

令和 3（2021）年度ヤナギムシガレイ太平洋北部の 管理基準値等に関する研究機関会議資料

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

要 約

令和 3 年度の本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 1998～2019 年の親魚量と加入量の情報に対し、自己相関を考慮したホッケー・スティック型再生産関係 (HS) の適用を提案する。HS 再生産関係のパラメータ推定方法には最小二乗法を使用した。目標管理基準値として、再生産関係に基づき算出される SBmsy (529 トン) を、限界管理基準値として、SB0.6msy (222 トン) を提案する。禁漁水準としては、SB0.1msy (32 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 (2015～2019 年の漁獲係数の平均値) の 0.61 倍である。

親魚量 (トン)	現状の親魚量 (2020 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 (2015～2019 年) に対する比*	説 明
目標管理基準値案					
529	0.64	0.39	116	0.61	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					
222	0.27	0.16	69	1.02	MSY の 60%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
32	0.04	0.02	12	1.30	MSY の 10%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.1msy)
2020 年					
822	1.00	0.61	179**	—	2020 年の値

* 現状の漁獲圧における年齢別選択率に基づき管理基準値案および水準案を計算する際の、現状の年齢別漁獲係数に乗じる係数を示す。

** 2020 年の実際の漁獲量（概数値）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 3（2021）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2021-ABCWG02-01）」に従い、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 (v2.2.0.0) を用いた。frasyr で用いた式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和 3 年度）（FRA-SA-2021-ABCWG01-02）」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
資源量・親魚量	令和 3(2021)年度ヤナギムシガレイ太平洋北部の資源評価(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 1998～2019 年の加入量および親魚量に基づき行った。直近の 2020 年の加入量については、不確実性が高いと判断し検討から除外した。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。

いずれの再生産関係式でも自己相関プロットから加入残差に自己相関が認められ、自己相関係数（ ρ ）も約 0.5 と中程度（95%水準で有意）であったことから、本資源における再生産関係のモデルには自己相関を考慮した（補足資料 1）。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に従うことが確認されたため、最適化法には最小二乗法を用いることとした（補足資料 1）。

補正赤池情報量規準（AICc）は各再生産関係式の間で差が小さかったが、最小二乗法を用いて自己相関を同時推定とした場合に最も低く、HS 型、RI 型、BH 型の順となった（表 1）。また、最小二乗法で自己相関を考慮しなかった場合には HS 型で最も低く、次いで RI 型、BH 型となり、最小絶対値法で自己相関を考慮しなかった場合では BH 型、RI 型、そして HS 型の順となった。

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、最小二乗法で自己相関を同時推定した場合には BH 型で影響が大きかった一方、HS 型および RI 型では影響が小さく、安定していることが示された（補足資料 1）。

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（FRA-SA2021-ABCWG01-03）」の 3.a（予測力）、3.b（生物学的妥当性）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、最適化法を最小二乗法とし、自己相関を同時推定した HS 型再生産関係を提案する（図 1）。

2. 管理基準値

2-1) データセットおよび計算方法

最大持続生産量（MSY）に対応する管理基準値案等の算出、および将来予測は、「令和 3（2021）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2021-ABCWG02-01）」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 3 年度の資源評価に基づく各種設定（自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重、現状の漁獲圧）を使用して実施した。なお、本資源においては現状の漁獲圧として 2015～2019 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 2015～2019 年の平均値を用いた。平均世代時間（7 年）の 20 倍の年数のシミュレーション期間後を平衡状態と仮定し、平衡状態における平均漁獲量の最大値を最大持続生産量（MSY）、MSY が達成される際の親魚量を SBmsy、MSY が得られる F 値を Fmsy とした。

2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

本資源の目標管理基準値（SBtarget）として MSY 水準における親魚量（SBmsy：529 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：222 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：32 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（SB0）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 SBmsy は SB0 の 39%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 116 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 0.61 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 16%、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 2～4 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 達成時には 4 歳以上の漁獲が主体となると推測された。

2-3) 神戸プロット

目標管理基準値案である SBmsy と、その時の漁獲圧 Fmsy を基準にした神戸プロットを図 4 に示す。本資源における漁獲係数（F 値）は 1998 年以降、いずれの年においても MSY を実現する水準を上回っていたと判断される。ただし、現状の親魚量（2020 年の親魚量：822 トン）は、目標管理基準値案 SBmsy を超えており、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 0.64、0.27 および 0.04 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 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を用いた場合（すなわち、 SB_{limit} は $SB0.6msy$ 、 SB_{ban} 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 2022 年から開始し、2021 年の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧（ $F_{2015-2019}$ ）から仮定した。

予測される 2022 年漁期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。 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 SB_{msy} 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（ $F_{current}$ ）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 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 2032 年では、 β が 0.8 であれば 51%の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された（表 4）。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が 40%を下回った。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 の場合は 98%、 β が 1.0 であっても 95%の確率で維持できることが示された（表 5）。2022 年以降の親魚量は β が低い程多くなるものの（表 7）、2022 年の漁獲量は β が 1.0 の場合でも現状（2020 年：179 トン）より少なくなった（表 8）。

3. まとめ

本資源では、資源評価で推定された 1998～2019 年の加入量および親魚量に基づき、再生産関係モデルに自己相関を考慮した HS 型再生産関係式を適用し、そのパラメータを最小二乗法により推定することを提案する。

目標管理基準値案は MSY を実現する資源水準と定められていることから、上記の再生産関係から推定される SB_{msy} (529 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 $SB_{0.6msy}$ (222 トン)、 $SB_{0.1msy}$ (32 トン) をそれぞれ提案する。

現在の本資源の親魚量は目標管理基準値および限界管理基準値案以上にあると推定される。 MSY を実現する漁獲割合は 17%、漁獲圧は $F_{current}$ の 0.61 倍である (表 3)。調整係数 β が 0.8 以下の漁獲圧であれば、将来的 (10 年後) 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。

4. 今後の検討事項

本資源の再生産関係では自己相関が有意であり、年代による傾向が認められるが、データのある年数が短いため、将来予測においては不確実性が高いと考えられる。本資源は F_{msy} よりも高い漁獲圧および MSY を超える漁獲量が続いているにもかかわらず、近年の親魚量が目標管理基準値案を上回っている。この要因には、2014～2016 年の高い豊度の加入量によるものと判断される。しかし、2017 年以降、加入量は減少傾向となっていることから、今後の動向を注視する必要がある。

なお、本資源をより効果的に管理するためには、本資源と漁場を共有し、かつては沖合底びき網漁業において本資源の年間漁獲量の 20%以上を占めていたにもかかわらず、現在は評価の対象外となっている千葉県船の漁獲量についても考慮することが重要である。

5. 引用文献

ABCWG (2021) 令和 3 (2021) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2021-ABCWG02-01.

ABCWG (2021) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 3 年度). FRA-SA-2021-ABCWG01-02.

ABCWG (2021) 再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 3 年度). FRA-SA2021-ABCWG01-03.

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

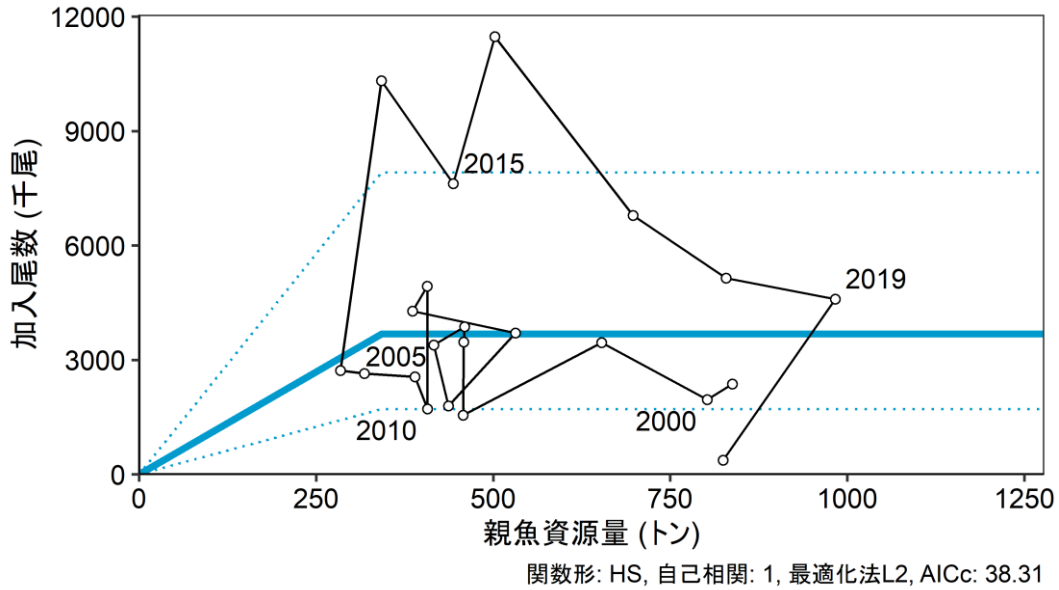


図 1. 再生産関係

1998～2018 年における親魚資源量と翌年（1999～2019 年）の 1 歳魚の加入量から求めた再生産関係。プロットは最新の資源評価結果から求めたものである。図中の数字は 1 歳魚が加入した年を示す。再生産関係には自己相関を考慮したホッケ－・スティック型（HS）再生産式を用い、最小二乗法によりパラメータを推定した。図中の再生産関係式（青実線）の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。なお、2020 年の加入量はパラメータ推定に利用していない。

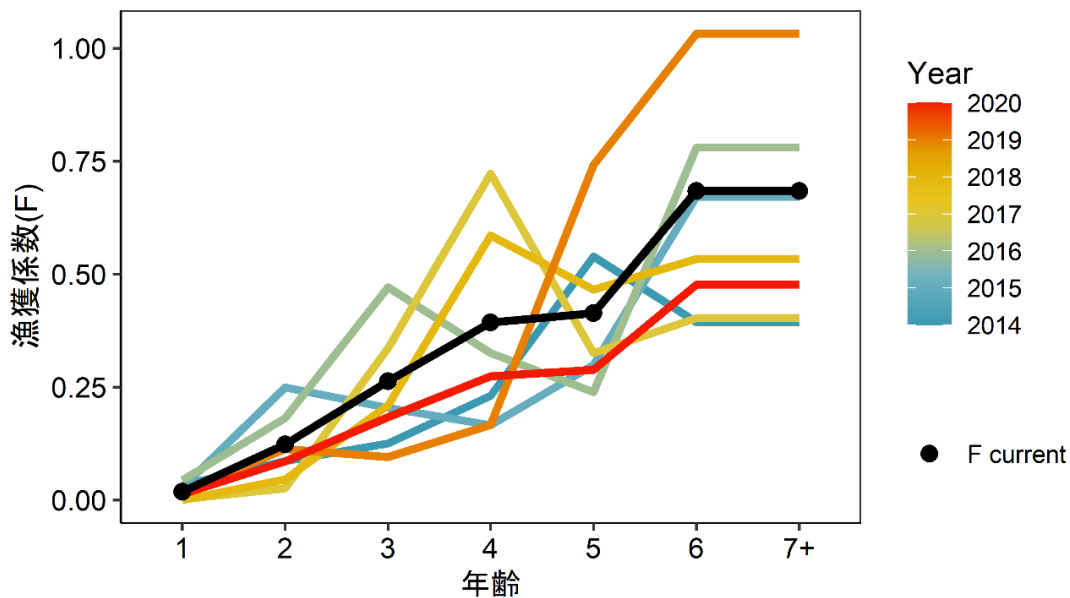


図 2. 年齢別の漁獲係数（F 値）

2014 年以降の各年の年齢別 F 値を示す。黒線は現状の漁獲圧（ F_{current} =2015～2019 年の平均値）である。2020 年の F 値は現状の漁獲圧に 2020 年の沖底の網数で補正して求めた値である。

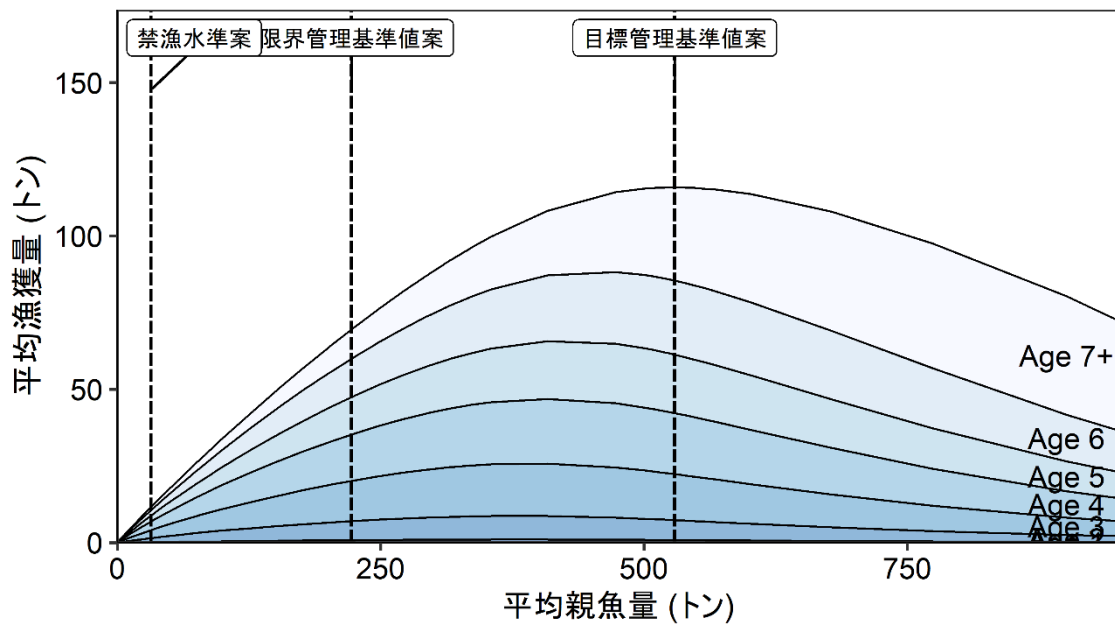


図 3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値と、それぞれの管理基準値案の位置関係を示す。

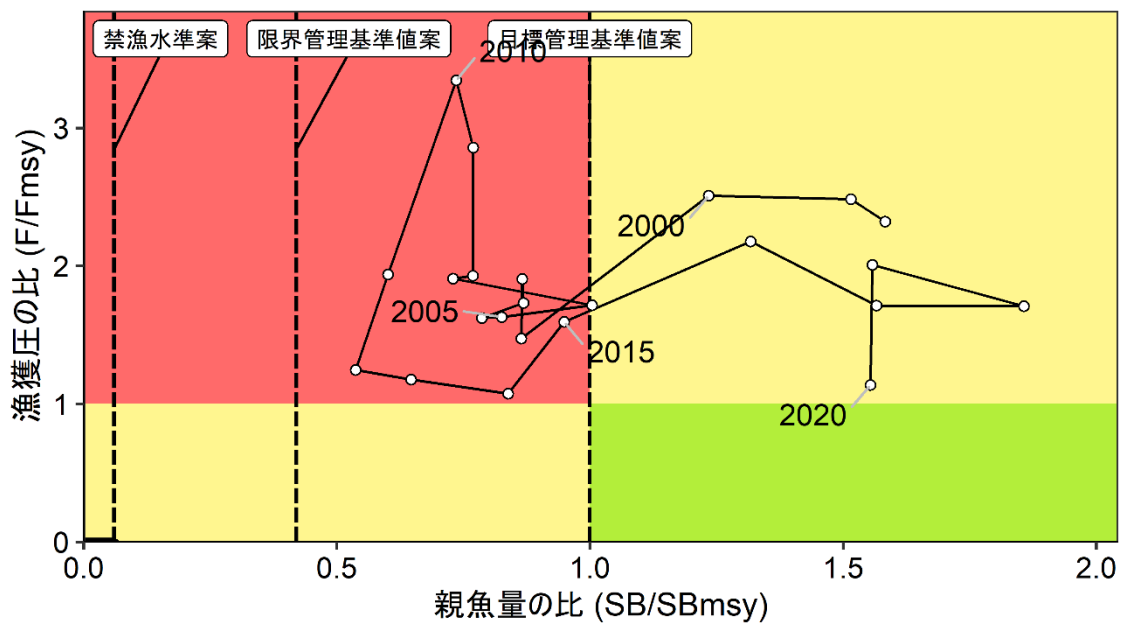
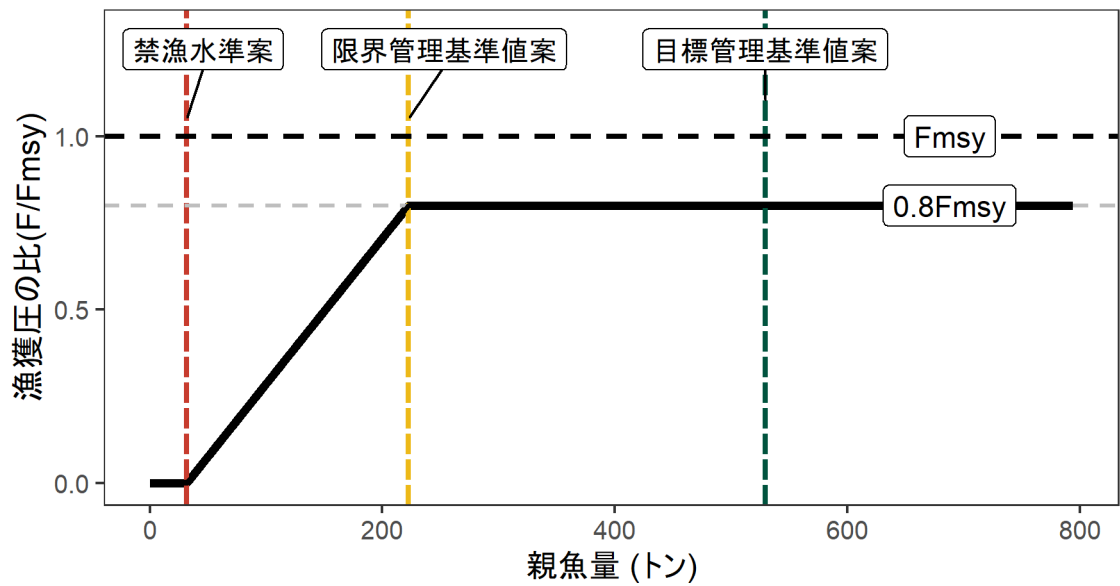


図 4. 神戸プロット

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

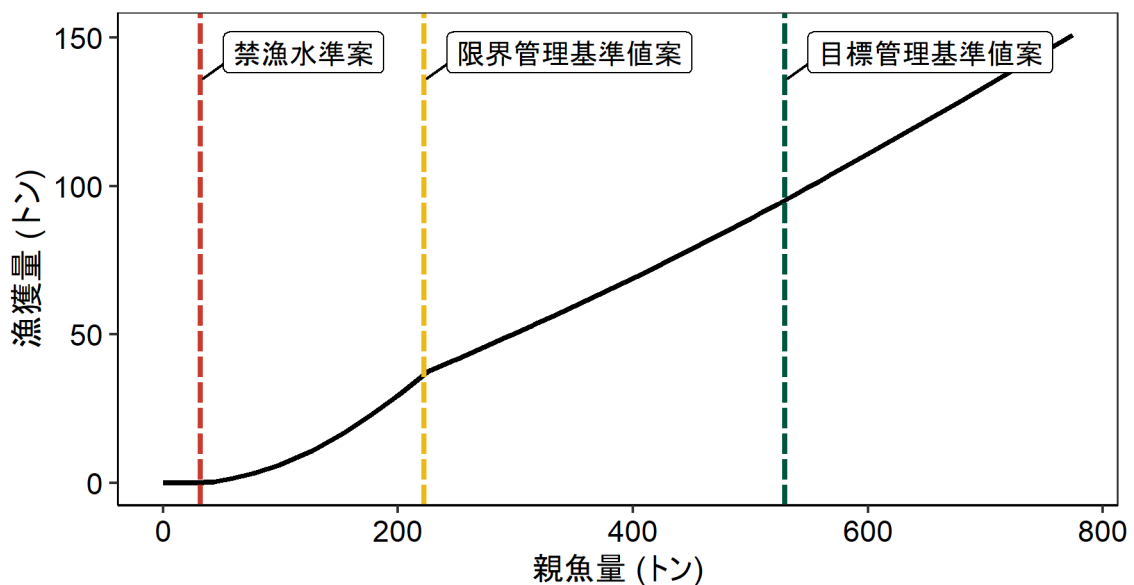
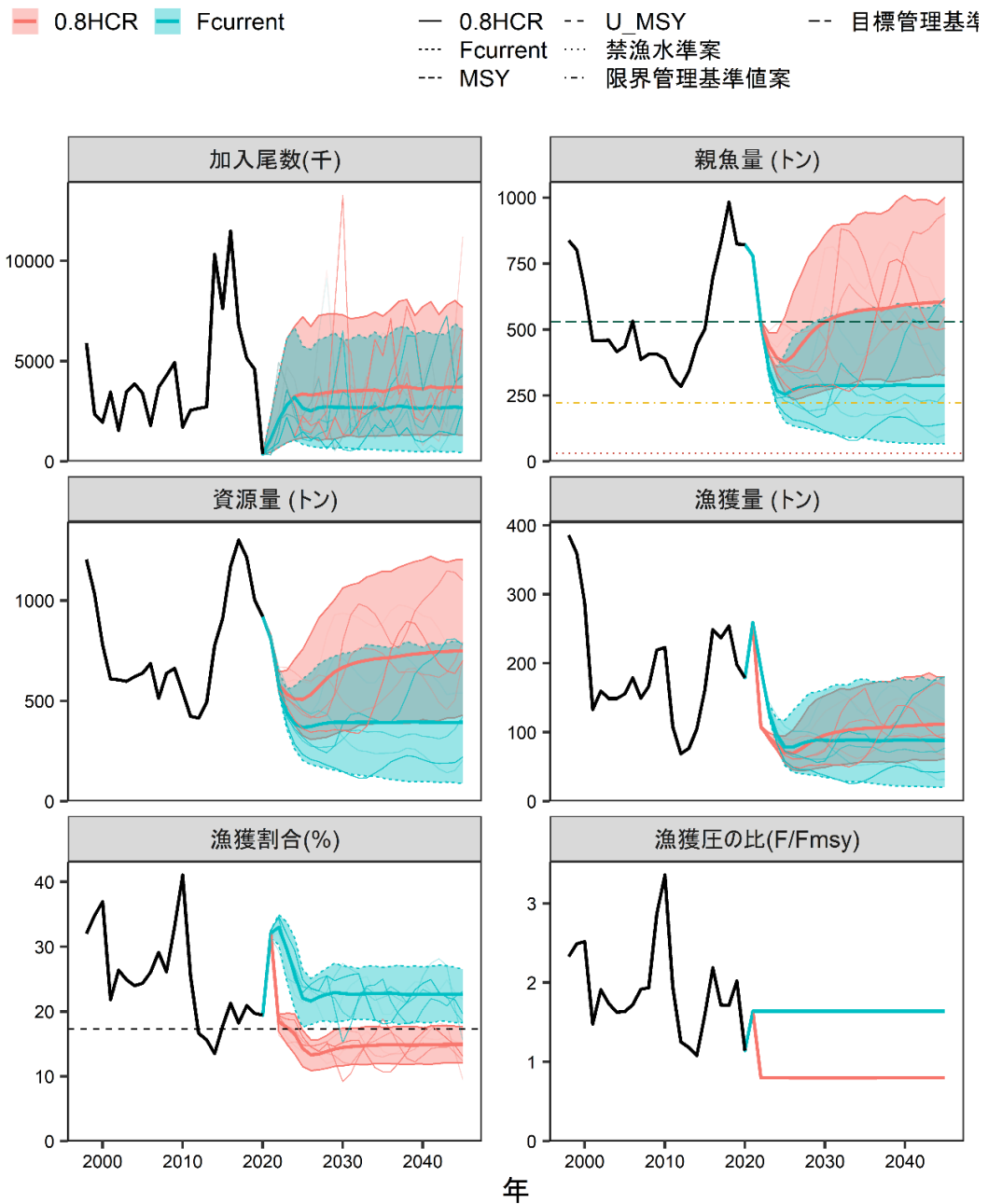


図 5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は 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 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。2021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、2022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	38.3	1
リッカー (RI)	最小二乗法	同時	38.8	2
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	同時	39.2	3
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	無	41.4	4
リッカー (RI)	最小二乗法	無	41.7	8
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	無	41.7	7
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	無	42.1	9
リッカー (RI)	最小絶対値法	無	41.6	6
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	無	41.3	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。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ほうが妥当と考え、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	0.25	0.00	19	0.05	0.018
2	0.25	0.30	37	0.31	0.123
3	0.25	1.00	57	0.67	0.263
4	0.25	1.00	81	1.00	0.393
5	0.25	1.00	114	1.05	0.414
6	0.25	1.00	158	1.74	0.684
7+	0.25	1.00	192	1.74	0.684

Fcurrent は 2015～2019 年の F 値の平均である。

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	529	0.39	116	40.1	0.173	0.61
限界管理基準値案	SB0.6msy	222	0.16	69	29.1	0.228	1.02
禁漁水準案	SB0.1msy	32	0.02	12	24.7	0.255	1.30
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳以上) = (0.01, 0.07, 0.16, 0.24, 0.25, 0.42, 0.42)					

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	2042	2052
1	100	10	0	1	4	9	16	22	28	30	32	35	41	43
0.9	100	10	0	2	5	11	20	28	34	37	41	43	49	51
0.8	100	10	1	3	7	13	24	34	41	46	48	51	57	58
0.7	100	10	1	4	9	17	28	40	48	54	57	60	67	66
0.6	100	10	2	5	12	22	36	47	56	62	67	68	76	74
0.5	100	10	4	9	17	30	43	56	64	70	76	78	86	83
0.4	100	10	8	15	25	38	52	64	72	79	83	86	92	90
0.3	100	10	15	26	37	48	61	71	79	86	89	92	96	96
0.2	100	10	31	42	50	60	71	81	87	92	94	96	98	99
0.1	100	10	57	63	67	74	82	88	94	96	97	98	100	100
0	100	10	88	86	84	86	91	96	98	98	99	100	100	100
Fcurrent	100	10	0	0	1	2	3	4	5	6	7	6	8	9

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2022 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	2042	2052
1	100	100	100	100	96	90	92	93	94	95	95	95	97	98
0.9	100	100	100	100	98	94	95	96	97	96	96	97	98	99
0.8	100	100	100	100	100	97	97	98	98	98	98	98	100	100
0.7	100	100	100	100	100	99	98	99	99	99	99	99	100	100
0.6	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
0.4	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
0.2	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
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	84	60	63	64	64	64	63	63	62	60	57

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2022 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。

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	2042	2052
1	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
0.8	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
0.6	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
0.4	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
0.2	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
0	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	99	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。2021 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2022 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。

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	2042	2052
1	780	523	415	356	340	361	395	423	445	460	470	478	519	524
0.9	780	523	427	373	358	380	417	450	476	494	506	515	558	561
0.8	780	523	439	391	378	400	441	478	508	530	545	556	599	603
0.7	780	523	452	411	400	423	466	509	544	569	587	600	645	648
0.6	780	523	465	432	424	448	494	541	581	612	633	648	696	700
0.5	780	523	479	454	450	477	525	577	623	658	684	702	755	759
0.4	780	523	493	477	480	509	561	618	669	709	740	762	825	830
0.3	780	523	508	503	512	545	601	663	721	768	803	830	909	916
0.2	780	523	523	530	547	585	647	716	781	835	878	910	1012	1023
0.1	780	523	538	558	587	631	700	778	852	915	966	1006	1143	1161
0	780	523	554	589	630	683	762	850	935	1010	1072	1123	1313	1342
Fcurrent	780	523	347	269	254	272	281	285	288	288	288	289	288	282

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年現状の漁獲圧（Fcurrent）で漁獲し、2022 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。

※ 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	2042	2052
1	259	130	106	90	75	74	81	89	95	99	101	103	113	114
0.9	259	119	100	87	73	72	79	87	94	98	101	103	113	114
0.8	259	108	93	83	71	70	76	84	91	96	99	102	111	112
0.7	259	96	85	78	67	66	72	80	88	93	96	99	108	108
0.6	259	83	77	72	63	62	68	75	83	88	92	95	103	104
0.5	259	71	67	64	58	57	62	69	76	81	85	88	96	97
0.4	259	58	56	56	51	50	55	61	67	72	76	79	87	88
0.3	259	44	44	45	42	42	45	51	56	61	64	67	75	75
0.2	259	30	31	32	31	31	34	38	42	46	48	51	58	58
0.1	259	15	16	17	17	17	19	21	24	26	28	29	34	35
0	259	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	259	193	129	97	79	79	84	87	89	88	88	88	89	87

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧（Fcurrent）で漁獲し、2022 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。

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
		2027 年	2032 年	2022 年	2027 年	2032 年			
1	35%	395	478	130	81	103	0%	13.7%	41%
0.9	43%	417	515	119	79	103	0%	8.4%	100%
0.8	51%	441	556	108	76	102	0%	5.1%	100%
0.7	60%	466	600	96	72	99	0%	2.2%	100%
0.6	68%	494	648	83	68	95	0%	0.9%	100%
0.5	78%	525	702	71	62	88	0%	0.2%	100%
0.4	86%	561	762	58	55	79	0%	0%	100%
0.3	92%	601	830	44	45	67	0%	0%	100%
0.2	96%	647	910	30	34	51	0%	0%	100%
0.1	98%	700	1006	15	19	29	0%	0%	100%
0	100%	762	1123	0	0	0	0%	0%	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 2022 年の値と、5 年および 10 年管理を行った後の値（2027 年および 2032 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.) も併せて算出した。

候補とした再生産関係を補足図 1-1、補足表 1-1 に示した。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ことから、最適化法には最小二乗法を用いた (補足図 1-2)。次に加入の時系列トレンドを調べるため、最小二乗法を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 1-3)。その結果、いずれの再生産関係を仮定した場合でも、自己相関は有意であると示されたことから、本資源については自己相関を考慮することとした。ここで、モデルに自己相関を考慮することにより自己相関構造は解消される。AICc は自己相関を同時推定した最小二乗法の場合で低く、HS 型、RI 型、BH 型の順となり、自己相関を考慮しない最小二乗法の場合には HS 型、BH 型、RI 型、自己相関を考慮しない最小絶対値法の場合には BH 型、RI 型、HS 型の順であった (表 1)。

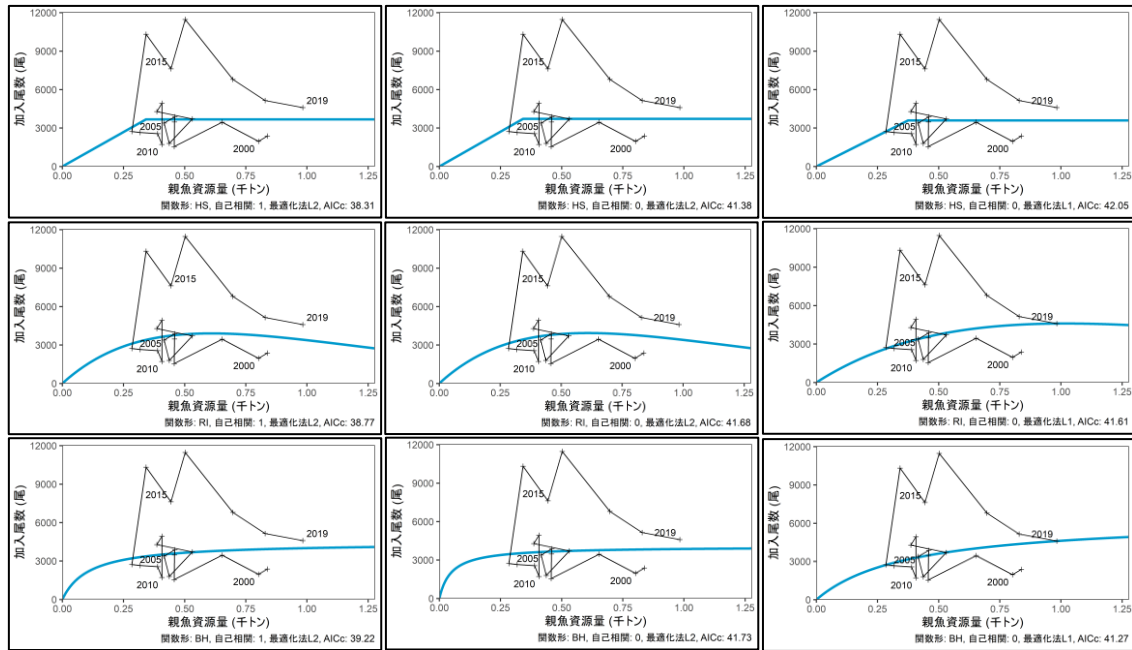
ジャックナイフ法により、個々のデータを取り除いた際の推定パラメータへの影響を調べた。その結果、BH 型で影響が大きかった一方、その他の関係式では影響は小さく、安定していることが示された (補足図 1-4、1-5)。また、パラメータ推定の信頼区間は残差ブートストラップにより検討した (補足図 1-6、1-7)。

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。BH 型ではパラメータが収束しなかったが、それ以外の再生産関係モデルではパラメータが収束することが示された。

引用文献

ABCWG (2021) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 3 年度) . FRA-SA-2021-ABCWG01-02.

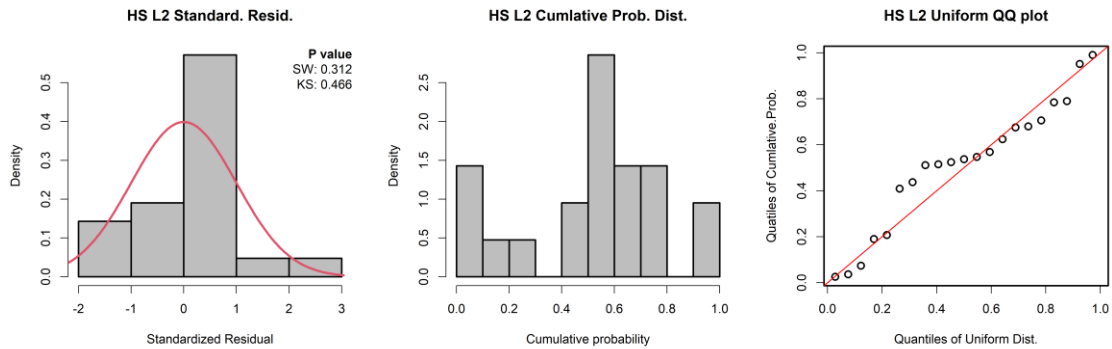
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957) On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Clark C. W., A. T. Charles, J. R. Beddington, and M. Mangel (1985) Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Mar. Resour. Econ.*, **2**, 25-53.
- Ricker W. E. (1954) Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Board Can.*, **11**, 559-623.



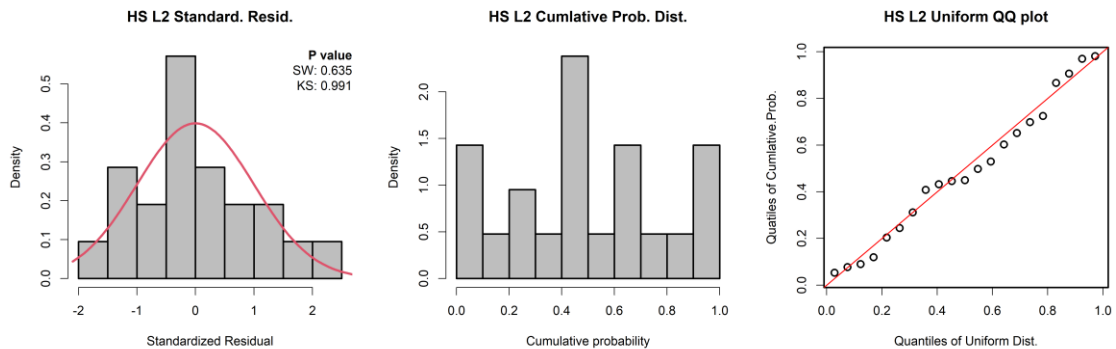
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

ホッケー・スティック型 (HS) (上段)、リッカー型 (RI) (中段)、ベバートン・ホルト型 (BH) (下段) の再生産関係式を、自己相関を同時推定した最小二乗法 (左)、自己相関を考慮しない最小二乗法 (中)、自己相関を考慮しない最小絶対値法 (右) により当てはめた。図中の各プロット (×印) は分析に使用した親魚量・加入尾数 (1998～2019 年) である。

自己相関を同時推定した場合

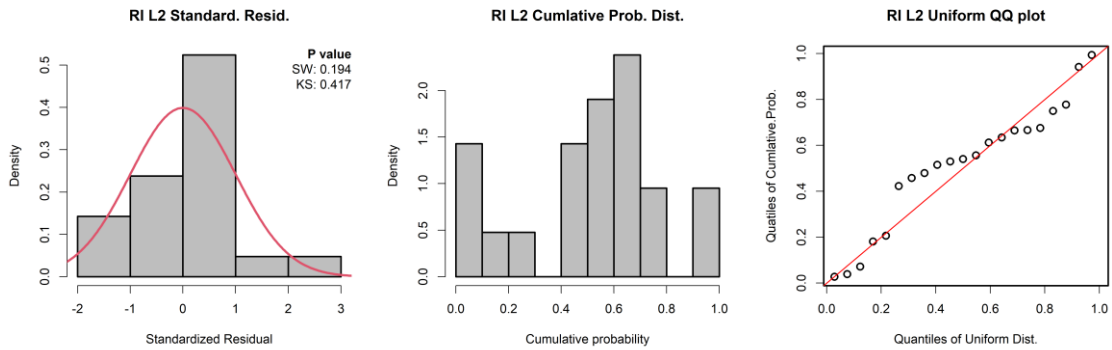


自己相関を考慮しなかった場合

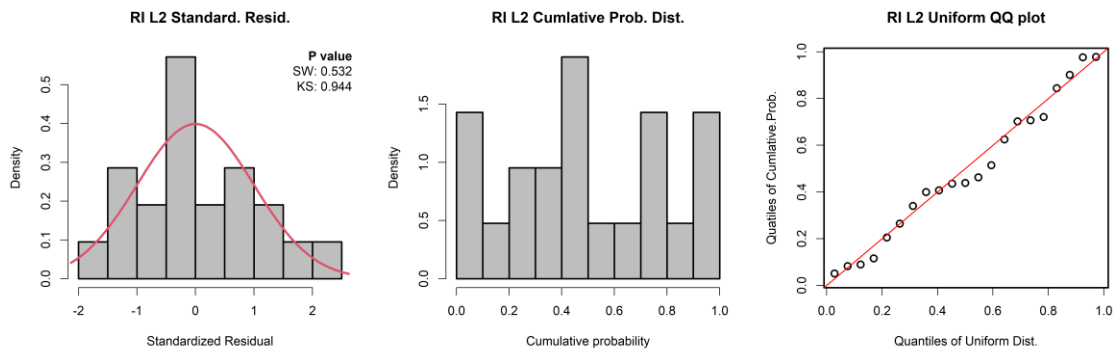


補足図 1-2a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図） 残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定（SW）と Kolmogorov-Smirnov 検定（KS）の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。

自己相関を同時推定した場合

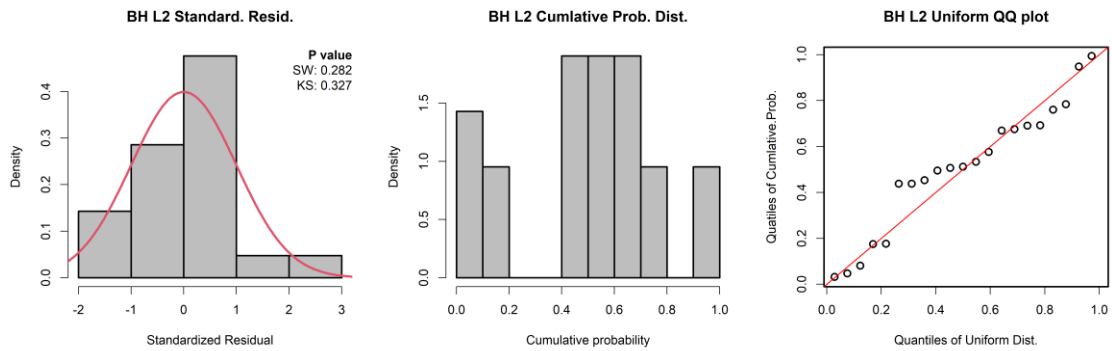


自己相関を考慮しなかった場合

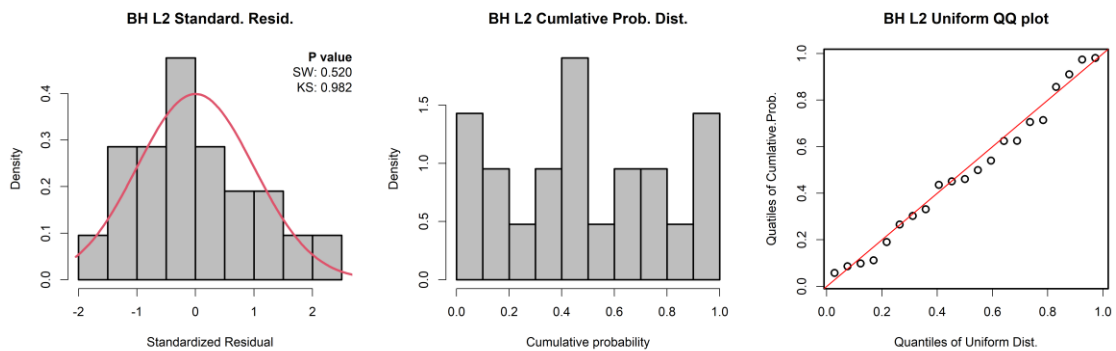


補足図 1-2b. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図） 残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定（SW）と Kolmogorov-Smirnov 検定（KS）の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。

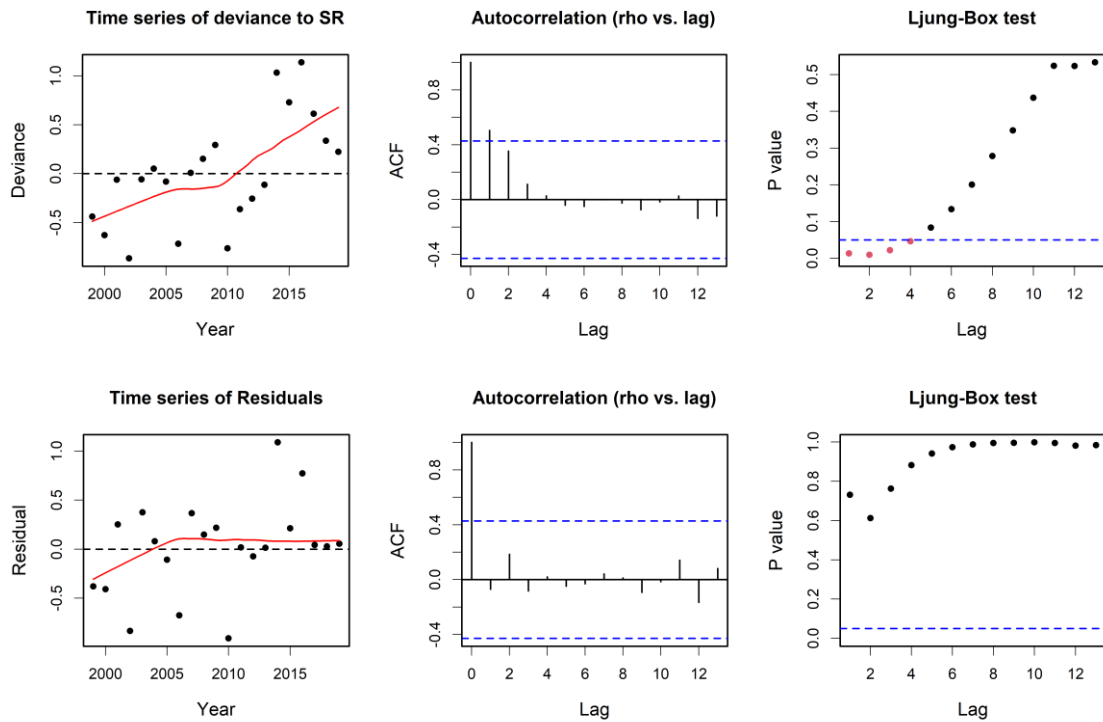
自己相関を同時推定した場合



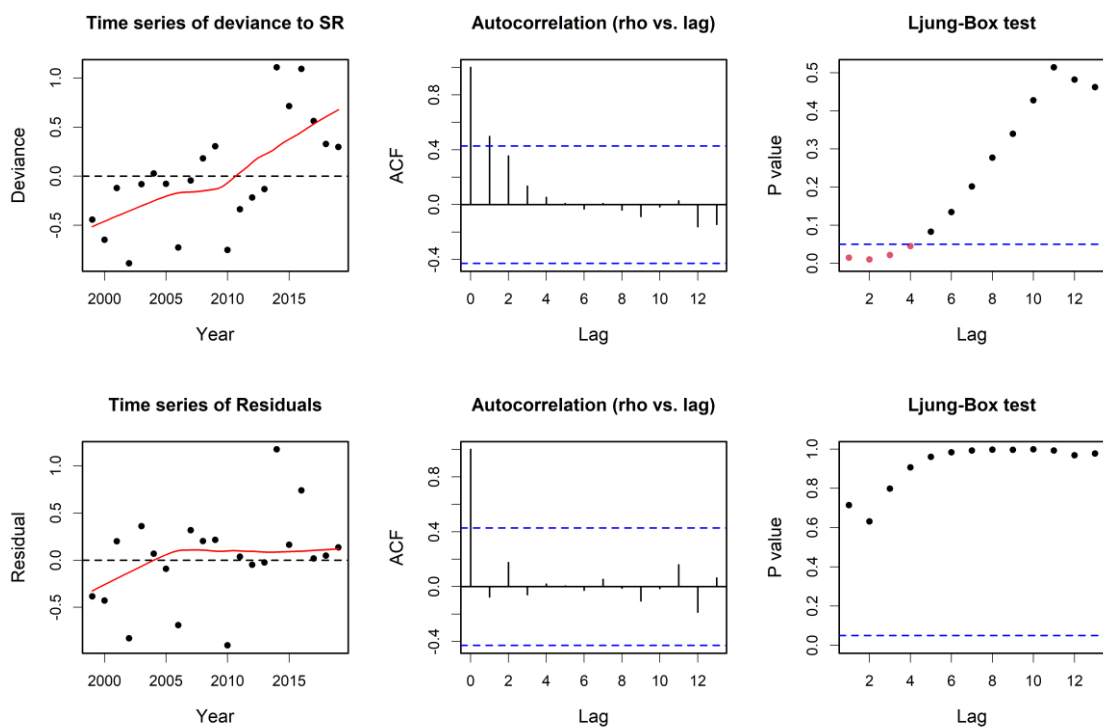
自己相関を考慮しなかった場合



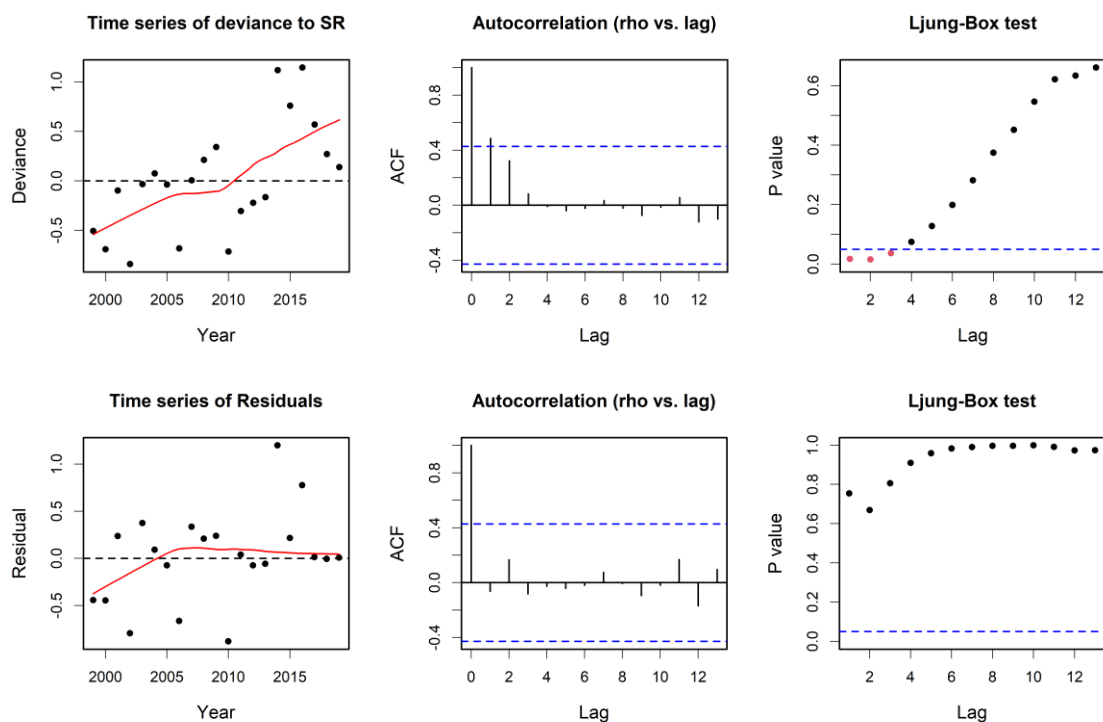
補足図 1-2c. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図） 残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定（SW）と Kolmogorov-Smirnov 検定（KS）の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。



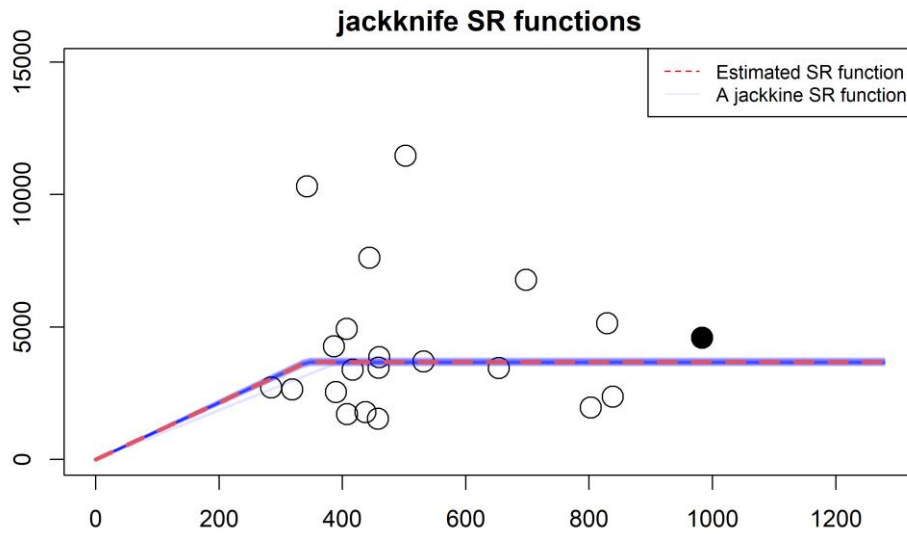
補足図 1-3a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。



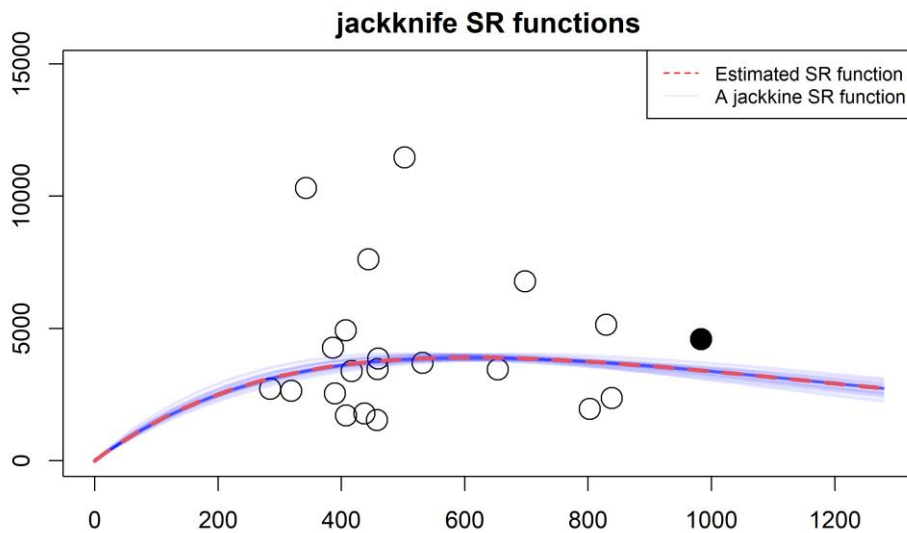
補足図 1-3b. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。



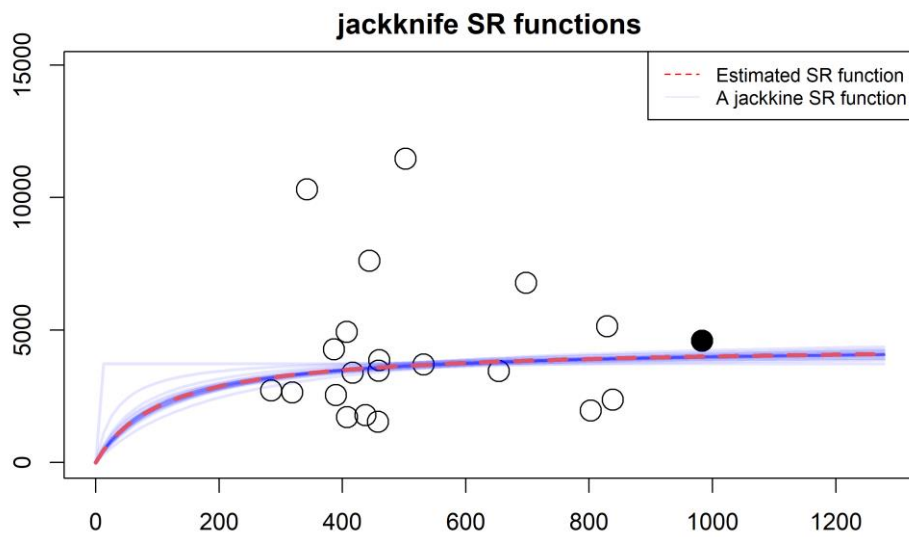
補足図 1-3c. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。



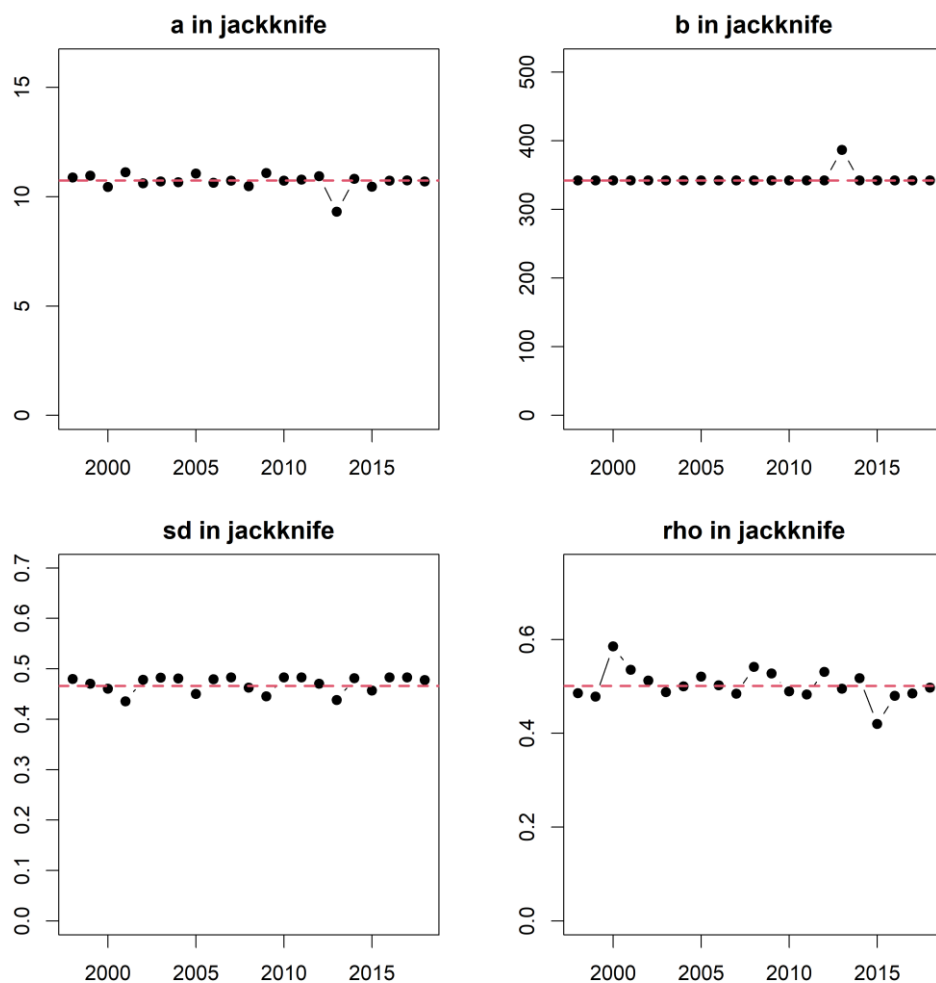
補足図 1-4a. 自己相関を同時推定したホッカー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果 丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2019 年）を示す。



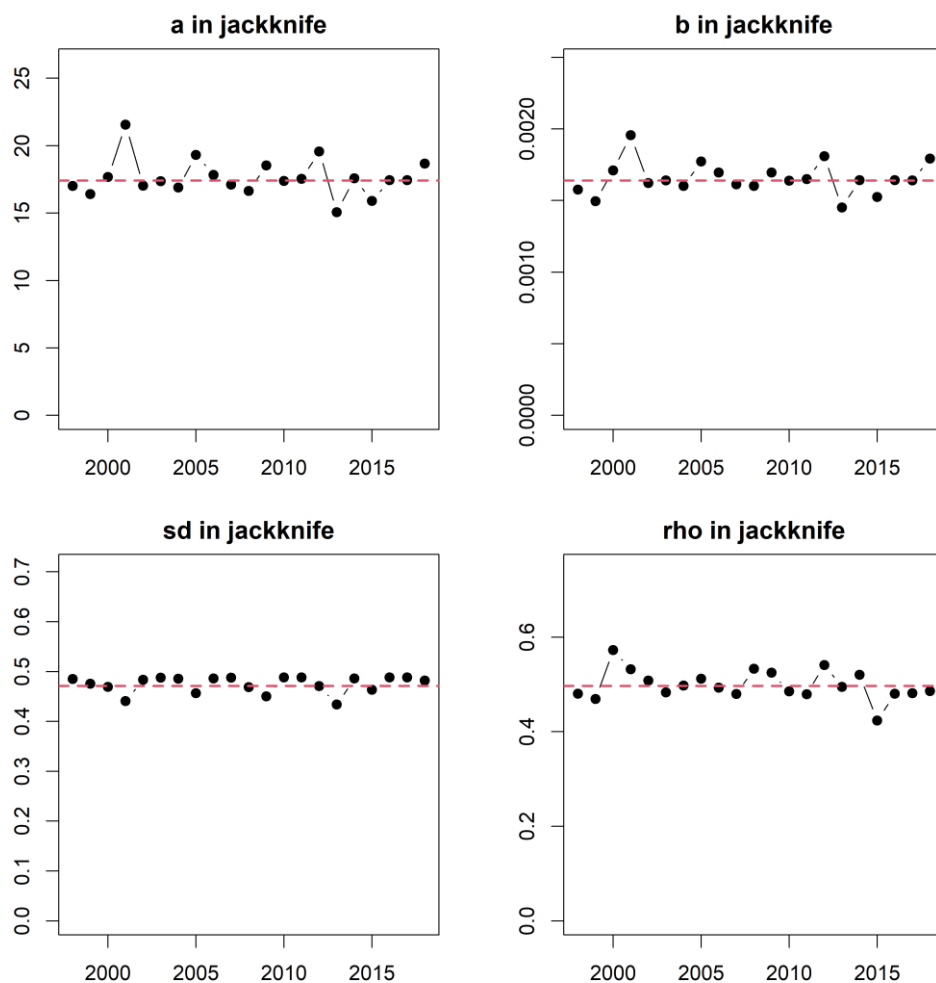
補足図 1-4b. 自己相関を同時推定したリッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果 丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2019 年）を示す。



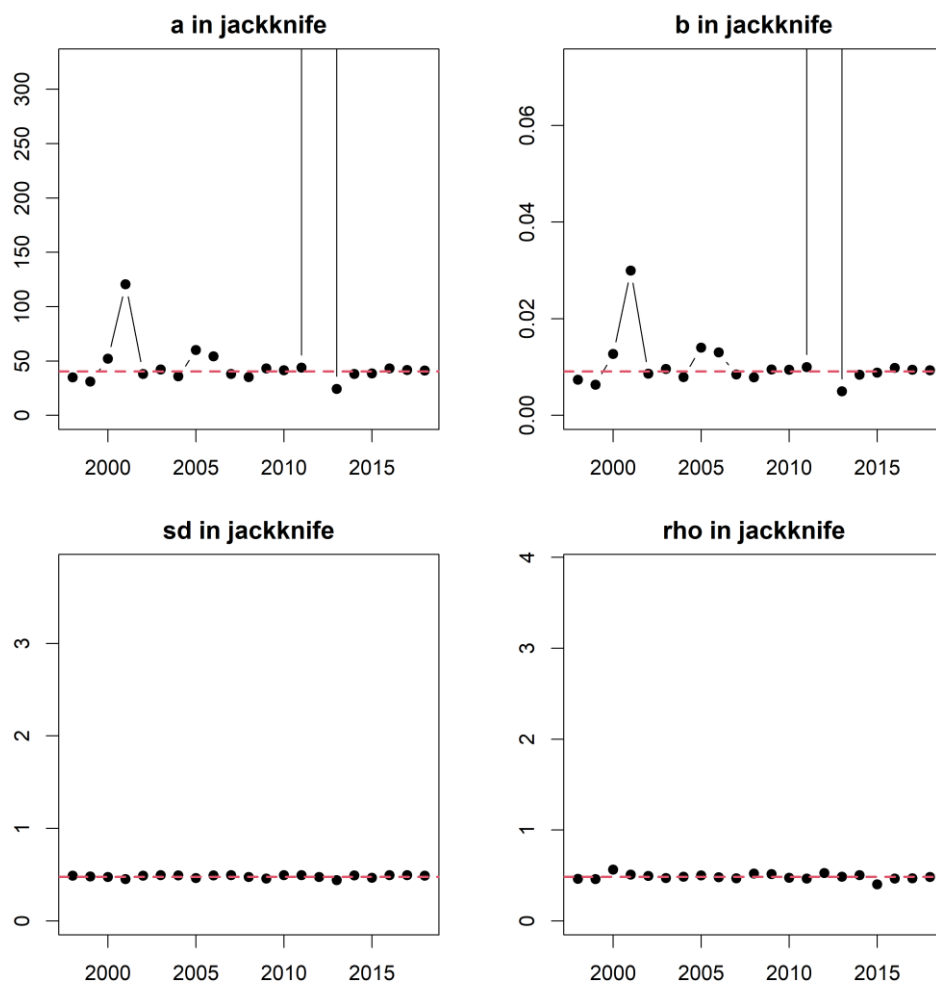
補足図 1-4c. 自己相関を同時推定したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果 丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2019 年）を示す。



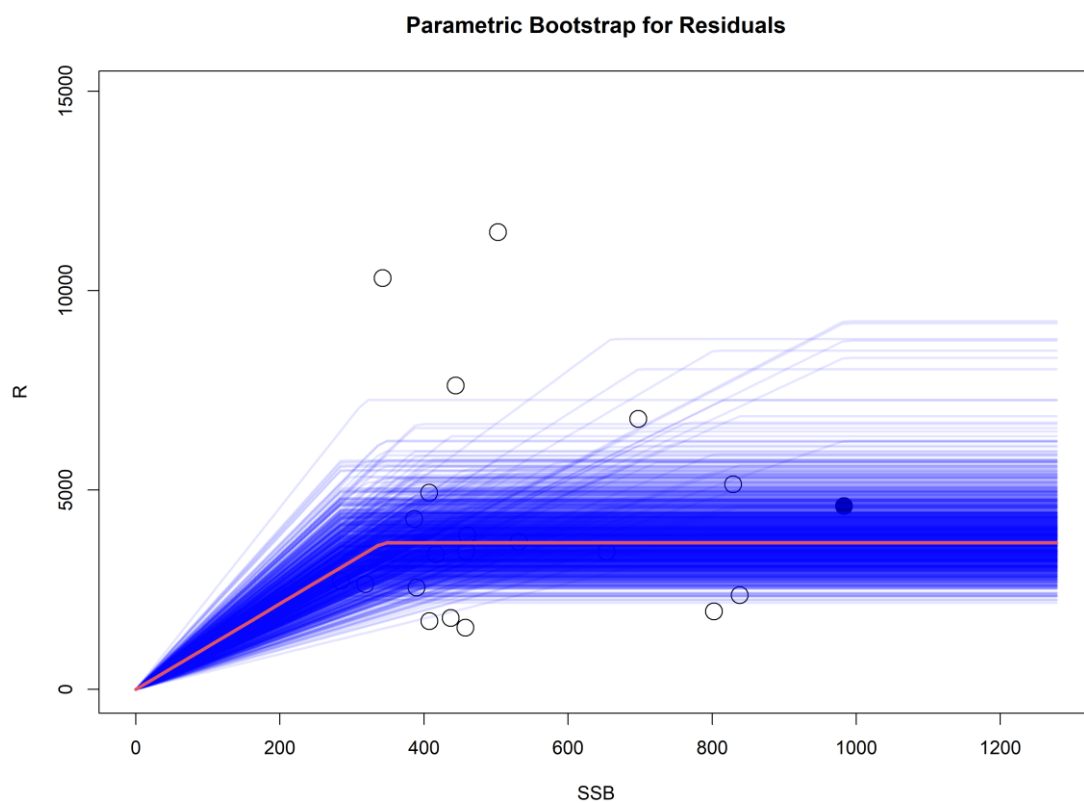
補足図 1-5a. 自己相関を同時推定したホッカー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



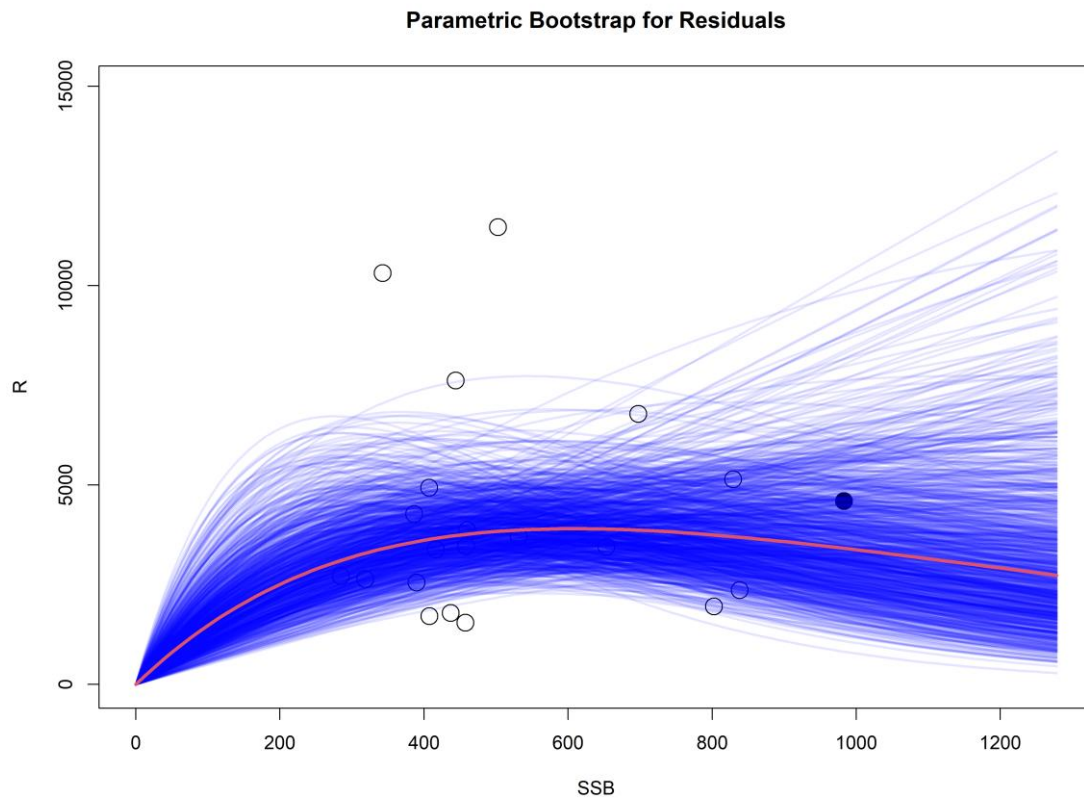
補足図 1-5b. 自己相関を同時推定したリッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



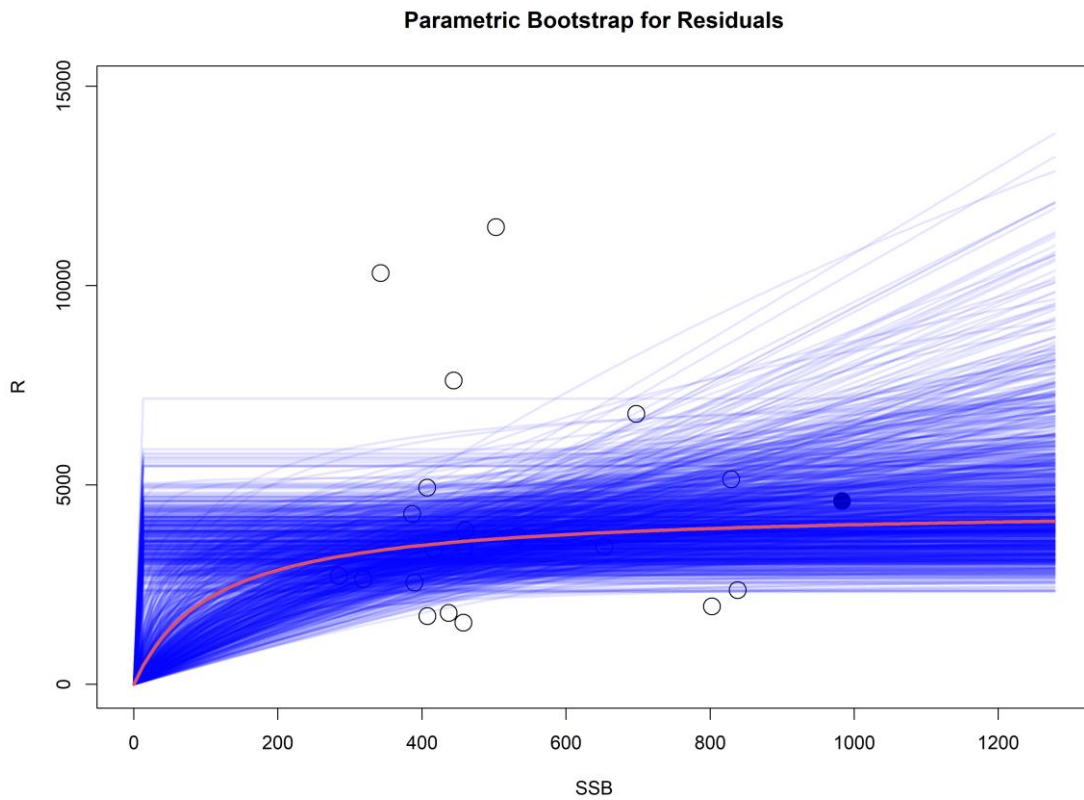
補足図 1-5c. 自己相関を同時推定したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



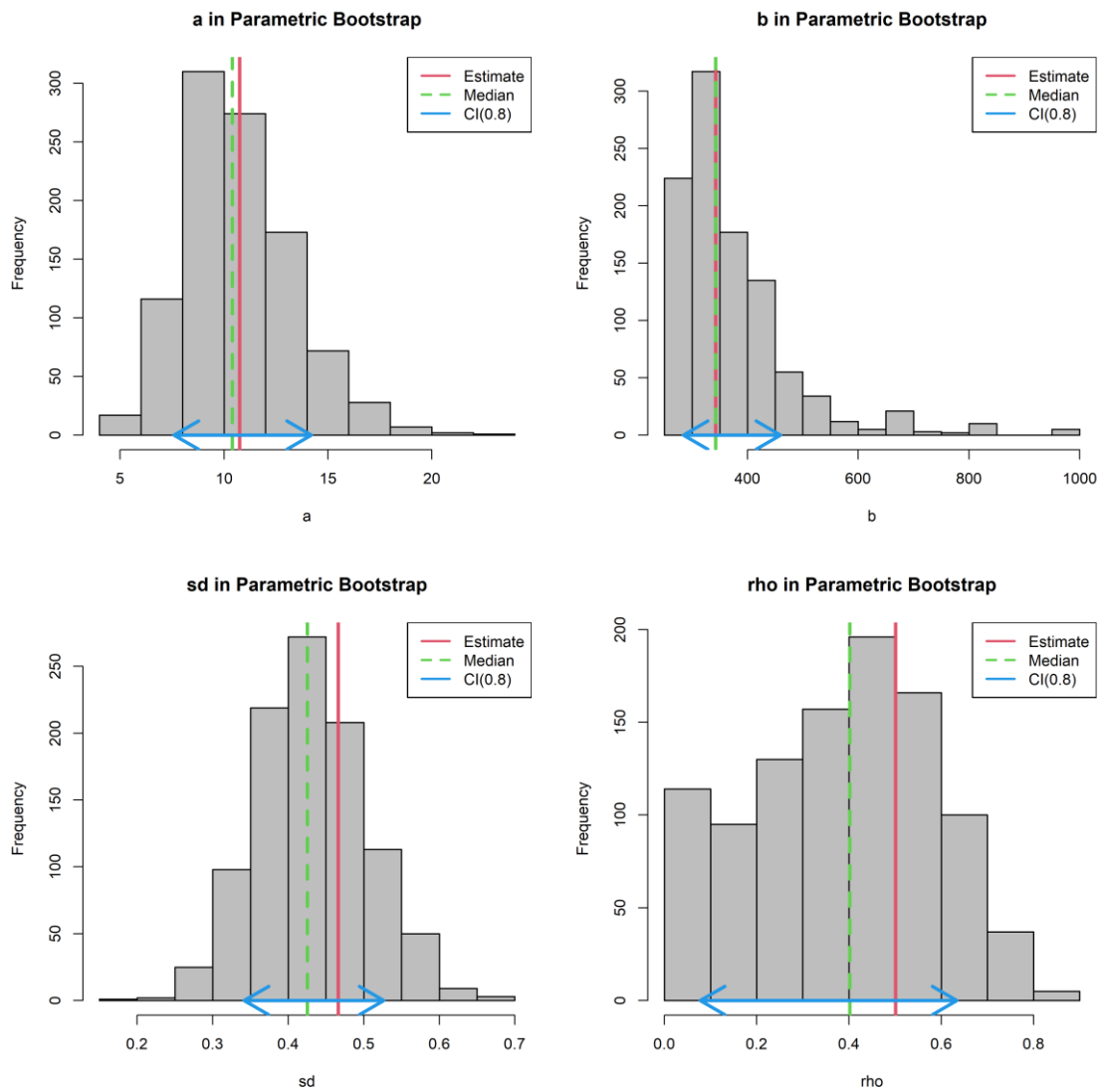
補足図 1-6a. 自己相関を同時推定したホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果 赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2019 年）を示す。



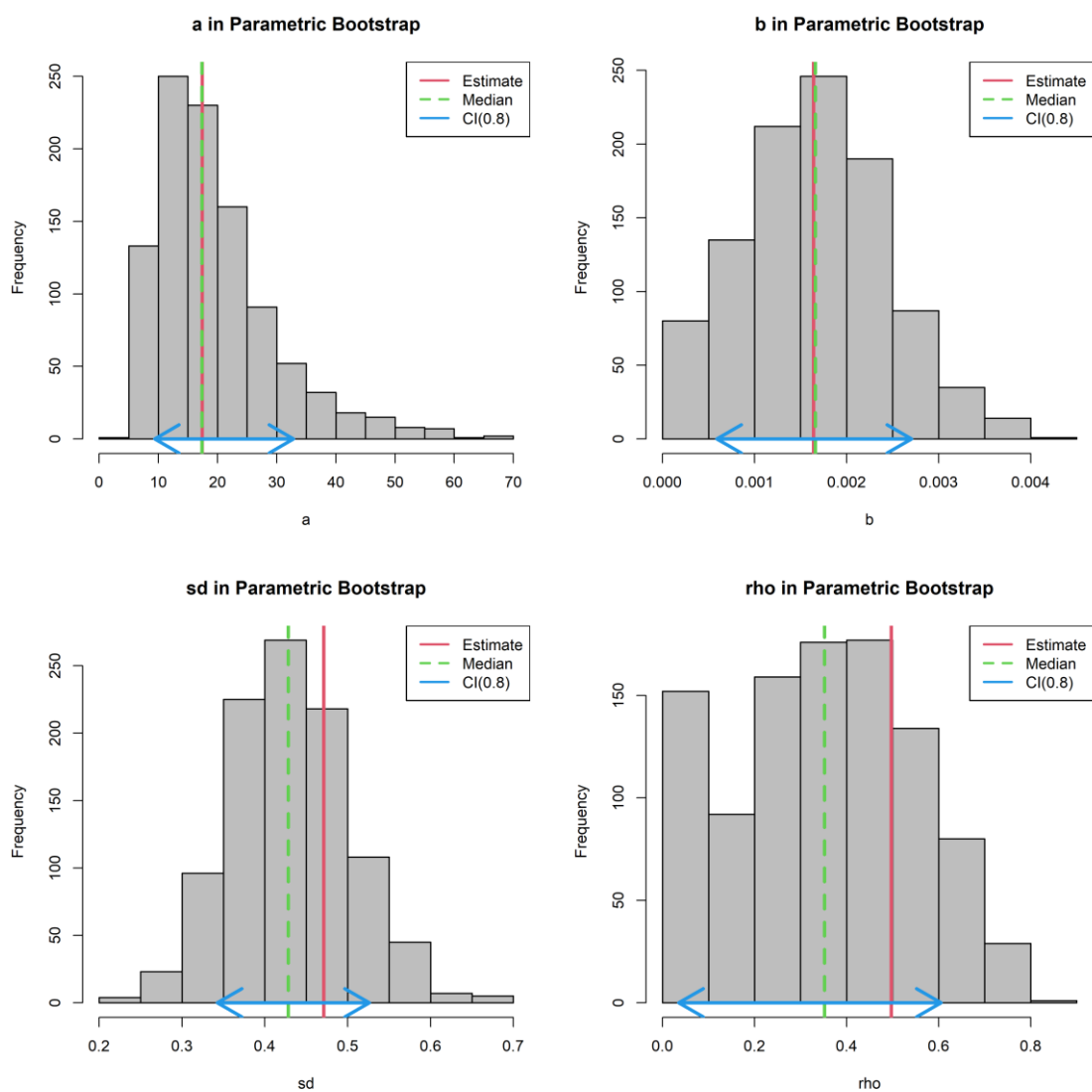
補足図 1-6b. 自己相関を考慮同時推定したリッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果 赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2019 年）を示す。



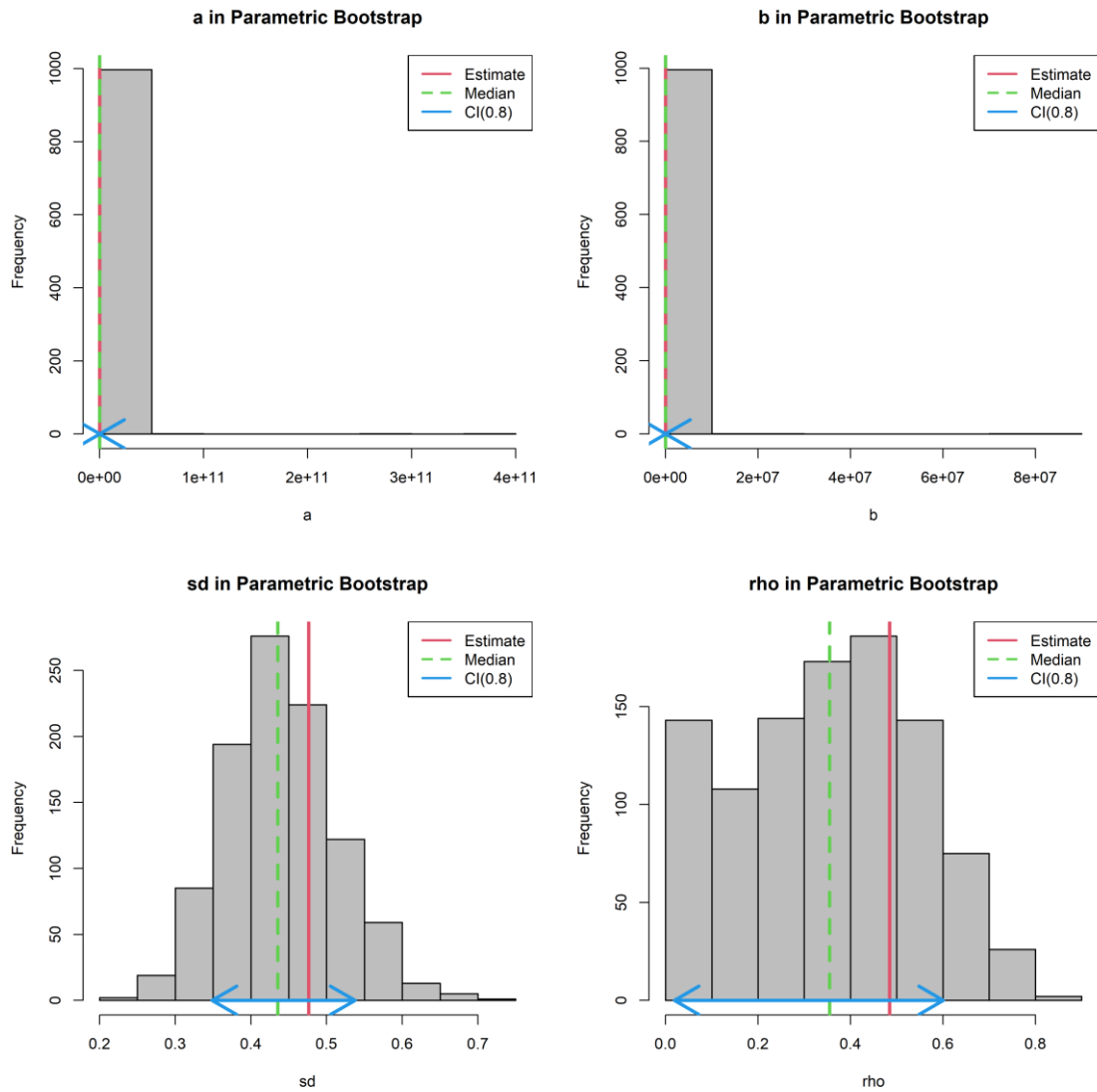
補足図 1-6c. 自己相関を同時推定したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果。赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2019 年）を示す。



補足図 1-7a. 自己相関を同時推定したホッカー・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。

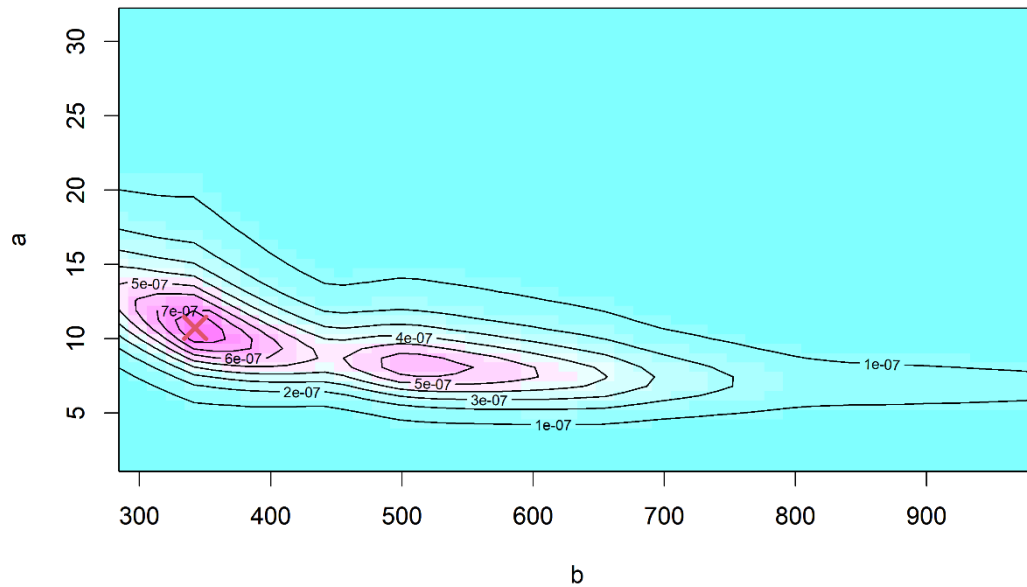


補足図 1-7b. 自己相関を同時推定したリッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線） 赤線はパラメータの点推定値である。



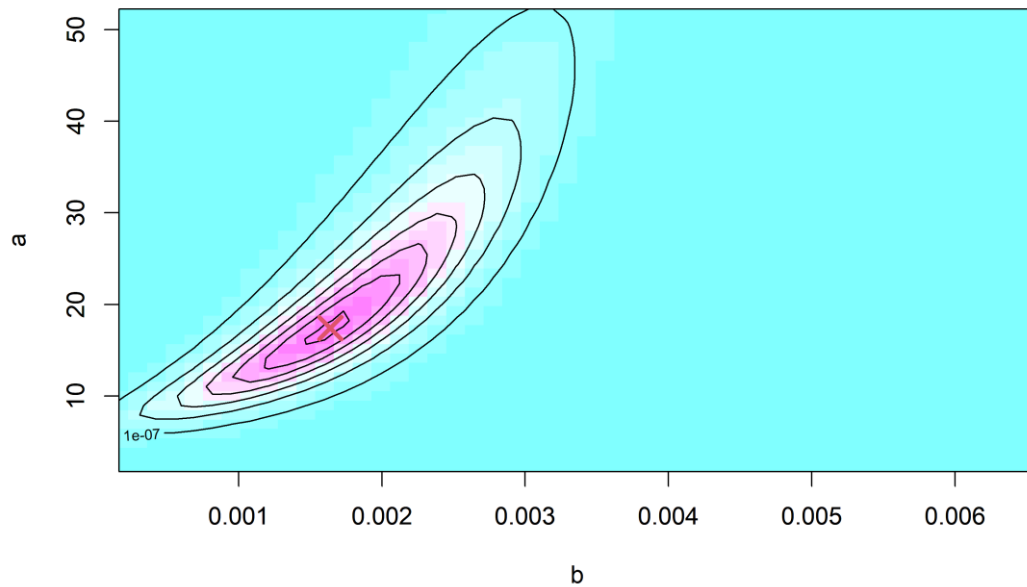
補足図 1-7c. 自己相関を同時推定したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線） 赤線はパラメータの点推定値である。

Profile Likelihood

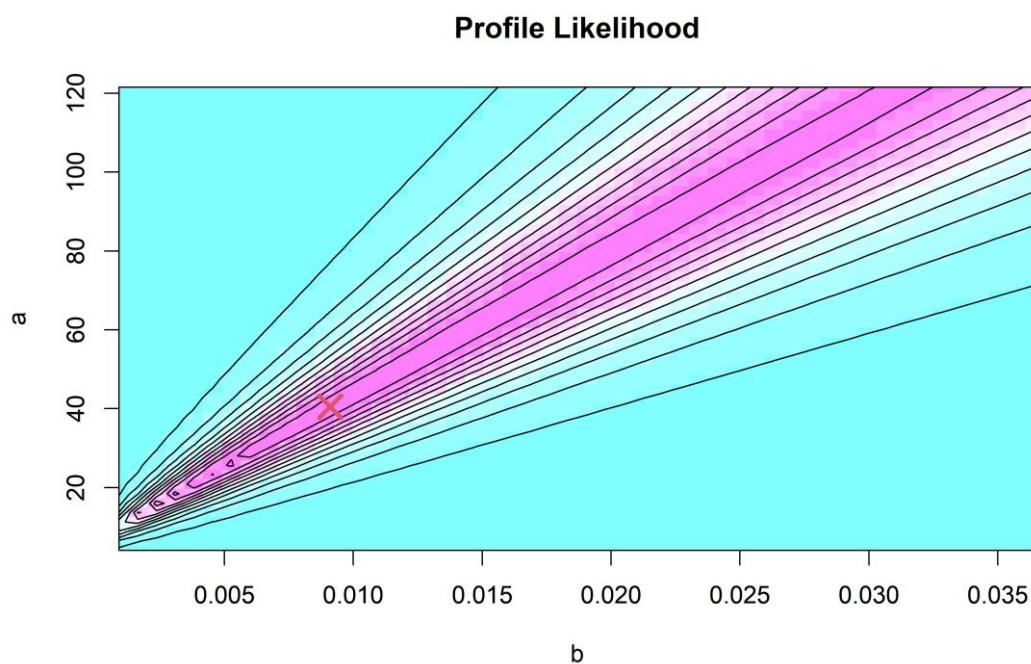


補足図 1-8a. 自己相関を同時推定したホッカー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の推定パラメータのプロファイル尤度 ×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。

Profile Likelihood



補足図 1-8b. 自己相関を考慮しない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 1-8c. 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	データ数
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	有	同時	10.74	342.325	0.466	0.501	23
リッカー (RI)	最小 二乗法	有	同時	17.42	0.002	0.471	0.497	23
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	有	同時	40.51	0.009	0.476	0.485	23
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	無	-	10.86	342.325	0.543	0	23
リッカー (RI)	最小 二乗法	無	-	17.55	0.002	0.547	0	23
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	無	-	83.11	0.021	0.548	0	23
ホッケー・ スティック (HS)	最小 絶対値法	無	-	9.58	370.417	0.551	0	23
リッカー (RI)	最小 絶対値法	無	-	12.24	0.001	0.562	0	23
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 絶対値法	無	-	16.69	0.003	0.560	0	23

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。

補足資料 2 再生産関係による MSY 管理基準値の違い

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

それぞれの再生産関係と最適化方法に基づき推定された MSY 管理基準値を下表に示す。

再生産関係式	最適化 法	自己 相関	推定 法	SBmsy (トン)	SB0.6msy (トン)	SB0.1msy (トン)	MSY (トン)	U_{msy}	$F_{msy}/F_{current}$
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	有	同時	529	222	32	116	0.17	0.61
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	無	—	483	215	32	121	0.19	0.74
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	無	—	503	228	34	114	0.18	0.64
リッカー (RI)	最小二乗法	有	同時	522	182	24	118	0.18	0.64
リッカー (RI)	最小二乗法	無	—	524	183	24	123	0.18	0.67
リッカー (RI)	最小絶対値法	無	—	714	254	34	129	0.15	0.47
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	有	同時	523	129	13	118	0.18	0.63
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	無	—	467	88	14	120	0.20	0.77
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	無	—	730	217	26	123	0.14	0.43

HS 型再生産関係を用いた場合では、最適化法の違いや自己相関の有無で生じる各管理基準値および MSY の差は小さい。最小絶対値法を用いた RI 型および BH 型においては、

に MSY 管理基準値 (SBmsy、SB0.6msy、および SB0.1msy) は最小二乗法を用いた場合よりもやや高い値となったが、期待できる MSY に大きな差はみられなかった。