

令和 4（2022）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 4 年度の本資源の資源評価データを用いて、再生産関係および管理基準値案等を検討した。本資源の再生産関係式の候補として、資源評価により推定された 1998～2020 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 (758 トン) を提案する。また、限界管理基準値として SB0.6msy (257 トン)、禁漁水準として SB0.1msy (23 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 (2016～2020 年の漁獲係数の平均値) の 1.32 倍である。

親魚量 (トン)	現状の親魚量 (2021 年) に対する比	初期親魚量 に対する比	期待できる 平均漁獲量 (トン)	現状の漁獲圧 (2016～2020 年) に対する比* ¹	説 明
目標管理基準値案					
758	0.60	0.37	197	1.32	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					
257	0.20	0.12	118	2.95	MSY の 60%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
23	0.02	0.01	20	8.49	MSY の 10%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.1msy)
2021 年					
1,275	1.00	0.62	183* ²	—	2021 年の値

*¹ 各管理基準値案および水準案を達成する漁獲圧が現状の漁獲圧に対して何倍に相当するかを示す係数である。なお、年齢別選択率は現状の漁獲圧における年齢別選択率に基づく。

*²2021 年の実際の漁獲量（暫定値）を示す。

1. 再生産関係

1-1) 使用するデータセット

本資源の再生産関係式の設定は「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」に従い、以下のデータセットを使用して実施した。解析には R パッケージ `frasyr` (v2.1.1.0) 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 4 年度）（FRA-SA-2022-ABCWG01-02）」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
資源量・親魚量	令和 4(2022)年度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 1998～2020 年の加入量および親魚量に基づき行った。近年、本資源は成長の鈍化とそれに伴い 1 歳魚の多くが漁獲対象となっていないことが考えられる。そのため、直近の 2021 年の加入量については、不確実性が高いと判断し使用しなかった。再生産関係式のパラメータ推定のための最適化方法には、最小二乗法および最小絶対値法を検討した。また、残差に自己相関を考慮したモデルと考慮しないモデルを検討し、自己相関を考慮したモデルでは、再生産関係のパラメータと自己相関係数を同時に推定する手法（同時推定法）を用いた。

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 0.6 以上（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は 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と最小絶対値法で自己相関を考慮しなかった場合では BH 型で最も低く、次いで RI 型、HS 型となった。

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、いずれの再生産関係においても影響は小さく、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-SA2022-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 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」の 1 系資源の管理規則に従い、1-3）で候補とした再生産関係と、表 2 に示した令和 4 年度の資源評価に基づく各種設定（自然死亡係数、成熟率、現状の漁獲圧）を使用して実施した。なお、本資源では年齢別の資源尾数と体重の間に負の相関がみられたため、資源尾数に応じて体重が変化するオプションを利用した（表 2、補足資料 3）。再生産関係の検討同様、最近年（2021 年）の加入尾数は不確実性が高いことから、最近年の加入尾数には各再生産関係式から得られた予測値を用いた。また、本資源においては現状の漁獲圧として 2016～2020 年の平均漁獲係数を用いており（図 2）、管理基準値の算出と将来予測における選択率には 2016～2020 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 SB_{msy} 、MSY が得られる F 値を F_{msy} とした。

2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

本資源の目標管理基準値（ SB_{target} ）として MSY 水準における親魚量（ SB_{msy} ：758 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（ $SB_{0.6msy}$ ：257 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（ $SB_{0.1msy}$ ：23 トン）を提案する。これらの基準値案について、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量（ SB_0 ）に対する比、基準値案に対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量および現状の漁獲圧に対する比などを表 3 に示す。目標管理基準値として提案する SB_{msy} は SB_0 の 37%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 197 トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧（MSY を実現する漁獲圧： F_{msy} ）の、現状の漁獲圧に対する比（ $F_{msy}/F_{current}$ ）は 1.32 で、その時の漁獲割合（ U_{msy} ）は 20%である。限界管理基準値として提案する $SB_{0.6msy}$ は SB_0 の 12%、禁漁水準として提案する $SB_{0.1msy}$ は SB_0 の 1%である。

様々に F 値を変えた場合の平衡状態における親魚量、およびこれに対する年齢別漁獲量の平均値を図 3 に示す。親魚量が SB_{limit} 以下では 2～3 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、 SB_{msy} 達成時においては 3 歳以上の漁獲が主体となると推測された。

2-3) 神戸プロット

目標管理基準値案である 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。本資源における漁獲係数（F 値）は 2012 年以降、2015～2016 年を除いて MSY を実現する水準を下回っていたと判断される。また、親魚量については 1998～1999

年、2016～2021 年において目標管理基準値案 SBmsy を超えており、現状の親魚量（2021 年の親魚量：1,275 トン）に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案の比は、それぞれ 0.60、0.20 および 0.02 である。

2-4) 漁獲管理規則案

本資料で提案する漁獲管理規則は、限界管理基準値案および禁漁水準案となる親魚量を閾値として漁獲管理の基礎となる漁獲係数（F 値）を変えるルールであり、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げることを定めている。F 値の上限は Fmsy に調整係数 β を乗じたものである。限界管理基準値案および禁漁水準案に標準値を用いた場合（すなわち、SBlimit は SB0.6msy、SBban は SB0.1msy の場合）の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を図 5a に、この漁獲管理規則案で漁獲した場合に期待できる平均的な漁獲量との関係を図 5b に示す。図に例示した漁獲管理規則案は、いずれも β に標準値である 0.8 を用いた。

2-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

(1) 調整係数 β に標準値を用いた場合

限界管理基準値案と禁漁水準案に標準値を用い、調整係数の β も標準値の 0.8 とした漁獲管理規則案（図 5a）で将来予測した資源量、親魚量、漁獲量、加入量、および努力量の増減率の推移を図 6 に示す。将来予測では、漁獲管理規則案による漁獲制御は 2023 年から開始し、2022 年の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧（F2016-2020）から仮定した。

予測される 2023 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 SBmsy よりも高めに推移していくと予測される。

(2) 調整係数 β を変えた場合

漁獲管理規則案を用いた将来予測について、調整係数 β を 0.0～1.0 の間で、0.1 間隔で変えた場合の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、禁漁水準案を上回る確率、親魚量平均値の推移、および漁獲量平均値の推移を表 4～9 に示す。表 4～8 には、現状の漁獲圧（Fcurrent）で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。

本資源の親魚量は 2021 年時点では目標管理基準値案を上回っており、漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2033 年では、 β が 0.8 であれば 60%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 50%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 100%、 β が 1.0 であっても 99%の確率で維持できることが示された（表 5）。また、いずれの β を用いた場合でも親魚量は禁漁水準案を下回らないと予測された（表 6）。2022 年以降の親魚量は β が低い程多くなり（表 7）、漁獲量は β が 0.7 以上であれば現状（2021 年：182 トン）と同程度で推移するものと予測された（表 8）。

3. まとめ

本資源では、資源評価で推定された 1998～2020 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} (758 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} (257 トン)、SB_{0.1msy} (23 トン) をそれぞれ提案する。

現在の本資源の親魚量は目標管理基準値案を上回っていると推定される。MSY を実現する漁獲割合は 20%、漁獲圧は $F_{current}$ の 1.32 倍である (表 3)。調整係数 β が 0.9 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 2014～2016 年に高い豊度の加入があり、漁獲圧も比較的強く抑えられており、それが現在の高い親魚量の水準に繋がっていると考えられる。しかし、2018 年以降の加入量は減少傾向となっており、今後の動向を注視する必要がある。また、本資源では年齢別の資源尾数と体重の間に負の相関がみられたが、データのある年数が短く、今後も引き続き注視する必要がある。

5. 引用文献

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

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

ABCWG (2022) 再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 4 年度). FRA-SA2022-ABCWG01-03.

(執筆者：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)

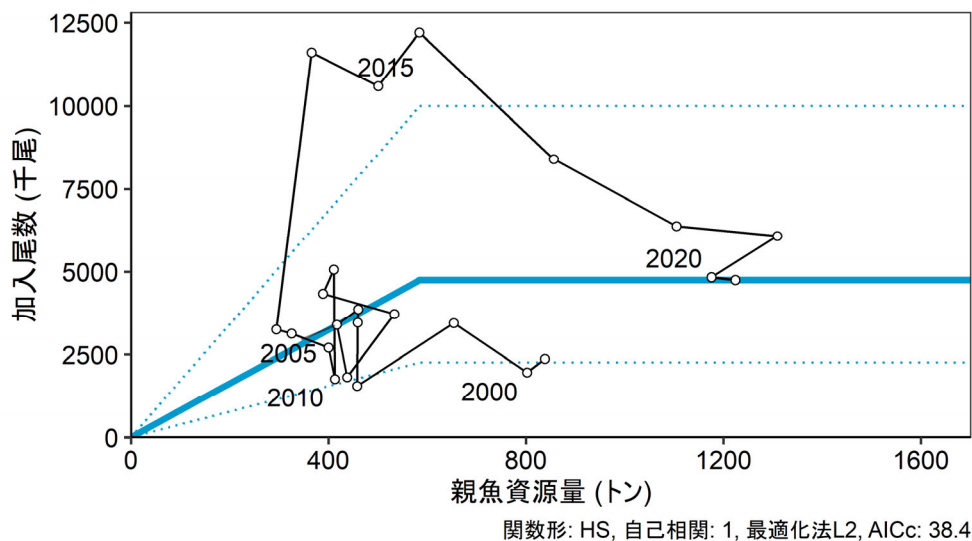


図 1. 再生産関係

1998～2019 年における親魚資源量と翌年（1999～2020 年）の 1 歳魚の加入尾数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カー・スティック型（HS）再生産式を用い、最小二乗法によりパラメータを推定した。図中の再生産関係式（青実線）の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。なお、2021 年の加入尾数は再生産関係式から求めた予測値を当てはめたが、パラメータ推定には利用していない。

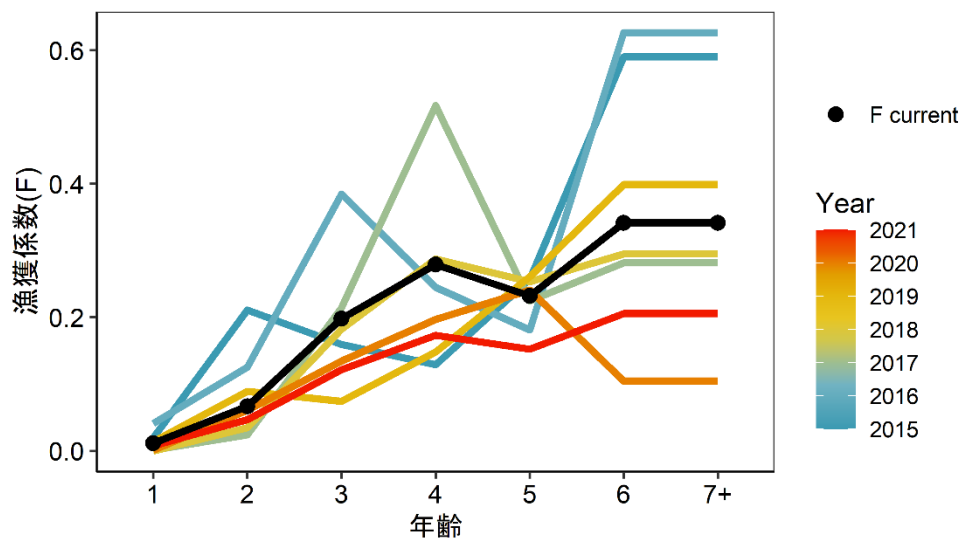


図 2. 年齢別の漁獲係数（F 値）

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} =2016～2020 年の平均値）である。2021 年の F 値は現状の漁獲圧を標準化 CPUE でチューニングして求めた値である。

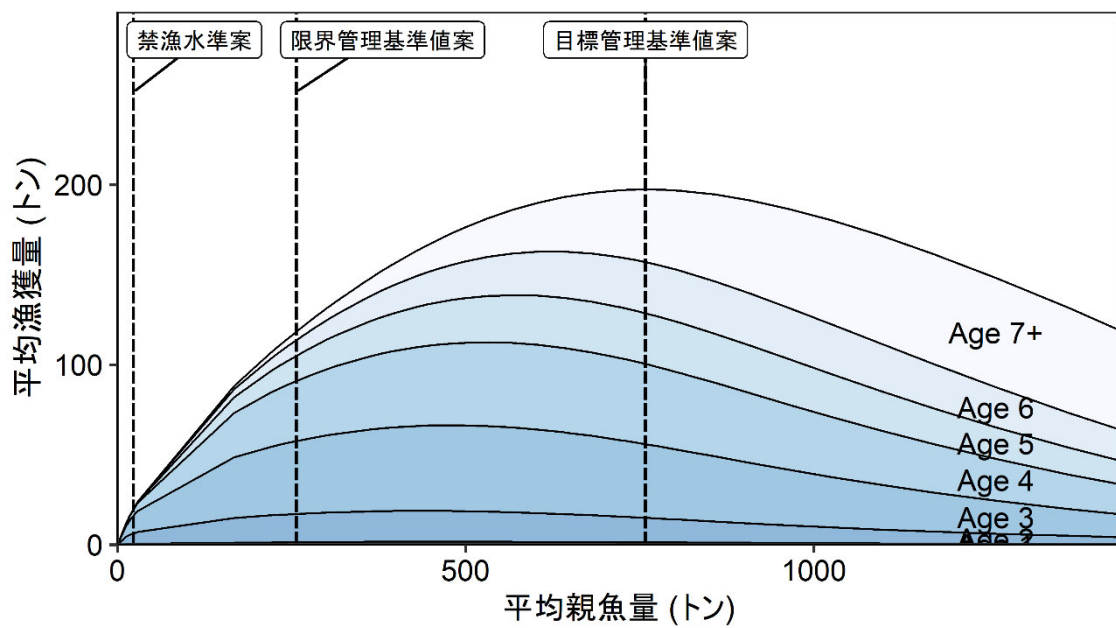


図3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

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。

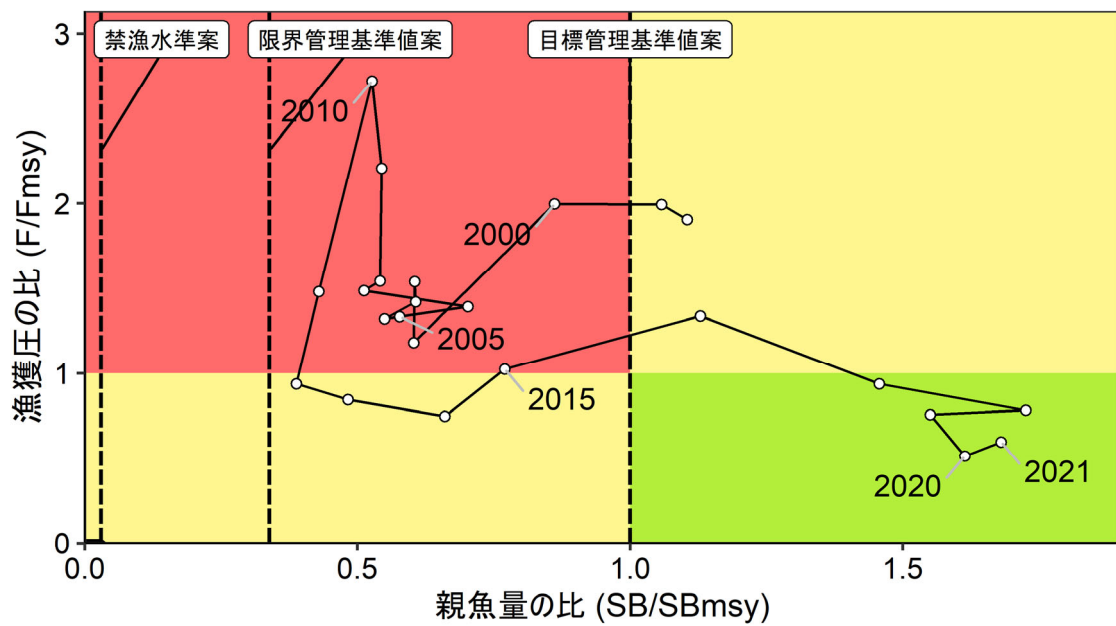
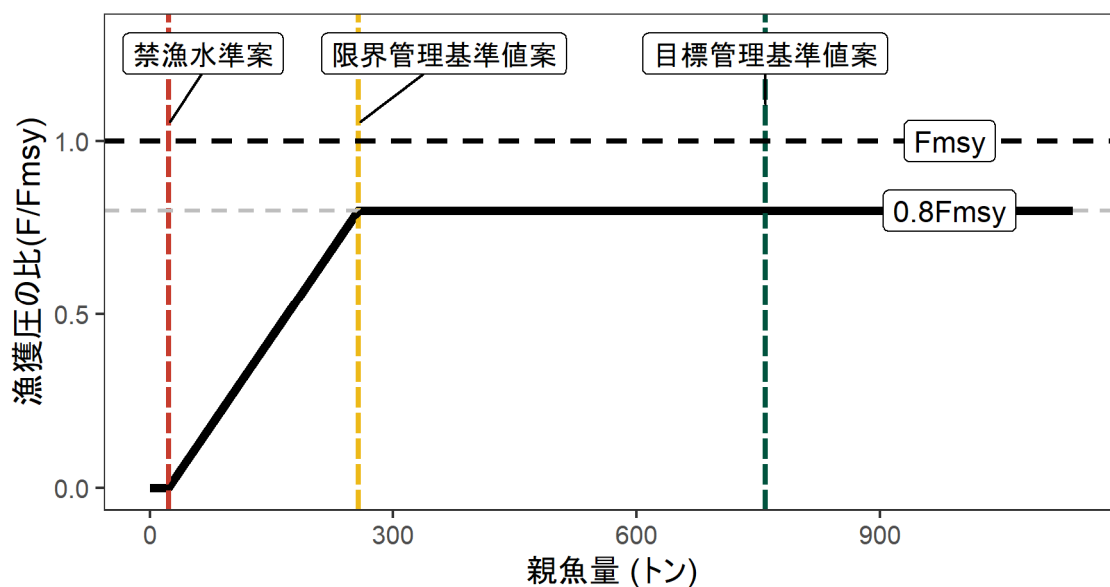


図4. 神戸プロット

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

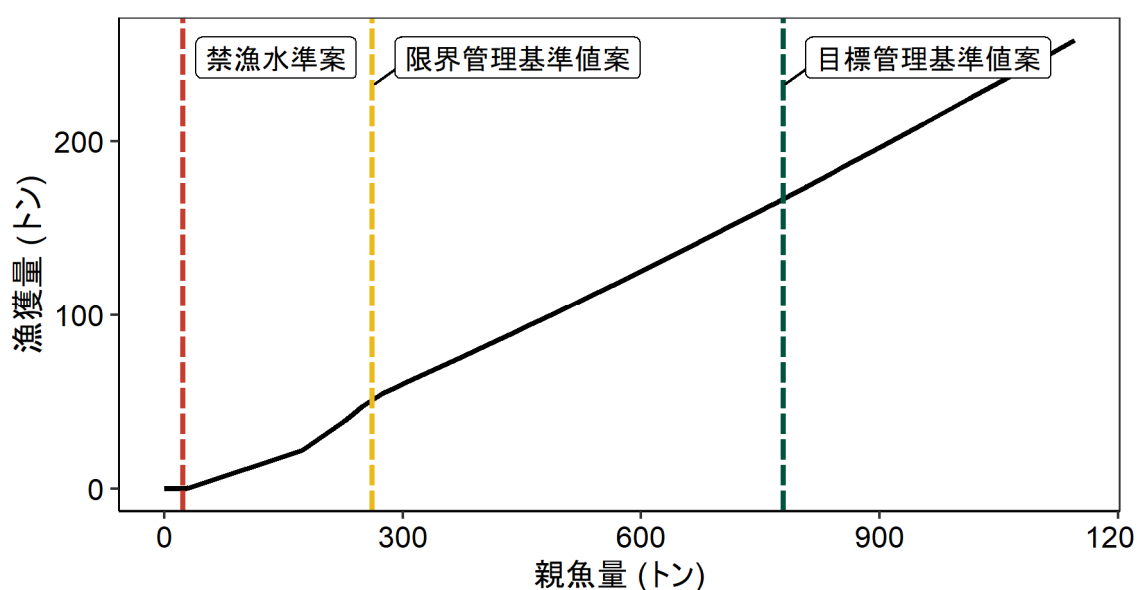
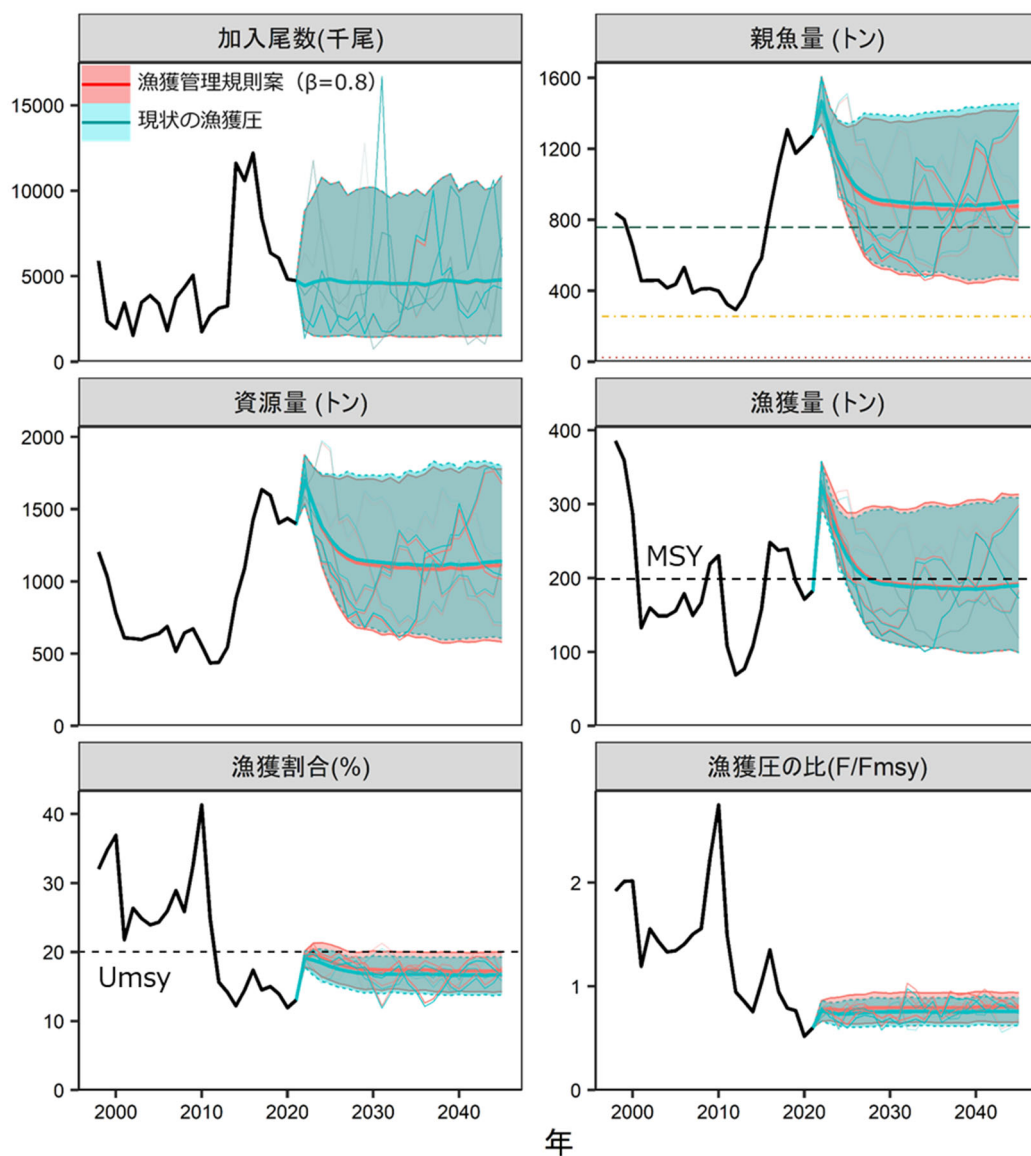


図 5. 漁獲管理規則案

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 Umsy を示す。2022年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (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

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	38.4	1
リッカー (RI)	最小二乗法	同時	39.0	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	46.2	8
リッカー (RI)	最小二乗法	無	46.1	6
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	無	45.7	5
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	無	47.6	9
リッカー (RI)	最小絶対値法	無	46.1	7
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	無	44.9	4

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（最小- 最大）(g)*	選択率	現状の漁獲圧 (F2016-2020)
1	0.25	0.00	21 (21-22)	0.04	0.011
2	0.25	0.30	57 (54-58)	0.24	0.067
3	0.25	1.00	89 (82-90)	0.71	0.198
4	0.25	1.00	117 (99-120)	1.00	0.279
5	0.25	1.00	151 (130-155)	0.83	0.232
6	0.25	1.00	189 (160-193)	1.22	0.341
7+	0.25	1.00	266 (244-271)	1.22	0.341

*本資源は資源尾数と体重に負の関係がみられることから、将来の年齢別の体重は資源尾数に応じて変化するオプションを用いた。ここでは漁獲管理規則案の下で予測された 2022～2053 年の体重を示す。

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	758	0.37	197	34.3	0.200	1.32
限界管理基準値案	SB0.6msy	257	0.12	118	19.5	0.318	2.95
禁漁水準案	SB0.1msy	23	0.01	20	8.9	0.512	8.49
MSY を実現する 漁獲圧		(1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳以上) Fmsy = (0.01, 0.09, 0.26, 0.37, 0.31, 0.45, 0.45)					

表 4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	100	100	93	68	56	52	50	48	48	47	45	43	43
0.9	100	100	100	100	97	78	65	61	57	55	56	55	52	51	51
0.8	100	100	100	100	99	86	74	68	65	64	64	63	60	60	60
0.7	100	100	100	100	100	94	83	76	73	72	72	71	70	69	68
0.6	100	100	100	100	100	98	90	84	80	79	79	80	80	79	77
0.5	100	100	100	100	100	99	96	92	88	87	86	86	87	87	85
0.4	100	100	100	100	100	100	99	96	94	93	92	92	92	93	91
0.3	100	100	100	100	100	100	100	99	98	97	97	96	96	96	97
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	98	98	99
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	90	78	71	69	67	67	66	65	64	63

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 5. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年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	2033	2043	2053
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年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	2033	2043	2053
1	1,275	1,467	1,307	1,083	952	868	823	796	784	778	770	765	757	753	750
0.9	1,275	1,467	1,307	1,111	993	915	872	845	833	828	820	816	809	809	808
0.8	1,275	1,467	1,307	1,139	1,038	967	926	900	888	883	876	873	866	871	871
0.7	1,275	1,467	1,307	1,169	1,085	1,023	986	962	950	947	941	937	931	939	941
0.6	1,275	1,467	1,307	1,200	1,135	1,084	1,054	1,032	1,023	1,021	1,015	1,012	1,006	1,017	1,020
0.5	1,275	1,467	1,307	1,231	1,189	1,151	1,130	1,113	1,106	1,107	1,102	1,100	1,093	1,107	1,112
0.4	1,275	1,467	1,307	1,264	1,246	1,225	1,215	1,206	1,204	1,208	1,205	1,204	1,198	1,214	1,221
0.3	1,275	1,467	1,307	1,298	1,307	1,306	1,311	1,313	1,318	1,328	1,328	1,329	1,324	1,345	1,354
0.2	1,275	1,467	1,307	1,333	1,372	1,395	1,420	1,436	1,452	1,471	1,477	1,483	1,480	1,508	1,522
0.1	1,275	1,467	1,307	1,369	1,441	1,493	1,542	1,579	1,611	1,643	1,659	1,672	1,675	1,720	1,739
0	1,275	1,467	1,307	1,407	1,515	1,602	1,682	1,745	1,799	1,851	1,883	1,908	1,920	2,002	2,032
Fcurrent	1,275	1,467	1,307	1,151	1,056	988	949	923	912	908	901	898	891	897	898

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年現状の漁獲圧（Fcurrent）で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。
 ※ 黄色網掛けは目標管理基準値案を下回ることを示す。

表 8. 将来の平均漁獲量の推移（トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	183	325	363	299	258	231	217	208	205	203	201	199	197	196	195
0.9	183	325	333	281	247	225	211	204	200	199	197	196	194	194	194
0.8	183	325	301	261	234	216	205	198	195	194	192	191	190	190	191
0.7	183	325	268	239	219	205	196	190	187	187	185	185	183	185	185
0.6	183	325	234	215	201	191	184	180	178	177	176	176	174	176	177
0.5	183	325	199	188	179	173	169	166	165	165	164	164	163	165	166
0.4	183	325	162	157	154	151	149	148	148	148	148	148	147	149	150
0.3	183	325	124	124	124	124	124	125	125	126	126	126	126	128	129
0.2	183	325	84	86	89	91	92	94	95	96	97	97	97	99	100
0.1	183	325	43	45	48	50	52	53	54	56	56	57	57	58	59
0	183	325	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	183	325	288	253	229	212	201	195	192	191	190	189	187	188	189

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧（Fcurrent）で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

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

β	10 年後の 目標達成 確率	予測平均親魚量 (トン)		予測平均漁獲量 (トン)			リスク (10 年間に 1 度 でも起きる確率)		
	親魚資源 量が目標 管理基準 値案を上 回る	5 年後	10 年 後	0 年後	5 年後	10 年 後	親魚量 が現在 の水準 を下回 る	親魚量 が限界 管理基 準値を 下回る	漁獲量 が半減 する
		2028 年	2033 年	2023 年	2028 年	2033 年			
1	45%	796	757	363	208	197	0%	0.1%	0%
0.9	52%	845	809	333	204	194	0%	0%	0%
0.8	60%	900	866	301	198	190	0%	0%	0%
0.7	70%	962	931	268	190	183	0%	0%	0%
0.6	80%	1,032	1,006	234	180	174	0%	0%	0%
0.5	87%	1,113	1,093	199	166	163	0%	0%	0.7%
0.4	92%	1,206	1,198	162	148	147	0%	0%	51.3%
0.3	96%	1,313	1,324	124	125	126	0%	0%	99.9%
0.2	98%	1,436	1,480	84	94	97	0%	0%	100%
0.1	100%	1,579	1,675	43	53	57	0%	0%	100%
0	100%	1,745	1,920	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 2023 年の値と、5 年および 10 年管理を行った後の値（2028 年および 2033 年）を示した。

補足資料 1 再生産関係式のモデル診断結果について

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

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

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

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

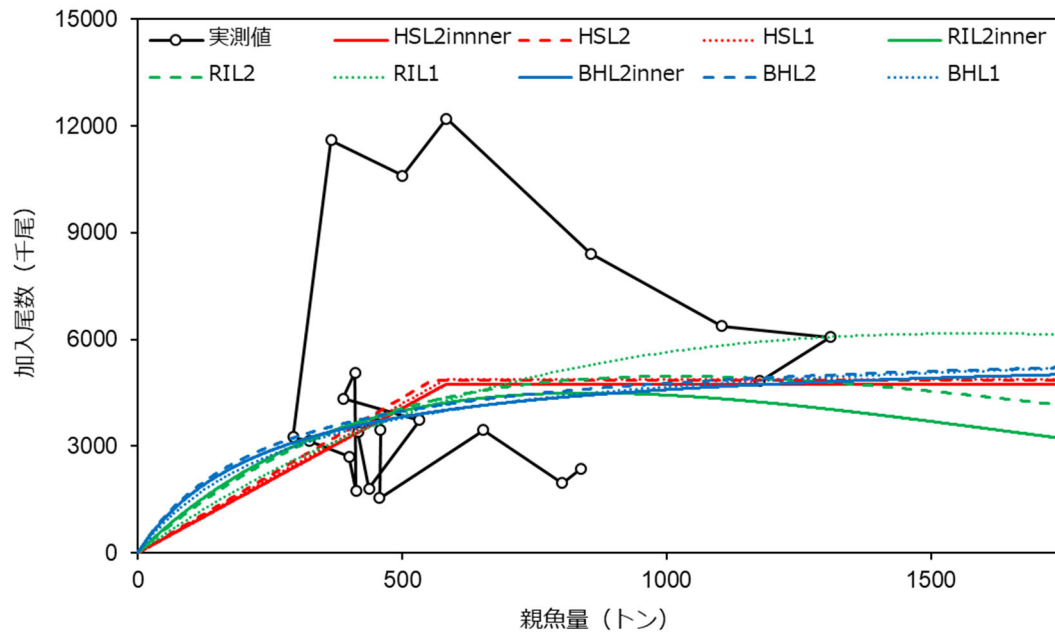
いずれの再生産関係式でも、推定するパラメータはaおよびbの2つである。HS型の場合、aは折れ点までの再生産曲線の傾き（尾/トン）、bは折れ点となる親魚量（トン）を示す。再生産関係の検討の際には、推定された再生産曲線からの加入量の残差標準偏差（S.D.）も併せて算出した。

候補とした再生産関係を表1、補足図1-1、補足表1-1に示した。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。残差の自己相関（AR）については、自己相関パラメータρもモデルに組み込み、再生産関係式のパラメータと同時に推定する“同時推定法”を用いた（詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（FRA-SA2022-ABCWG01-02）」を参照）。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と、自己相関を考慮しない最小絶対値法の場合の場合には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、いずれの再生産関係式においても影響は小さく、とくにHS型とRI型で頑健であることが示された（補足図1-4、1-5）。また、パラメータ推定の信頼区間は残差ブートストラップにより検討した結果、パラメータaおよびbについて、いずれの再生産関係式においても推定値の中央値と点推定値はほぼ一致した（補足図1-6、1-7）。各再生産関係モデルのプロファイル尤度を補足図1-8に示す。この結果、いずれの再生産関係式でもパラメータが収束することが示された。

引用文献

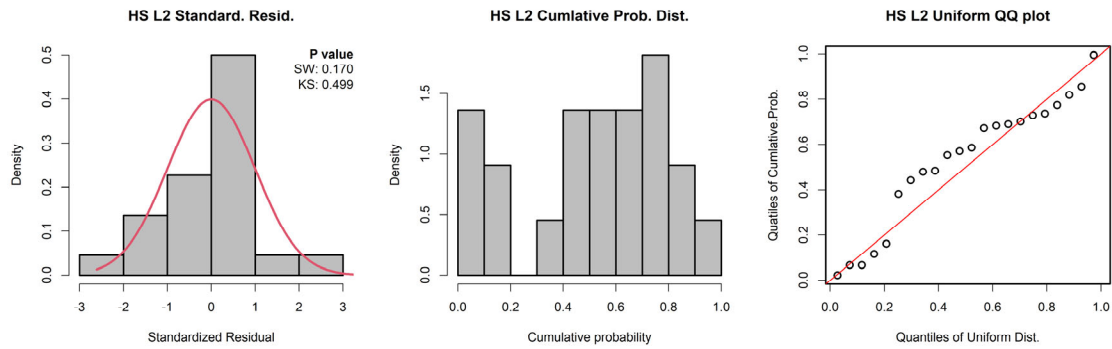
- ABCWG (2022) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 3 年度). FRA-SA-2022-ABCWG01-02.
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957) On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Clark C. W., A. T. Charles, J. R. Beddington, and M. Mangel (1985) Optimal capacity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



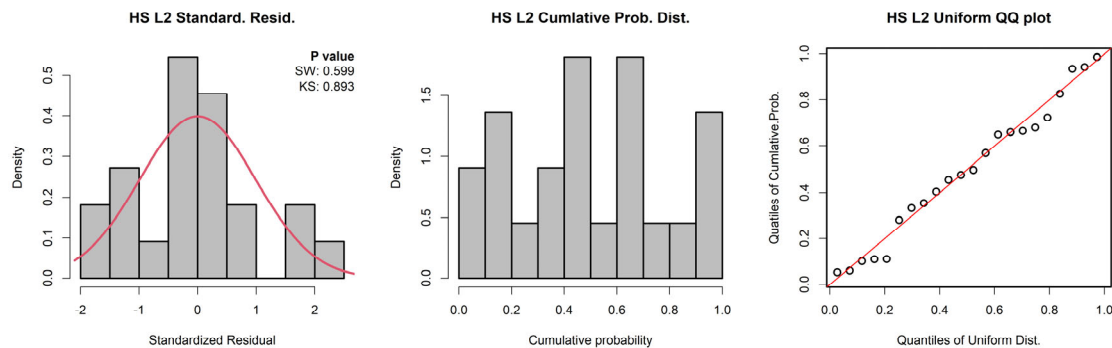
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

ホッケー・スティック型 (HS)、リッカー型 (RI)、ベバートン・ホルト型 (BH) の再生産関係式を、自己相関を同時推定した最小二乗法 (L2inner)、自己相関を考慮しない最小二乗法 (L2)、自己相関を考慮しない最小絶対値法 (L1) により当てはめた。図中の白丸は分析に使用した 1998～2019 年における親魚資源量と翌年 (1999～2020 年) の 1 歳魚の加入尾数の実測値である。

自己相関を同時推定した場合

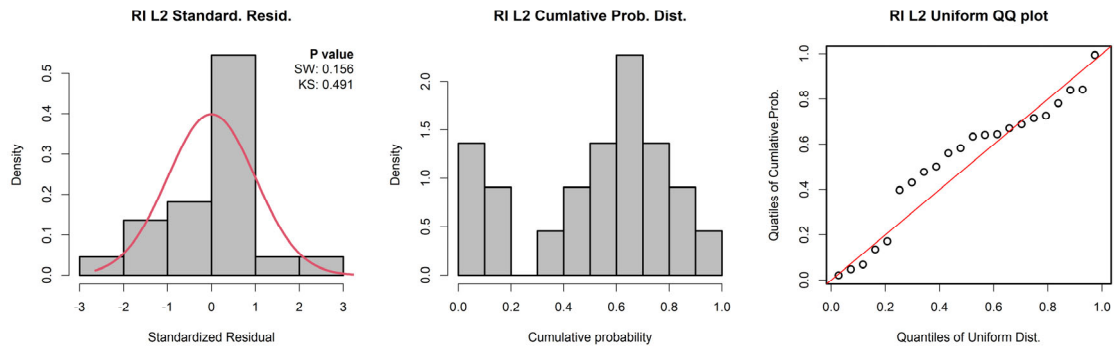


自己相関を考慮しなかった場合

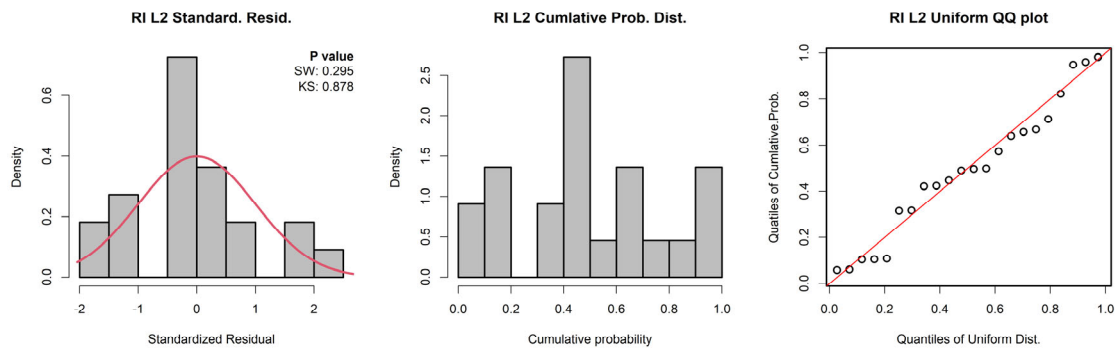


補足図 1-2a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定（SW）と Kolmogorov-Smirnov 検定（KS）の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。

自己相関を同時推定した場合

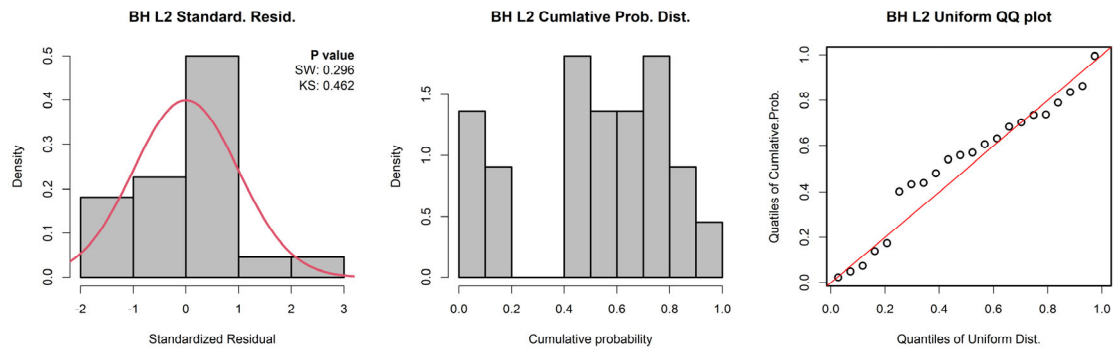


自己相関を考慮しなかった場合

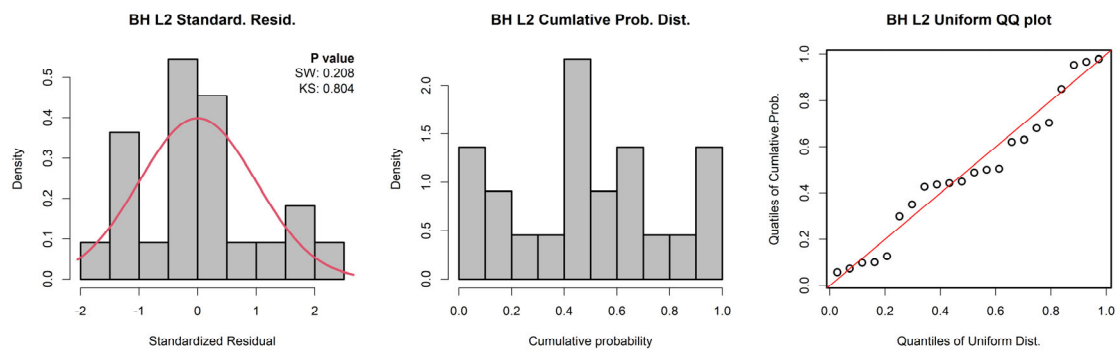


補足図 1-2b. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定（SW）と Kolmogorov-Smirnov 検定（KS）の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。

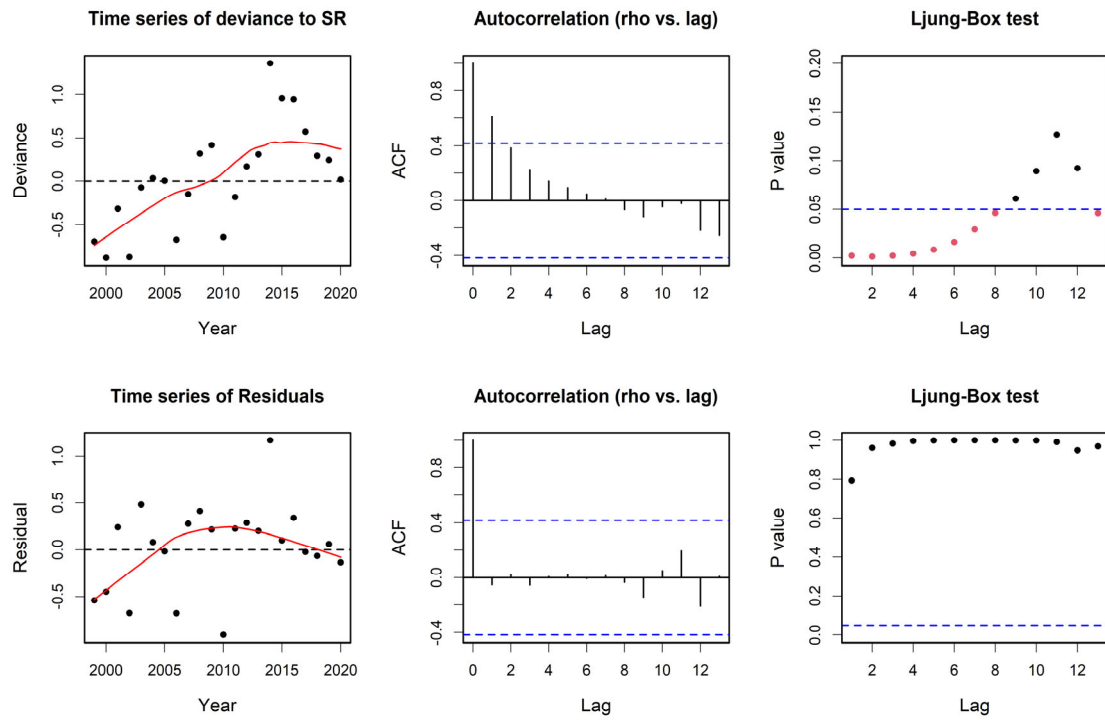
自己相関を同時推定した場合



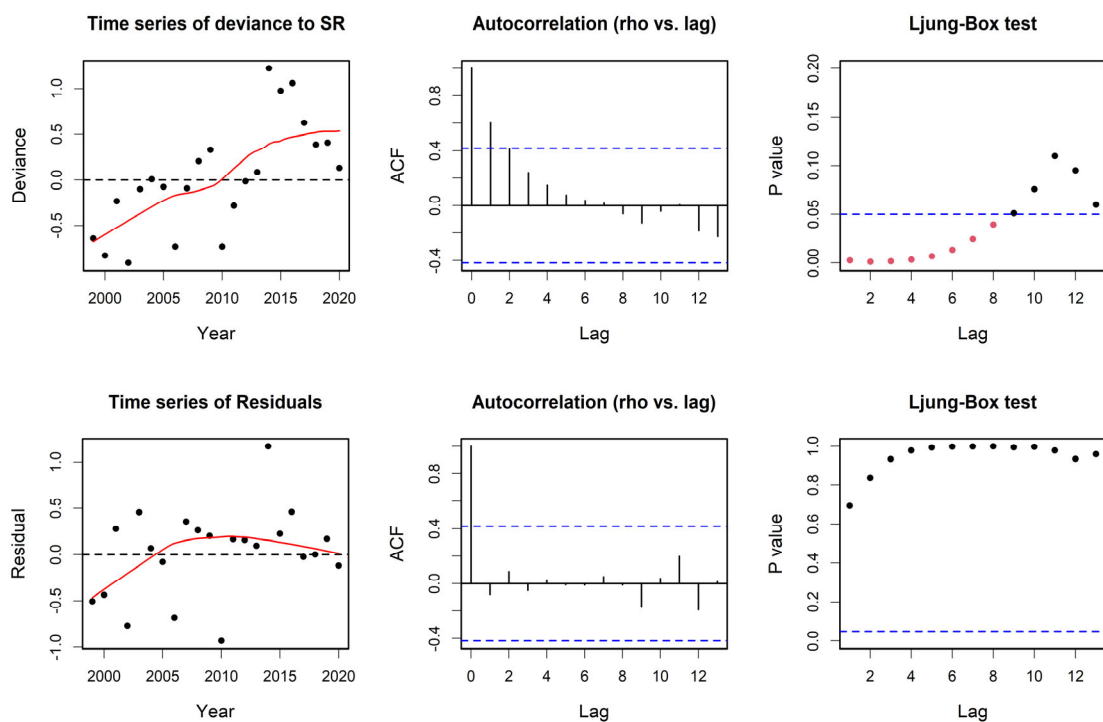
自己相関を考慮しなかった場合



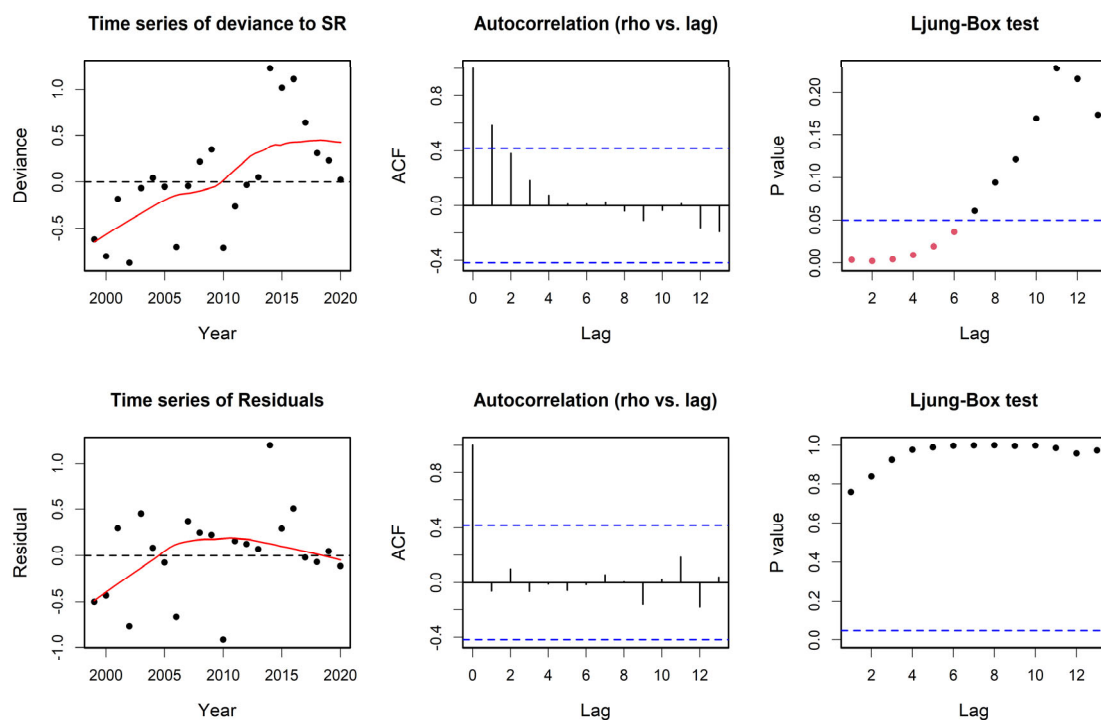
補足図 1-2c. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定（SW）と Kolmogorov-Smirnov 検定（KS）の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。



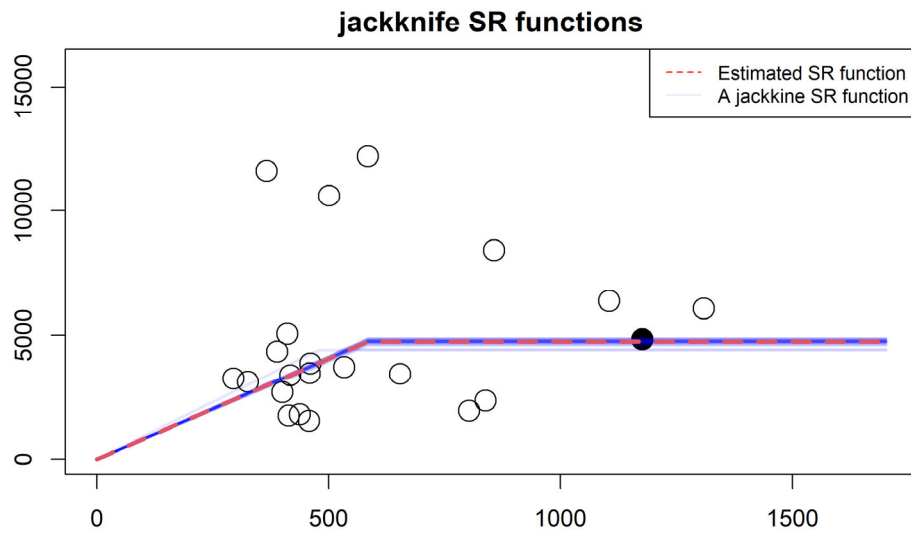
補足図 1-3a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および **Ljung-Box** 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。**Ljung-Box** 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。



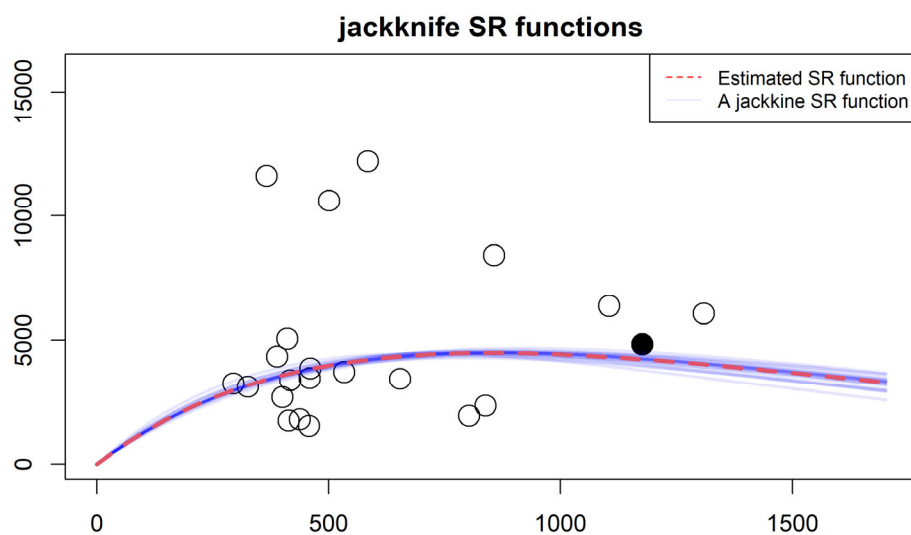
補足図 1-3b. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。



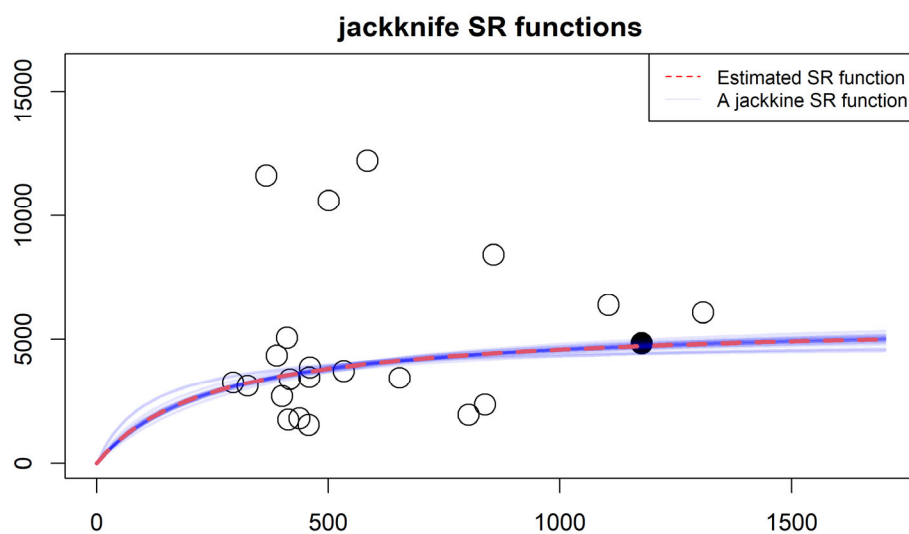
補足図 1-3c. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。



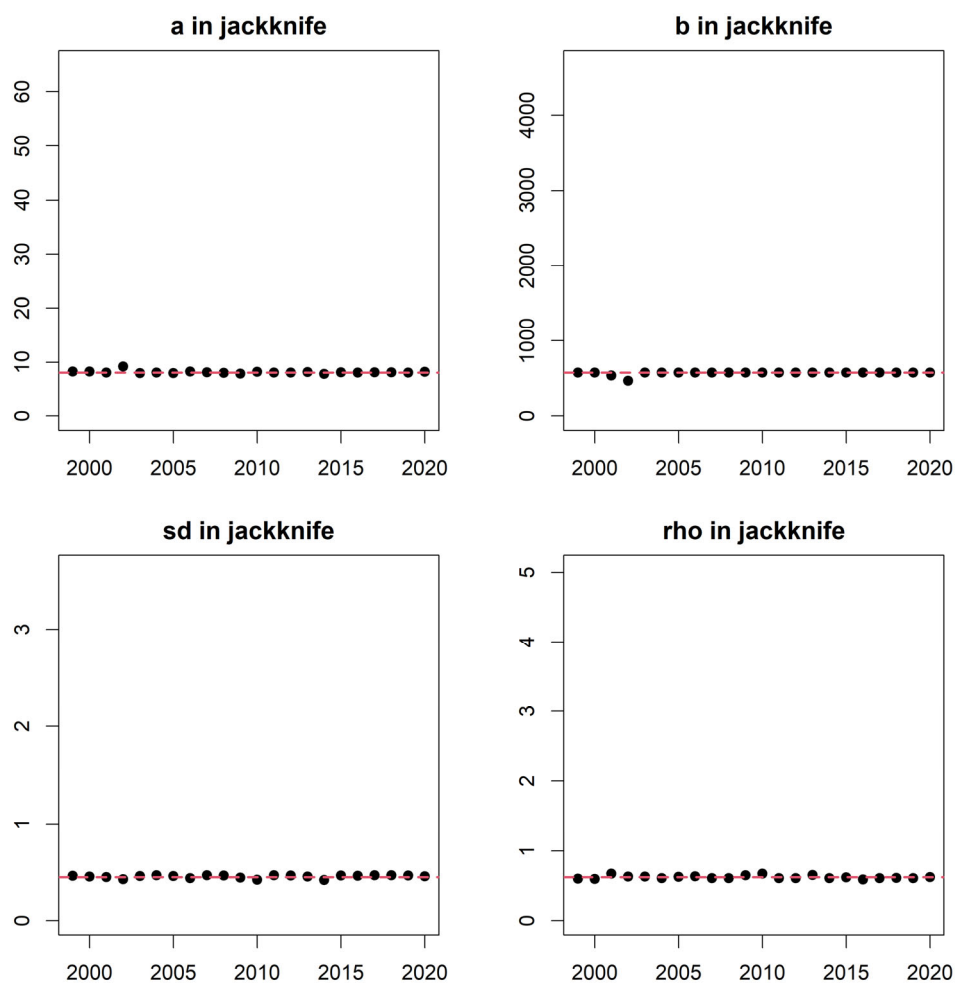
補足図 1-4a. 自己相関を同時推定したホッケー・スティック型生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果 丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020 年）を示す。



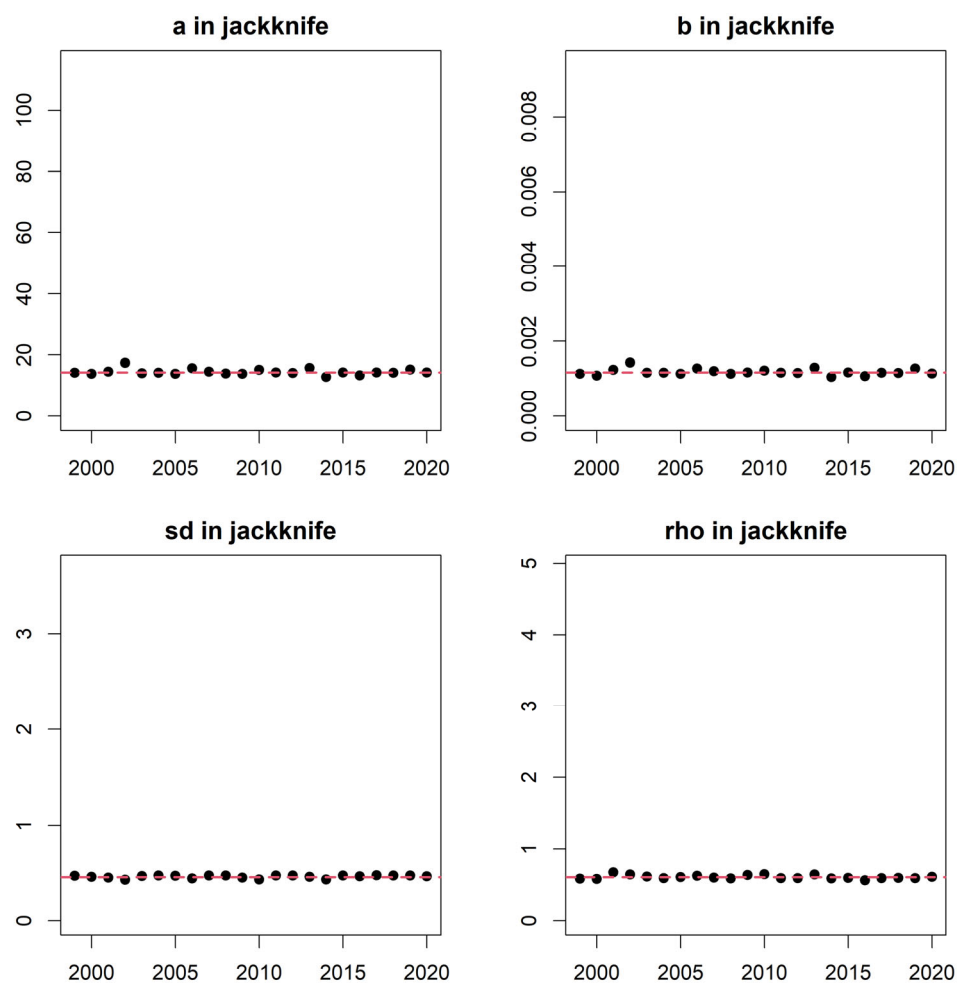
補足図 1-4b. 自己相関を同時推定したリッカー型生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果 丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020 年）を示す。



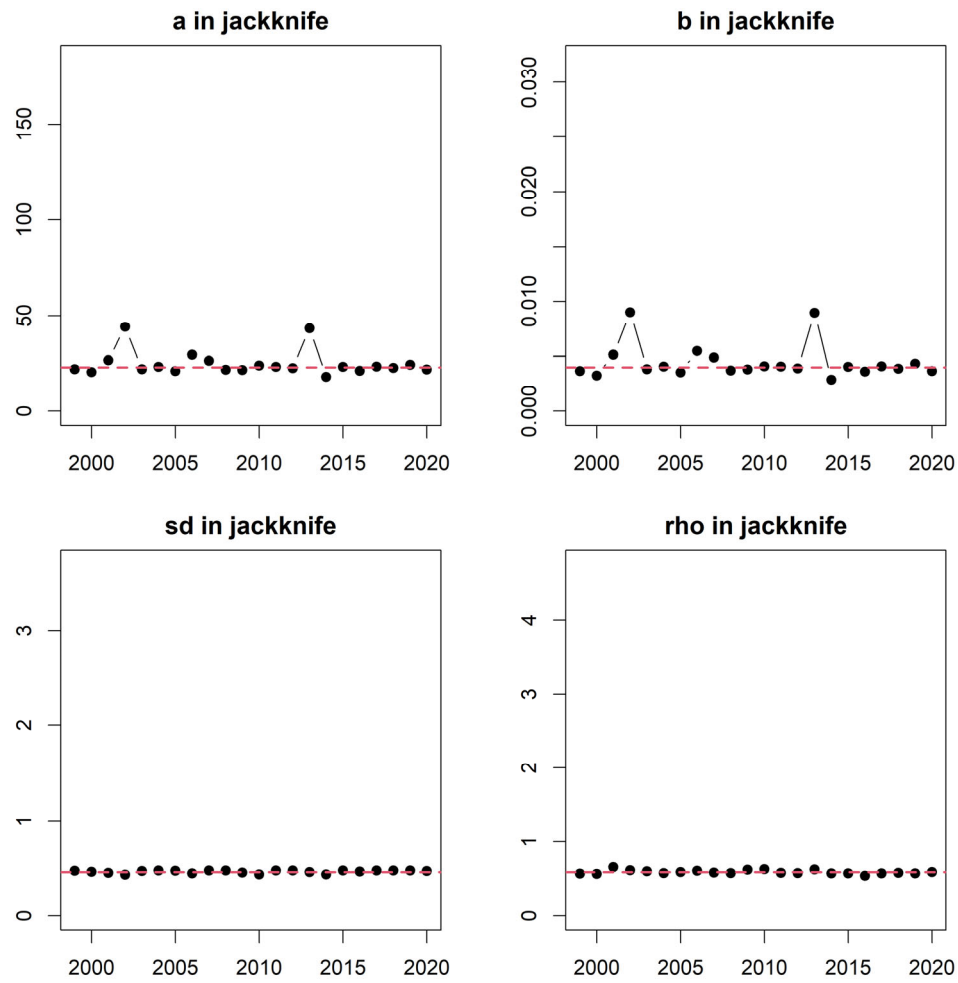
補足図 1-4c. 自己相関を同時推定したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果 丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020 年）を示す。



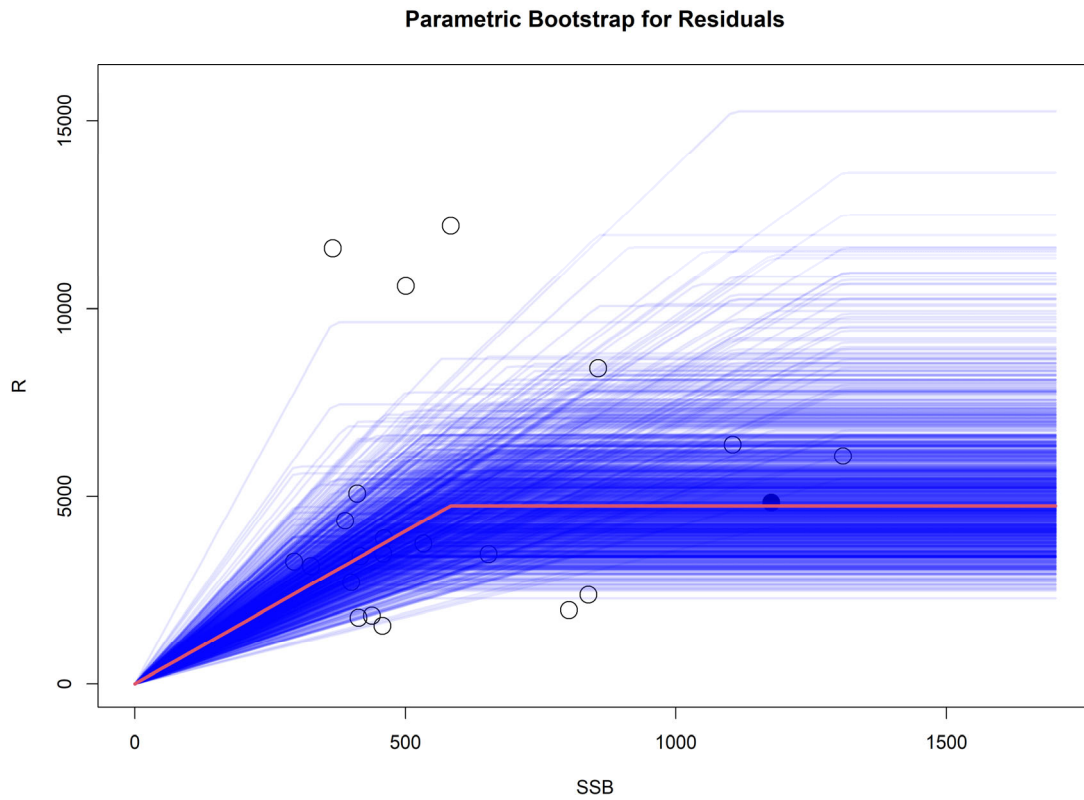
補足図 1-5a. 自己相関を同時推定したホッカー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



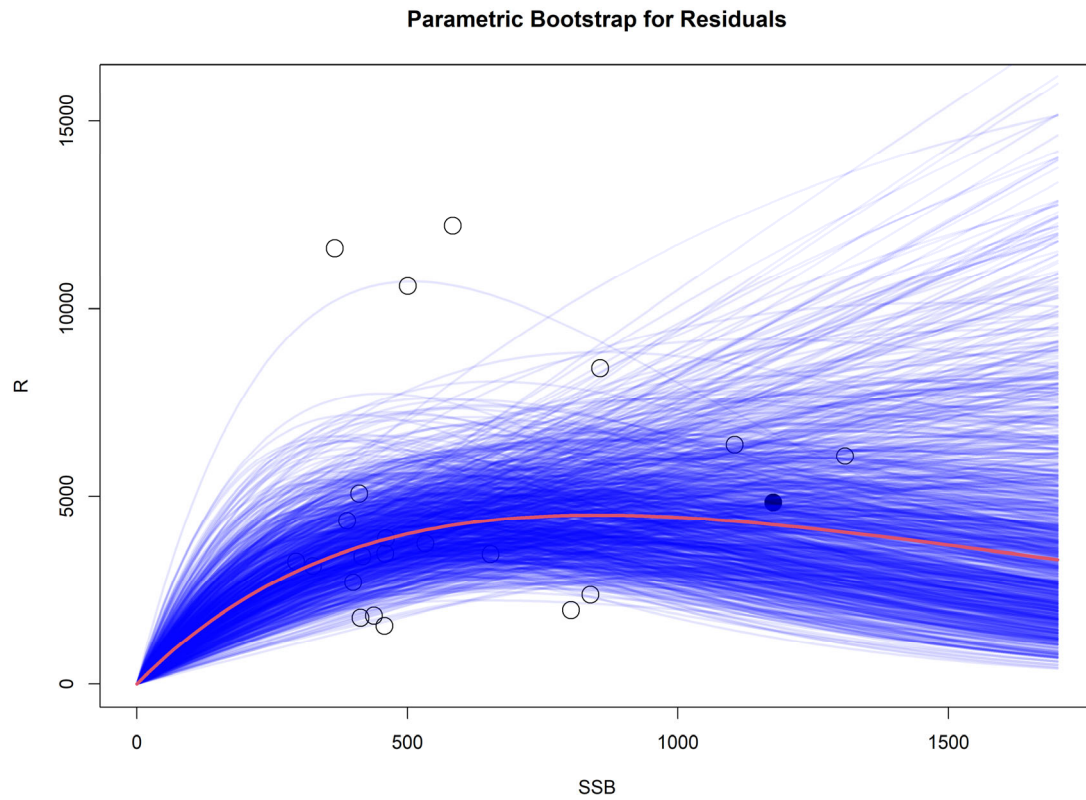
補足図 1-5b. 自己相関を同時推定したリッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



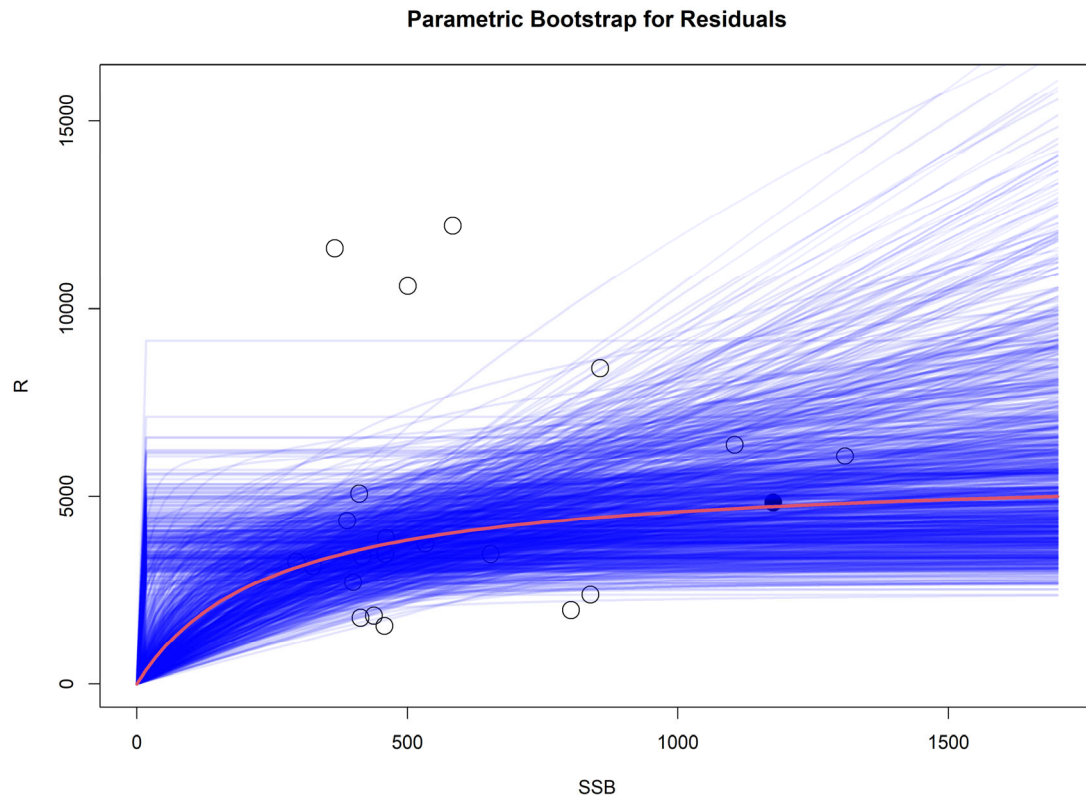
補足図 1-5c. 自己相関を同時推定したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



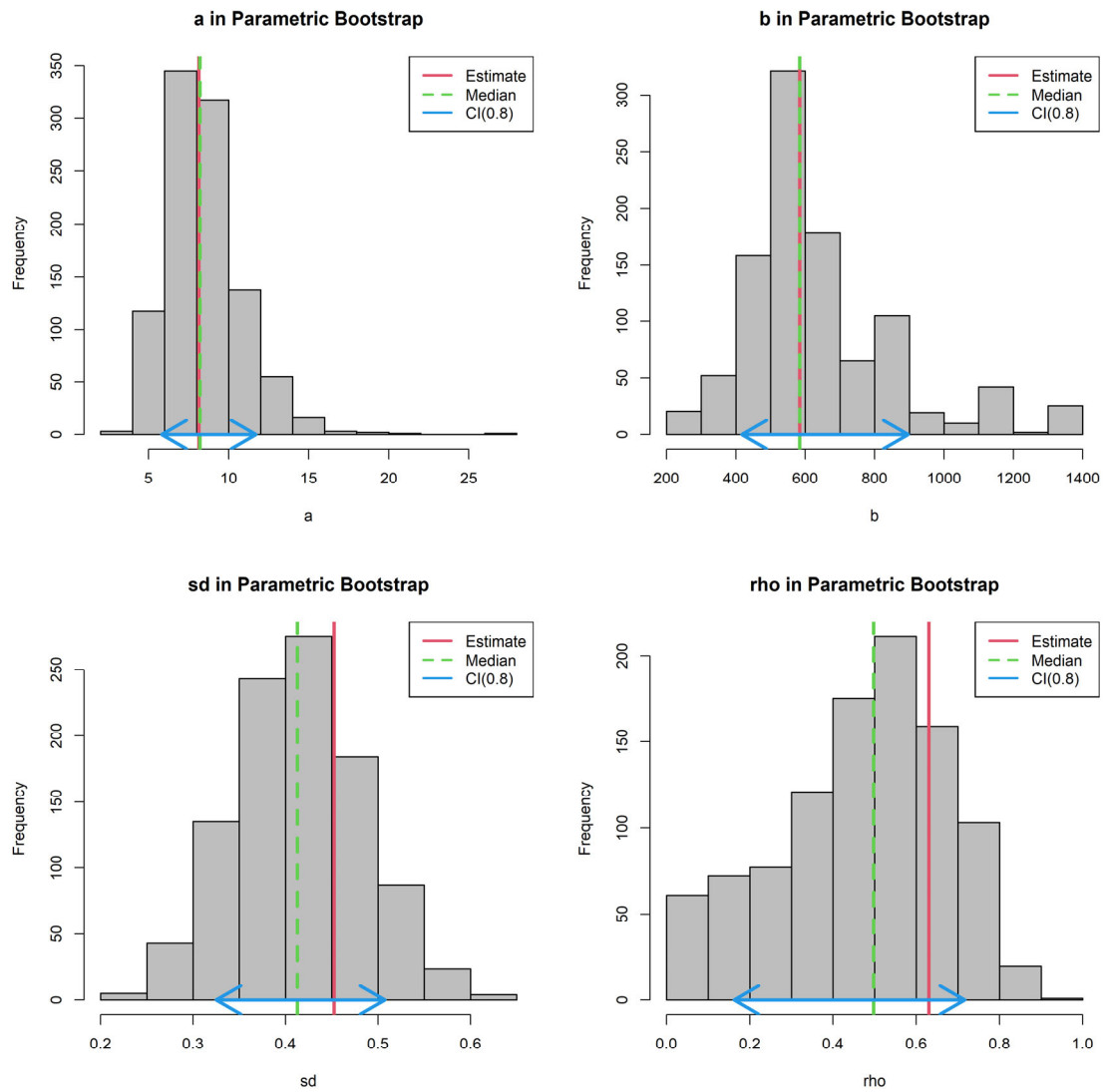
補足図 1-6a. 自己相関を同時推定したホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果。赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020 年）を示す。



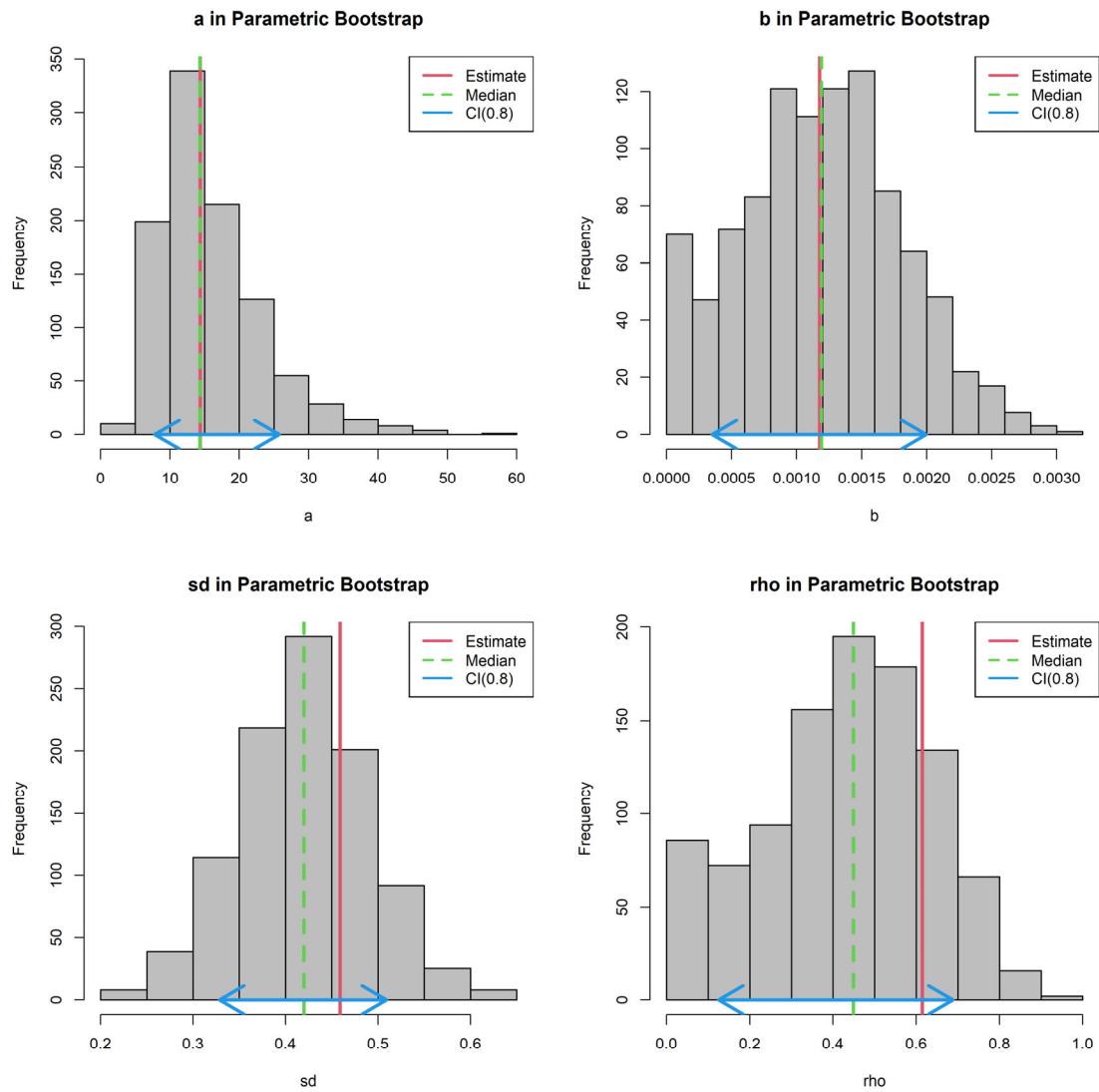
補足図 1-6b. 自己相関を考慮同時推定したリッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果 赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020 年）を示す。



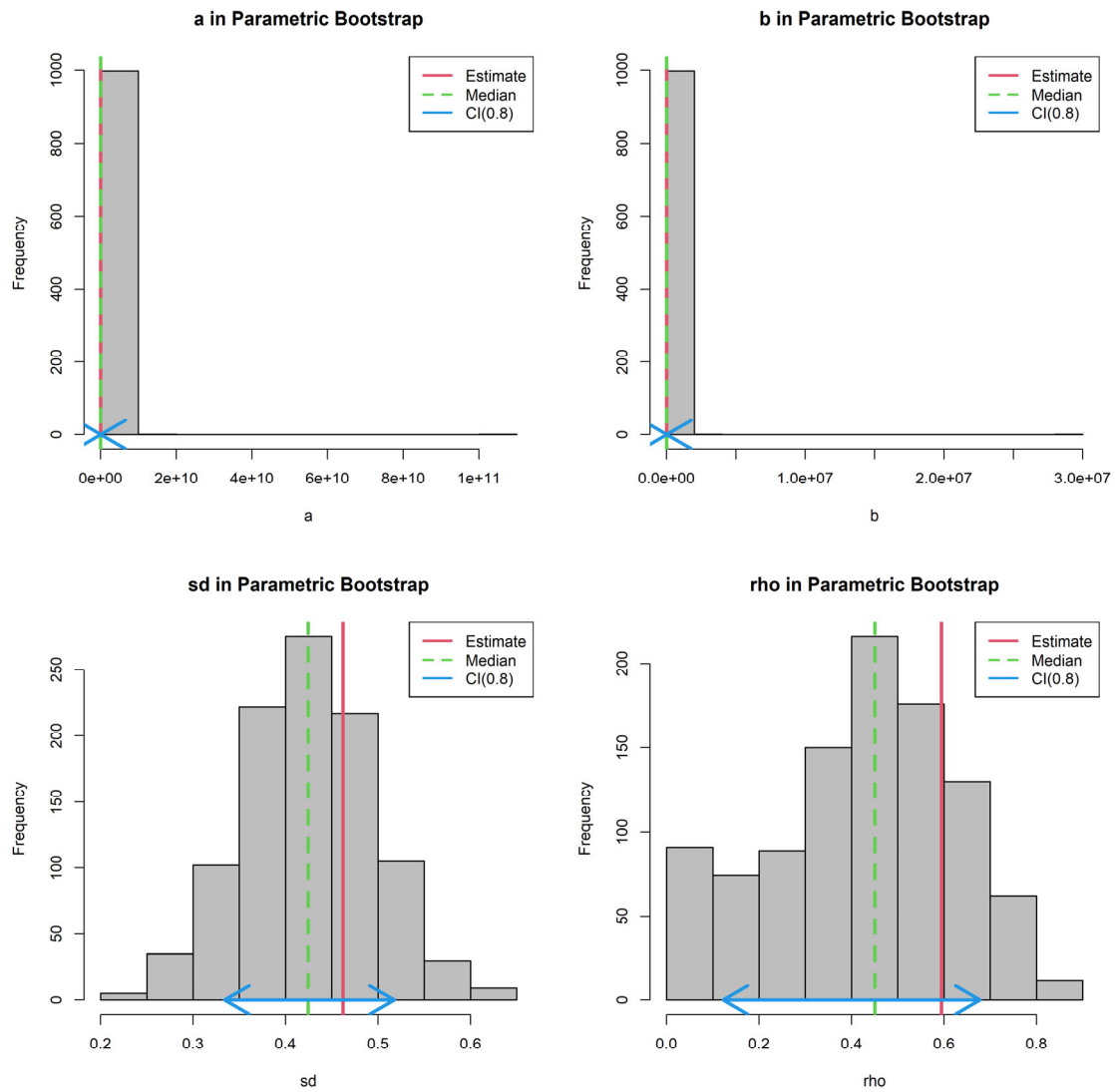
補足図 1-6c. 自己相関を同時推定したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果。赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2020 年）を示す。



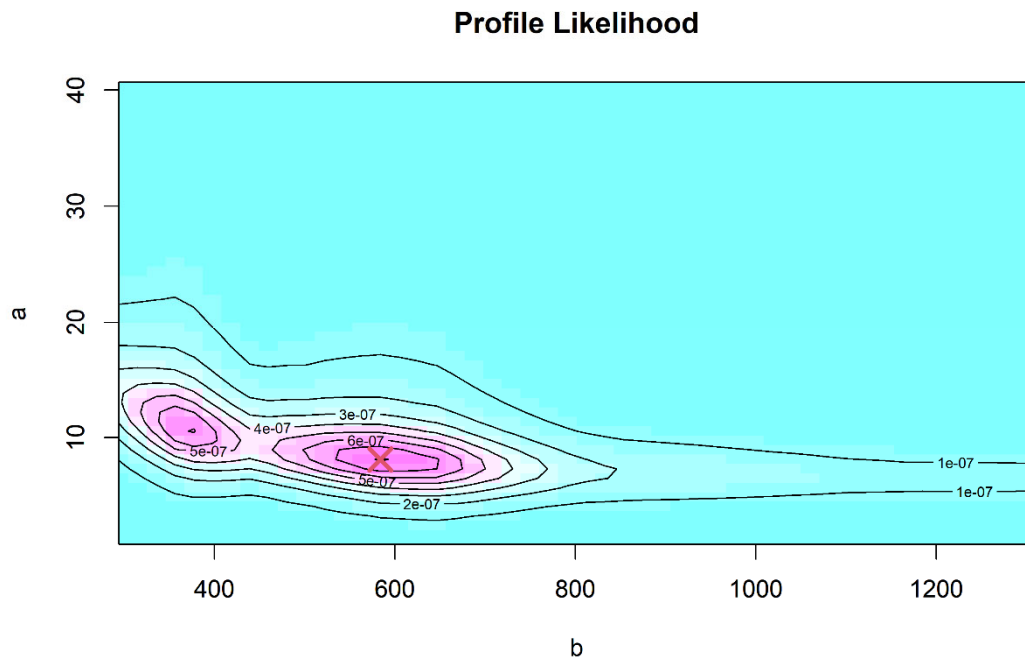
補足図 1-7a. 自己相関を同時推定したホッカー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線） 赤線はパラメータの点推定値である。



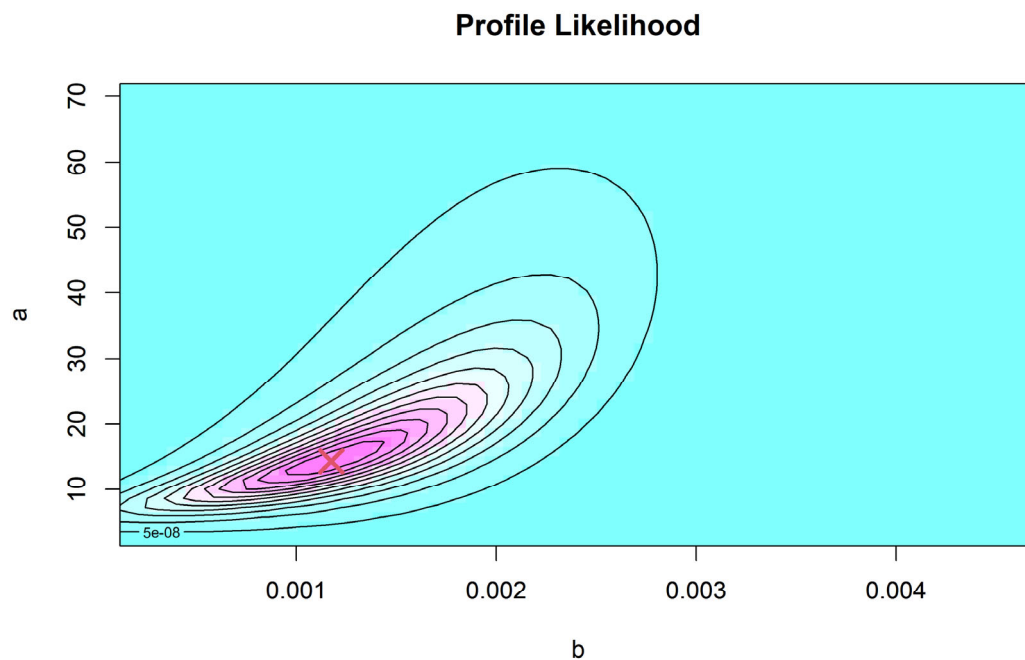
補足図 1-7b. 自己相関を同時推定したリッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線） 赤線はパラメータの点推定値である。



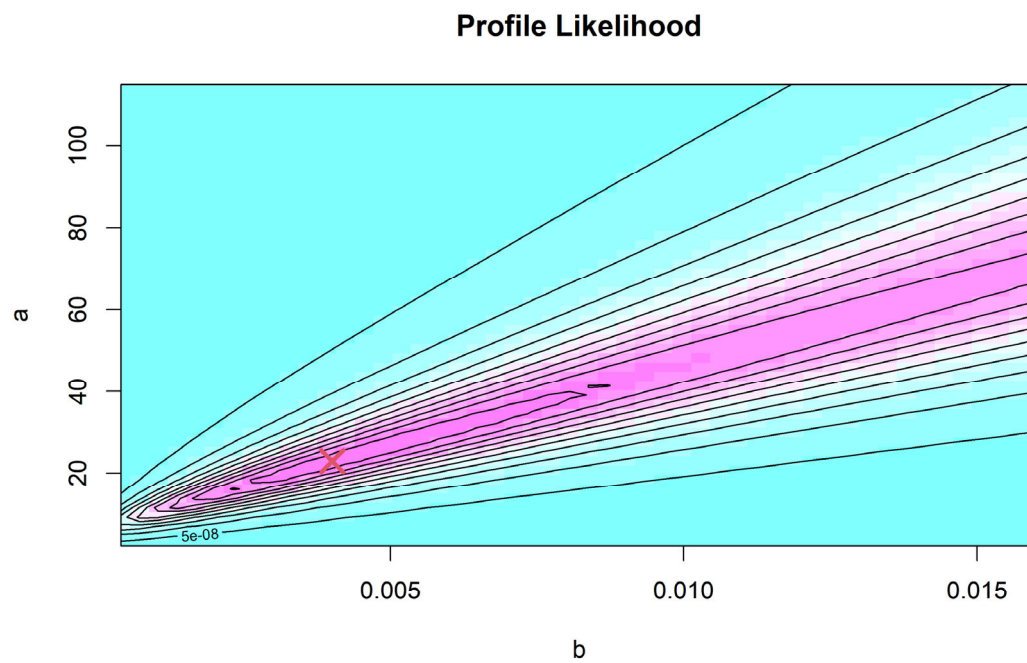
補足図 1-7c. 自己相関を同時推定したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線） 赤線はパラメータの点推定値である。



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。



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	8.133	583.991	0.453	0.630	22
リッカー (RI)	最小 二乗法	有	同時	14.371	0.001	0.459	0.614	22
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	有	同時	22.974	0.004	0.462	0.594	22
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	無	-	8.719	556.982	0.585	0	22
リッカー (RI)	最小 二乗法	無	-	13.312	0.001	0.584	0	22
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	無	-	24.065	0.004	0.579	0	22
ホッケー・ スティック (HS)	最小 絶対値法	無	-	8.379	582.744	0.586	0	22
リッカー (RI)	最小 絶対値法	無	-	10.636	0.001	0.593	0	22
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 絶対値法	無	-	19.897	0.003	0.581	0	22

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。

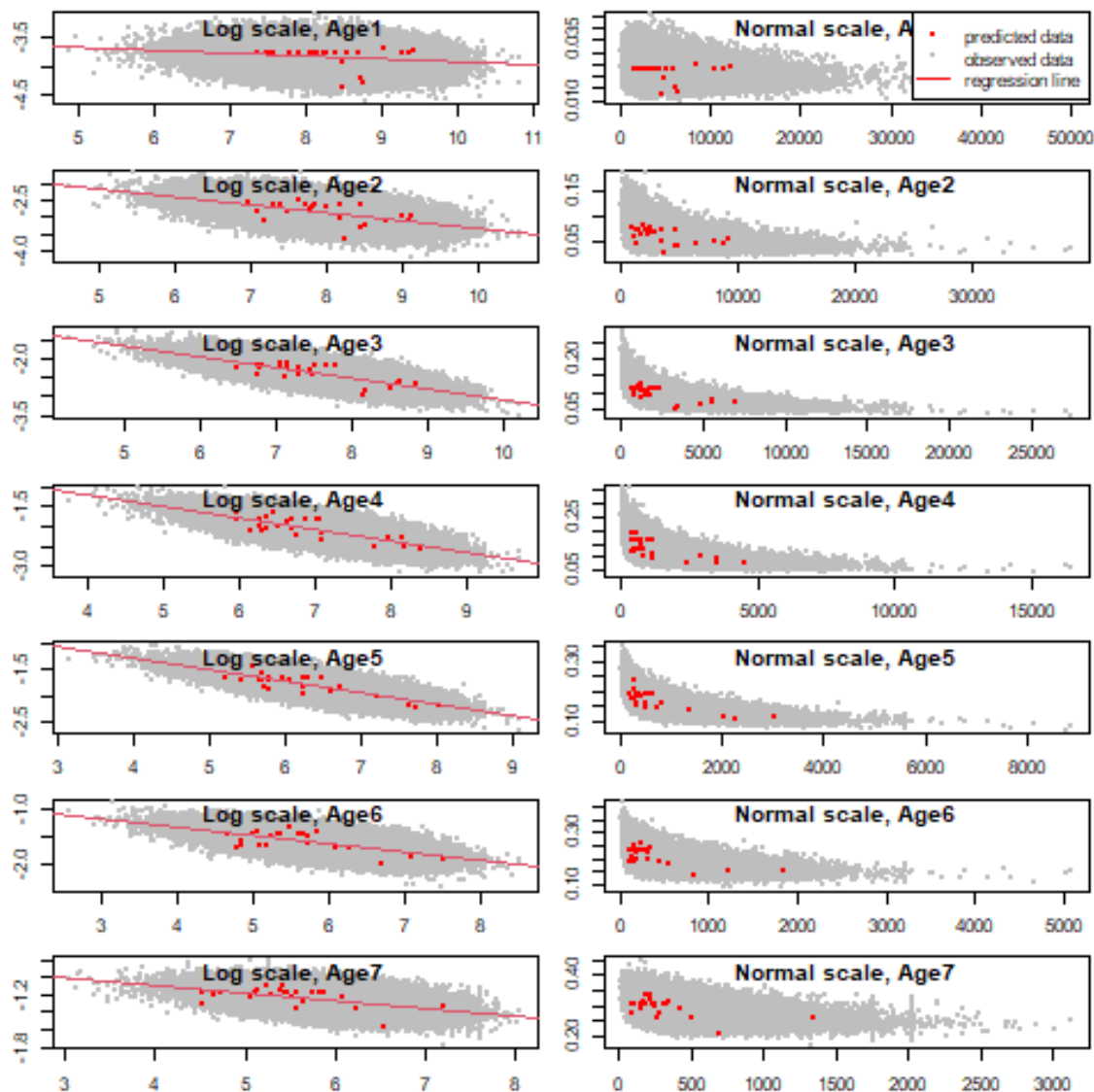
再生産関係式	最適化 法	自己 相関	推定 法	SBmsy (トン)	SB0.6msy (トン)	SB0.1msy (トン)	MSY (トン)	U_{msy}	$F_{msy}/F_{current}$
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	有	同時	758	257	23	197	0.20	1.32
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	無	—	685	263	24	213	0.23	1.67
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	無	—	707	272	25	211	0.22	1.58
リッカー (RI)	最小二乗法	有	同時	634	169	56	191	0.23	1.60
リッカー (RI)	最小二乗法	無	—	733	198	46	204	0.21	1.44
リッカー (RI)	最小絶対値法	無	—	980	269	27	220	0.18	1.08
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	有	同時	658	134	95	188	0.22	1.49
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	無	—	676	137	101	195	0.22	1.51
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	無	—	698	146	81	187	0.21	1.37

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。

補足資料 3 将来予測における資源状態に応じた体重の変化

上述のように、1998～2021 年のヤナギムシガレイでは 2～6 歳において資源尾数と体重の間に負の相関がみられた。そのため、将来予測においては資源尾数に応じて体重が変化するオプションを利用した（補足図 3）。



補足図 3. 年齢別資源尾数と体重の関係（右は実測値、左は対数変換したもの）

赤点は 1998～2021 年における実際のデータ、赤線はその回帰、灰色点は将来予測における推定値である。