

令和3（2021）年度ムシガレイ日本海南西部系群の 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年度の本系群の資源評価データを用いて、再生産関係および管理基準値案等を検討した。本系群の再生産関係式の候補として、資源評価により推定された1993～2018年の親魚量と翌年（1994～2019年）の1歳魚時点の加入量に対し、最小二乗法により最適化し自己相関を考慮したホッケー・スティック型再生産曲線（HS）の適用を提案する。目標管理基準値案として再生産関係に基づき算出されるSBmsy（40百トン）を、限界管理基準値案としてSB0.6msy（19百トン）を、禁漁水準案としてSB0.1msy（3百トン）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（2018～2020年の漁獲係数の平均値）の1.08倍である。

（本資料における、再生産関係およびMSYやFmsy、SBmsy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日にムシガレイ日本海南西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 (百トン)	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 (百トン)	現状の漁獲圧 (2018~2020 年)*に対する比	説 明
目標管理基準値案					
40	2.69	0.31	15	1.08	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					
19	1.30	0.15	9	1.36	MSYの60%の 漁獲が得られる 親魚量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
3	0.20	0.02	2	1.49	MSYの10%の 漁獲が得られる 親魚量 (SB0.1msy)
2020年					
15	1.00	0.11	4**	—	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、現状の年齢別漁獲係数に乘じる係数を示す。

** 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(コミット番号65a53bf)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
再生産関係・神戸 チャート	令和 2(2020)年度ムシガレイ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)年度ムシガレイ日本海南部系群の資源評価(水産庁・水 産機構)

1-2) 再生産関係の検討

本系群の管理基準値案の算出および将来予測計算に使用する再生産関係（補足資料 1）として、ホッケー・スティック（HS）型再生産関係、リッカー（RI）型再生産関係、およびベバートン・ホルト（BH）型再生産関係を仮定した場合について検討した。再生産関係データとしては、令和 2（2020）年度の資源評価で推定された 1993～2018 年の親魚量と翌年（1994～2019 年）の 1 歳魚時点の加入量を使用した。

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。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、さらに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した場合（同時推定法）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（二段階推定法）の両方を検討した。

補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると、HS 型を当てはめた場合において、RI 型および BH 型を当てはめた場合よりも低く、また、最小二乗法を用いた場合において最小絶対値法を用いた場合よりも低くなる（表 1）。BH 型および RI 型では、観察された親魚量の範囲では右肩上がりの直線として推定され、密度効果が認められなかった（補足資料 1）。いずれの最適化法・関係式を用いても残差の自己相関が認められたため、本系群では残差の自己相関を考慮することとした。自己相関パラメータの推定では、二段階推定法と同時推定法でほぼ同様の結果が得られたため、データの追加に対してより頑健とされる二段階推定法を用いた（補足資料 1）。

1-3) 再生産関係の候補

本系群の再生産関係として、「再生産関係推定ガイドライン(令和 3 年度)(FRA-SA2021-ABCWG01-03)」の 3.a(予測力)および 3.h(自己相関)の基準に従い、最小二乗法で最適化し自己相関を考慮した HS 型再生産関係を候補として提案する(図 1)。HS 型の折れ点までの再生産曲線の傾きは 12.419 尾/g、折れ点での親魚量は 3,147 トンである(補足表 1-1)。また、初期親魚量 SB0（漁獲がない状態における親魚量）における平均加入尾数 R0 は 39 百万尾、ステイプネス h（0.2SB0 における加入尾数の R0 に対する比）は 0.757 であった。本系群の管理基準値案の算出および将来予測計算には、本再生産関係を用いた(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 系資源の管理規則に従い、1-3) で候補とした再生産関係と、令和 2（2020）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）を使用した（表 2）。管理基準値案等を達成する漁獲圧と現状の漁獲圧との比較は、令和 3（2021）年度資源評価における現状の漁獲圧（F2018-2020、図 2）に基づいて行った。漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測においても、この F2018-2020 を現状の漁獲圧として使用した。

本系群では、平均世代時間（4.9 年）の 20 倍を基準に、将来予測開始から 98 年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における平均親魚量を SB_{msy} 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案（ SB_{target} ）として MSY 水準における親魚量（ SB_{msy} : 40 百トン）、限界管理基準値案（ SB_{limit} ）として MSY の 60%の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.6msy}$: 19 百トン）、禁漁水準（ SB_{ban} ）として MSY の 10%の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.1msy}$: 3 百トン）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。

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（ SB_0 ）に対する比、平衡状態の時の平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、現状の漁獲圧に対する比、および MSY を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数（ F_{msy} ）を表 3 に示す。目標管理基準値案として提案する SB_{msy} は SB_0 の 31%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 15 百トンである。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（ $F_{msy}/F_{2018-2020}$ ）は 1.08 で、その時の漁獲割合（ U_{msy} ）は 27%である。限界管理基準値案として提案する $SB_{0.6msy}$ は SB_0 の 15%、禁漁水準案として提案する $SB_{0.1msy}$ は SB_0 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。本系群における漁獲係数（F 値）は、1994 年以降 2018 年まで F_{msy} を上回っていたが、2019 年と 2020 年は F_{msy} を下回った。親魚量はすべての年で目標管理基準値案を下回っていた。現状の親魚量（2020 年の親魚量 : 15 百トン）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 2.69、1.30 および 0.20 である。

2-4) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則は、限界管理基準値案および禁漁水準案となる親魚量を閾値として漁獲管理の基礎となる漁獲係数（F 値）を変えるルールであり、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げる。F 値の上限は F_{msy} に調整係数 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、漁獲割合および漁獲圧の比 (F/F_{msy}) 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 ($F_{2018-2020}$) から仮定した。

予測される 2022 年の親魚量は限界管理基準値である SB0.6msy 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。 β に標準値である 0.8 を用いた場合の漁獲圧 ($0.8F_{msy}$) は現状の漁獲圧 ($F_{2018-2020}$) よりも低い、資源量は現状の漁獲圧 ($F_{2018-2020}$) で漁獲を続けた場合よりも高い水準に回復することが予測される。このため、得られる漁獲量は現状の漁獲圧 ($F_{2018-2020}$) で漁獲を続けた場合よりも多くなることが期待できる。中長期的には、漁獲管理規則案に基づく漁獲の継続により、漁獲量は MSY 水準となり、親魚量は SBmsy を上回る水準で推移すると予想された。

(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 から 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 4~8 に示す。前述の通り、2022 年の親魚量は限界管理基準値案を下回る水準にあり、漁獲管理規則案に従って βF_{msy} から引き下げられた漁獲圧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 (2032 年) の親魚量は 87% 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 以下であれば、2032 年には親魚量が 50% 以上の確率で目標管理基準値案以上に維持できると予測されたが、 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は 50% を下回った。また、いずれの β を用いた場合でも、親魚量は早期に限界管理基準値案以上に回復すると予測され (表 5)、親魚量が禁漁水準を下回る可能性は低いと考えられた (表 6)。2023 年以降の親魚量は β が低いほど多くなり (表 7)、2022 年の漁獲量は β が 0.5 以上で現状 (2020 年 : 4 百トン) より多くなった (表 8)。

3. まとめ

本系群では、令和 2 (2020) 年度の資源評価で推定された 1993~2018 年の親魚量と翌年 (1994~2019 年) の加入量に基づき、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 SBmsy (40 百トン) とすることを提案する。限界管理基準値案と禁漁水準案

については、標準値である SB0.6msy (19 百トン)、SB0.1msy (3 百トン) をそれぞれ提案する。

現在の本系群の親魚量は、目標管理基準値案および限界管理基準値案を下回っている。MSY を実現する漁獲圧は現状 (F2018-2020) の 1.08 倍である (表 4)。漁獲管理規則案で用いる β が 0.9 以下であれば、10 年後には親魚量が 50%以上の確率で MSY を実現する水準 (SBmsy) に回復・維持されると予測された (表 9)。

4. 今後の検討事項

本系群における資源評価データの大半は、資源の低～中水準期のものと考えられる。従って、今後のデータの追加により、再生産関係式が変化しうる点に注意が必要である。また、本系群の資源評価においては近年、親魚量、加入量ともに増加傾向を示しているが (図 6)、直近年の推定値には不確実性も高いため、過度な漁獲とならないよう注意が必要である。

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-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：八木佑太、藤原邦浩、飯田真也、佐久間啓、吉川 茜、白川北斗)

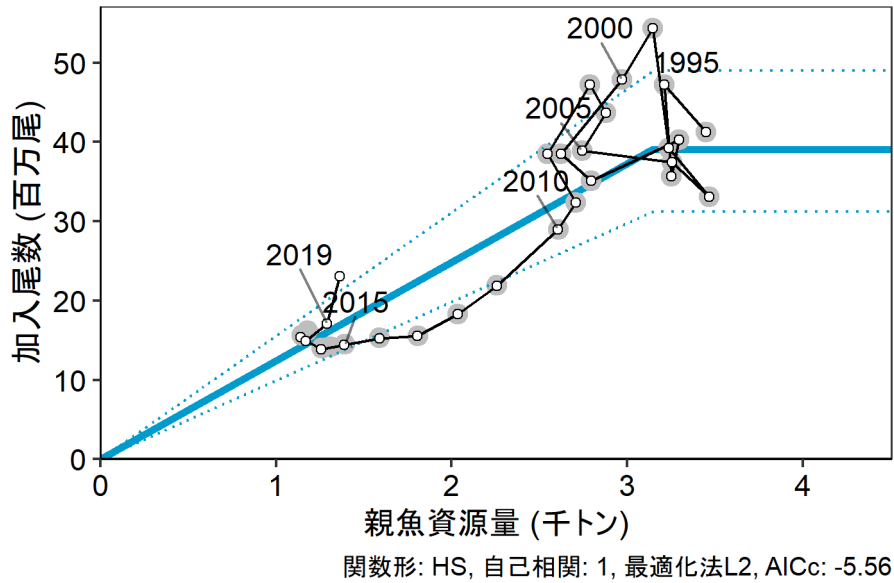


図1. 再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮したホッケ-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1993～2018年の親魚量と翌年(1994～2019年)の1歳時点での加入量を示す。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。白抜きの丸印は、令和3(2021)年度資源評価で得られた1993～2019年の親魚量と翌年(1994～2020年)の1歳時点での加入量である。図中の数字は1歳魚が加入した年を示す。

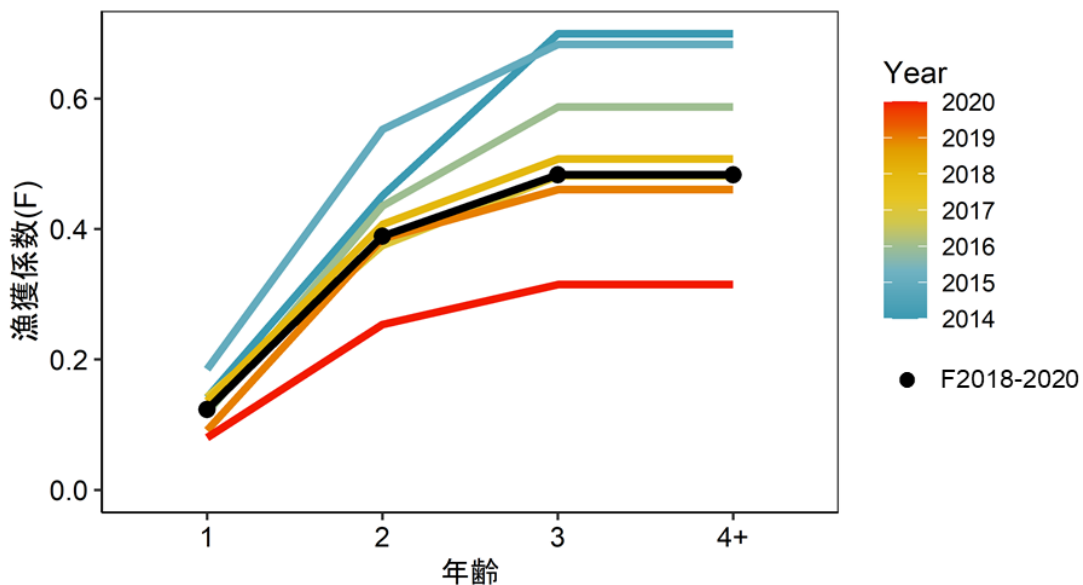


図2. 年齢別漁獲係数 (F 値)

2014年以降の各年の年齢別F値を示す。黒丸は現状の漁獲圧(F2018-2020)であり、2018～2020年のF値の平均値である。

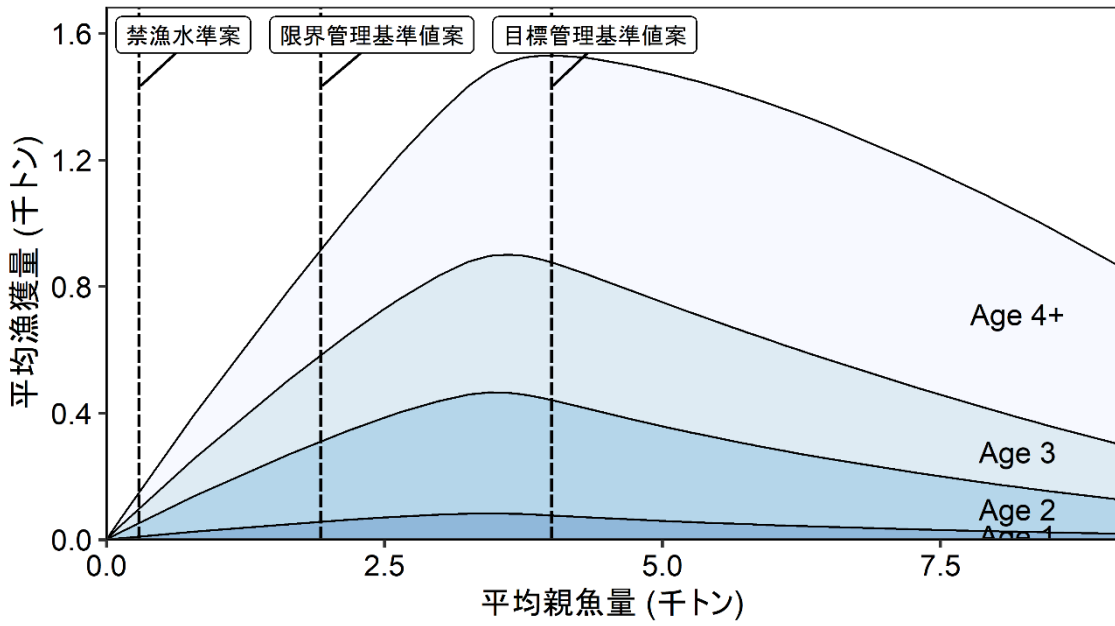


図3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

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。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は130百トンである。

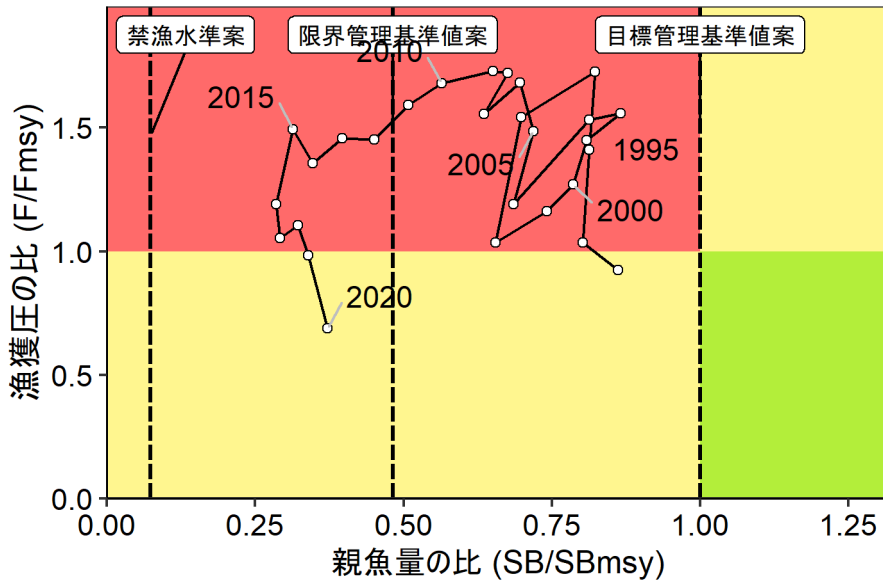
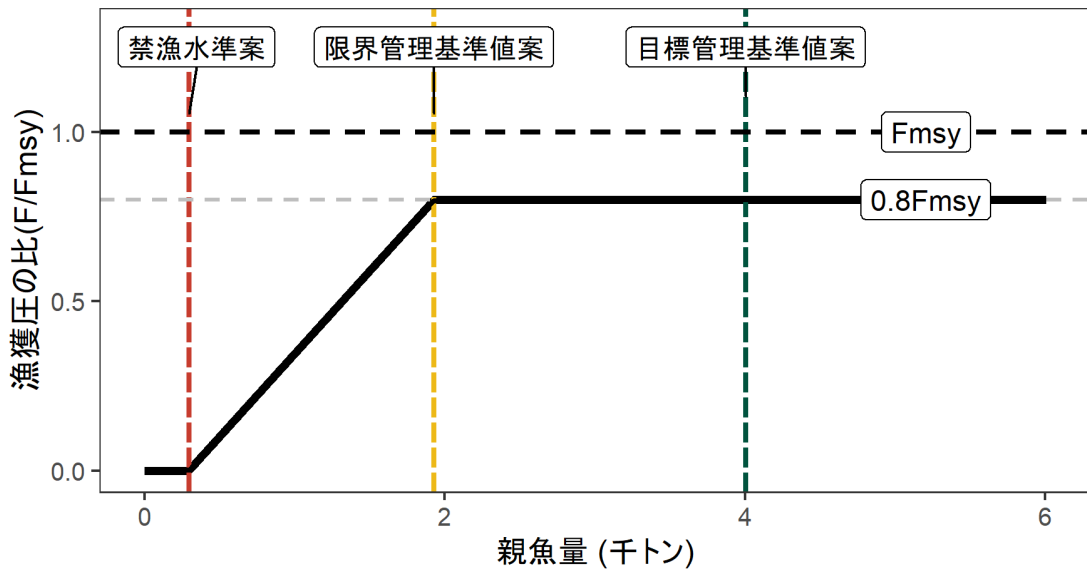


図4. 神戸プロット

縦軸は各年の漁獲圧 F の F_{msy} との比である。図中の目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案には、それぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

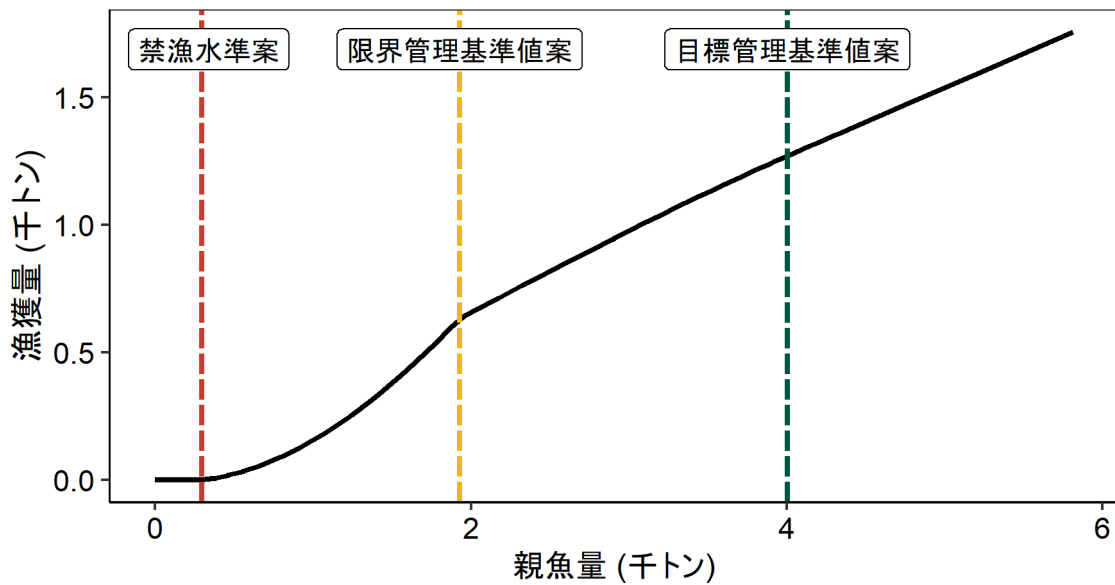


図5. 漁獲管理規則 (HCR) 案

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

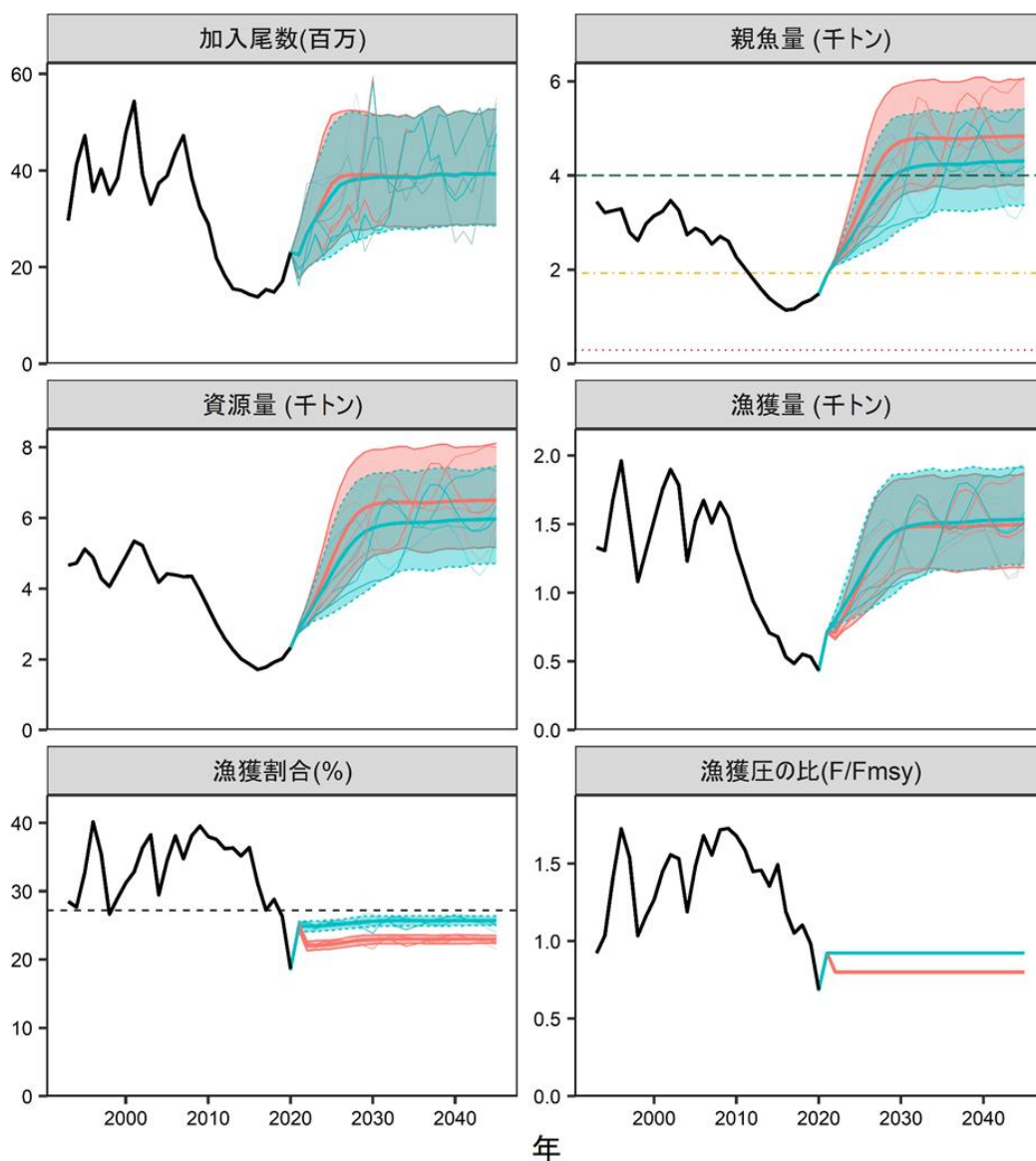


図 6. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（青色）の比較

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（F2018-2020）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	Δ AICc	順位
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	有	-5.56	0	1
リッカー (RI)	最小二乗法	有	-4.47	1.09	2
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	有	-4.47	1.09	2
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	有	-0.37	5.18	4
リッカー (RI)	最小絶対値法	有	0.40	5.96	5
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	有	0.40	5.96	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二段階推定法を用いた。そのため、ここに示した AICc は自己相関を考慮しないモデルの AICc である。

表 2. MSY 管理基準値等の算出および将来予測計算に用いた各種設定

年齢	自然死亡係数	成熟率	平均体重 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (F2018-2020)
1	0.35	0	20.2	0.27	0.10
2	0.35	0.4	57.9	0.79	0.35
3	0.35	1.0	115.2	1.00	0.43
4 歳以上	0.35	1.0	217.7	1.00	0.43

現状の漁獲圧 (F2018-2020) は 2018~2020 年の F 値の平均値である。

表 3. 各種管理基準値案における平衡状態のときの平均親魚量、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する比、平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、現状の漁獲圧 (F2018-2020) に対する漁獲圧の比の関係、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 (百トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (百トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合 (%)	漁獲圧 の比
目標管理基準値案	SBmsy	40	0.31	15	31.0	27.2	1.08
限界管理基準値案	SB0.6msy	19	0.15	9	25.1	31.8	1.36
禁漁水準案	SB0.1msy	3	0.02	2	22.8	34.0	1.49
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳以上) = (0.12, 0.36, 0.46, 0.46)					

表 4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	0	0	0	0	0	1	6	14	24	31	36	40	42	47	47
0.9	0	0	0	0	0	3	14	32	46	57	63	65	67	72	69
0.8	0	0	0	0	1	8	34	57	70	78	84	86	87	90	87
0.7	0	0	0	0	1	20	57	78	88	94	96	97	97	97	98
0.6	0	0	0	0	3	41	77	92	97	99	99	99	100	99	100
0.5	0	0	0	0	10	64	90	98	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	0	24	82	98	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	0	0	49	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	0	72	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	0	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	0	1	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2018-2020	0	0	0	0	0	2	11	27	40	51	56	59	60	66	62

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 (F2018-2020) で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) 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	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	0	0	100	100	99	99	99	100	100	100	99	99	100	100	100
0.9	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2018-2020	0	0	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 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) 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	2020	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	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
F2018-2020	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。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) 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 (百トン)

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	15	19	22	24	26	28	31	33	35	36	37	38	38	40	40
0.9	15	19	22	25	27	31	34	37	39	41	42	43	43	44	44
0.8	15	19	22	25	29	33	37	41	44	46	47	48	48	48	48
0.7	15	19	22	26	31	36	41	46	50	52	53	53	53	53	53
0.6	15	19	22	27	33	39	46	52	56	57	58	59	59	59	59
0.5	15	19	22	29	35	42	50	57	62	64	65	65	66	66	66
0.4	15	19	22	30	38	46	56	64	69	71	73	73	73	74	74
0.3	15	19	22	31	40	50	61	71	77	80	82	82	83	84	84
0.2	15	19	22	32	43	54	68	79	86	90	92	94	94	96	96
0.1	15	19	22	33	46	59	74	88	96	102	105	107	108	110	111
0	15	19	22	35	49	65	82	98	108	115	120	123	125	130	130
F2018-2020	15	19	22	24	27	30	33	36	38	40	41	42	42	43	43

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 (F2018-2020) で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) 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 (百トン)

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	4	7	9	9	10	11	12	13	13	14	14	15	15	15	15
0.9	4	7	8	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15	15	15
0.8	4	7	7	8	9	11	12	13	14	14	15	15	15	15	15
0.7	4	7	6	8	9	10	12	13	14	14	14	14	14	15	14
0.6	4	7	6	7	8	10	11	12	13	14	14	14	14	14	14
0.5	4	7	5	6	7	9	10	12	12	13	13	13	13	13	13
0.4	4	7	4	5	6	8	9	10	11	11	12	12	12	12	12
0.3	4	7	3	4	5	6	8	9	9	10	10	10	10	10	10
0.2	4	7	2	3	4	5	6	7	7	7	8	8	8	8	8
0.1	4	7	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5
0	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2018-2020	4	7	8	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15	15	15

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 (F2018-2020) で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) 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 (百トン)		予測平均漁獲量 (百トン)			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	42%	33	38	9	13	15	2%	0%	0%
0.9	67%	37	43	8	13	15	0%	0%	0%
0.8	87%	41	48	7	13	15	0%	0%	0%
0.7	97%	46	53	6	13	14	0%	0%	0%
0.6	100%	52	59	6	12	14	0%	0%	0%
0.5	100%	57	66	5	12	13	0%	0%	0%
0.4	100%	64	73	4	10	12	0%	0%	0%
0.3	100%	71	83	3	9	10	0%	0%	0%
0.2	100%	79	94	2	7	8	0%	0%	0%
0.1	100%	88	108	1	4	4	0%	0%	0%
0	100%	98	125	0	0	0	0%	0%	0%

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した結果をまとめた。

漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度 (0 年後) の 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 (「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-SA2021-ABCWG01-02)」)。

本資源の再生産関係として、HS 型、RI 型、および BH 型の再生産関係式を、最小二乗法および最小絶対値法により 1993~2018 年の親魚量と翌年の加入量 (1994~2019 年) のデータに当てはめた (補足表 1)。

本系群の再生産関係について、補正赤池情報量規準 (AICc) は HS 型を当てはめた場合において RI 型および BH 型を当てはめた場合よりも低かった (表 1)。また、AICc は最小二乗法を用いた場合において最小絶対値法を用いた場合よりも低く、最小二乗法によりパラメータ推定を行ったモデルの方が高い予測力を持つと考えられた (「再生産関係ガイドライン (FRA-SA2021-ABCWG01-03)」の 3.a)。

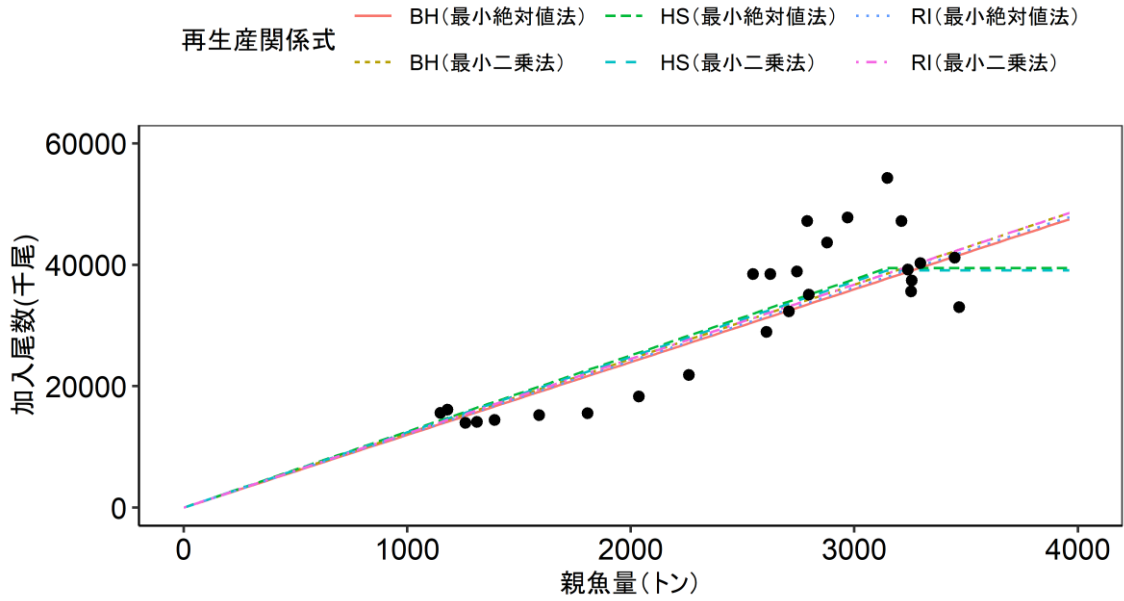
最小二乗法および最小絶対値法により最適化した HS 型、BH 型、および RI 型の再生産曲線を補足図 1-1 に示す。BH 型および RI 型ではいずれの最適化法でも観察された親魚量の範囲では右肩上がりの直線として推定され、密度効果が認められない結果となった。また、各再生産関係における推定パラメータのプロファイル尤度と残差ブートストラップ解析の結果 (補足図 1-2 および補足図 1-3) より、RI 型および BH 型では推定パラメータの最適解の範囲が広く、推定結果が不安定であると考えられた。これらのことから、BH 型および RI 型再生産関係は推定パラメータの頑健性に問題がある上、最大親魚量以上の親魚量で加入量の期待値が極端に大きくなることにより推定される MSY 管理基準値も非現実的に過大な値になると考えられることから、本資料では HS 型再生産関係を用いることが妥当と考えられた (「再生産関係ガイドライン (FRA-SA2021-ABCWG01-03)」の 3.d)。

自己相関パラメータの推定は、二段階推定法と同時推定法でほぼ同様の結果が得られたため、データの追加に対してより頑健とされる二段階推定法を用いた。HS 型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 1-4 に示す。残差は近年、負に偏る傾向があり、残差の自己相関係数は、Lag が 1 において有意であったため、本系

群では自己相関を考慮する必要があると考えられた（「再生産関係ガイドライン（FRA-SA2021-ABCWG01-03）」の3.h）。自己相関を考慮した HS 型に対する残差分布の正規性に関する検定結果を補足図 1-5 に示す。Shapiro-Wilk 検定、Kolmogorov-Smirnov 検定において、HS 型を適用した場合の残差分布には、正規分布からの有意な逸脱は認められなかった。HS 型について、最小二乗法により当てはめる上での個々のデータの影響をジャックナイフ法で検討した（補足図 1-6、1-7）。いずれのパラメータについても推定された HS 型は頑健であり、推定値の変化量は小さかった。推定されたパラメータの信頼性を残差のブートストラップ解析により検討した結果、パラメータ 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（補足図 1-8）。これらの結果から、最小二乗法で最適化し自己相関を考慮した HS の各パラメータは、最適解として推定されていると考えられた。

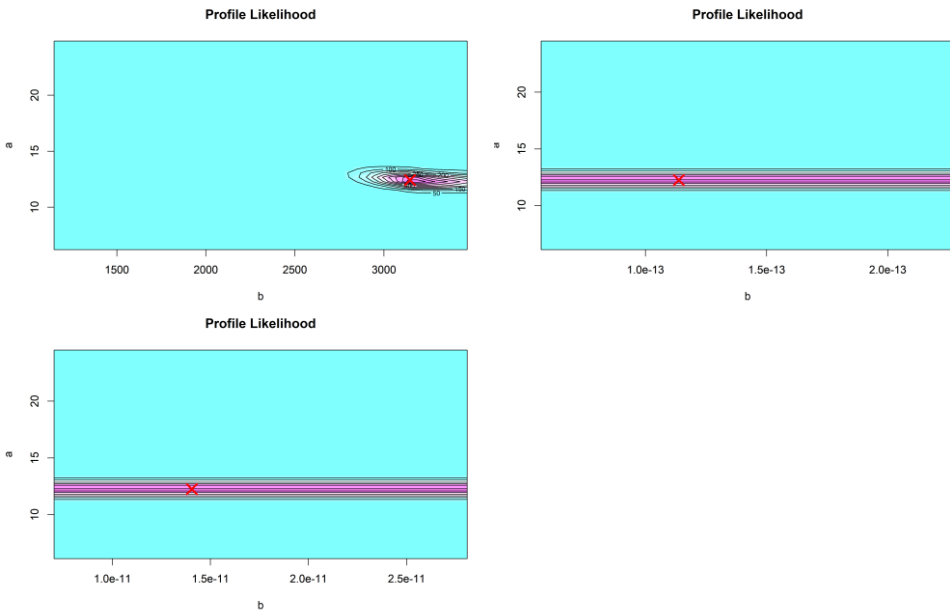
引用文献

- 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-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. *Mar. Resour. Econ.*, **2**, 25-53.
- Ricker W. E. (1954) Stock and recruitment. *Fish. Res. Board Can.*, **11**, 559-623.

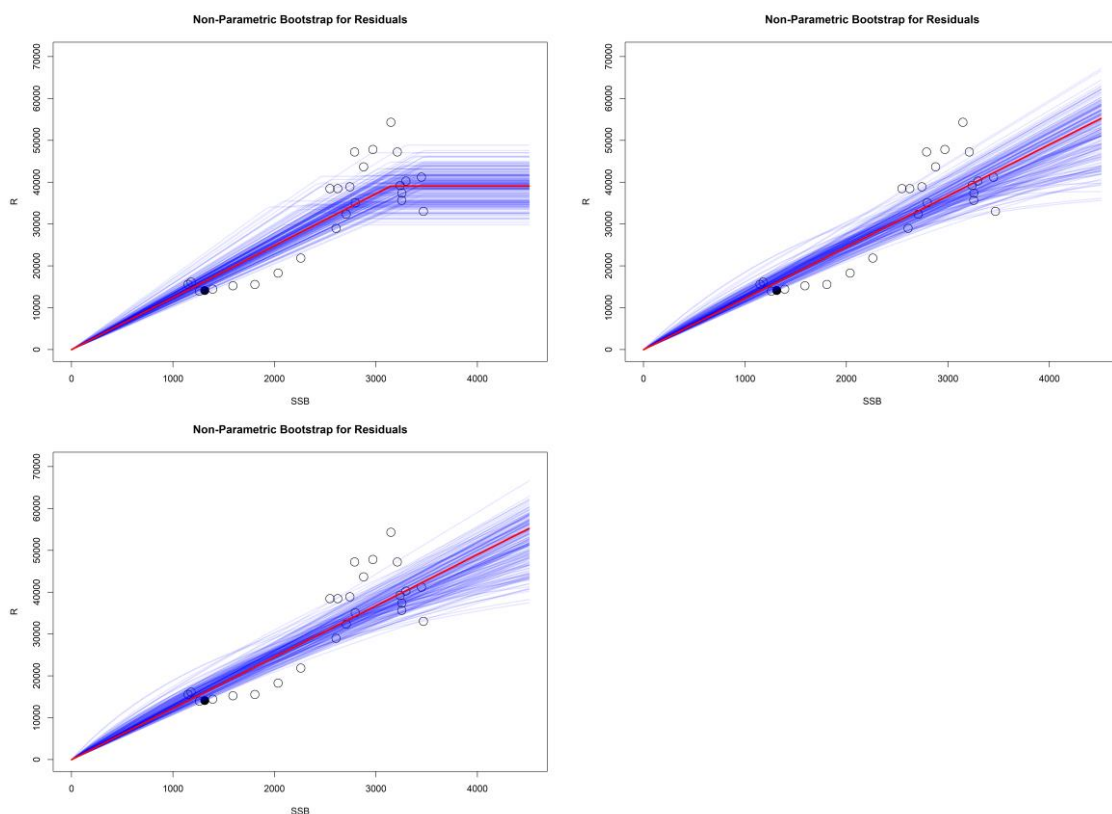


補足図 1-1. 各モデルにおける再生産曲線

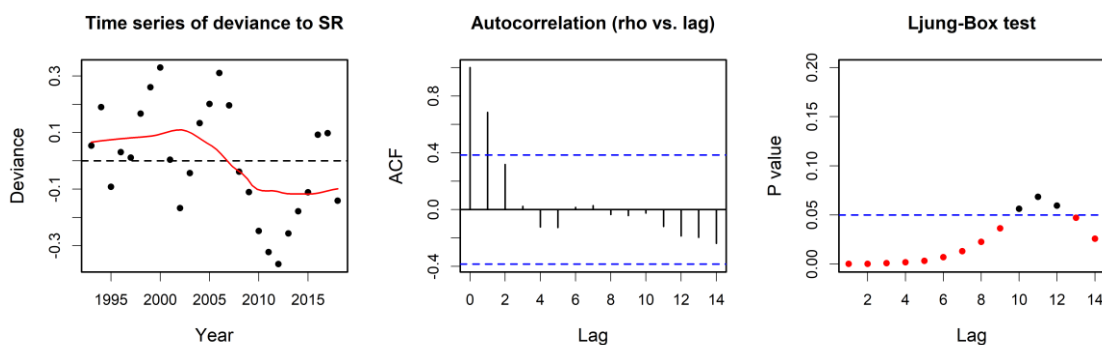
ホッケー・スティック型 (HS)、リッカー型 (RI)、ベバートン・ホルト型 (BH) の再生産関係式を、最小二乗法により当てはめた。黒丸は 1993~2018 年の親魚量と翌年 (1994~2019 年) の 1 歳魚時点の加入量を示す。



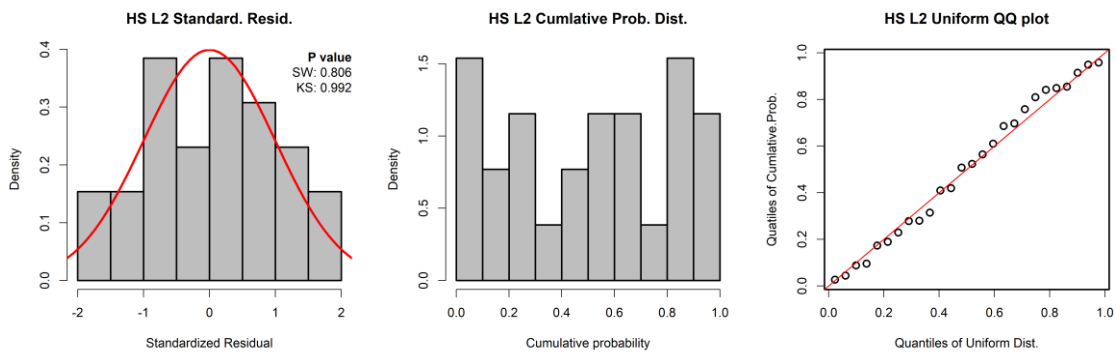
補足図 1-2. 最小二乗法により推定した HS (左上)、RI (右上)、BH (左下) 型再生産関係における推定パラメータ a、b のプロファイル尤度 ×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。



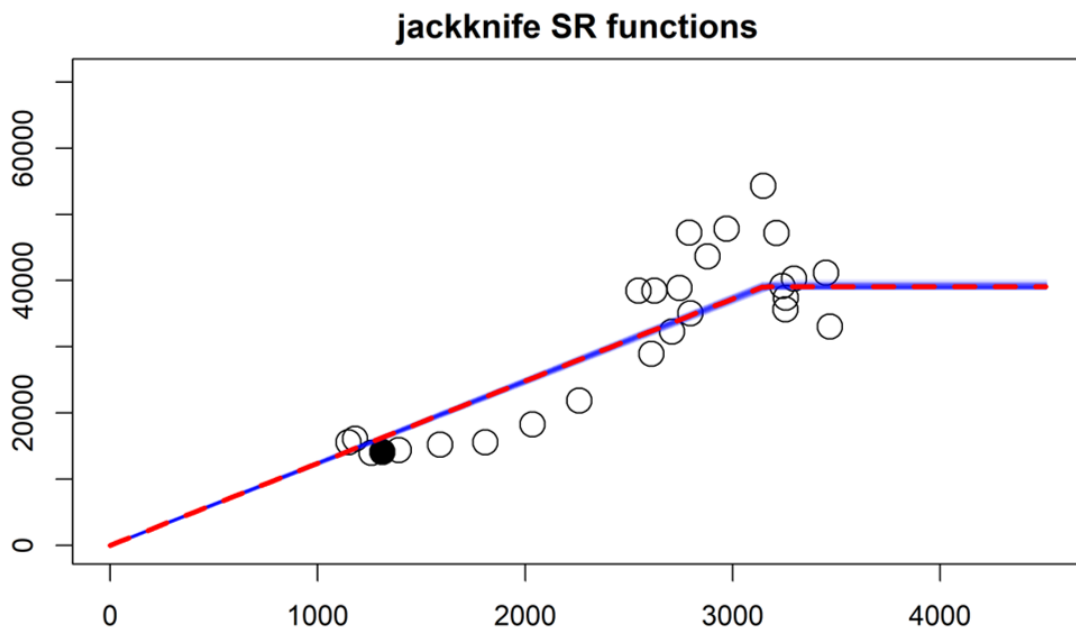
補足図 1-3. HS (左上)、RI (右上)、BH (左下) の残差ブートストラップ解析の結果
赤線は元データでの推定値、青線はノンパラメトリックブートストラップでの推定値
である。横軸は親魚量 (トン)、縦軸は加入尾数 (千尾) である。丸印は分析に使用
した親魚量・加入尾数であり、黒丸のプロットは使用したデータ期間の最終年 (2018
年親魚量と 2019 年加入尾数) を示す。



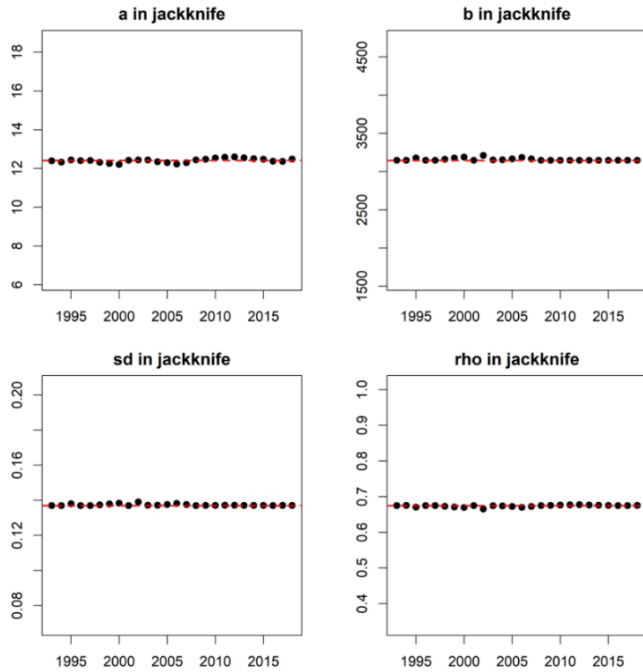
補足図 1-4. 最小二乗法により推定した自己相関を考慮しない HS 型再生産関係における
残差のトレンド (左)、自己相関プロット (コレログラム、中央) および Ljung-Box 検
定における P 値
残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線、コレログラムの図中の青色の点線は
95%信頼区間、および Ljung-Box 検定における P 値の図中の青色点線は 5%水準を表し
ている。



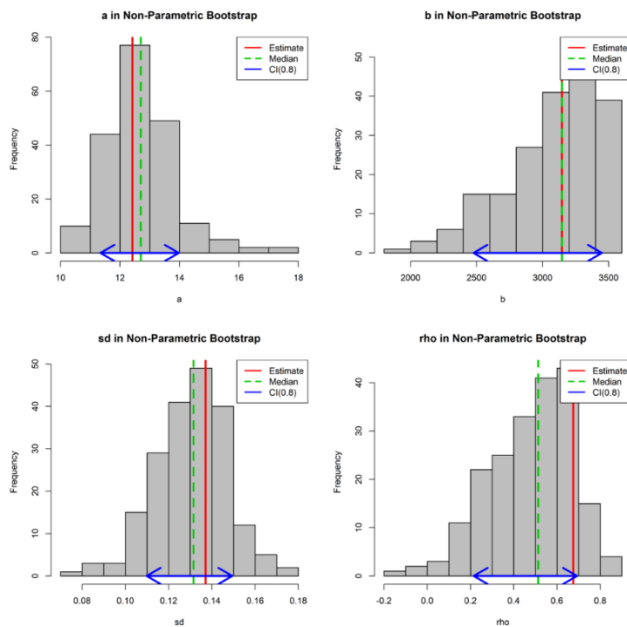
補足図 1-5. 最小二乗法により推定した自己相関を考慮した HS 型再生産関係の残差分布の正規性の検定結果と QQ プロット
残差分布図の右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。残差分布の赤実線および QQ プロットの赤実線は理論値を示す。



補足図 1-6. 最小二乗法により推定した自己相関を考慮した HS 型再生産関係におけるジャックナイフ解析の結果
赤線は全データで推定した再生産曲線、青線は各年のデータを除外した場合の再生産曲線を示す。横軸は親魚量 (トン)、縦軸は加入尾数 (千尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸のプロットは使用したデータ期間の最終年 (2018 年親魚量と 2019 年加入尾数) を示す。



補足図 1-7. 最小二乗法により最適化し自己相関を考慮した HS 型再生産関係におけるジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



補足図 1-8. 残差のブートストラップ解析における自己相関を考慮した HS 型再生産関係のパラメータの分布

傾き (左上)、折れ点 (右上)、標準偏差 (左下)、自己相関係数 (右下) の頻度分布を示す。赤い実線は推定値を、緑の破線はデータに基づく中央値を、青の矢印は 80% 信頼区間を示す。試行回数は 1,000 回である。

補足表 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	a	b	S.D.	ρ	R0	h	データ 数
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	有	12.419	3,147	0.137	0.675	39,078	0.757	26
リッカー (RI)	最小 二乗法	有	12.252	1.35E-13	0.148	0.631	3.12E+13	0.614	26
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	有	12.252	6.41E-13	0.148	0.631	1.44E+13	0.504	26
ホッケー・ スティック (HS)	最小 絶対値法	有	12.518	3,142	0.137	0.676	39,331	0.759	26
リッカー (RI)	最小 絶対値法	有	12.033	1.04E-14	0.148	0.633	4.01E+14	0.605	26
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 絶対値法	有	12.085	1.05E-13	0.147	0.632	8.64E+13	0.500	26

推奨する再生産関係式を太字とした。S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標で、対数残差の標準偏差 (Standard Deviation、平均二乗誤差の平方根) である。 ρ は二段階推定法により求めた自己相関パラメータである。R0 は SB0 のときの平均加入尾数 (万尾)、h は 0.2SB0 になったときの R0 に対する加入の比 (ステイプネス) である。