.1msy	2	0.01	4	9.8	0.50	2.09
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2+歳)=(0.43, 3.40, 3.40)					