

令和 3（2021）年度ウルメイワシ対馬暖流系群の 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 2 年度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 1976～2018 年の親魚量と加入量の情報に対し残差の自己相関も同時推定したホッケ－・スティック型再生産関係（HS）の適用を提案する。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。目標管理基準値案として、再生産関係に基づき算出される SB_{msy} （5.4 万トン）を、限界管理基準値案として、 $SB_{0.6msy}$ （1.8 万トン）を提案する。禁漁水準として、 $SB_{0.1msy}$ （0.2 万トン）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（2017～2019 年の平均の漁獲係数）の 0.75 倍である。

（本資料における、再生産関係および MSY や F_{msy} 、 SB_{msy} については、令和 2 年度の資源評価結果に基づき、令和 3 年 2 月 16 日に開催されたウルメイワシ対馬暖流系群の新たな資源管理に関する研究機関会議において議論され、令和 3 年 3 月 26 日にウルメイワシ対馬暖流系群の簡易版として公表されている。本資料における当該部分については、前記会議において検討に用いられた資料からの転載となっている。一方、将来予測及び漁獲管理規則については、令和 3 年度資源評価により更新されたデータを元に作成されている。）

親魚量 (千トン)	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 (千トン)	現状の漁獲圧 (2017～2019 年) に対する比*	説 明
目標管理基準値案					
54	2.46	0.45	35.1	0.75	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					
18	0.81	0.15	21.0	2.04	MSY の 60%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
2	0.10	0.02	3.5	2.92	MSY の 10%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.1msy)
2020 年					
22	1.00	0.18	33**	—	2020 年の値

* 管理基準値案および水準案を計算した際の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（426f94b）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（2021 年 2 月 19 日版）（FRA2021-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 2 年度ウルメイワシ対馬暖流系群の資源評価(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。最適化方法として、最小二乗法および最小絶対値法を用いた。データとしては資源評価で推定された 1976～2019 年の加入量および親魚量のうち、不確実性の高い直近年（2019 年）を除いた 1976～2018 年の推定値を使用した。再生産関係の検討候補を表 1 に示す。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た（補足資料 1）。

いずれの再生産関係を当てはめた場合でも残差に自己相関を考慮する必要性が認められた（補足資料 1）。また、再生産関係のパラメータと自己相関係数を同時に推定した場合（同時推定）と、再生産関係のパラメータを推定したのちに自己相関係数を推定した場合（二段階推定）では、推定される自己相関係数に差が見られた（補足資料 1）。二段階推定と同時推定で自己相関係数の差が特に大きい場合には推定パラメータの安定性を確認したうえで同時推定による結果を用いたほうが良いとされている（シミュレーションを用いた自己相関係数の同時推定手法の推定バイアス評価 FRA2020-BRP01-6）。本系群では当てはめる再生産関係によって、同時推定と二段階推定の間の自己相関係数の差は異なり、HS 型では比較的大きく、RI 型では小さかった。BH 型では同時推定の場合は収束しなかった。このため、HS 型では同時推定、RI 型では同時推定と二段階推定の両者、BH 型では二段階推定を再生産関係の候補とした（補足資料 1、2）。

補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると、同時推定の再生産関係のうち、HS 型は RI 型と比べ 4.5 低く、「再生産関係の決定に関するガイドライン（FRA-SA2020-ABCWG01-03）」の 3.a（予測力）の基準から HS 型のほうが予測力に優れていると考えられる。また、二段階推定の再生産関係は AICc の低い順に RI 型、BH 型、HS 型だった。AICc の差は最大と最小の間で 4 未満となっており、各モデル間の予測力の差はないと考えられる。ジャックナイフ解析を行った結果、二段階推定の HS 型では特定の年の影響によってパラメータの値が変動することが確認され、候補としたモデルの中ではパラメータ推定が比較的不安定であると考えられた。同時推定の HS 型および二段階推定の RI 型と BH 型ではパラメータ推定の不安定さは見られなかった。これらのことから、上記 3 つのモデル（HS 型同時、RI 型二段階、BH

型二段階)の不確実性に対する頑健性と、また、それぞれの再生産関係を誤って選択した場合の影響(漁獲量や親魚量の減少リスク)を簡易的な MSE (Management Strategy Evaluation、管理戦略評価、Punt 2001)により評価した(補足資料 3)。「再生産関係ガイドライン(FRA-SA2020-ABCWG01-03)」では HS 型同時が基本的には推奨されるため、HS 型同時に対して、真の再生産関係が RI 型二段階もしくは、BH 型二段階だった場合の簡易的 MSE を行った(補足資料 3)。計算方法は「簡易的 MSE を用いた複数の管理基準値の頑健性の比較・HCR の検討(FRA-SA2020-BRP01-7)に従った。その結果、RI 型二段階は HS 型同時と管理基準値が大きく異ならなかったため、資源の減少リスクも大きくなかった。一方、BH 型二段階が真の再生産関係だった場合には HS 型同時と比較すると管理基準値が高いことから、10 年後の親魚量が目標管理基準値を超える確率は 50%を超えなかった。一方、限界管理基準値を下回る確率は低かった。

1-3) 再生産関係の候補

上述の検討の上、「再生産関係ガイドライン(FRA-SA2020-ABCWG01-03)」の 3.a (予測力)および 3.h (自己相関)の基準に従い、本系群の再生産関係の候補としては、最小二乗法で最適化して自己相関を同時推定した 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 2 (2020)年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針(FRA-SA2020-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 2 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、年齢別平均体重)を使用して実施した(表 2)。本系群では、平均世代時間(1.3 年)の 20 倍の年数(27 年)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。

管理基準値案等を達成する努力量と現状の努力量との比較は、令和 3 年度資源評価における現状の漁獲圧に基づいて行った。現状の漁獲圧の年齢別選択率は、管理基準値の算出に用いた令和 2 年度の $F_{current}$ の年齢別選択率(表 2)と等しくなるように、F 値と %SPR との関係を用いて調整した($F_{2017-2019}$ 、図 2)。漁獲管理規則案に基づく将来予測においても、この $F_{2017-2019}$ を現状の漁獲圧として使用した。

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} : 5.4 万トン)、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($SB_{0.6msy}$: 1.8 万トン)、禁漁水準(SB_{ban})として MSY の 10%の漁獲が得られる親魚量($SB_{0.1msy}$: 0.2 万トン)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 45%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 3.5 万

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/2017-2019）は 0.75 で、その時の漁獲割合（Umsy）は 42%である。限界管理基準値として提案する SB0.6msy は SB0 の 15%、禁漁水準として提案する SB0.1msy は SB0 の 2%である。

2020 年の新たなデータを加えた影響で 2019 年以前の資源量が過去にさかのぼって下方修正された（令和 3 年度ウルメイワシ対馬暖流系群資源評価報告書）。このため、最新の資源評価結果に基づいて 2018 年までの年齢別資源尾数などを用いて管理基準値を計算したが、算出される管理基準値（SBmsy）や MSY の値は大きく変化しなかった（補足資料 3）。

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 歳および 1 歳魚が殆どを占め、SBmsy 達成時においても多くを占めている。しかし、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。各年の親魚量および漁獲係数（F 値）は令和 3 年度の資源評価で推定された値である。本系群における漁獲係数（F 値）は、1976～1978 年は、MSY を与える水準を下回っていたが、1979 年以降は増加し、ほとんどの年で MSY を与える水準を上回った。2015～2017 年は Fmsy と同程度か下回って推移したが、2018 年以降は Fmsy を上回ったと判断される。2020 年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 2.46、0.81 および 0.10 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 Fmsy 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本資料で提示した値を用いた場合（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、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。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 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（F2017-2019）から仮定した。ここで F2017-2019 は、令和 2 年度資源評価の Fcurrent と同じ選択率の下で、%SPR が令和 3 年度資源評価における 2017～2019 年の平均漁獲圧と同じ値をとる F 値である。

予測される 2022 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、現在の漁獲努力量と同程度の漁獲圧に相当する。中長期的には、 βF_{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 0.0～1.0 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 (F2017-2019) 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 2020 年漁期時点で限界管理基準値を超えているものの、目標管理基準値案を下回っている。漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2032 年に、 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 0.9 以上であれば、2032 年には目標管理基準値案を上回る確率は 50%を下回った。2022 年以降の親魚量は β が低い程多くなった (表 7)。表 9 に、 β を 0.0～1.0 の間で変えた場合に、管理開始から 10 年間の間における親魚量が限界管理基準値を下回るリスク、親魚量が禁漁水準を下回るリスク、漁獲量が前年と比較して半減するリスクを記載した。いずれのリスクも 5%以下にとどまった。

3. まとめ

本資源では、令和 2 年度の資源評価で推定された 1976～2018 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 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} (5.4 万トン) 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 $SB_{0.6msy}$ (1.8 万トン)、 $SB_{0.1msy}$ (0.2 万トン) 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以下にあると考えられる。MSY を実現する漁獲割合は 42%、漁獲圧は F2017-2019 の 0.75 倍である (表 3)。 β が 0.8 以下であれば、10 年後に 50%以上の確率で MSY 水準に回復すると予測された。

4. 今後の検討事項

本種は寿命が短く、漁獲物の大半は 0～1 歳魚であるため、将来予測には大きな不確実性がある。

5. 引用文献

ABCWG (2020) 令和 2 (2020) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2020-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(2021 年 2 月 19 日版). FRA-SA2020-ABCWG01-02.

ABCWG (2020) 再生産関係の決定に関するガイドライン. FRA-SA2020-ABCWG01-03.

(執筆者：依田真里、黒田啓行、向草世香、佐々千由紀)

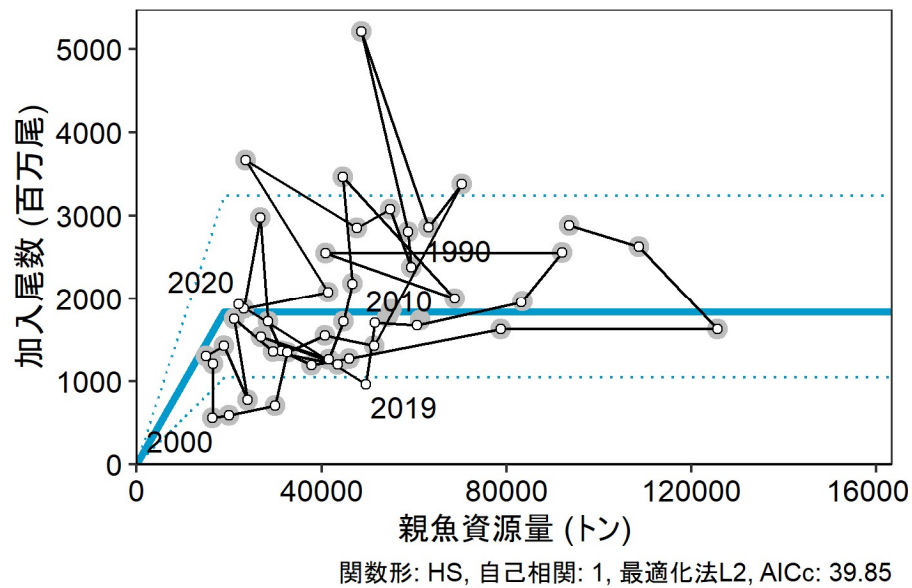


図 1. 親魚量と加入量の関係（再生産関係）

令和 3 年 2 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」で提案された再生産関係式（青実線）と再生産関係のプロット（灰色の丸印、1976～2018 年）。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。実線と白抜き丸印で示したのは令和 3 年度資源評価で得られた再生産関係のプロット（1976～2020 年）。

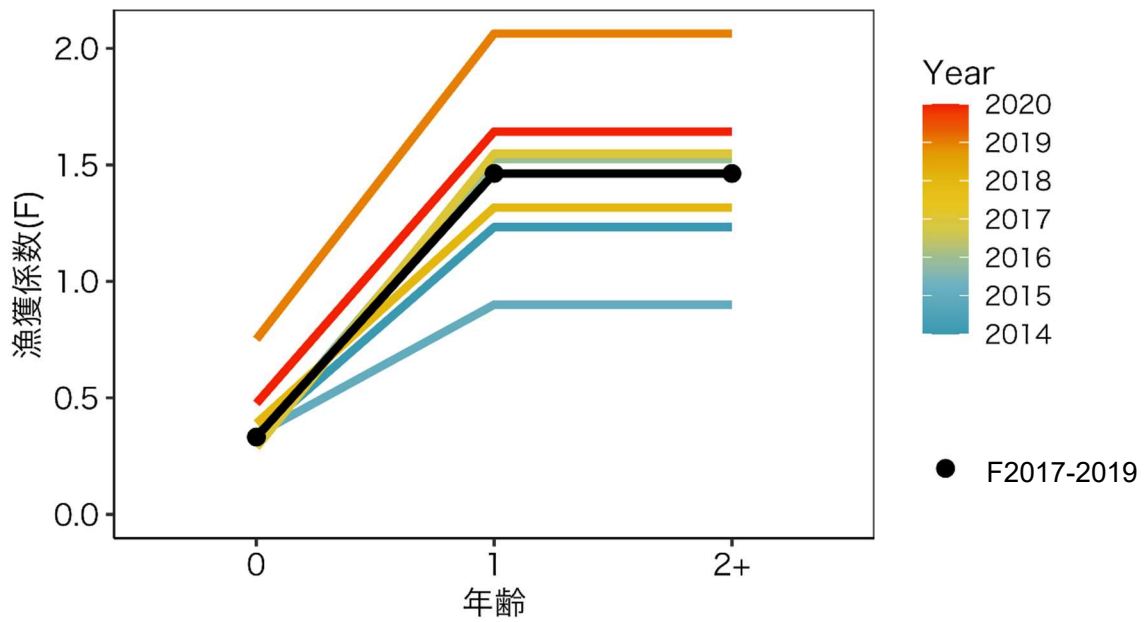


図 2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

令和 3 年度資源評価結果に基づく 2014 年以降の各年の年齢別 F 値を色分けして示す。黒線は令和 3 年度の資源評価における現状の漁獲圧であり、年齢別選択率が令和 2 年度の $F_{current}$ の選択率と等しくなるように、F 値と %SPR との関係を用いて調整した (F2017-2019)。

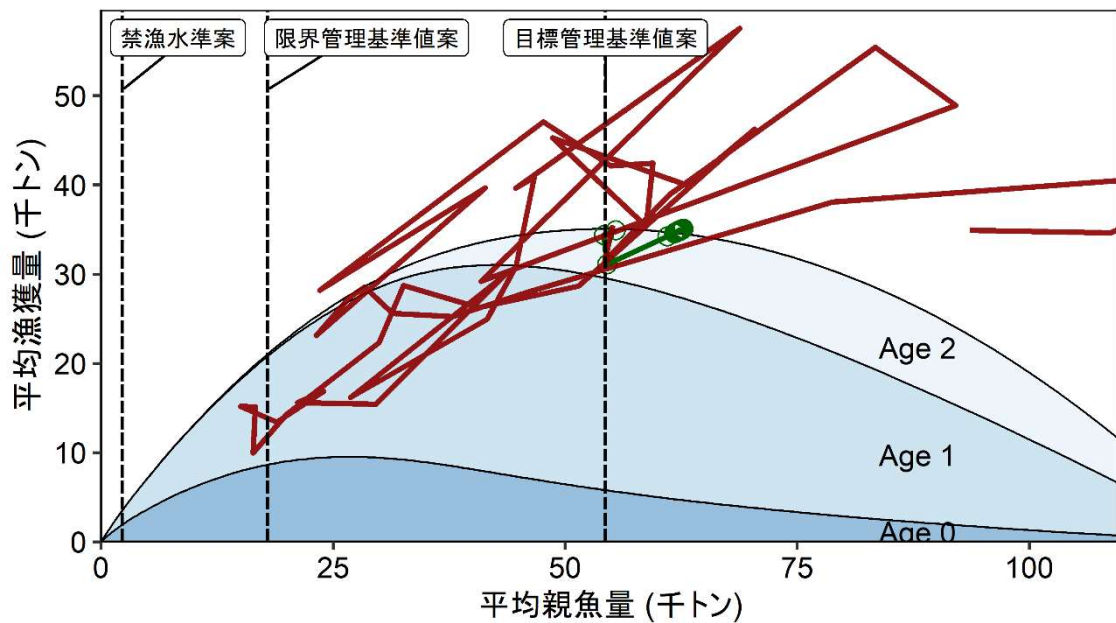


図3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

令和2年度資源評価結果に基づき、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。赤線は資源評価により推定された親魚量と漁獲量との関係を、緑線は提案する管理基準値案に基づく漁獲管理規則案(HCR)で漁獲を行った場合の将来予測での平均親魚量と平均漁獲量の推移を示す。HCRで使用した調整係数 β は0.8である。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量(SB0)は12.2万トンである。

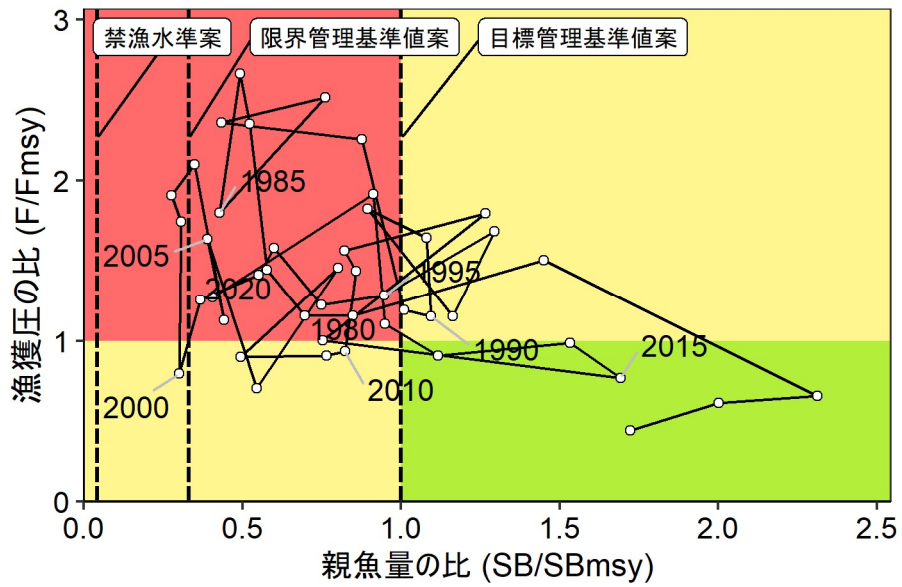
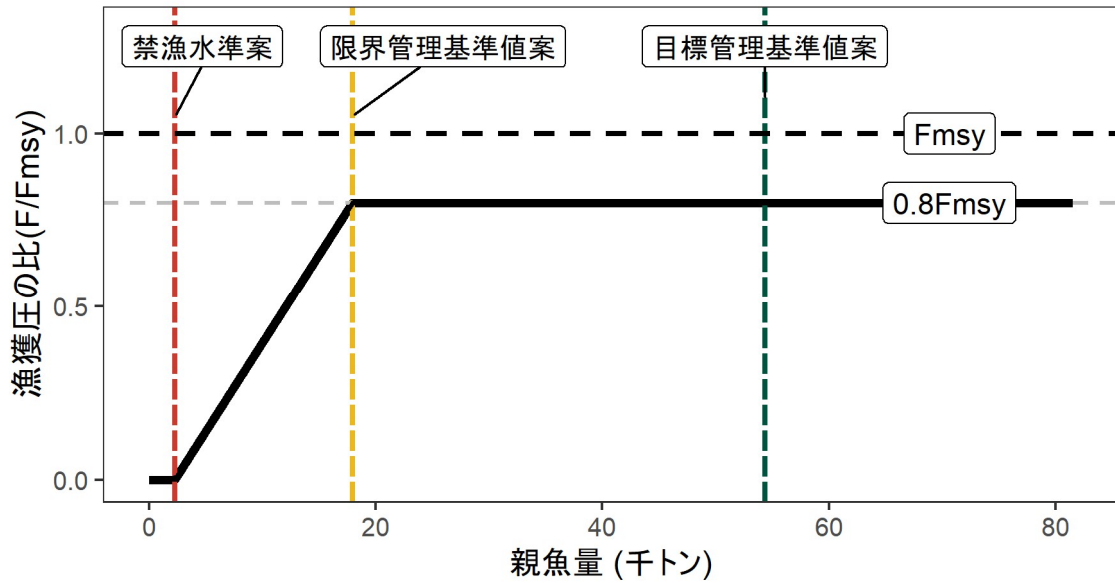


図 4. 神戸プロット

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、それぞれ令和 2 年度の資源評価結果から推定された SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。各年の親魚量および漁獲係数 (F 値) は令和 3 年度の資源評価で推定された値である。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

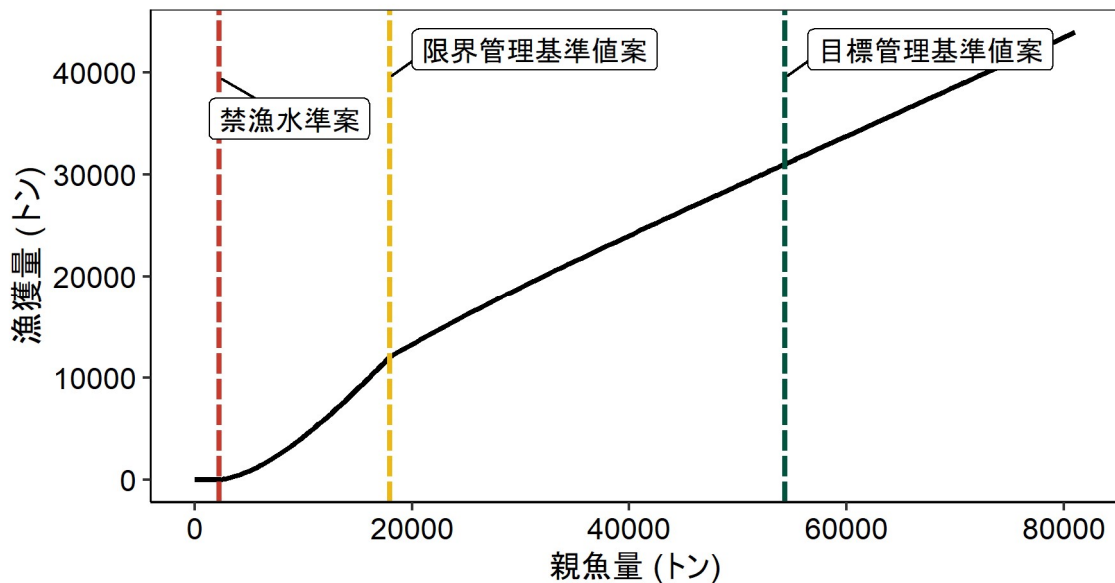
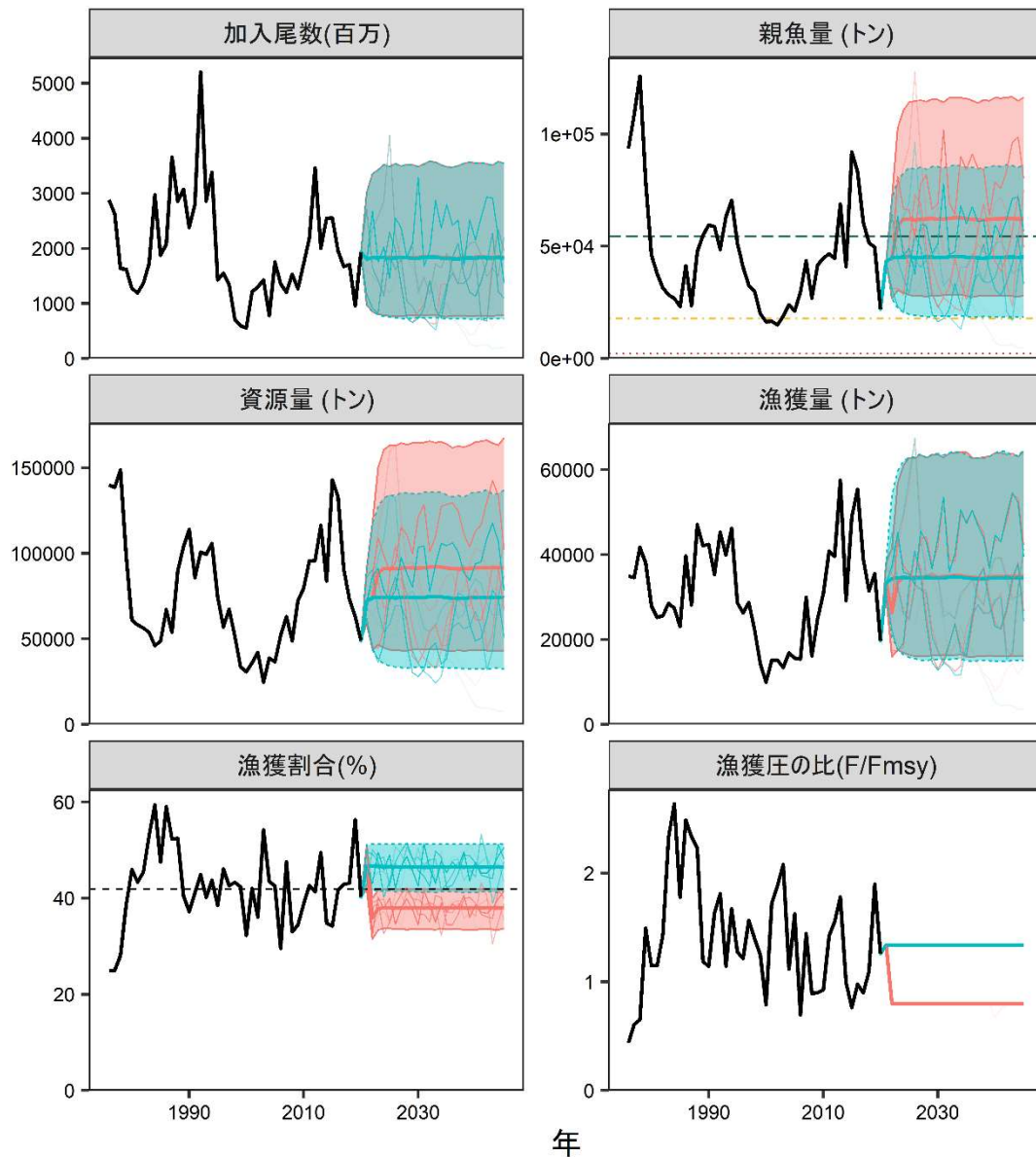


図 5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は HS 再生産関係に基づき算出した 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、それぞれ提示した値を用いている。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 F2017-2019 により仮定し、2022 年漁期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
ホッケー・スティック型	最小二乗法	同時	39.9
リッカー型	最小二乗法	同時	44.4
ホッケー・スティック型	最小二乗法	二段階	54.1
ベバートン・ホルト型	最小二乗法	二段階	51.8
リッカー型	最小二乗法	二段階	50.8

推奨する再生産関係式を太字とした。二段階推定の AICc 値は自己相関を考慮していない段階の値。

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) *	現状の漁獲圧 (F2017- 2019**)
0	0.7	0.0	15.9	0.23	0.32	0.44
1	0.7	1.0	67.7	1.00	1.41	1.94
2	0.7	1.0	134	1.00	1.41	1.94

*Fcurrent は令和 2 年度資源評価における 2016～2018 年の F 値の年齢別平均値である。

**F2017-2019 は令和 3 年度の資源評価における 2017～2019 年の F 値の年齢別平均値と %SPR が等しい漁獲圧である。

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、令和 3 年度の資源評価における現状の漁獲圧 (F2017-2019) 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	54	0.45	35.1	44.7	0.42	0.75
限界管理基準値案	SB0.6msy	18	0.15	21.0	20.9	0.55	2.04
禁漁水準案	SB0.1msy	2	0.02	3.5	13.9	0.58	2.92
MSY を実現する漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳) = (0.33, 1.45, 1.45)					

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	2042	2052
1.0	0	21	40	42	42	41	42	42	42	42	42	42	42	41
0.9	0	21	45	48	48	47	48	48	48	48	48	48	48	47
0.8	0	21	51	55	54	54	54	54	54	53	54	54	54	53
0.7	0	21	58	62	61	60	60	61	60	60	60	61	60	60
0.6	0	21	64	69	68	67	67	67	67	67	67	67	67	67
0.5	0	21	71	75	74	74	74	74	74	73	73	74	73	73
0.4	0	21	77	82	80	80	80	80	80	79	80	80	79	80
0.3	0	21	83	87	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
0.2	0	21	88	92	90	90	90	89	90	89	90	90	90	90
0.1	0	21	92	95	94	93	93	93	93	93	94	93	93	93
0.0	0	21	95	97	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
F2017-2019	0	21	25	26	26	26	26	27	27	27	26	27	27	26

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 F2017-2019 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 F2017-2019 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
1.0	100	100	100	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.9	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99	100	99	99	99
0.8	100	100	100	100	100	100	100	99	99	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
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2017-2019	100	100	99	98	97	96	96	95	96	96	96	96	96	95

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 F2017-2019 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 F2017-2019 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	2042	2052
1.0	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
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2017-2019	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。2021 年は F2017-2019 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 F2017-2019 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	2042	2052
1.0	43	45	53	55	55	54	55	55	55	55	55	55	55	55
0.9	43	45	56	58	58	58	58	58	58	58	58	59	58	58
0.8	43	45	59	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
0.7	43	45	63	66	67	66	66	67	67	67	67	67	67	66
0.6	43	45	67	71	72	71	71	72	72	72	72	72	72	71
0.5	43	45	71	77	77	77	77	78	78	77	77	78	78	77
0.4	43	45	76	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
0.3	43	45	81	91	92	91	91	92	92	92	92	92	92	91
0.2	43	45	86	100	100	100	100	101	101	100	100	101	101	100
0.1	43	45	93	110	111	110	110	111	111	111	111	111	111	110
0	43	45	100	122	122	122	122	123	123	123	122	123	123	122
F2017-2019	43	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45

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 F2017-2019 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 F2017-2019 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	2042	2052
1.0	33	30	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
0.9	33	28	34	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
0.8	33	26	33	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
0.7	33	24	32	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
0.6	33	22	31	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
0.5	33	19	29	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
0.4	33	16	26	28	29	28	28	29	29	29	29	29	29	28
0.3	33	13	22	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
0.2	33	9	17	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
0.1	33	5	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2017-2019	33	34	35	35	35	34	35	35	35	34	35	35	35	34

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 F2017-2019 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 F2017-2019 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

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。

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 が限界 管理基 準値を 下回る	親魚量 が禁漁 水準を 下回る	漁獲量 が半減 する
		2027 年	2032 年	2022 年	2027 年	2032 年			
1	42%	55	55	30	35	35	5%	0%	2%
0.9	48%	58	59	28	35	35	3%	0%	1%
0.8	54%	62	62	26	35	35	2%	0%	1%
0.7	61%	66	67	24	34	34	1%	0%	1%
0.6	67%	71	72	22	33	33	1%	0%	1%
0.5	74%	77	78	19	31	31	0%	0%	1%
0.4	80%	84	84	16	28	29	0%	0%	1%
0.3	85%	91	92	13	25	25	0%	0%	1%
0.2	90%	100	101	9	19	19	0%	0%	1%
0.1	93%	110	111	5	11	11	0%	0%	1%
0	96%	122	123	0	0	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-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 年当初の加入量、B_y を y 年当初の親魚量、A_{min} を加入年齢 (本資源の場合には A_{min}=0) 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 ;

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

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

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

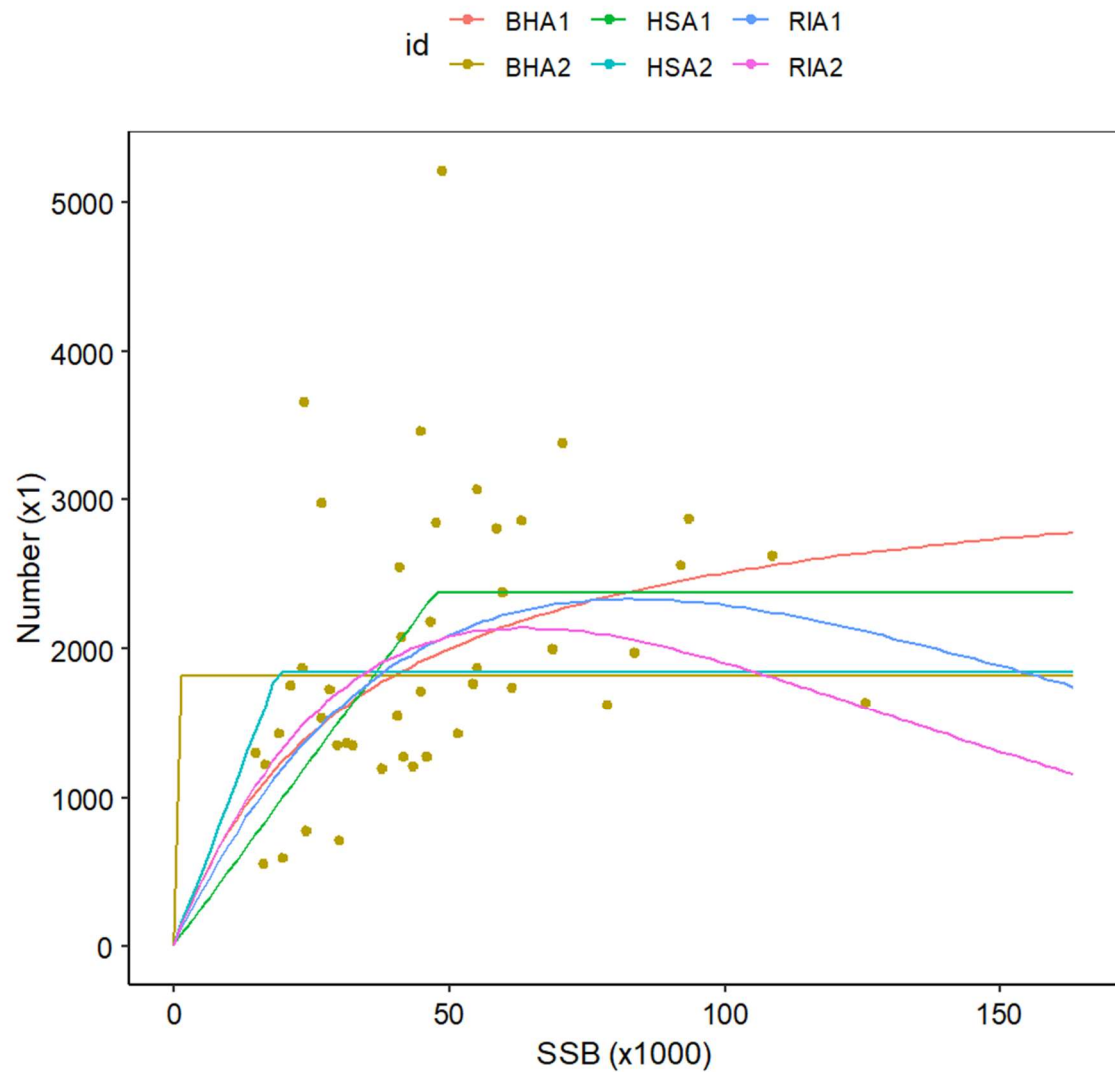
いずれの再生産関係式でも、推定するパラメータは a および b の 2 つである。HS 型の場合、a は折れ点までの再生産曲線の傾き (尾/トン)、b は折れ点となる親魚量 (千トン) を示す。再生産関係の検討の際には、推定された再生産曲線からの加入量の残差標準偏差 (S.D.) も併せて算出した。候補とした再生産関係を補足図 1-1 に示した。

残差の正規性は Shapiro-Wilk 検定により判断した。その結果、いずれの再生産関係でも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 1-2a、1-2b、1-2c、補足表 1-1)。再生産関係を、最小二乗法により当てはめた際の残差トレンドと自己相関プロットを補足図 1-3 に示す。いずれの再生産関係を仮定した場合でも、残差の時系列にトレンドが見られ、自己相関係数は有意となり、本系群については自己相関を考慮する必要があると考えられた。自己相関を同時推定した場合と二段階推定した場合では推定される自己相関係数に差が見られた (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-SA2020-ABCWG01-02) を参照)。二段階推定と同時推定で ρ の差が特に大きい場合には、推定パラメータの安定性を確認した上で、同時推定による結果を用いたほうが良いとされている。本系群の場合、RI 型では同時推定と二段階推定の間で ρ の差は大きくなかったが、HS 型では同時推定と二段階推定でそれぞれ 0.67 と 0.39 と大きな差がみられ、HS 型の場合は同時推定が良いと考えられた。同時推定の再生産関係のうち、AICc を比較すると HS 型と RI 型の間に 4 以上の差があった (補足表 1-1)。一方、自己相関を二段階推定した場合の BH 型と RI 型の間には AICc に有意な差はなかった。

自己相関を同時推定した HS 型、および二段階推定した BH 型と RI 型の 3 つの再生産関係における個々のデータの影響をジャックナイフ法で検討した結果、いずれのモデルも個々のデータの影響は大きくないと考えられた (補足図 1-4、1-5)。加えて残差ブートストラップを行ったところ、BH 型二段階推定では、大きく異なる a と b が推定されることもあり (補足図 1-6、1-7)、加入量一定になるものや親魚量に対して加入量が比例するような極端な例もみられた。プロファイル尤度を計算した結果、HS 型や RI 型の信頼区間は狭かったのに対し、BH 型ではパラメータの信頼区間は広がった (補足図 1-8)。

引用文献

- ABCWG (2020) 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 2 年度研究機関会議版). FRA-SA2020-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., Charles A. T., Beddington J. R. and M. Mangel (1985) Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Mar Resour Econ.*, **2**, 25-53.
- Hilborn R. and C. J. Walters (1992) Quantitative fisheries stock assessment. Springer, Boston, MA
- Punt A. E., Smith A. D. M., Smith D. C., Tuck G. N. and N. L. Klaer (2014) Selecting relative abundance proxies for BMSY and BMEY. *ICES J Mar Sci.*, **71**, 469-483.
- Ricker W. E. (1954) Stock and recruitment. *J Fish Res Board Can.*, **11**, 559-623.

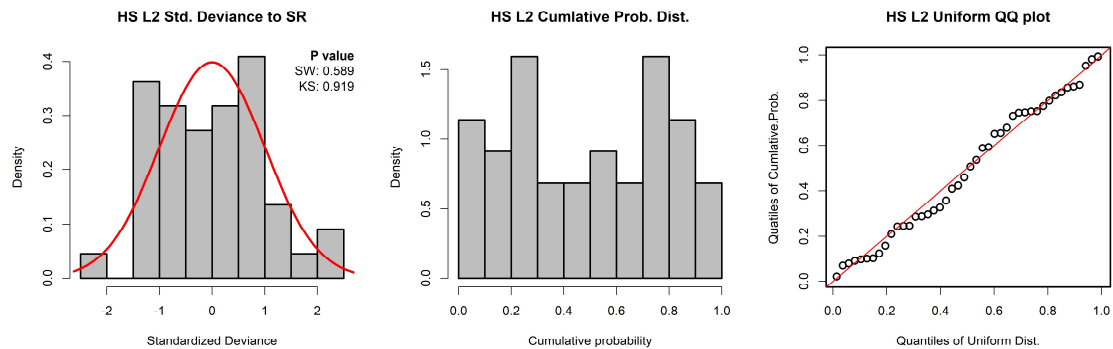


補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

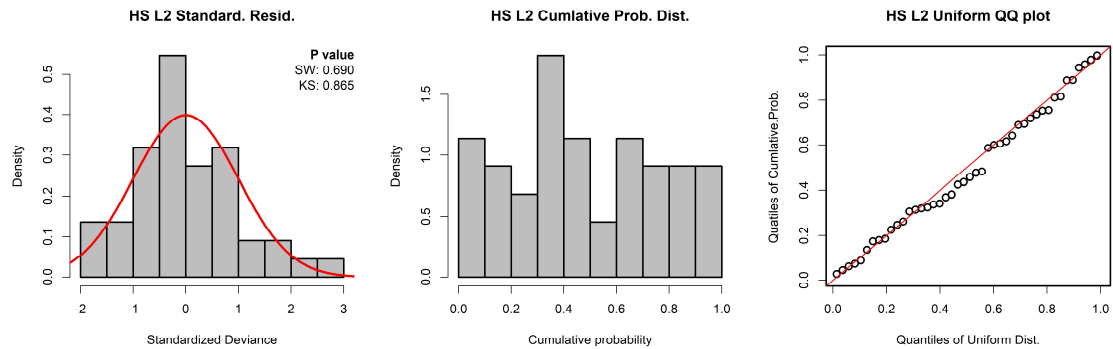
HS 型、RI 型、BH 型の再生産関係式を最小二乗法により残差に自己相関を二段階推定したモデル (A1 自己相関を考慮しないモデルと同じ形) および同時推定したモデル (A2)。黄色丸は分析に使用した令和2年度の資源評価における親魚量と加入尾数(1976～2018 年) である。

HS 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合

- ・再生産関係の残差

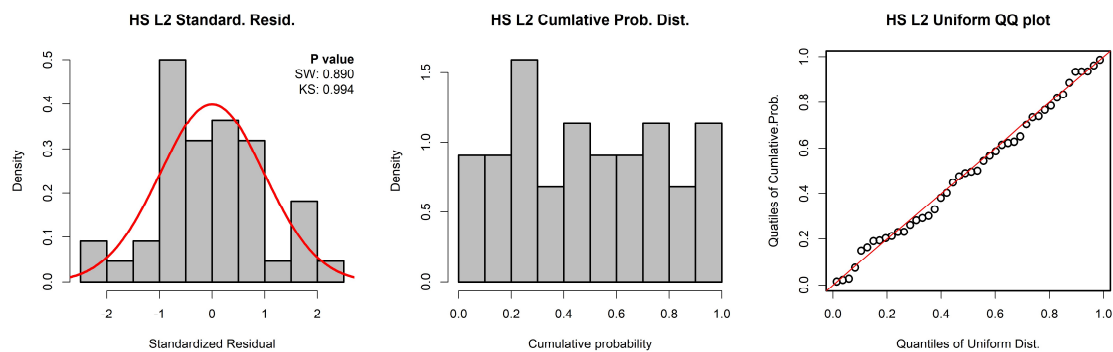


- ・自己相関の推定における残差



HS 型（最少数乗法）で自己相関を同時推定した場合

- ・自己相関を除いた再生産関係の残差

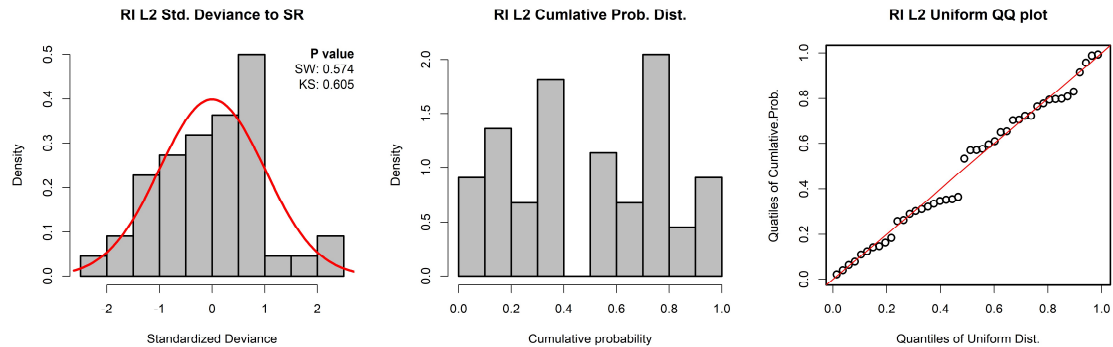


補足図 1-2a. HS 型再生産関係における（左）標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果、（中央）残差の累積確率密度のヒストグラム、（右）一様分布を仮定した QQ プロット

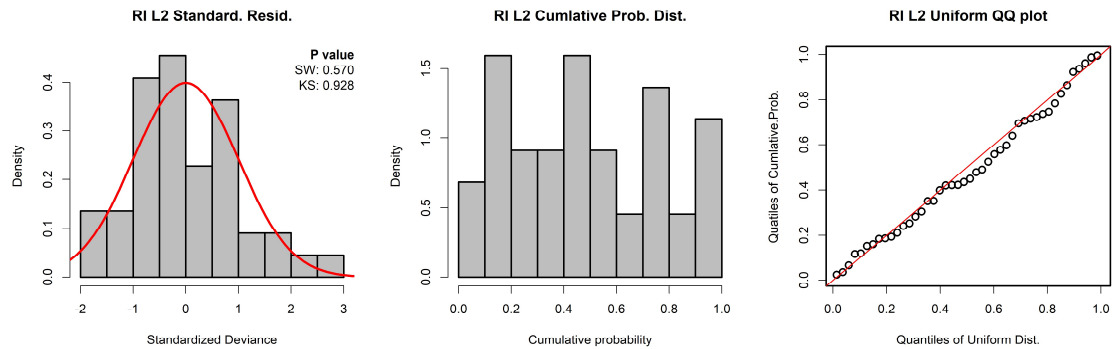
自己相関を二段階推定した場合は、再生産関係の残差分布および自己相関の推定における残差、自己相関を同時推定した場合は、自己相関を除いた再生産関係の残差分布を示す。残差分布図の右上の数値は Shapiro-Wilk 検定（SW）と Kolmogorov-Smirnov 検定（KS）の結果である（帰無仮説は「正規分布に従っている」）。QQ プロットの赤線は理論値を示す。

RI 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合

- ・再生産関係の残差

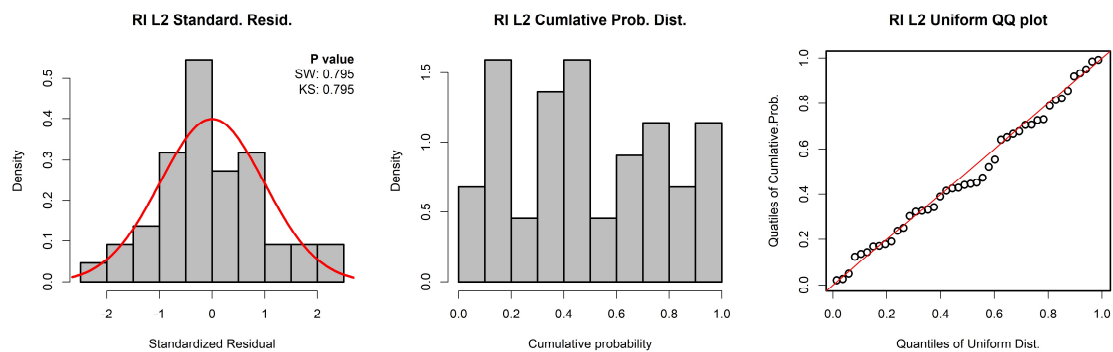


- ・自己相関の推定における残差



RI 型（最少二乗法）で自己相関を同時推定した場合

- ・自己相関を除いた再生産関係の残差

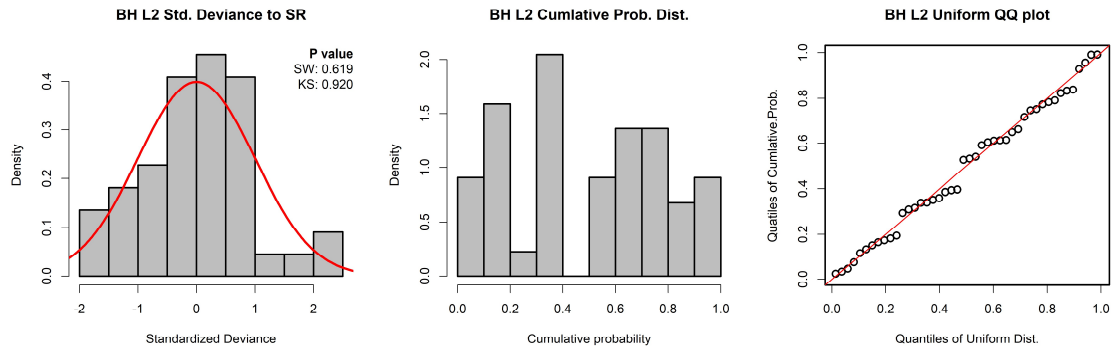


補足図 1-2b. RI 型再生産関係における（左）標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果、（中央）残差の累積確率密度のヒストグラム、（右）一様分布を仮定した QQ プロット

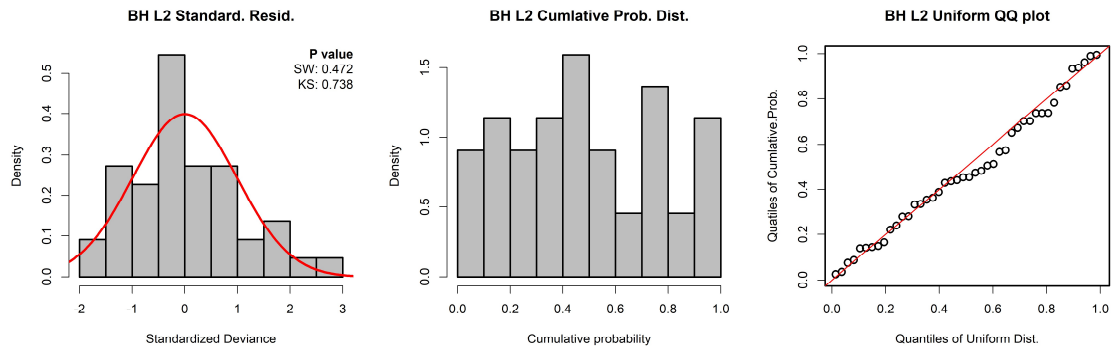
自己相関を二段階推定した場合は、再生産関係の残差分布および自己相関の推定における残差、自己相関を同時推定した場合は、自己相関を除いた再生産関係の残差分布を示す。残差分布図の右上の数値は Shapiro-Wilk 検定（SW）と Kolmogorov-Smirnov 検定（KS）の結果である（帰無仮説は「正規分布に従っている」）。QQ プロットの赤線は理論値を示す。

BH 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合

- ・再生産関係の残差



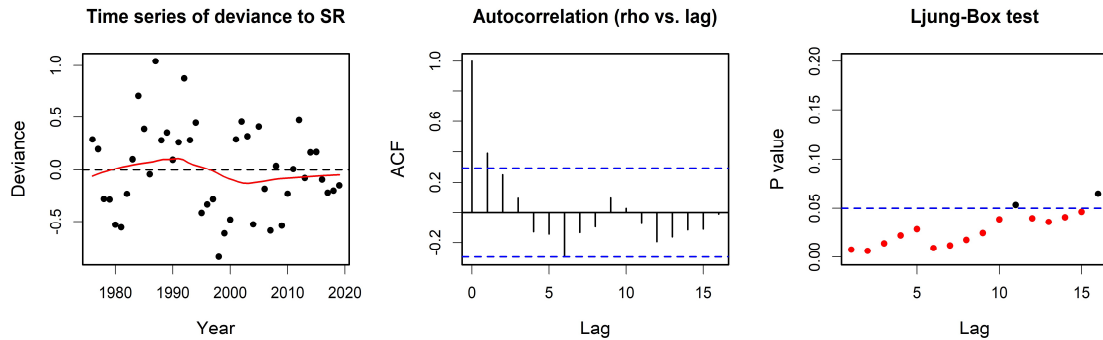
- ・自己相関の推定における残差



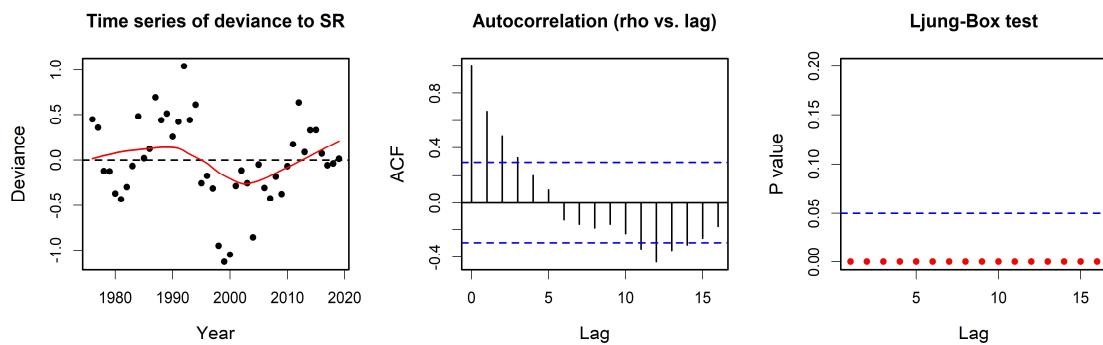
補足図 1-2c. BH 型再生産関係における（左）標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果、（中央）残差の累積確率密度のヒストグラム、（右）一様分布を仮定した QQ プロット

自己相関を二段階推定した場合は、再生産関係の残差分布および自己相関の推定における残差。自己相関を同時推定した場合は計算が収束せず、パラメータ推定できなかった。残差分布図の右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である（帰無仮説は「正規分布に従っている」）。QQ プロットの赤線は理論値を示す。

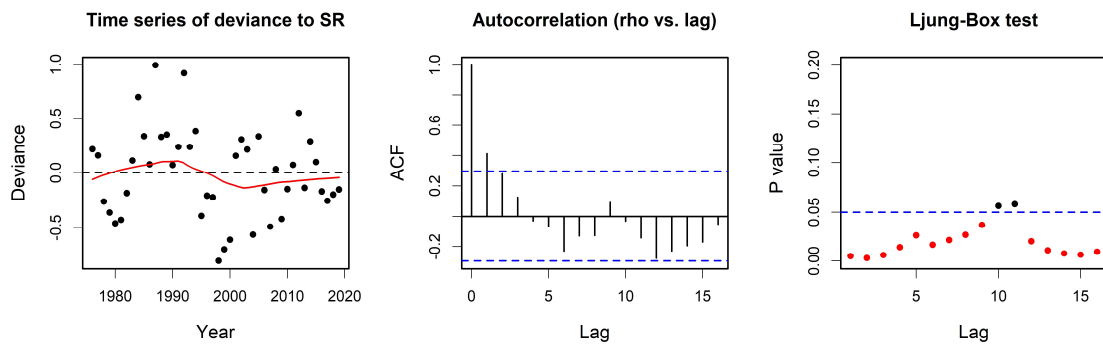
HS 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合



HS 型（最小二乗法）で自己相関を同時推定した場合



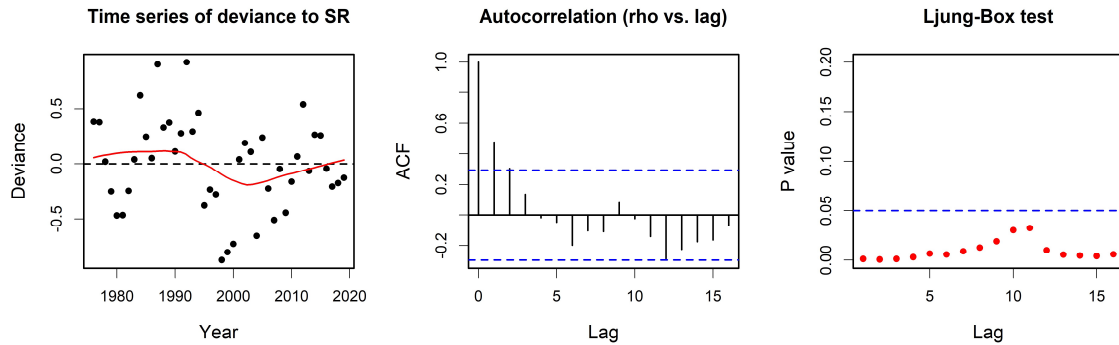
RI 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合



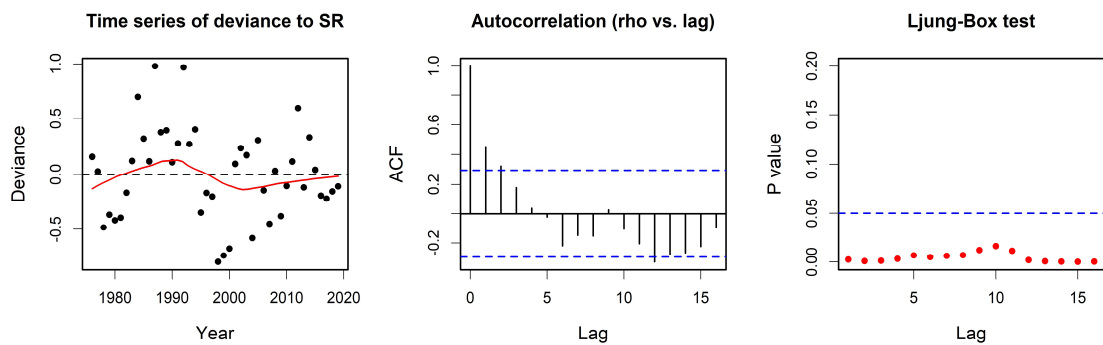
補足図 1-3. HS 型および RI 型再生産関係における（左）標準化残差の時系列トレンド、（中央）コレログラム（右）Ljung-Box 検定における P 値

標準化残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線、垂直方向の青色の点線は再生産関係が切り替わる時点を表している。コレログラムの図中の青色の点線は 95%信頼区間を、Ljung-Box 検定における P 値の図中の青色の点線は 5%水準を表している。図は再生産関係との残差を示し、自己相関を推定する前のもの。

RI 型（最小二乗法）で自己相関を同時推定した場合



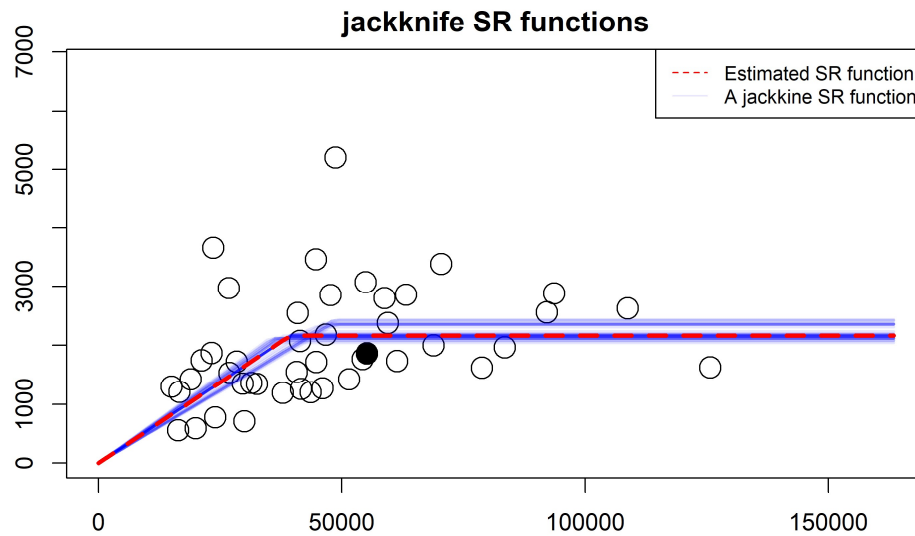
BH 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合



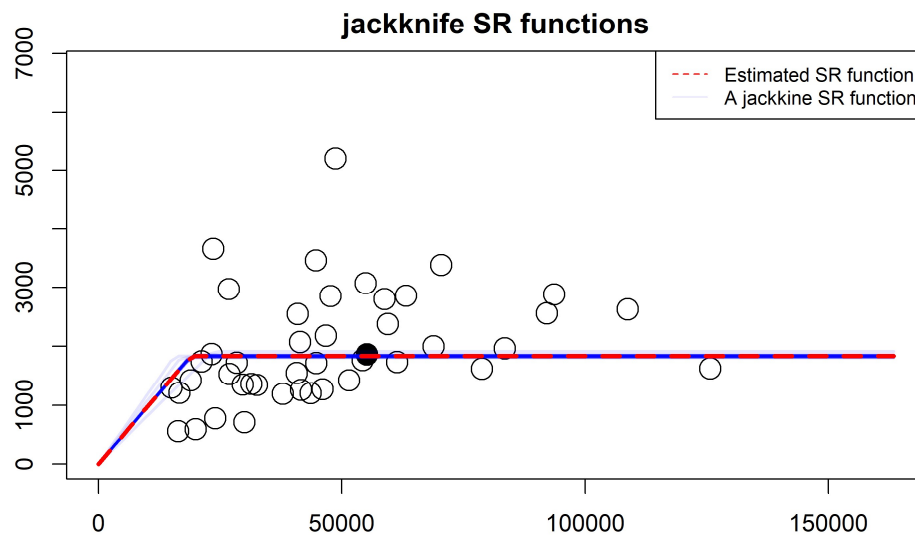
補足図 1-3. (続き) RI 型および BH 型再生産関係における (左) 標準化残差の時系列トレンド、(中央) コレログラム (右) Ljung-Box 検定における P 値

標準化残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線、垂直方向の青色の点線は再生産関係が切り替わる時点を表している。コレログラムの図中の青色の点線は 95%信頼区間を、Ljung-Box 検定における P 値の図中の青色の点線は 5%水準を表している。図は再生産関係との残差を示し、自己相関を推定する前のもの。

HS 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合



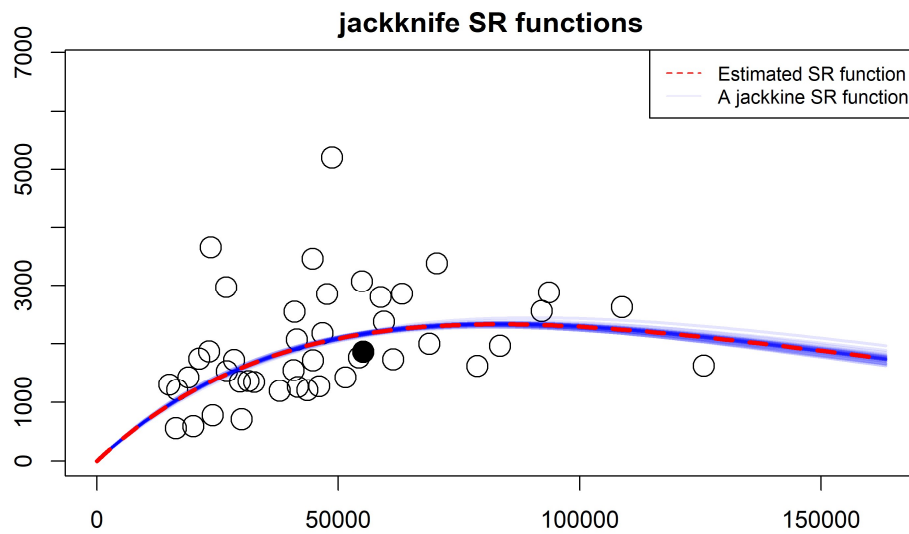
HS 型（最小二乗法）で自己相関を同時推定した場合



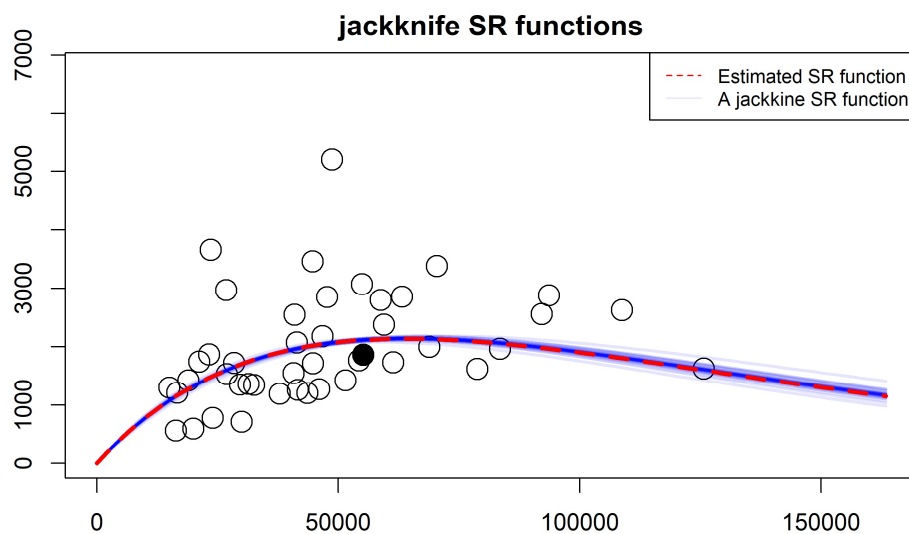
補足図 1-4. HS 型再生産関係におけるジャックナイフ解析での推定結果

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）、縦軸は加入量（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入量であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2018 年）を示す。

RI 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合



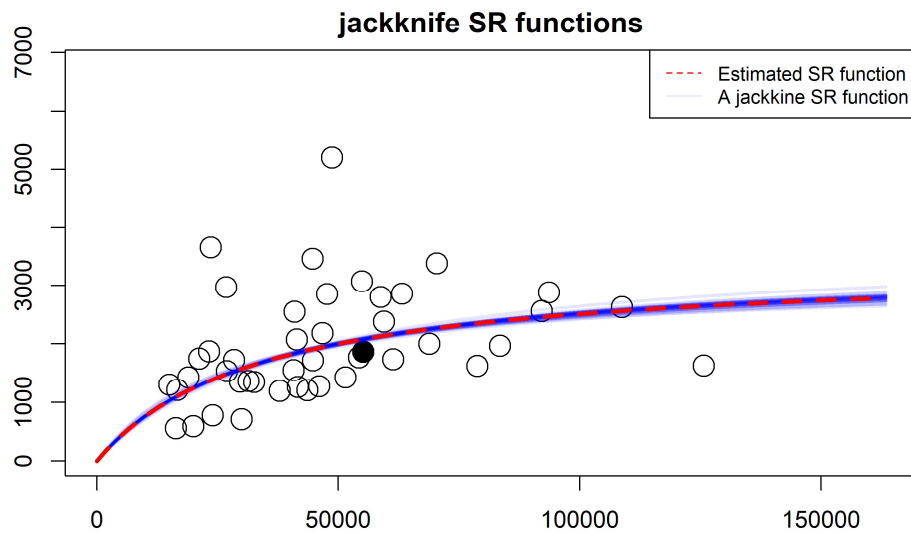
RI 型（最小二乗法）で自己相関を同時推定した場合



補足図 1-4.（続き） RI 型再生産関係における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）、縦軸は加入量（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入量であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2018 年）を示す。

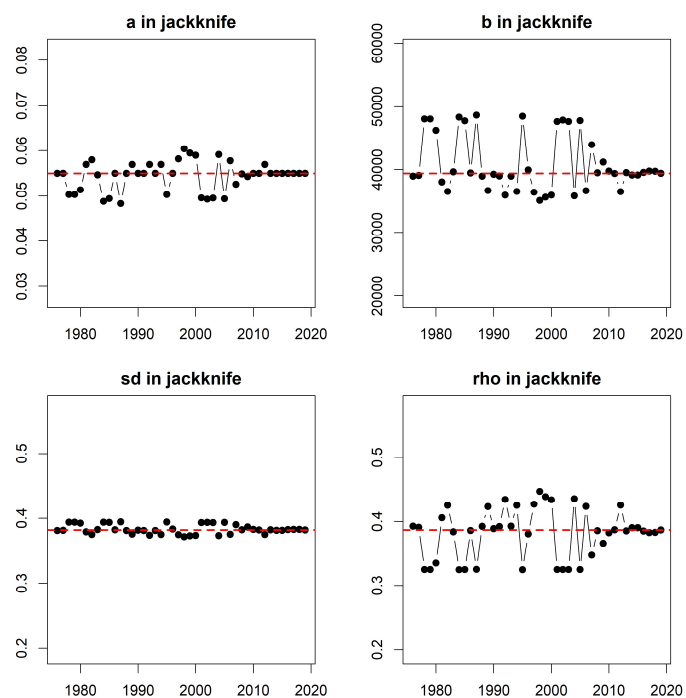
BH 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合



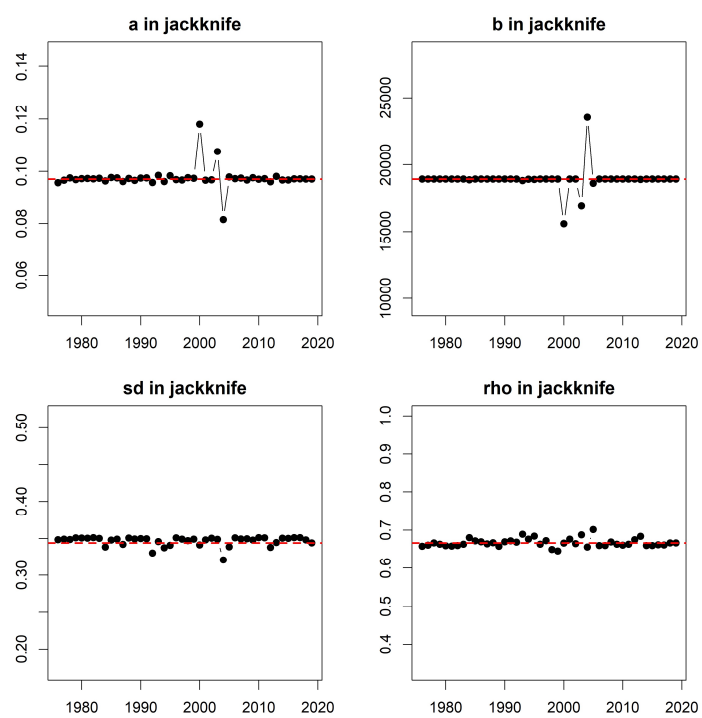
補足図 1-4.（続き） BH 型再生産関係におけるジャックナイフ解析での推定結果

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）、縦軸は加入量（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入量であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2018 年）を示す。

HS 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合

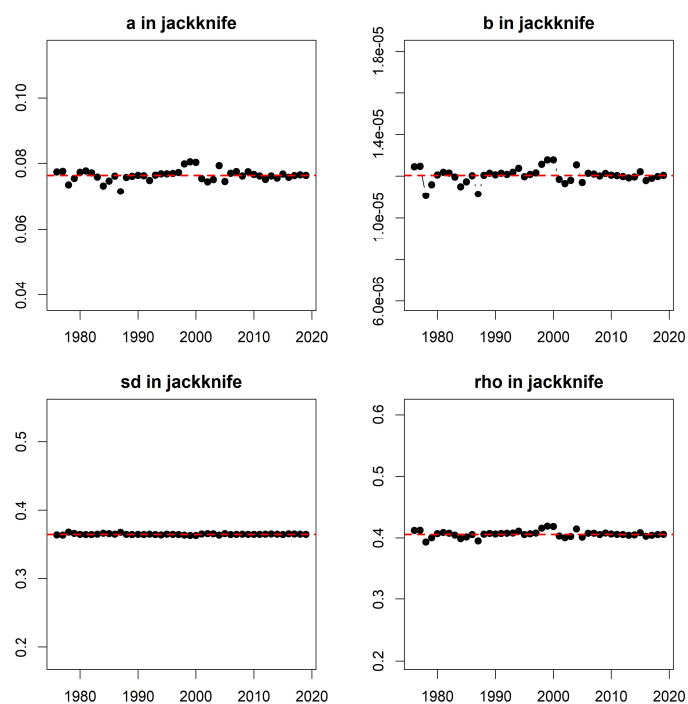


HS 型（最小二乗法）で自己相関を同時推定した場合

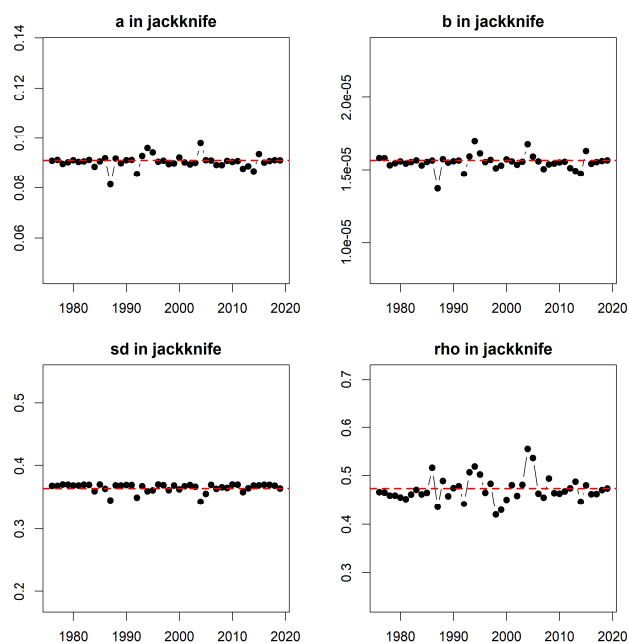


補足図 1-5. HS 型の再生産関係でジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

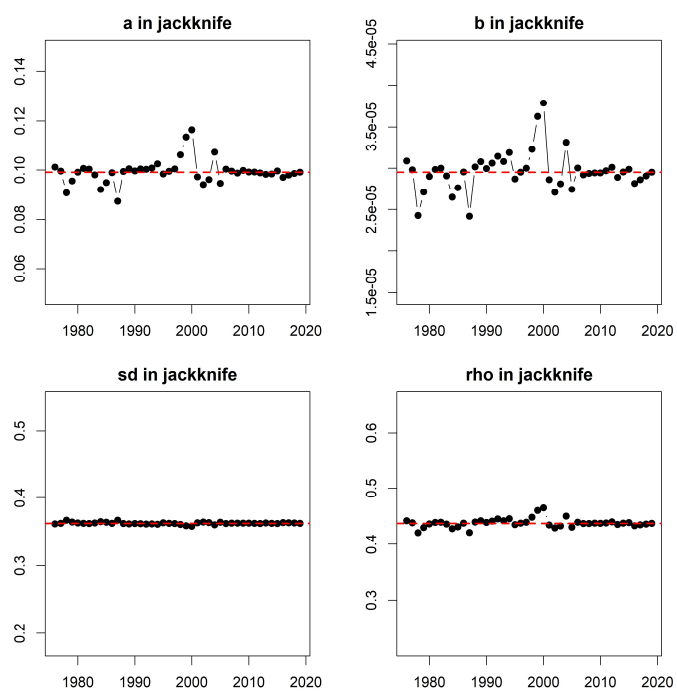
RI 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合



RI 型（最小二乗法）で自己相関を同時推定した場合

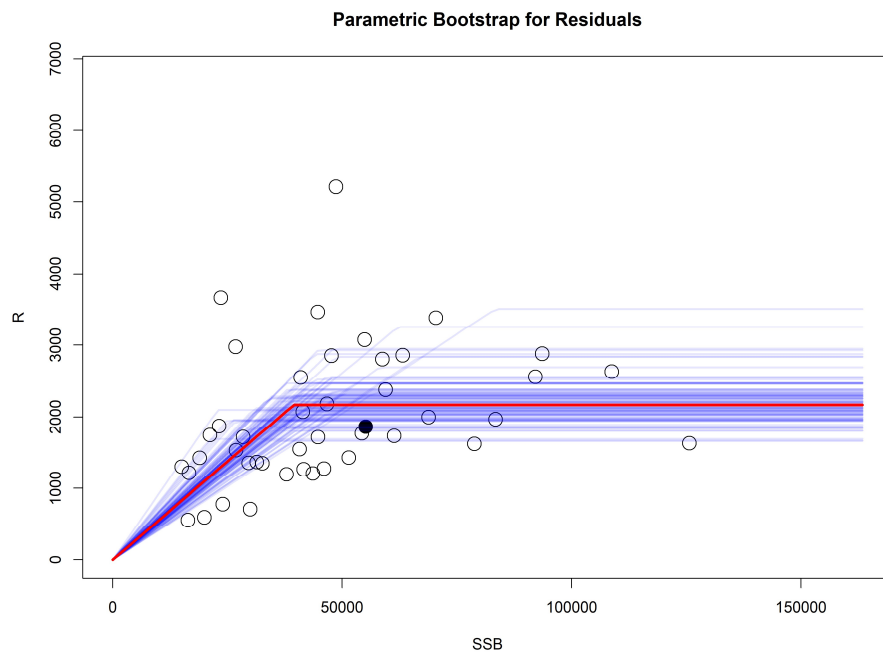


補足図 1-5.（続き） RI 型の再生産関係でジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

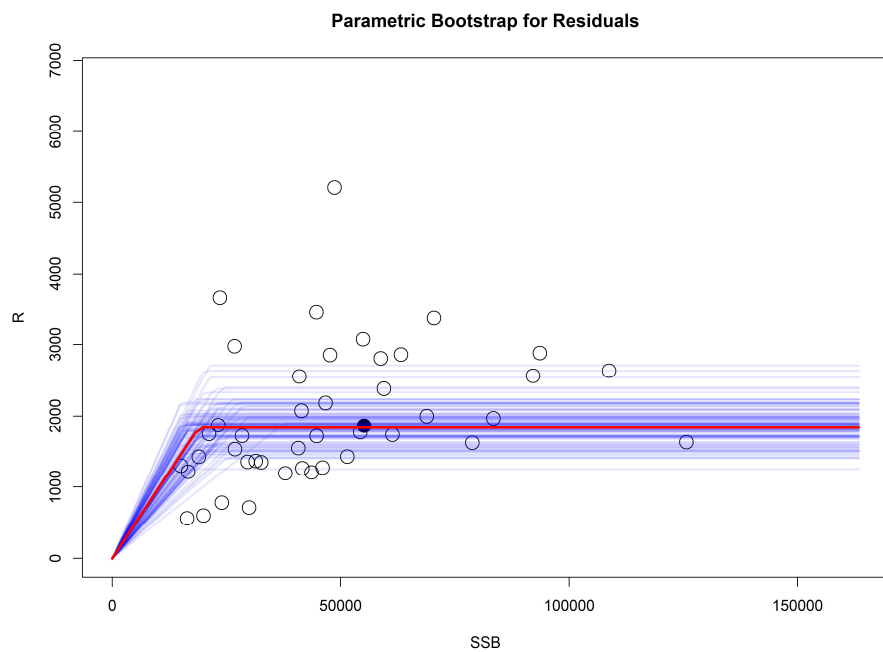


補足図 1-5. (続き) BH 型の再生産関係でジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

HS 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合



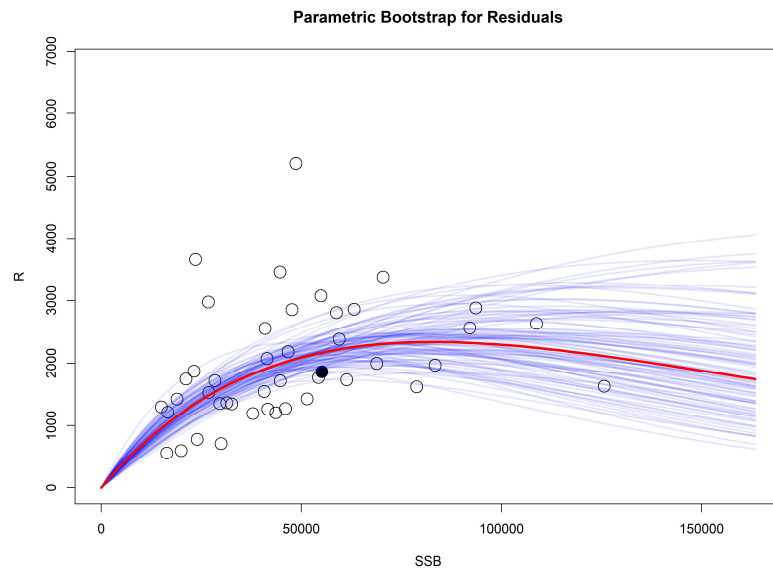
HS 型（最小二乗法）で自己相関を同時推定した場合



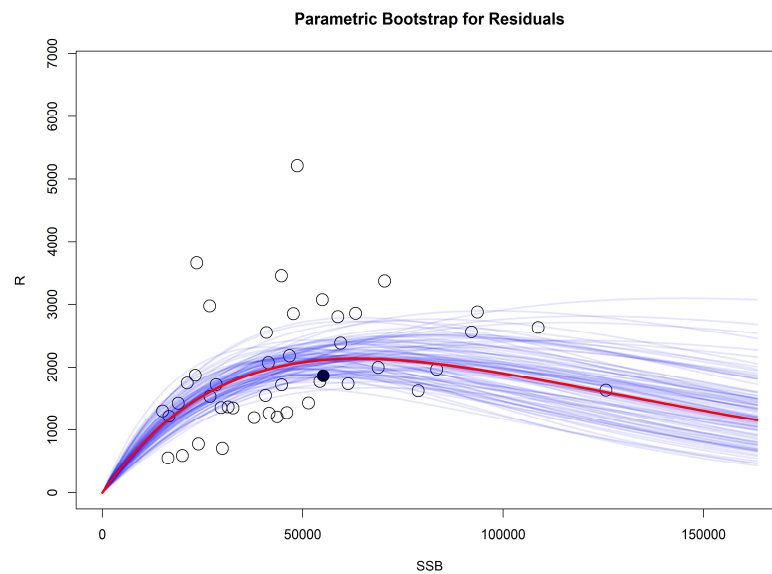
補足図 1-6. HS 型再生産関係における残差ブートストラップ解析の結果

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）、縦軸は加入量（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入量であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2018 年）を示す。

RI 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合

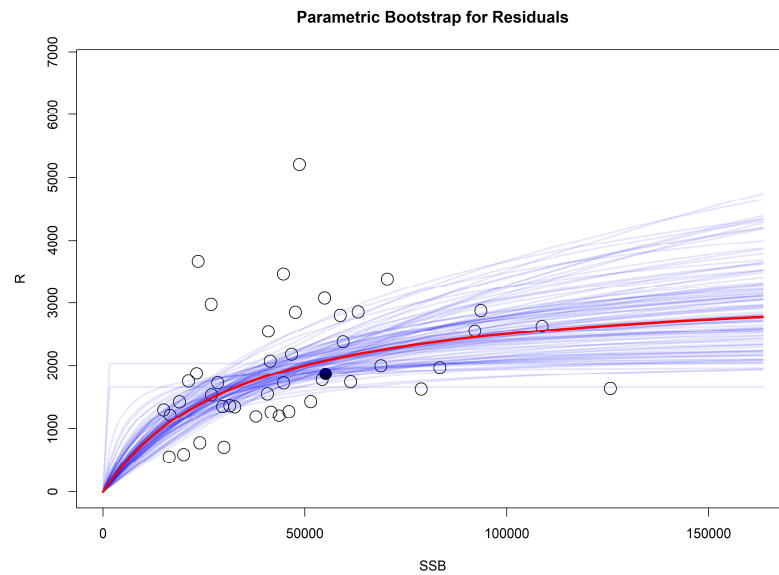


RI 型（最小二乗法）で自己相関を同時推定した場合



補足図 1-6. (続き) HS 型再生産関係における残差ブートストラップ解析の結果

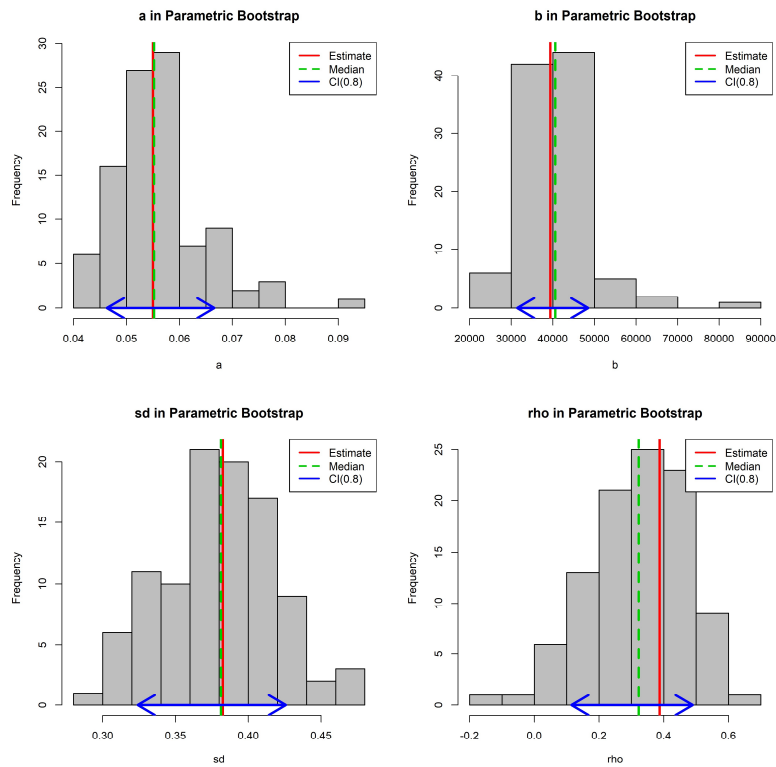
赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入量（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入量であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2018 年）を示す。



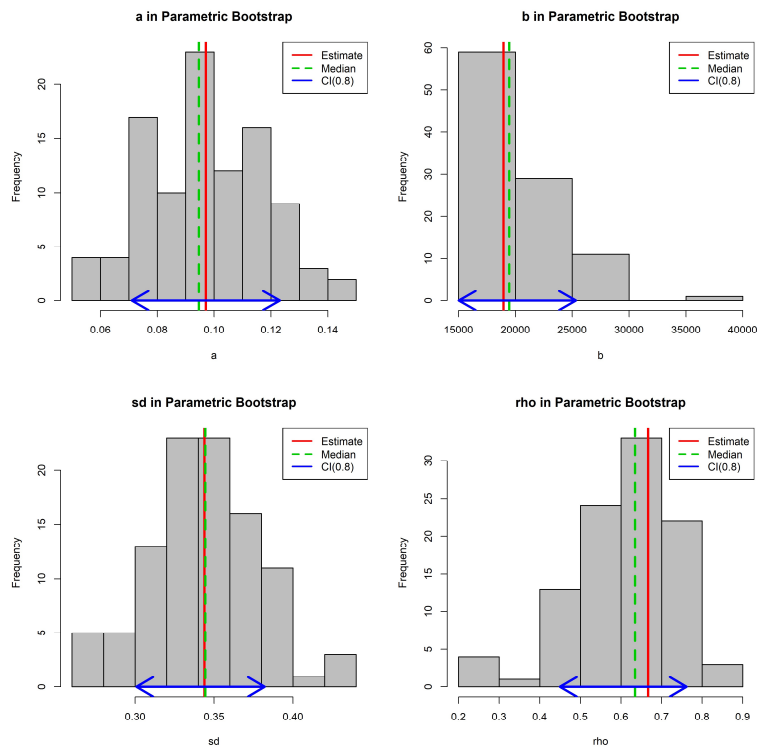
補足図 1-6. (続き) BH 型再生産関係における残差ブートストラップ解析の結果

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）、縦軸は加入量（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入量であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2018 年）を示す。

HS 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合

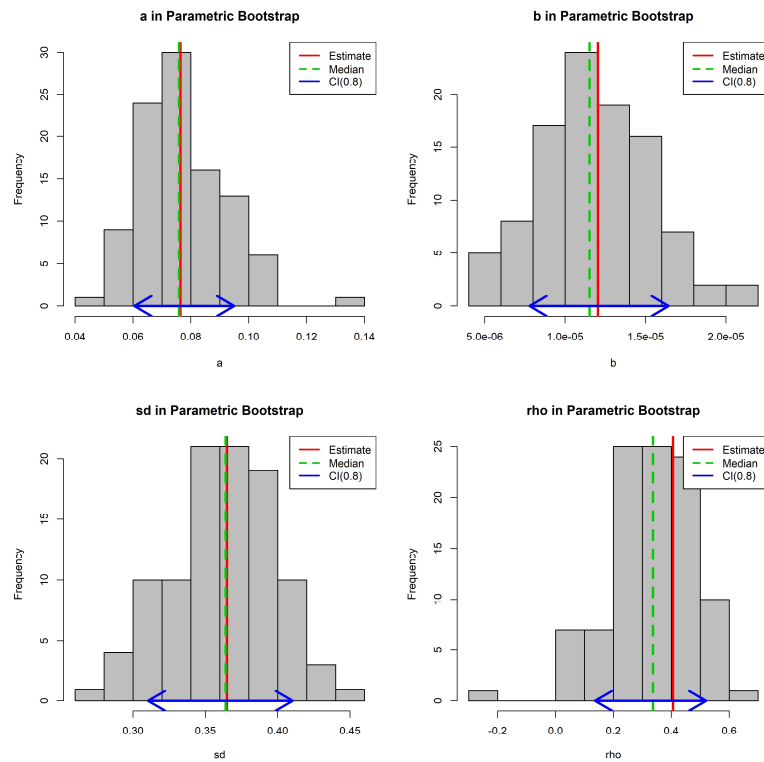


HS 型（最小二乗法）で自己相関を同時推定した場合

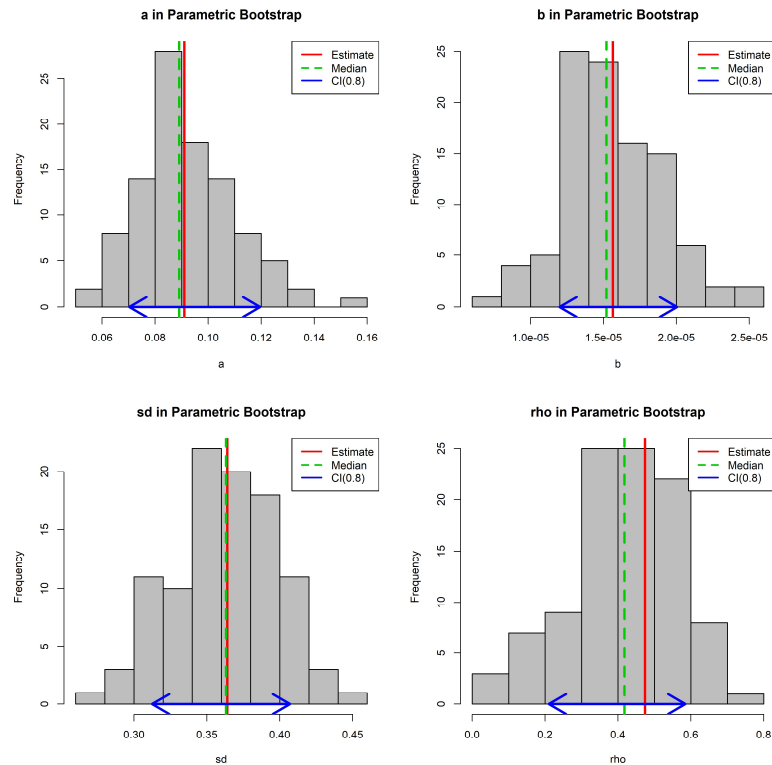


補足図 1-7. 残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線）
赤線はパラメータの点推定値である。

RI 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合

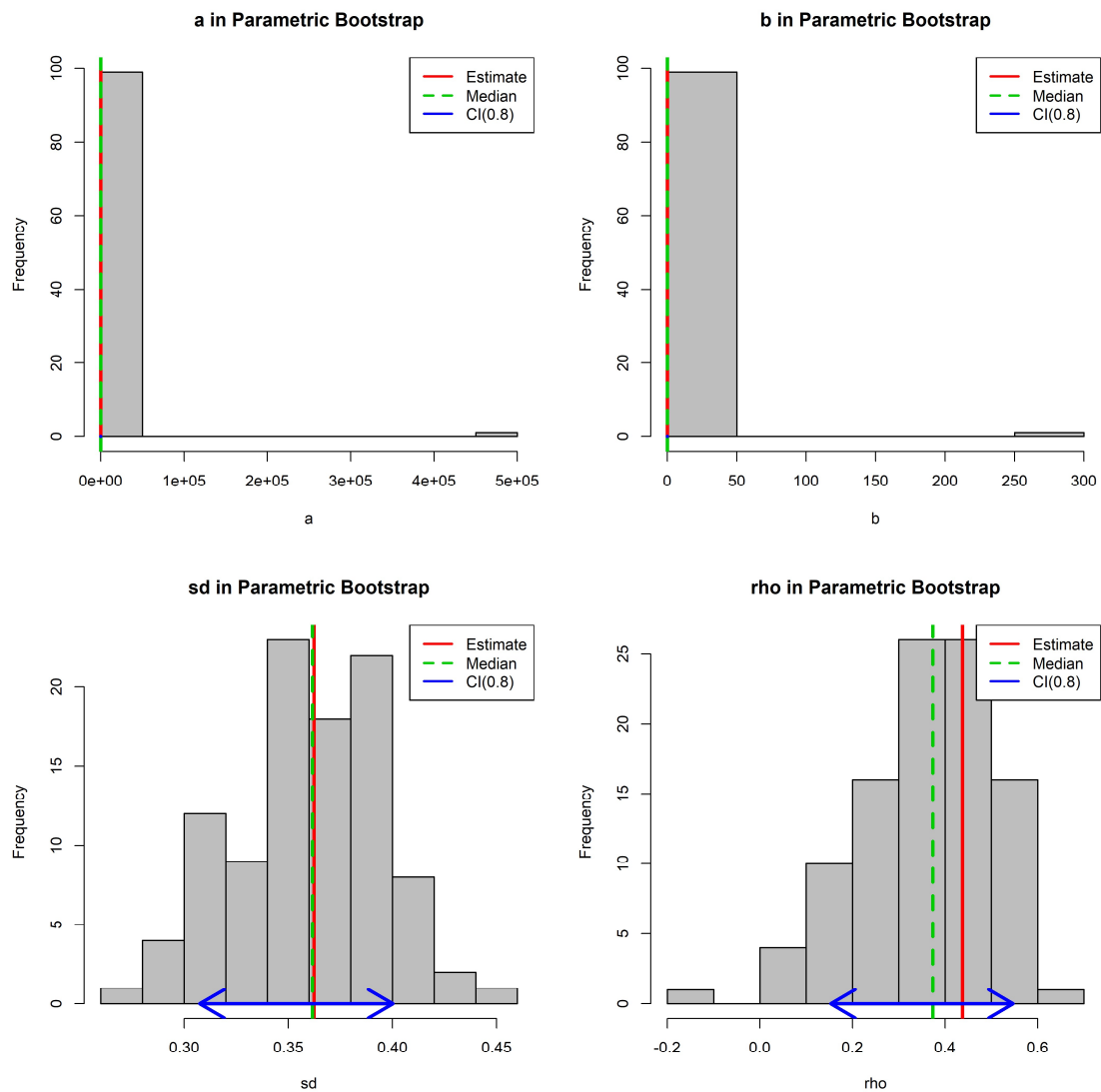


RI 型（最小二乗法）で自己相関を同時推定した場合



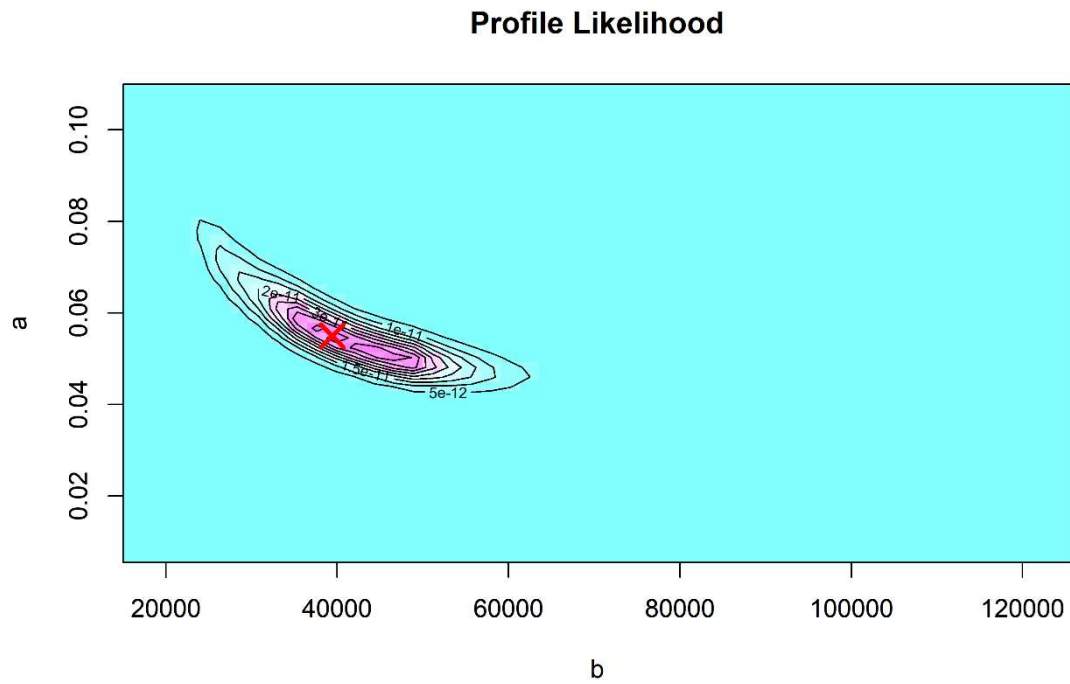
補足図 1-7. (続き) 残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線） 赤線はパラメータの点推定値である。

BH 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合

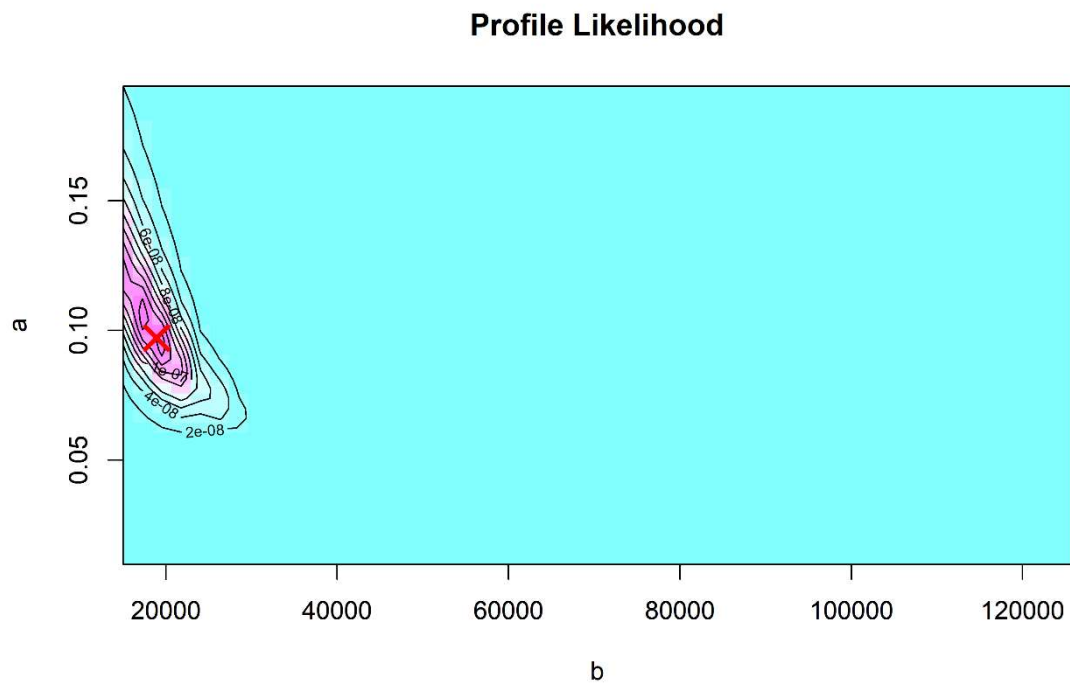


補足図 1-7. (続き) 残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線） 赤線はパラメータの点推定値である。

HS 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合

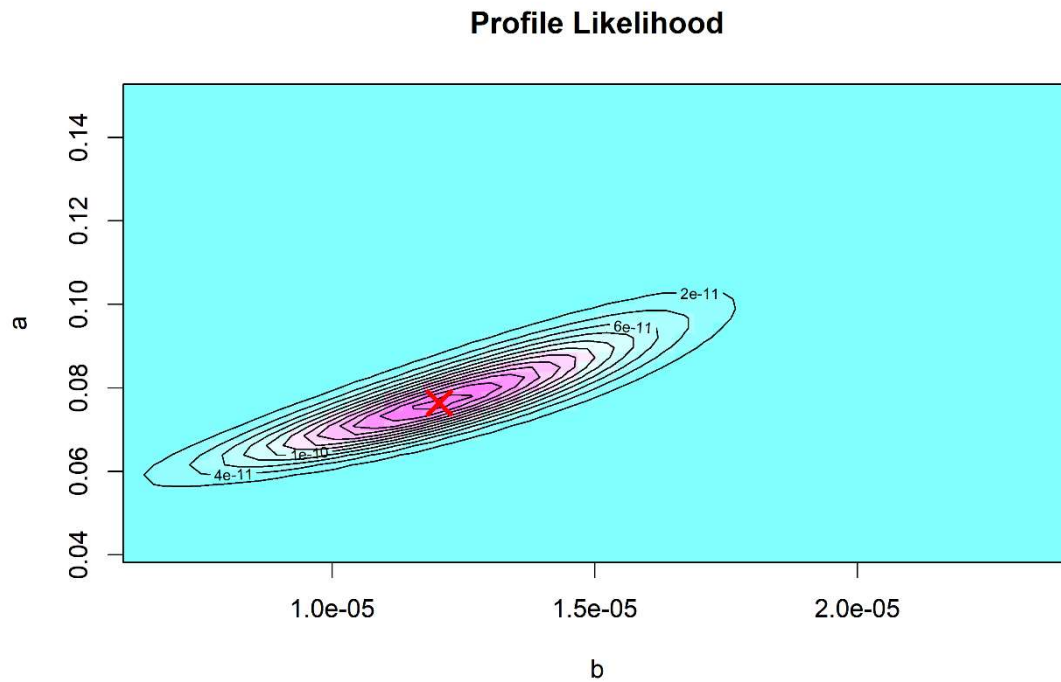


HS 型（最小二乗法）で自己相関を同時推定した場合

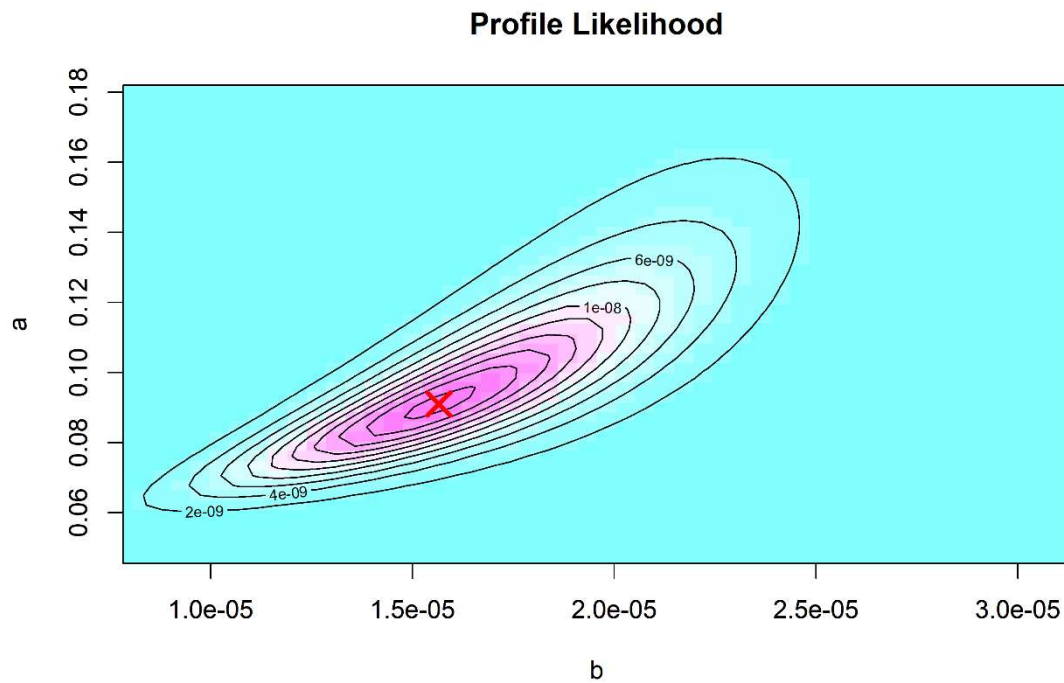


補足図 1-8.（続き） HS 型再生産関係の推定パラメータのプロファイル尤度
×印は最尤推定されたパラメータ値。

RI 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合

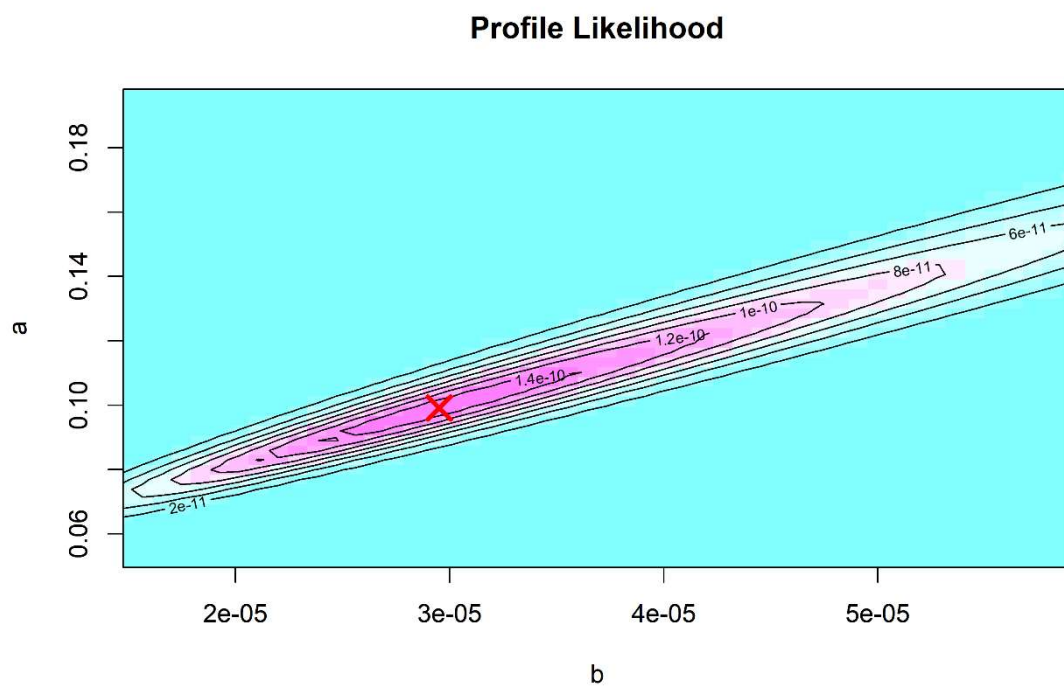


RI 型（最小二乗法）で自己相関を同時推定した場合



補足図 1-8.（続き） RI 型再生産関係の推定パラメータのプロファイル尤度
×印は最尤推定されたパラメータ値。

BH 型（最小二乗法）で自己相関を二段階推定した場合



補足図 1-8.（続き） BH 型再生産関係の推定パラメータのプロファイル尤度
×印は最尤推定されたパラメータ値。

補足表 1-1. MSY 管理基準値案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 (百万尾)	h	デー タ数
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	有	同時	0.0971	1.89e+04	0.34	0.67	1.84e+03	0.846	43
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	有	二段階	0.055	3.94e+04	0.38	0.39	2.17e+03	0.727	43
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	有	二段階	0.099	2.95e-05	0.36	0.44	2.85e+03	0.623	43
リッカー (RI)	最小 二乗法	有	同時	0.091	1.56e-05	0.36	0.47	1.73e+03	0.846	43
リッカー (RI)	最小 二乗法	有	二段階	0.076	1.20e-05	0.36	0.41	2.03e+03	0.736	43

推奨する再生産関係式を太字で示す。また、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。R0はSB0のときの平均加入尾数、h（スティーブネス）は再生産関係の密度補償効果の程度を示す数値である。hは、BHとRIを使う場合は0.2SB0のときの平均加入尾数をR0で割った値（Hilborn and Walters 1992）、HSの場合には1-SBhs/SB0（SBhsはHSの折れ点）（Punt et al. 2014）として定義した。hの計算に使ったSB0とR0は決定論的な再生産関係をもとしたときのものなので、表3で用いられているSB0の値（確率的な将来予測における平均値）と数値は若干異なる。

補足資料 2 再生産関係による MSY 管理基準値案の違い

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 5 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 型と RI 型については、自己相関をそれぞれ二段階推定と同時推定したもの、BH 型再生産関係については自己相関を二段階推定した場合である。いずれも最適化方法は最小二乗法とした。それぞれの再生産関係と自己相関推定方法に基づき推定された MSY 管理基準値を下表に示す。ただし、これらの結果は令和 2 年度の資源評価に基づいており、 $F_{current}$ は令和 2 年度資源評価時点の $F_{2016-2018}$ にあたる。

再生産関係式	最適化 法	自己 相関	推定 法	SBmsy (千トン)	SB0.6msy (千トン)	SB0.1msy (千トン)	MSY (千トン)	U_{msy}	$F_{msy}/F_{current}$
ホッケ－・ スティック (HS)	最小 二乗法	有	同時	54.3	17.9	2.28	35.1	0.42	1.03
ホッケ－・ スティック (HS)	最小 二乗法	有	二段 階	69.0	28.6	4.05	40.5	0.39	0.88
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	有	二段 階	87.4	28.3	3.25	43.6	0.35	0.69
リッカー (RI)	最小 二乗法	有	同時	61.4	22.5	2.87	38.0	0.41	0.96
リッカー (RI)	最小 二乗法	有	二段 階	71.8	26.8	3.51	41.0	0.39	0.85

BH 型再生産関係を用いた場合、HS 型や RI 型に比べて MSY 管理基準値 (SBmsy、SB0.6msy、および SB0.1msy) は高い値となる。また、 $F_{current}$ に対する F_{msy} の比は小さくなり、期待できる MSY も高くなる。

補足資料 3 資源評価更新に伴う MSY 管理基準値案の違い

資源評価の更新に伴い管理基準値にどの程度変化が生じるかを検討するため、2020 年までの資源評価結果を用いて、1976～2018 年の親魚量と加入量から再生産関係の推定を行った。令和 3 年度ウルメイワシ対馬暖流系群の資源評価では、2019 年の加入尾数、親魚量、資源量が令和 2 年度時点の推定値よりそれぞれ、48%、10%、27%と減少した。これは新たな情報が加わり、過去にさかのぼって資源量が下方修正されたためである。近年の資源量が下方修正された結果、再生産関係パラメータの数値も変更されたが、これに伴い算出される管理基準値（SBmsy）や MSY の値は大きく変化しなかった（補足表 3-1、3-2）。

補足表 3-1. ホッケ－・スティック型再生産関係式（最小二乗法・自己相関同時推定）において、令和 2 年度資源評価結果を用いた場合と令和 3 年度資源評価結果を用いて 1976～2018 年の再生産関係から算出した各パラメータ推定値

	a	b	S.D.	ρ	R0 (百万尾)	h	データ数
令和 2 年度資源評価結果	0.0971	1.89e+04	0.34	0.67	1.84e+03	0.846	43
令和 3 年度資源評価結果	0.117	1.55e+04	0.35	0.68	1.82e+03	0.872	43

補足表 3-2. ホッケ－・スティック型再生産関係式（最小二乗法・自己相関同時推定）において、令和 2 年度資源評価結果を用いた場合と令和 3 年度資源評価結果を用いて 1976～2018 年の再生産関係から算出し SBmsy、MSY、漁獲圧と漁獲割合

	SBmsy (千トン)	MSY (千トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合
令和 2 年度資源評価結果	54	35	44.7	0.42
令和 3 年度資源評価結果	53	35	44.4	0.42