

令和 3（2021）年度マダラ本州日本海北部系群の 管理基準値等に関する研究機関会議資料

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

要 約

令和 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 2000～2015 年の親魚量と 3 年後（2003～2018 年）の 3 歳魚時点での加入量の関係に対し最小二乗法により最適化されたホッケー・スティック型再生産曲線（HS）の適用を提案する。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} （5.2 千トン）を、限界管理基準値として $SB_{0.6msy}$ （2.5 千トン）を、禁漁水準として $SB_{0.1msy}$ （0.4 千トン）を、それぞれ提案する。目標管理基準値案（ SB_{msy} ）を達成する漁獲圧（ F_{msy} ）は、現状（2020 年の漁獲係数）の 1.65 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 3 月 1 日に開催されたマダラ本州日本海北部系群、ムシガレイ日本海南西部系群、ソウハチ日本海南西部系群に関する研究機関会議で議論され、令和 3 年 3 月 26 日にマダラ本州日本海北部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記となっている。一方、将来予測およ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 (2020 年) に対する比**	説明
目標管理基準値案					
5.2	0.84	0.20	2.9	1.65	最大持続生産量 を実現する親魚 量 (SBmsy)
限界管理基準値案					
2.5	0.40	0.10	1.7	2.32	MSY の 60% が 得られる親魚量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
0.4	0.06	0.02	0.3	2.47	MSY の 10% が 得られる親魚量 (SB0.1msy)
2020 年					
6.2	1.00	0.24	2.9***	—	2020 年の値

* 親魚量は漁期後の親魚資源量

** 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禁漁水準案を計算する際の、現状の年齢別漁獲係数 (F 値) に乗じる係数を示す。ここでの現状の漁獲圧は令和 3 年度の資源評価結果における 2020 年の漁獲係数である。

*** 2020 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

本系群の再生産関係式の設定は「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 (6 月 26 日) (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 (v2.1.1.0) を用いた。frasyr で用いている式の詳細は「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 2 年度研究機関会議版) (FRA2021-ABCWG01-02)」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
再生産関係・神戸チャート	令和 2 (2020) 年度 マダラ日本海系群の資源評価 (水産庁・水産機構)
資源量・親魚量・漁獲係数	令和 3 (2021) 年度 マダラ本州日本海北部系群の資源評価 (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 (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。令和 2 (2020) 年度の資源評価で推定された 2000～2015 年の親魚量と 3 年後 (2003～2018 年) の 3 歳魚時点での加入量を用いて、最小二乗法および最小絶対値法により最適化した結果を表 1 に示す。なお、2016 年の親魚量と 2019 年の加入量の値は、2019 年の加入量が再生産成功率に基づく推定値であるため使用しなかった。

補正赤池情報量規準 (AICc) は HS 型と BH 型とで同値となり RI 型より低かったが、BH 型ではパラメータが正しく推定されず、親魚量にかかわらず加入量が一定となった。HS 型では変曲点が観測範囲内に無く、親魚量の最小値に設定された。残差の自己相関は、RI 型および HS 型を用いて最小二乗法および最小絶対値法により最適化したいずれの場合も有意ではなかったため (補足資料 1)、本系群では考慮しないこととした。

1-3) 再生産関係の候補

「再生産関係ガイドライン (FRA-SA2021-ABCWG01-03)」の 3.a (予測力) の基準に従い、本系群の再生産関係として、最小二乗法で最適化した自己相関を用いない HS 型再生産関係式を適用し、MSY を実現する親魚量 (SBmsy) の計算および将来予測に用いる (表 2、図 1)。ここで、 a は HS の折れ点までの再生産曲線の傾き (尾/kg)、 b は HS の折れ点となる親魚量 (トン) である。また、初期親魚量 SB0 (漁獲が無い状態における親魚量) における平均加入尾数 R_0 は 20 百万尾、スティープネス h ($0.2SB_0$ における加入尾数の R_0 に対する比) は 1.00 であった。

2. 管理基準値

2-1) データセットおよび計算方法

MSY 管理基準値の算出および将来予測には、「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-ABCWG01-01)」の 1 系資源の規則に従い、1-3) で示した再生産関係と、令和 2 年度の資源評価における将来予測計算に用いた生物パラメータを使用した。なお、管理基準値の計算および将来予測に用いた式は令和 3 年度資源評価報告書に記載した。MSY 管理基準値の算出および将来予測にて仮定する選択率には、現状の漁獲圧 ($F_{current}$) における選択率を、漁獲物の平均体重には 2019 年の値を用いた (図 2、表 3)。ここでの現状の漁獲圧とは、令和 2 (2020) 年度資源評価における 2019 年の漁獲係数による。本系群では、世代時間 (6.5 年) の 20 倍を基準に、将来予測開始から 130 年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

本系群の目標管理基準値 (SBtarget) として MSY 水準における親魚量 (SBmsy : 5.2 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 : 2.5 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 : 0.4 千トン) を用いることを提案する。これらはいずれも ABC 算定のための基本指針における標準値である。また本系群ではこれまで資源の回復措置をとる閾値 (Blimit) に過去最低親魚量 (SBmin) に基づく 4.1 千トンを設定してきたため、この値を限界管理基準値案の代替値として用いた場合についても検討を行った。

各基準値案について、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、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乗数の関係を表 4 に示す。目標管理基準値として提案する SBmsy は SB0 の 20% 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 2.9 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 2020 年の漁獲圧 (F2020) に対する比 (Fmsy/F2020) は 1.65 で、そのときの漁獲割合 (Umsy) は 31% である。限界管理基準値として提案する SB0.6msy は SB0 の 10%、限界管理基準値の代替値となる SBmin は SB0 の 16% である。

さまざまに F 値を変えた場合の平衡状態における親魚量と、これに対する年齢別漁獲量の平均値を図 3 に示す。親魚量が多いほど、漁獲量に占める高齢魚の比率が高くなることが期待される。

2-3) 神戸プロット

目標管理基準値 (SBmsy) 案と、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、2000 年以降、MSY を実現する水準を下回っており、親魚量は 2003 年以降すべての年で目標管理基準値 (SBmsy) 案を上回っていた。現状の親魚量 (2020 年の親魚量 : 6.2 千トン) 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、限界管理基準値に標準値である SB0.6msy を用いた場合、それぞれ 0.84、0.40 および 0.06 である。

2-4) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則 (HCR) は、限界管理基準値、および禁漁水準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を下回ると禁漁水準まで直線的に漁獲圧を下げることを定めている。本系群の親魚量は漁期後の親魚資源量であり、当年の漁獲の制御は前年の漁期後親魚量に基づき行うこととした。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それぞれ 2-2) で示した値 (すなわち SBlimit に SB0.6msy もしくは SBmin、SBban に SB0.1msy) を用い、 β に標準値である 0.8 を用いた場合の漁獲管理規則における親魚量と漁獲係数 (F 値) の関係、および親魚量と漁獲量の関係を、図 5 に示す。

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

目標管理基準値案、限界管理基準値案・禁漁水準案に 2-2) で示した値を用い、 β に標準値である 0.8 を用いた場合の加入尾数、親魚量、資源量、漁獲量、漁獲割合、および漁獲圧の比 (F/F_{msy}) の推移を図 6 に示す。なお、漁獲の制御は 2022 年から開始し、2021 年の漁獲量は 2020 年の漁獲圧 (F_{2020}) と予測される資源量に基づく仮定値とした。

2022 年に予測される親魚量は限界管理基準値案を上回っており、漁獲管理規則案に基づく漁獲圧はまず βF_{msy} となる。 F_{2020} は F_{msy} を下回る水準にあり、漁獲管理規則案で調整係数 β に標準値である 0.8 を用いた場合の漁獲圧は F_{2020} を上回る水準で推移する。中長期的には、漁獲管理規則に基づく漁獲の継続により、漁獲量は MSY 水準で、親魚量は SB_{msy} を上回る水準で推移すると予想された。なお、 SB_{limit} に代替値である SB_{min} を用いた場合も、標準値を用いた場合とほぼ同じ結果であった。

(2) 調整係数 β を変えた場合

管理基準値案に 2-2) で示した値を用いた漁獲管理規則案での将来予測について、それぞれ 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、平均親魚量および平均漁獲量の推移を表 5~9 に示す。前述の通り、2022 年に予測される親魚量は限界管理基準値案を上回る水準にあり、漁獲管理規則案に従って βF_{msy} での漁獲が行われる。 β に標準値である 0.8 を用いた場合、管理開始から 10 年後までの期間において 96%以上の確率で目標管理基準値案を上回り、 β が 0.9 の場合でも 78%以上の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された (表 5)。一方、 β が 1 の場合、2031 年に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 50%を下回った。いずれの β についても、 SB_{limit} の設定に関わらず、 SB_{limit} を下回る確率は極めて低かった。

3. まとめ

令和 2 年度マダラ日本海系群の資源評価におけるデータを用いて、本系群の再生産関係に関および管理基準値案等を検討した。再生産関係式について、2000~2015 年の親魚量と 3 年後の加入量に基づき、自己相関を考慮しない HS 型再生産関係を使用し、そのパラメータを最小二乗法により最適化した。再生産関係式に基づき推定される SB_{msy} (5.2 千トン) を用い、限界管理基準値には標準値である $SB_{0.6msy}$ (2.5 千トン) または経験的な代替値 (4.1 千トン) を、禁漁水準には $SB_{0.1msy}$ (0.4 千トン) を、それぞれ設定した。

限界管理基準値に標準値および代替値のいずれを用いた際にも、将来予測の変化は極めて軽微であり、親魚量が限界管理基準値を下回る確率は極めて低かった。代替値 (4.1 千トン) は SB_{msy} (5.2 千トン) に近い値であり、目標管理基準値を目指す管理を行った場合、頻繁に予防的な漁獲の制御を行う必要が生じる可能性がある。一方、代替値の採用により、資源状態が悪化した際に迅速に漁獲の制御を行うことで資源の回復を促す効果が期待できる。本系群は過去に標準値である $SB_{0.6}$ を下回る資源状態を経験しておらず、過去最低の親魚量を下回る水準における再生産関係も暫定的なものである。従って、現時点で標準値および代替値をそれぞれ採用した場合のリスクについてそれぞれ評価するのは困難である。以

上を踏まえ、本資料では本系群の限界管理基値に標準値である $SB_{0.6msy}$ を提案するものの、本件に関する検討は継続して行うこととする。なお、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、 MSY を実現するときの漁獲割合は 31%、漁獲圧は F_{2020} の 1.65 倍である（表 3）。現状の漁業を継続する限りにおいて漁獲圧は MSY 水準よりも低く保たれることから、今後も高い確率で親魚量が MSY 水準以上で維持されると予測された。

4. 今後の検討事項

本系群の再生産関係において、 HS の折れ点は親魚量の観測範囲に無く、過去最低の親魚量が折れ点として設定された。これは本系群データの大半が資源の高水準期のものと考えられる。従って、今後資源が減少した際にデータが追加されることで再生産関係式が変化する点に注意が必要である。また、本系群では従前より近年の漁獲圧（ $F_{current}$ ）として直近年の漁獲圧および選択率を採用している。一方、近年は加入量の急激な変化等に伴い、年によって選択率が大きく変化する傾向にある。従って、近年の漁獲圧および選択率の 3 年平均等を $F_{current}$ として用いることも今後検討する必要がある。

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 年度研究機関会議版）.FRA-SA2021-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：佐久間啓、藤原邦浩、八木佑太、吉川 茜、飯田真也、白川北斗）

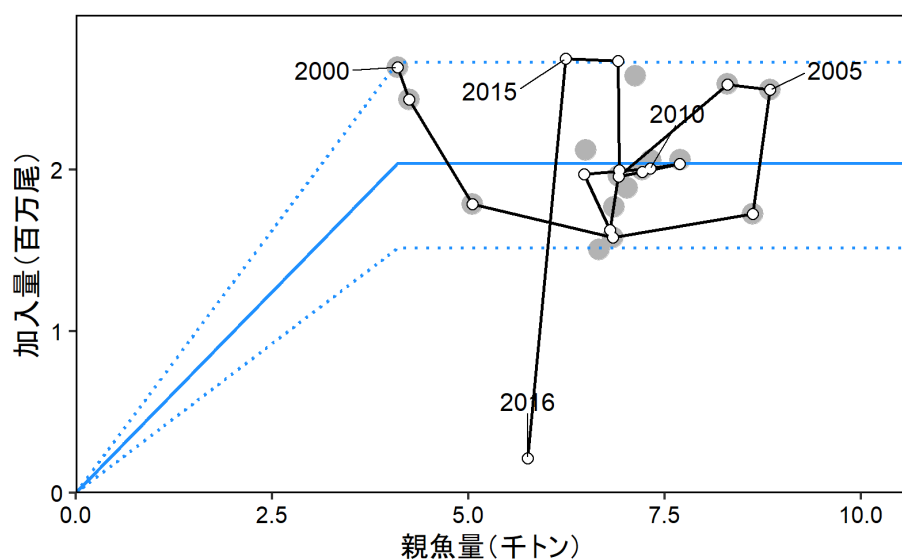


図 1. 再生産関係

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。灰色の丸印は分析に使用した 2000～2015 年の親魚量と 3 年後の加入量である。図中の数字は加入群の年級（生まれ年）、再生産関係式（青実線）の上下の青点線は、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。白抜き丸印は令和 3（2021）年度資源評価で得られた 2000～2016 年の親魚量と 3 年後の加入量（2003～2019 年）である。

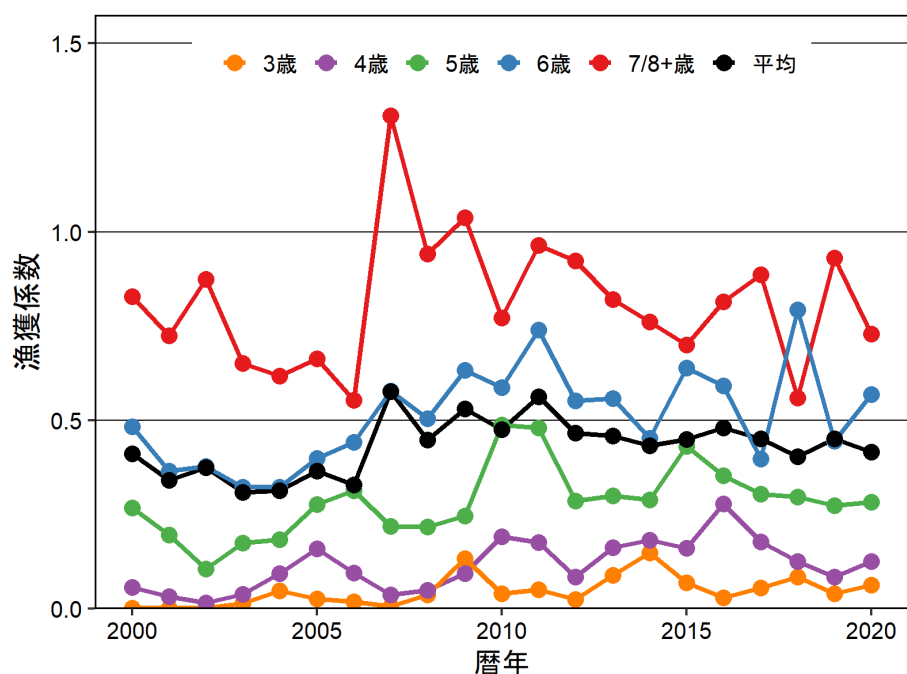


図 2. 年別年齢別漁獲係数（F 値）

2000～2020 年の各年齢での年齢別漁獲係数（F 値）を示す。MSY 管理基準値の算出および将来予測では、それぞれ、2019 年および 2020 年の漁獲圧および選択率を仮定した。

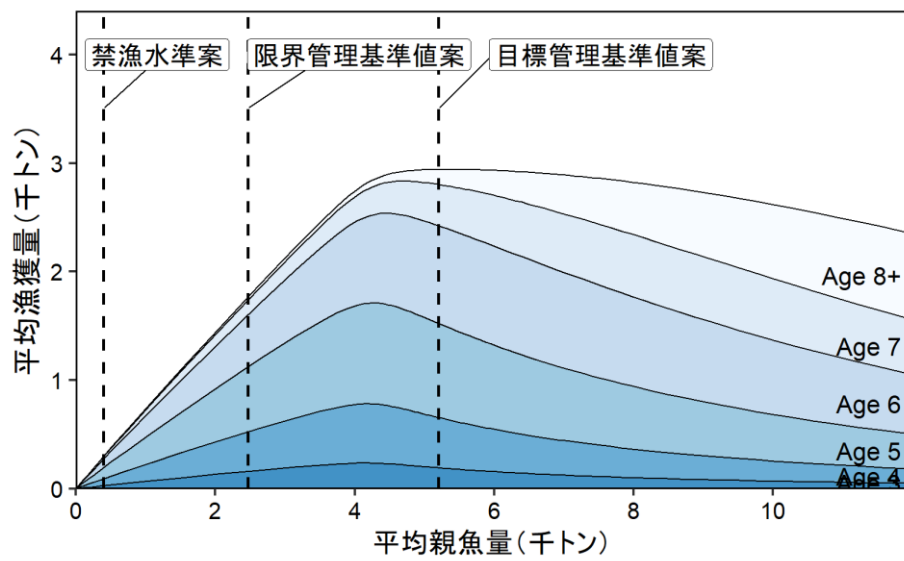
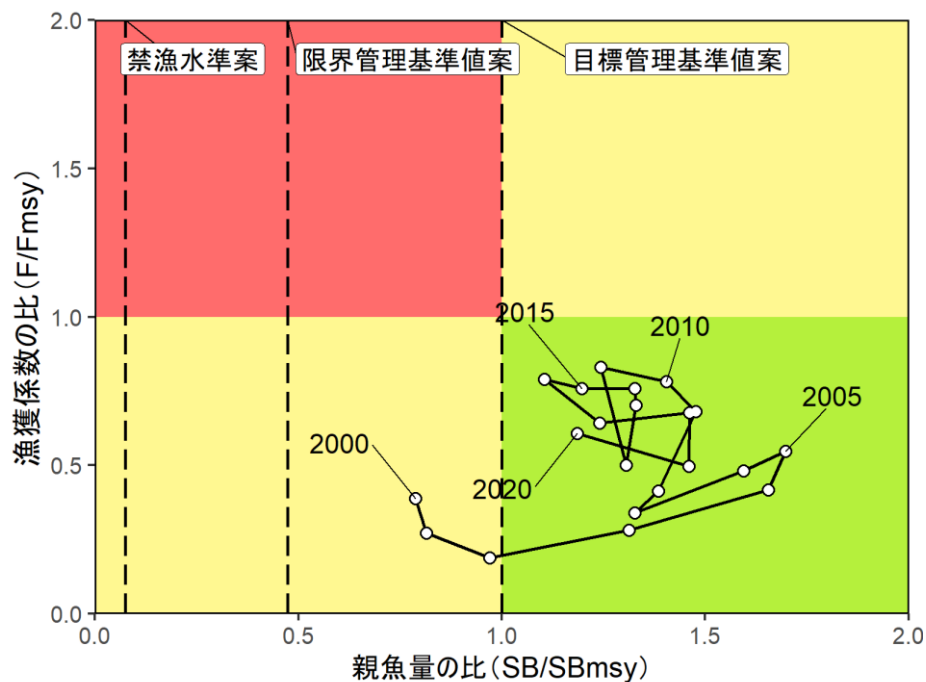


図 3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

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。HCR 案で使用了調整係数 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 25 千トンである。

a) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた場合。



b) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SB_{msy} 、 SB_{min} 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた場合。

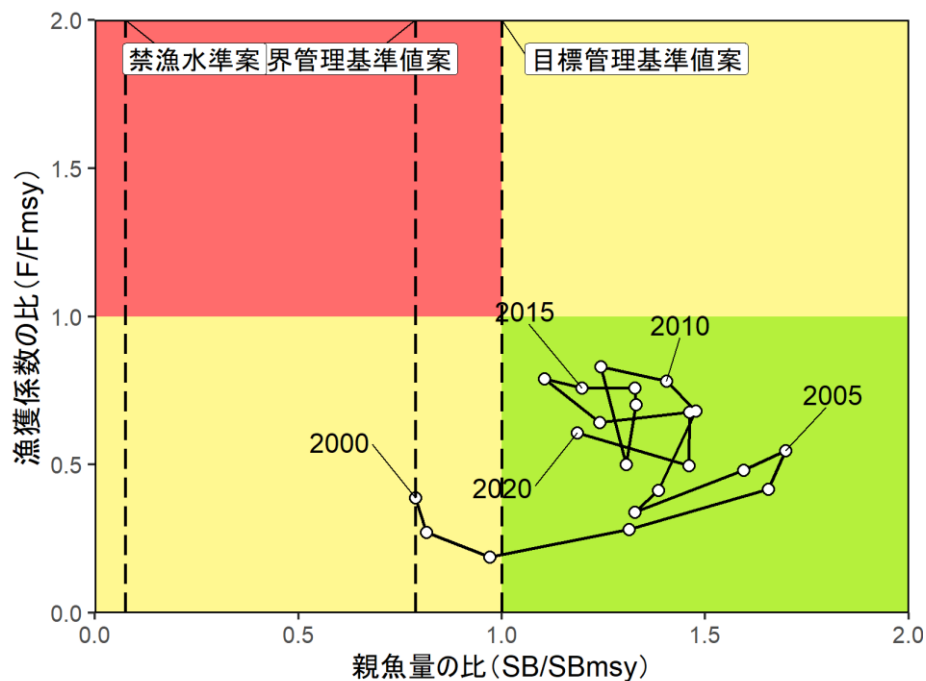
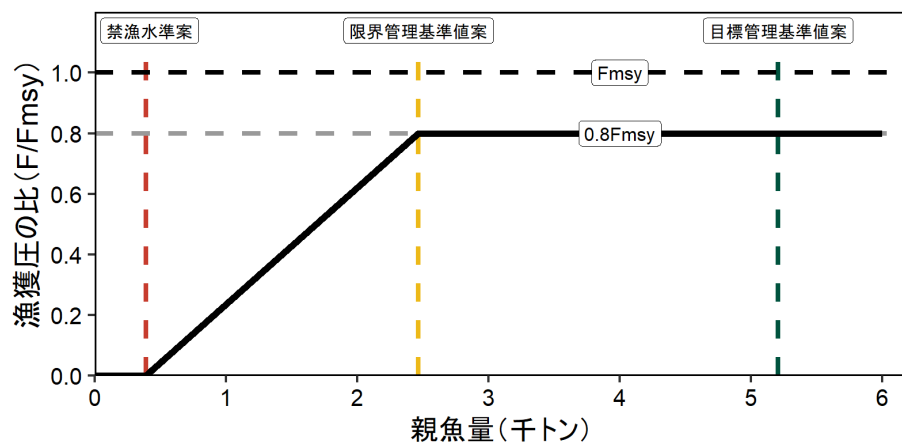


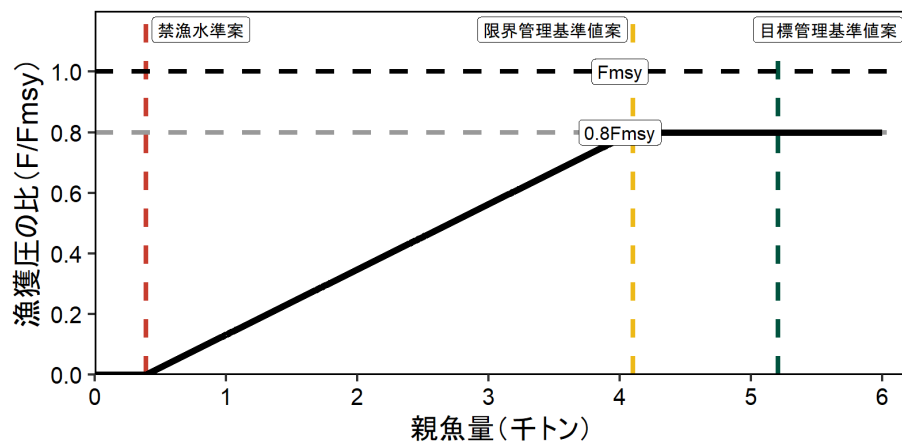
図 4. 神戸プロット

管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、 SB_{ban} をそれぞれ a) SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ 、もしくは b) SB_{msy} 、 SB_{min} 、 $SB_{0.1msy}$ とした場合。

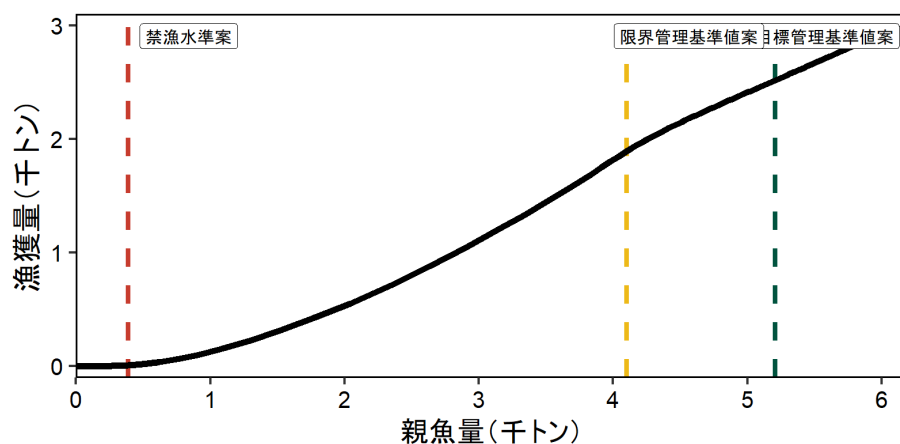
- a) 縦軸を漁獲圧に、目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた場合。



- b) 縦軸を漁獲圧に、目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SB_{msy} 、 SB_{min} 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた場合。



- c) 縦軸を漁獲量に、目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた場合。



- d) 縦軸を漁獲量に、目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用いた場合。

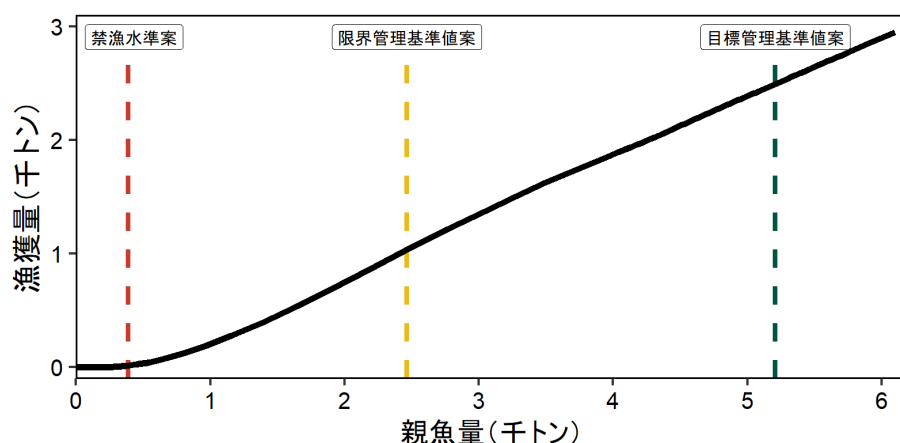
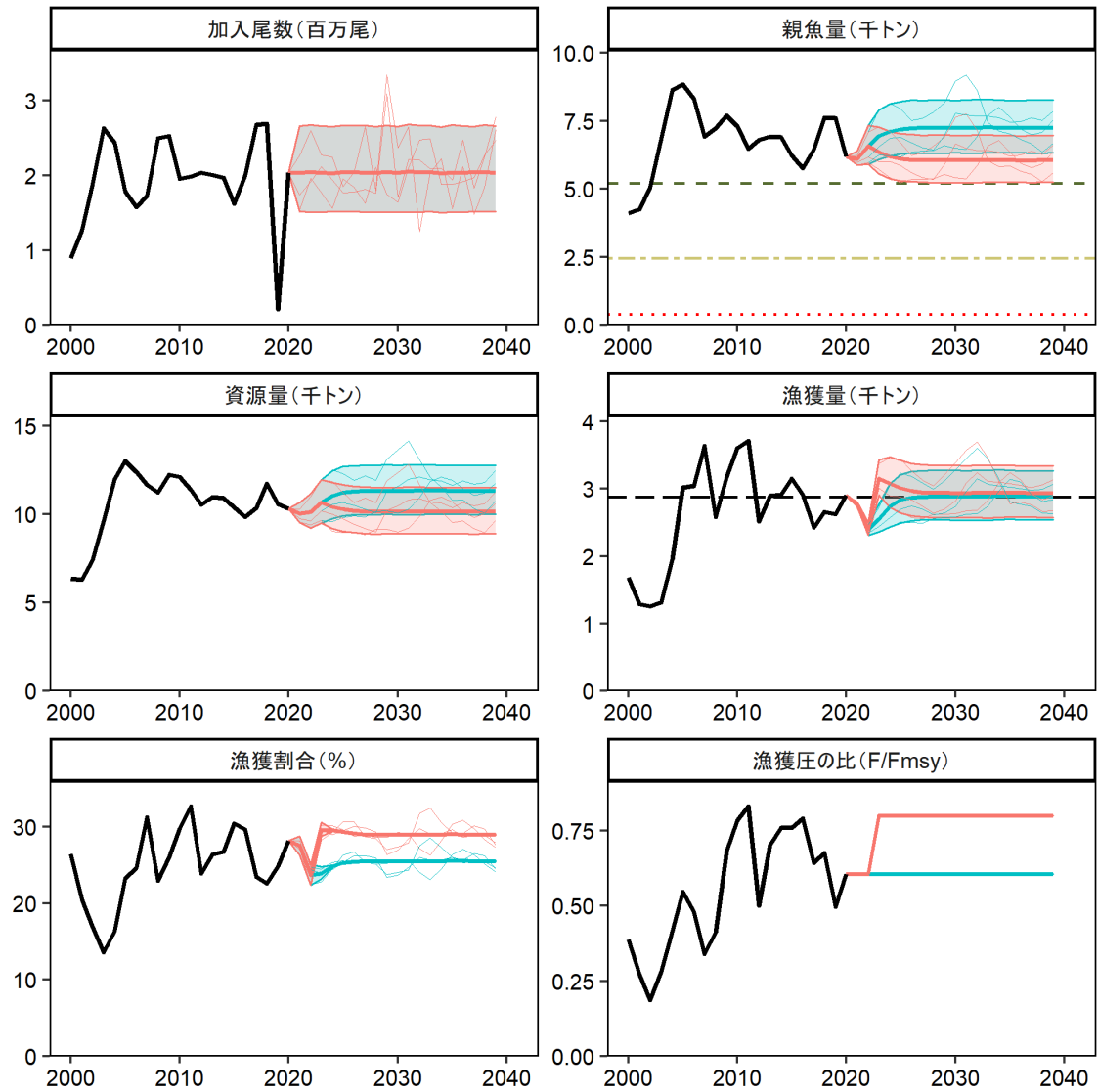


図 5. 漁獲管理規則案

親魚量に対する目標管理基準値 (SBtarget) 案、限界管理基準値 (SBlimit) 案および禁漁水準 (SBban) 案には、それぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた。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) 、b) は縦軸を漁獲圧の比に、c) 、d) は縦軸を漁獲量で表した場合である。また、a) 、c) は目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を、b) 、d) は SBmsy、SBmin、SB0.1msy 用いた場合である

- a) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた場合。



- b) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SB_{msy} 、 SB_{min} 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた場合。

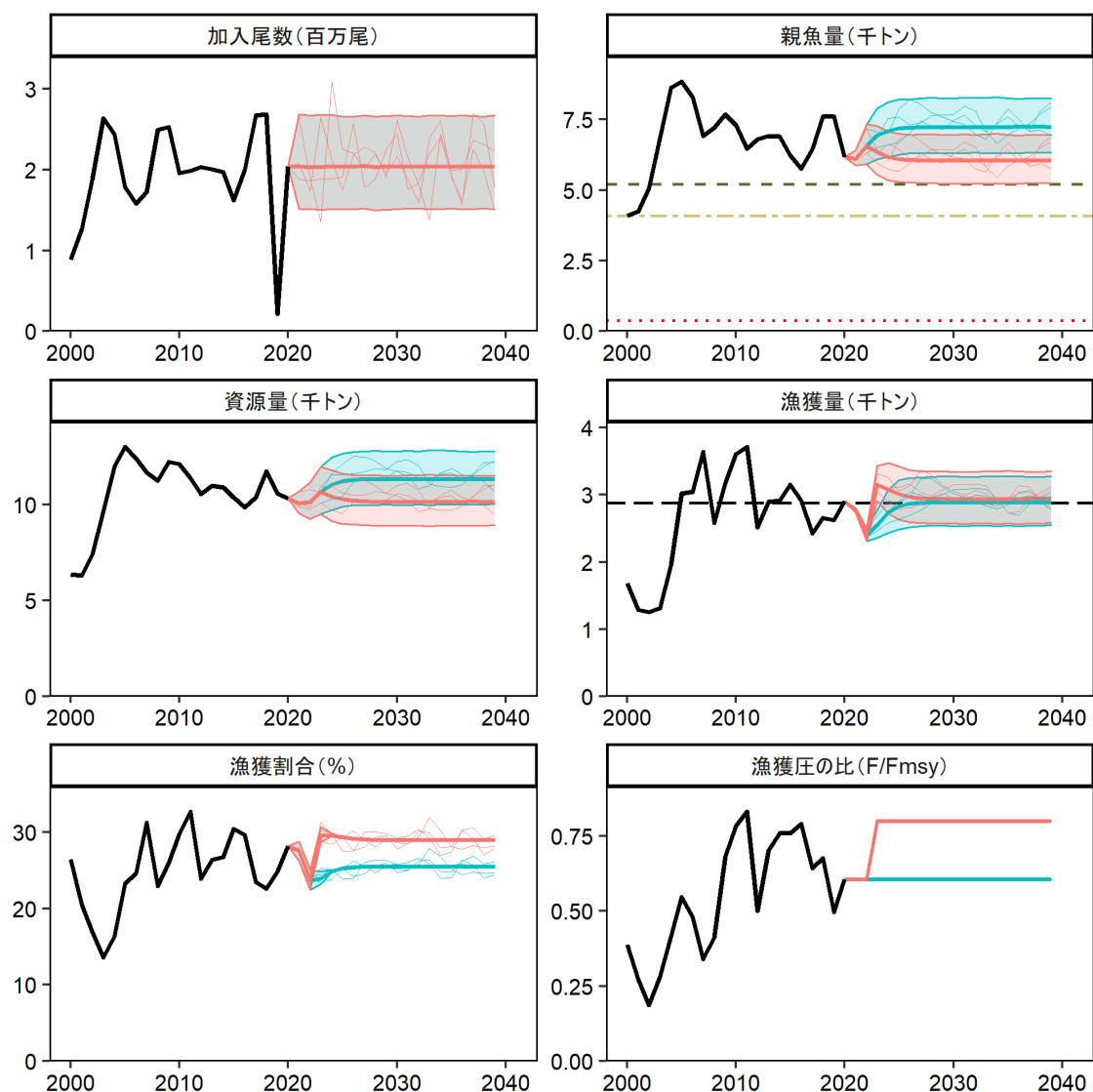


図 6. 漁獲管理規則案および現状の漁獲圧による将来予測の比較

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。黒色で資源評価に基づく値を、赤色で漁獲管理規則案を用いた将来予測を、青色で現状の漁獲圧による将来予測を、それぞれ示した。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案 (SB_{msy})、黄鎖線は限界管理基準値案 ($SB_{0.6msy}$)、赤点線は禁漁水準案 ($SB_{0.1msy}$) を示す。漁獲量の図の点線は最大持続生産量(MSY)を示す。2021 年の漁獲量は予測される資源量と 2020 年の漁獲圧 (F_{2020}) により仮定した。漁獲管理規則案 (2022 年以降) は本資料で提案する管理基準値案に基づく (図 5)。調整係数 β には 0.8 を用いた。

表 1. 候補となる再生産関係

提案する再生産関係を太字で示した。

再生産関係式	最適化法	AICc	Δ AICc	Δ AICc の順位	s.d.	データ数
HS	最小二乗法	-2.93	0	1	0.172	16
RI	最小二乗法	-0.28	2.65	3	0.187	16
BH	最小二乗法	-2.93	0	1	0.172	16
HS	最小絶対値法	-0.15	2.78	4	0.173	16
RI	最小絶対値法	1.48	4.42	6	0.197	16
BH	最小絶対値法	-0.15	2.78	4	0.173	16

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。

表 2. 提案する再生産関係のパラメータ

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	s.d.	R0 (百万尾)	h
HS	最小二乗法	無	0.498	4,100	0.172	20	1.00

表 3. MSY 管理基準値の算出に用いた各種パラメータ

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)
3	0.28	0.5	1,001	0.16	0.088
4	0.28	1.0	1,841	0.29	0.165
5	0.28	1.0	2,776	0.50	0.282
6	0.28	1.0	3,715	0.87	0.495
7	0.28	1.0	4,600	1.00	0.570
8 歳以上	0.28	1.0	5,907	1.00	0.570

現状の漁獲圧 (Fcurrent) は令和 2 年度資源評価における 2019 年の値である。

表 4. 各種管理基準値案の平衡状態のときの平均親魚量、漁獲が無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、漁獲割合、および 2020 年の漁獲圧 (F2020) に対する比

管理基準値案	親魚量 (千トン)	SB0 に 対する比	平均漁獲量 (千トン)	漁獲 割合	現状の漁獲圧に 対する比
目標管理基準値案 (SBmsy)	5.2	0.20	2.9	0.31	1.65
限界管理基準値案 (SB0.6msy)	2.5	0.10	1.7	0.36	2.32
限界管理基準値案の代替値 (SBmin)	4.1	0.16	2.7	0.35	2.17
禁漁水準案	0.4	0.02	0.3	0.37	2.47

表 5. 将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

(a) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた場合。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	100	100	80	61	51	49	48	49	48	48	48	48
0.9	100	100	94	85	80	79	78	78	78	78	78	78
0.8	100	100	99	97	96	96	96	96	96	96	96	96
0.7	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
0.5	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
0.3	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
0.1	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
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(b) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用いた場合。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	100	100	80	61	51	49	48	49	48	48	48	48
0.9	100	100	94	85	80	79	78	78	78	78	78	78
0.8	100	100	99	97	96	96	96	96	96	96	96	96
0.7	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
0.5	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
0.3	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
0.1	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
Fcurrent	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 2020 年の漁獲圧 (F2020) 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 F2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 6. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

(a) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた場合。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	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
0.8	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
0.6	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
0.4	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
0.2	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
0.0	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

(b) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用いた場合。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	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
0.8	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
0.6	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
0.4	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
0.2	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
0.0	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

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 2020 年の漁獲圧 (F2020) 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 F2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 7. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

(a) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた場合。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	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
0.8	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
0.6	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
0.4	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
0.2	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
0.0	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

(b) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用いた場合。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	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
0.8	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
0.6	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
0.4	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
0.2	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
0.0	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

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 2020 年の漁獲圧 (F2020) 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 F2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 8. 将来の平均親魚量の推移 (トン)

(a) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた場合。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	6.2	6.1	5.5	5.4	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
0.9	6.2	6.1	5.8	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
0.8	6.2	6.1	6.0	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
0.7	6.2	6.1	6.3	6.5	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
0.6	6.2	6.1	6.6	7.0	7.1	7.2	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
0.5	6.2	6.1	6.9	7.5	7.8	8.0	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2
0.4	6.2	6.1	7.2	8.1	8.7	9.0	9.2	9.2	9.3	9.3	9.3	9.3
0.3	6.2	6.1	7.6	8.9	9.7	10.2	10.6	10.7	10.8	10.9	10.9	10.9
0.2	6.2	6.1	8.0	9.7	10.9	11.8	12.4	12.8	13.0	13.1	13.2	13.2
0.1	6.2	6.1	8.4	10.6	12.4	13.9	15.0	15.7	16.2	16.5	16.8	16.9
0.0	6.2	6.1	8.9	11.8	14.3	16.7	18.6	20.1	21.2	22.0	22.7	23.2
Fcurrent	6.2	6.1	6.6	6.9	7.1	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2

(b) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用いた場合。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	6.2	6.1	5.5	5.4	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
0.9	6.2	6.1	5.8	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
0.8	6.2	6.1	6.0	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
0.7	6.2	6.1	6.3	6.5	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
0.6	6.2	6.1	6.6	7.0	7.1	7.2	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
0.5	6.2	6.1	6.9	7.5	7.8	8.0	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2
0.4	6.2	6.1	7.2	8.1	8.7	9.0	9.2	9.2	9.3	9.3	9.3	9.3
0.3	6.2	6.1	7.6	8.9	9.7	10.2	10.6	10.7	10.8	10.9	10.9	10.9
0.2	6.2	6.1	8.0	9.7	10.9	11.8	12.4	12.8	13.0	13.1	13.2	13.2
0.1	6.2	6.1	8.4	10.6	12.4	13.9	15.0	15.7	16.2	16.5	16.8	16.9
0.0	6.2	6.1	8.9	11.8	14.3	16.7	18.6	20.1	21.2	22.0	22.7	23.2
Fcurrent	6.2	6.1	6.6	6.9	7.1	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2

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 2020 年の漁獲圧 (F2020) 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 F2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 9. 将来の平均漁獲量の推移 (トン)

(a) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた場合。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	2.9	2.8	3.5	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0
0.9	2.9	2.8	3.2	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0
0.8	2.9	2.8	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
0.7	2.9	2.8	2.7	2.7	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
0.6	2.9	2.8	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
0.5	2.9	2.8	2.1	2.3	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
0.4	2.9	2.8	1.7	2.0	2.3	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
0.3	2.9	2.8	1.3	1.7	2.0	2.2	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5
0.2	2.9	2.8	0.9	1.2	1.5	1.8	1.9	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1
0.1	2.9	2.8	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
0.0	2.9	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fcurrent	2.9	2.8	2.4	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9

(b) 目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に、それぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用いた場合。

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	2.9	2.8	3.5	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0
0.9	2.9	2.8	3.2	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0
0.8	2.9	2.8	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
0.7	2.9	2.8	2.7	2.7	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
0.6	2.9	2.8	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
0.5	2.9	2.8	2.1	2.3	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
0.4	2.9	2.8	1.7	2.0	2.3	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
0.3	2.9	2.8	1.3	1.7	2.0	2.2	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5
0.2	2.9	2.8	0.9	1.2	1.5	1.8	1.9	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1
0.1	2.9	2.8	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
0.0	2.9	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fcurrent	2.9	2.8	2.4	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9

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 2020 年の漁獲圧 (F2020) 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 F2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 10. 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	1 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
		2026 年	2031 年	2022 年	2026 年	2031 年			
1	48%	5.2	5.2	3.5	3.0	3.0	1%	0%	0%
0.9	78%	5.6	5.6	3.2	3.0	3.0	0%	0%	0%
0.8	96%	6.1	6.1	3.0	2.9	2.9	0%	0%	0%
0.7	100%	6.6	6.6	2.7	2.9	2.9	0%	0%	0%
0.6	100%	7.3	7.3	2.4	2.9	2.9	0%	0%	0%
0.5	100%	8.1	8.2	2.1	2.8	2.8	0%	0%	0%
0.4	100%	9.2	9.3	1.7	2.6	2.7	0%	0%	0%
0.3	100%	10.6	10.9	1.3	2.4	2.5	0%	0%	0%
0.2	100%	12.4	13.2	0.9	1.9	2.1	0%	0%	0%
0.1	100%	15.0	16.9	0.5	1.2	1.5	0%	0%	0%
0	100%	18.6	23.2	0.0	0.0	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。

本系群では前年漁期後の親魚量を漁獲管理規則で参照するため、漁獲管理を開始する初年度である 2022 年に参照する親魚量は 2021 年の値となる (0 年目)。ここでは、参照する親魚量に変化する 2022 年 (1 年目)、5 年および 10 年管理を行った後の値 (2026 年および 2031 年の漁期後親魚量) 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・スティック型再生産関係（HS；Clark et al., 1985）、ベバートン・ホルト型再生産関係（BH；Beverton and Holt 1957）およびリッカー型再生産関係（Ricker 1954）を検討対象の候補とした。それぞれの再生産関係式の数式は以下の通りである。

$$R_y = \begin{cases} ab & \text{if } B_y > b \\ aB_y & \text{if } B_y \leq b \end{cases} \quad (\text{Hockey stick, HS})$$

$$R_y = \frac{aB_y}{(1 + bB_y)} \quad (\text{Beverton Holt, BH})$$

$$R_y = aB_y \exp(-bB_y) \quad (\text{Ricker, RI})$$

ここで R_y は y 年の加入量、 B_y は y 年の親魚量である。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。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（「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 年度研究機関会議版）（FRA-SA2021-ABCWG01-02）」）。

本系群では、2000～2015 年の親魚量と 3 年後の加入量を用い、「再生産関係の決定に関するガイドライン（FRA-SA2021-ABCWG01-03）」に基づくモデル選択の結果、HS を適用した。当該モデルのデータへの適合に関して、各種診断結果を以下に示す。

補足図 1-1 に最小二乗法により最適化した HS、BH、RI における再生産曲線を示した。補正赤池情報量規準（AICc）は HS と BH で同値となり RI より低かったが、BH ではパラメータが正しく推定されなかった。HS では変曲点が観測範囲内に無く、親魚量の最小値に設定された。

HS について、推定パラメータに対するプロファイル尤度を補足図 1-2 に示す。ここで、パラメータ a は HS の折れ点までの再生産曲線の傾き（尾/kg）、 b は HS の折れ点となる親魚量（トン）である。 b が親魚量の最小値より小さい値をとる条件下で、 a と b はトレードオフの関係にあった。

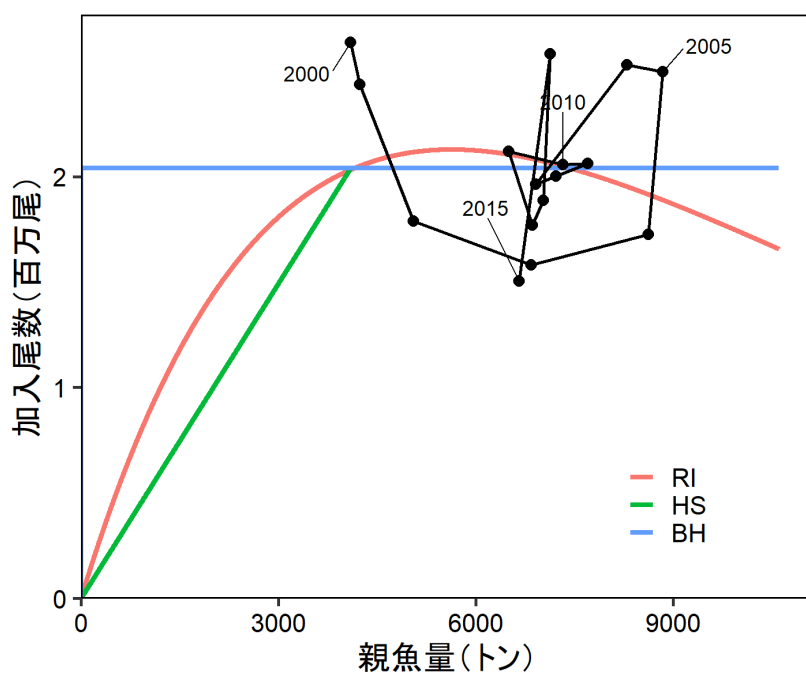
モデルに対する残差の正規性を図 1-3 に示す。正規性からの逸脱について、Kolmogorov-Smirnov 検定では有意性が認められたものの、Shapiro-Wilk 検定では有意性が認められなかった。残差の経年的なトレンドには、明確なパターンが認められなかった（補足図 1-4）。また、残差の自己相関はいずれの Lag でも有意でなかった。

推定されたパラメータの信頼性について、残差のブートストラップ解析を行い検証した（補足図 1-5、1-6）。 a および b について、推定値の中央値と点推定値がほぼ一致した。

パラメータ推定の頑健性の確認のため、データを一点ずつ除くジャックナイフ解析を行った（補足図 1-7、1-8）。いずれのパラメータについても推定された HS は頑健であり、推定値の変化量は小さかった。

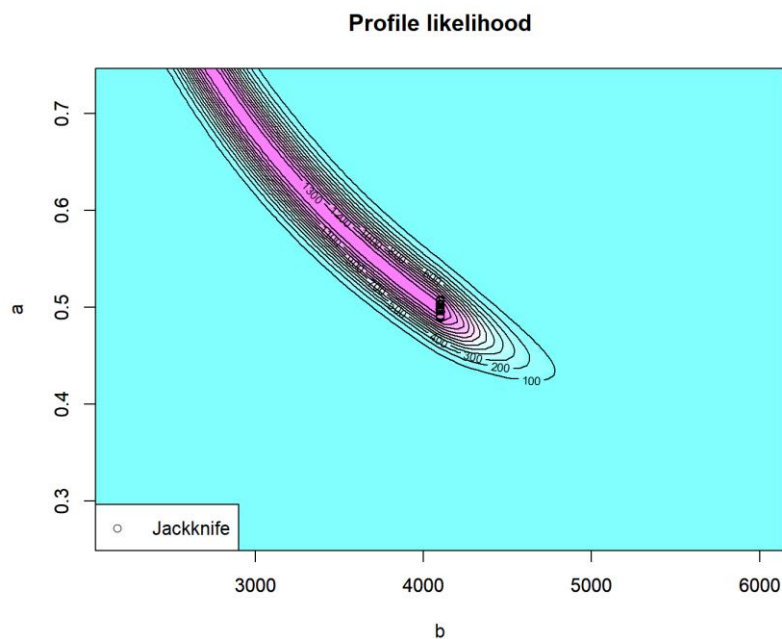
引用文献

- 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 年度研究機関会議版）. FRA-SA2021-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.
- 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. *Marine Resource Economics*, 2: 25-53.
- Ricker W. E. (1954). Stock and recruitment. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 11: 559-623.

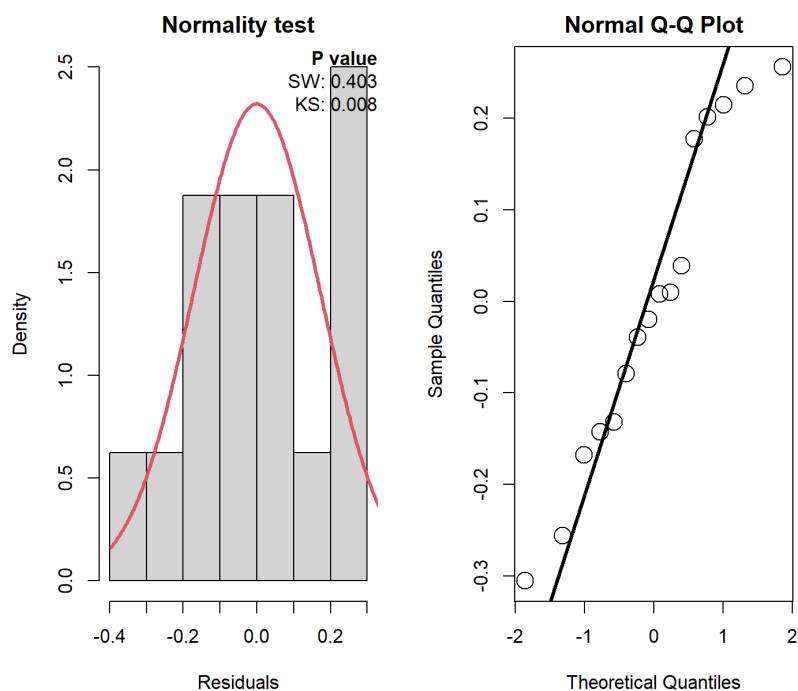


補足図 1-1. 各モデルにおける再生産曲線

ホッケー・スティック型（HS、緑）、リッカー型（RI、赤）、ベバートン・ホルト型（BH、青）の再生産関係式を、それぞれ最小二乗法により当てはめた。黒丸は 2000～2015 年の親魚量と 3 年後の加入量を示す。

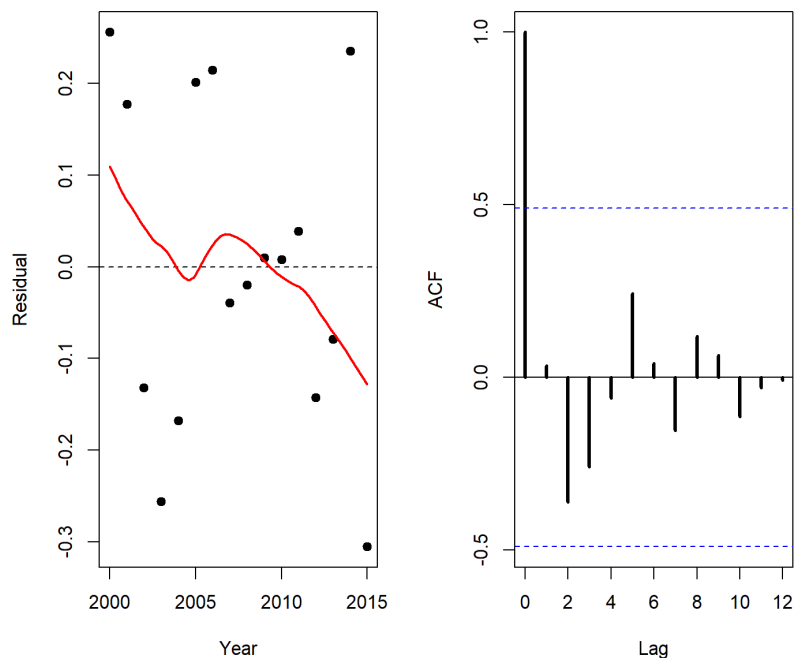


補足図 1-2. HS の推定パラメータに対するプロファイル尤度 ジャックナイフ解析における推定値（○）を併せて示した。

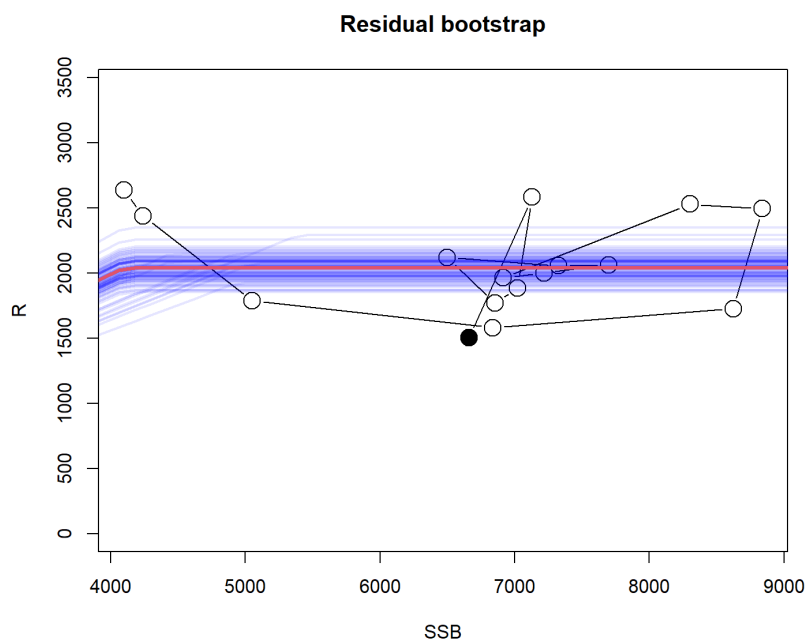


補足図 1-3. HS の残差分布の正規性テスト結果と QQ プロット

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。残差分布の赤実線および QQ プロットの実線は理論値を示す。

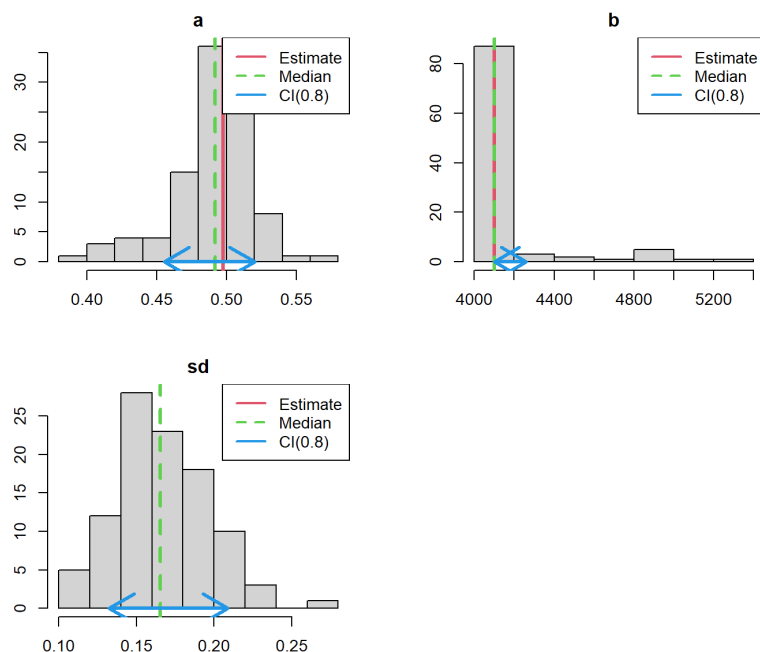


補足図 1-4. 残差のトレンド (左) と自己相関係数 (右)



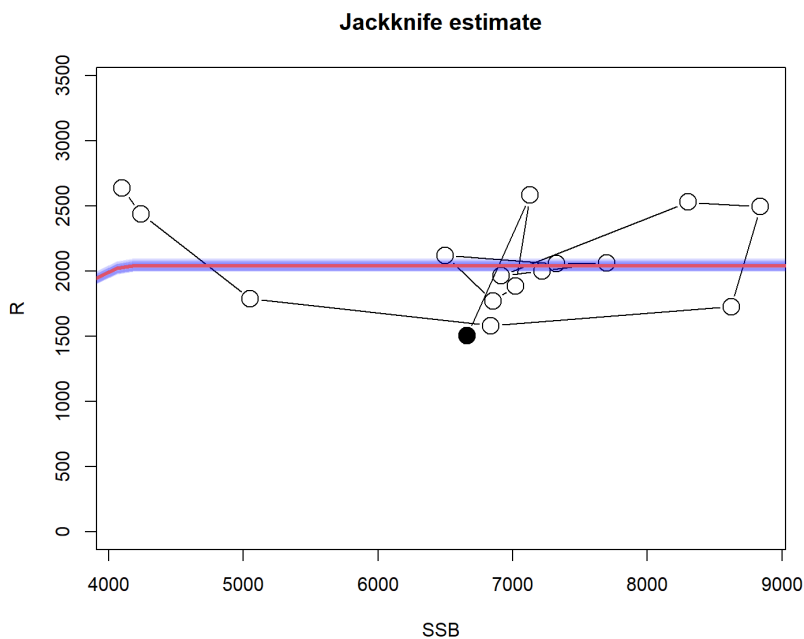
補足図 1-5. 残差のブートストラップ解析における HS の推定結果

黒丸は最近年（2015 年級群）を、赤線はデータに基づく推定値を、青線は各ブートストラップ分析に基づく推定値を、それぞれ示す。



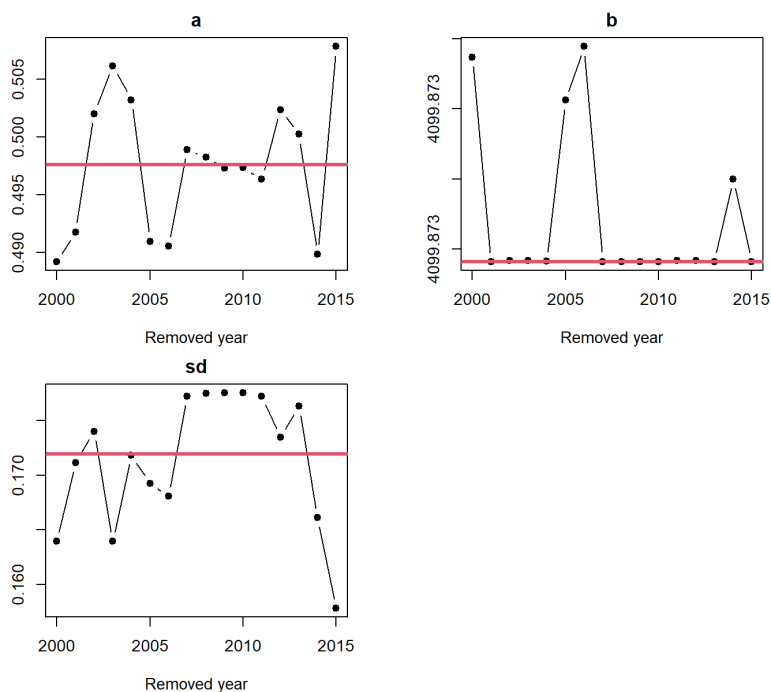
補足図 1-6. 残差のブートストラップ解析における HS のパラメータ推定値

ブートストラップ分析に基づく傾き (a)、折れ点 (b)、標準偏差 (s.d.) の頻度（ヒストグラム）、データに基づく推定値（赤実線）および中央値（緑破線）、ならびに 80% 信頼区間（青線範囲）を示す。



補足図 1-7. ジャックナイフ解析における HS の推定結果

黒丸は最近年（2015 年級群）を、赤線はデータに基づく推定値を、青線は各ブートストラップ分析に基づく推定値を、それぞれ示す。



補足図 1-8. ジャックナイフ解析における HS のパラメータ推定値

傾き (a)、折れ点 (b)、標準偏差 (s.d.) について各年を除外した場合の推定値（折れ線）と全データでの推定値（赤線）を示す。