

令和 6（2024）年度ゴマサバ対馬暖流系群の 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（依田真里・向 草世香・
藤波裕樹・国松翔太）
水産技術研究所 環境・応用部門

参画機関：青森県産業技術センター水産総合研究所、秋田県水産振興センター、山形県水産
研究所、新潟県水産海洋研究所、富山県農林水産総合技術センター水産研究所、
石川県水産総合センター、福井県水産試験場、京都府農林水産技術センター海洋
センター、兵庫県立農林水産技術総合センター但馬水産技術センター、鳥取県水
産試験場、島根県水産技術センター、山口県水産研究センター、福岡県水産海洋
技術センター、佐賀県玄海水産振興センター、長崎県総合水産試験場、熊本県水
産研究センター、鹿児島県水産技術開発センター、海洋生物環境研究所、漁業情
報サービスセンター

要 約

令和 6 年度の資源評価データを用いて検討した本系群の再生産関係式および管理基準値
案を以下の通り提案する。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
リッカー型	最小二乗法	無	0.00850	8.92E-06	0.343	-

a、b はリッカー型再生産式のパラメータ、S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標
（対数残差の標準偏差）、 ρ は自己相関係数である。

項目	値	説明
SBtarget 案	9.2 万トン	目標管理基準値案。最大持続生産量MSYを実現する親魚量 (SBmsy)
SBlimit 案	3.1 万トン	限界管理基準値案。親魚量の最小観測値(SBmin)
SBban 案	0.4 万トン	禁漁水準案。MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.1msy)

Fmsy	SBmsy を維持する漁獲圧 (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳以上)=(0.36, 0.66, 0.41, 0.41)	
%SPR	26%	Fmsy に対応する%SPR
MSY	6.2 万トン	最大持続生産量

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 6（2024）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2024-ABCWG02-01）」（水産研究・教育機構 2024a）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 (v2.4.0.0) を用いた。frasyr で用いた式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（FRA2024-ABCWG01-02）」（水産研究・教育機構 2024b）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 6 年度ゴマサバ対馬暖流系群の資源評価（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）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、およびバートン・ホルト（BH）型再生産関係について検討した。最適化手法として、最小二乗法および最小絶対値法を候補とした。また、加入量の残差への自己相関の考慮の有無も検討材料とした。自己相関パラメータを推定する際は、再生産関係式のパラメータと同時に推定する手法（同時推定法）を用いた。再生産関係の検討は、資源評価で推定された 1992～2022 年の加入量および親魚量に基づき、直近の 2023 年の推定結果は、加入量の不確実性が高いと考えられることから使用しなかった。再生産関係の検討候補を表 1a に示す。なお、令和 5 年度資源評価まで最小絶対値法で最適化した自己相関を用いない HS 型再生産関係式が使われていた。

補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると、BH 型や RI 型を当てはめた場合のほうが HS 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の方が最小絶対値法を用いた場合よりも低くなった。RI 型および BH 型を仮定した場合は、HS 型を仮定した場合と比べて親魚量が少ない場合に高い加入量が予測されたものの、その差は小さかった。RI 型および BH 型の AICc の差はわずかであったが、BH 型の場合には目標管理基準値がこれまでに観測された親魚量を大きく上回る。なお、BH 型、RI 型、HS 型を最小二乗法により当てはめた場合の自己相関プロットからは加入残差に自己相関が認められなかった。従って、本資源においては再生産関係のモデルに自己相関を積極的に考慮する必要はないと判断した（表 1a、補足資料 1）。以上の 3 つの再生産関係を候補として補足図 1-1、補足資料 3 に示す。令和 5 年度まで使用していた再生産関係式として、最小絶対値法で最適化した自己相関を用いない HS 型再生産関係式についても検討したが、パラメータ推定に不安定さがみられたことから、不確実性が高いと判断し、候補としなかった（補足資料 6）

1-3) 再生産関係の候補

BH 型は RI 型に比べ AICc はやや低かったが、その差は 1 未満であった。HS 型についても BH

型、RI 型に比べると AICc は低かったものの、その差は 4 未満であった。一方、RI 型再生産関係の妥当性を検討するため、簡易的な MSE (Management Strategy Evaluation) により、RI 型と HS 型で再生産関係を誤って適用した場合と、RI 型と BH 型で再生産関係を誤って適用した場合の資源減少リスクをそれぞれ検討した(補足資料 4、5)。①真の再生産関係が RI 型の再生産関係であるときに、誤って HS (BH) 型の再生産関係を適用して管理した場合、②真の再生産関係が HS (BH) 型の再生産関係であるときに、誤って RI 型の再生産関係を適用して管理した場合について、資源が減少するリスクを評価した(補足資料 4、5)。簡易的な MSE を行った結果、RI 型が推奨される結果が得られたことから、本資源の再生産関係の候補としては RI 型再生産関係式を用いることが適当と考えられる。なお、RI 型を最小二乗法により当てはめた場合の自己相関プロットからは加入残差に自己相関が認められなかった。したがって、本資源においては再生産関係のモデルに自己相関を積極的に考慮する必要はないと判断した(表 1a、補足資料 1)。上述の通り、本系群の再生産関係の候補としては、「再生産関係の決定に関するガイドライン (FRA-SA2024-ABCWG01-05)」(水産研究・教育機構 2024c) の a (予測力) および b (生物学的妥当性) の基準に従い、最小二乗法で最適化した自己相関を用いない RI 型再生産関係式を候補として提案する(図 1)。この再生産関係のパラメータ推定値を表 1b に示した。

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 6 (2024) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2024-ABCWG02-01)」(水産研究・教育機構 2024a) 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。選択率は 2018~2022 年の平均漁獲圧を用いた(図 2)。自然死亡係数、平均体重は 2018~2022 年の平均である。現状の漁獲圧 (F2021-2023) は、上記の選択率の下で、2021~2023 年の年齢別の平均 F と同じ漁獲圧を与える F 値を換算して算出した。本系群では、平均世代時間 (3.4 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、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。

2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

目標管理基準値としては MSY 水準における親魚量 (SB_{msy} : 9.2 万トン)、限界管理基準値として MSY の 60%の漁獲が得られる親魚量 ($SB_{0.6msy}$: 2.9 万トン)、禁漁水準として MSY の 10%の漁獲が得られる親魚量 ($SB_{0.1msy}$: 0.4 万トン) が標準値とされている。本系群の $SB_{0.6msy}$ は歴史的に観察されたことのある最低親魚量 (SB_{min} :3.1 万トン) を下回る外挿値となる。このため、限界管理基準値の代替値として SB_{min} 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 38% 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 6.2 万トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧 (SB_{msy} を維持する漁獲圧 : F_{msy}) の現状の漁獲圧に対する比 ($F_{msy}/F_{2021-2023}$) は 0.67 で、その時の漁獲割合 (U_{msy}) は 30% である。限界管理基準値として提案する SB_{min} は SB_0 の 13%、禁漁水準として提案する $SB_{0.1msy}$ は SB_0 の 1.5% である。なお、昨年度の資源評価で将来予測に使用した年齢別漁獲係数 (0 歳 : 0.36、1 歳 : 0.47、2 歳 : 0.66、3 歳以上 : 0.66) での選択率を MSY 管理基準値の算出に用いた場合でも、 SB_{msy} の差は 3% 程度と小さかった。

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 0 歳および 1 歳魚が殆どを占め、 SB_{msy} 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 SB_{msy} と、 SB_{msy} を維持する漁獲圧 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、多くの年で F_{msy} を上回っていたと判断される。現状の親魚量 (2023 年の親魚量 : 7.2 万トン) は目標管理基準値案 SB_{msy} を下回っている。現状の親魚量に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案の比は、それぞれ 1.29、0.43 および 0.05 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 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提案値を用いた場合 (すなわち、 SB_{limit} は SB_{min} 、 SB_{ban} は $SB_{0.1msy}$ 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の β は標準値 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) 将来予測の設定

令和 6 年度資源評価で推定された 2023 年の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2024~2053 年の将来予測計算を行った。この将来予測では加入量の不確実性を考慮した。上で提案した再生産関係式を用いて各年に予測される親魚量から加入量を予測し、その予測値に対数正規分布に従う誤差を与えることで加入量の不確実性を考慮した。対数正規分布から無作為抽出した誤差を予測値に与える計算を 10,000 回行い、それらの平均値と 90% 予測区間を求めることにより、不確実性の程度を示した。

2024 年の漁獲圧は現状の漁獲圧 ($F_{2021-2023}$) を仮定した。現状の漁獲圧は令和 6 年度

評価における 2021～2023 年の平均漁獲圧である。2024 年に予測される資源量と現状の漁獲圧から同年の漁獲量を算出した。2025 年以降の漁獲圧は、上述の漁獲管理規則案に従い、各年に予測される親魚量をもとに算出した。将来予測の計算方法は補足資料 2 に示した。

(2) 管理開始年（2025 年）の予測値

2025 年の平均親魚量は 6.1 万トンで、目標管理基準値案を下回り、限界管理基準値案および禁漁水準案を上回ると予測された（表 4～7）。漁獲管理規則案に基づき計算された 2025 年の平均漁獲量は β を 0.8 とした場合には 3.9 万トン、 β を 0.9 とした場合には 4.3 万トン、 β を 1.0 とした場合には 4.7 万トンと予測された（表 8）。

(3) 管理開始から 5 年後（2030 年）および 10 年後（2035 年）の予測値

管理開始から 5 年後および 10 年後の将来予測の結果を図 6 および表 9 に示す。現状の漁獲圧（F2021-2023）で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。 β を 0.8 として漁獲管理規則案に基づく管理を継続した場合、親魚量は 5 年後に 11.3 万トン（90%予測区間は 8.2 万～14.9 万トン）、10 年後に 11.7 万トン（90%予測区間は 8.8 万～15.1 万トン）と予測された（表 7、9）。 β を 1.0 とした場合には、5 年後に 8.8 万トン（90%予測区間は 6.1 万～12.1 万トン）、10 年後に 9.2 万トン（90%予測区間は 6.6 万～12.3 万トン）と予測された。親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は、 β が 0.9 以下で 5 年後および 10 年後に 50%を上回った。限界管理基準値案を上回る確率は、 β が 1.0 以下で 5 年後に 50%を上回った。現状の漁獲圧（F2021-2023）を継続した場合、管理開始から 10 年後（2035 年）の親魚量の予測値は 4.1 万トン（90%予測区間は 2.4 万～6.3 万トン）であり、目標管理基準値案を上回る確率は 0%、限界管理基準値案を上回る確率は 78%と予測された。 β を 0.8 以下とした場合と比べて、管理期間 10 年間において親魚量が現在の水準や禁漁水準案を下回るリスクが高くなり、漁獲量の平均年変動も大きくなることが予測された（表 9）。

3. まとめ

本資源では、資源評価で推定された 1992～2022 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ない RI 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（9.2 万トン）とすることを提案する。限界管理基準値案は親魚量のこれまでの最小観測値（SBmin、3.1 万トン）、禁漁水準案には、標準値である SB0.1msy（0.4 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案以下にあると考えられる。SBmsy を維持する漁獲割合は 30%、漁獲圧は F2021-2023 の 0.67 倍である（表 3）。 β が標準値 0.8 であれば、10 年後、親魚量は目標管理基準値案を 91%の確率で上回り、 β が 0.9 以下であれば、今後も 50%以上の確率で MSY 水準に維持されると予測される。

4. 今後の検討事項

資源評価結果も含めた今後検討すべき課題として、令和 6 年度ゴマサバ対馬暖流系群の資源評価（依田ほか 印刷中）の補足資料 11 に記載した。

5. 引用文献

水産研究・教育機構 (2024a) 令和 6 (2024) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2024-ABCWG02-01, 水産研究・教育機構, 横浜, 23pp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-01.pdf

水産研究・教育機構 (2024b) 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-SA2024-ABCWG01-05, 水産研究・教育機構, 横浜, 15pp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG01-02.pdf

水産研究・教育機構(2024c) 再生産関係の決定に関するガイドライン. FRA-SA2024-ABCWG01-05, 水産研究・教育機構, 横浜, 49pp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG01-05.pdf

水産研究・教育機構 (2024d) 代替漁獲管理規則（代替ルール）を提案する際のガイドライン（令和 6 年度）. FRA-SA2024-ABCWG02-06, 水産研究・教育機構, 横浜, XXpp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-06.pdf

依田真里・向草世香・藤波裕樹・国松翔太 (2024) 令和 6 (2024) 年度ゴマサバ対馬暖流系群の資源評価. 令和 6 (2024) 年度我が国周辺水域の漁業資源評価(魚種別系群別資源評価) (印刷中)

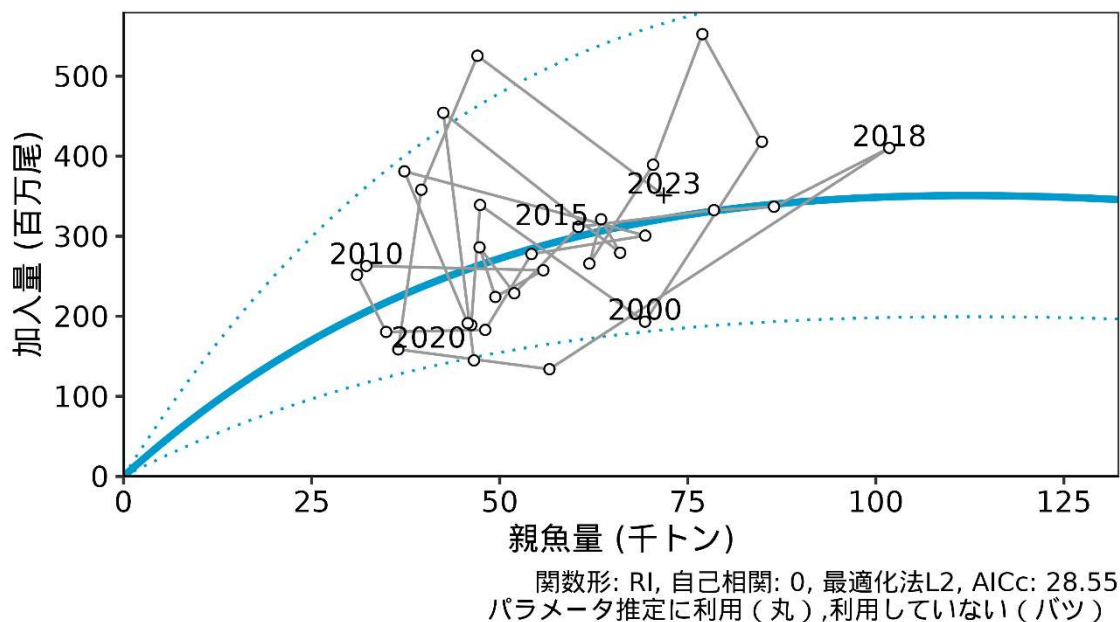


図1. 再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮しないリッカー (RI) 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。丸印は分析に使用した1992～2022年の親魚量と加入量を示す。図中の数字は加入群の年級(生まれ年)を示す。パラメータ推定の際は加入尾数の推定値に不確実性の高い2023年のデータを除いた。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。

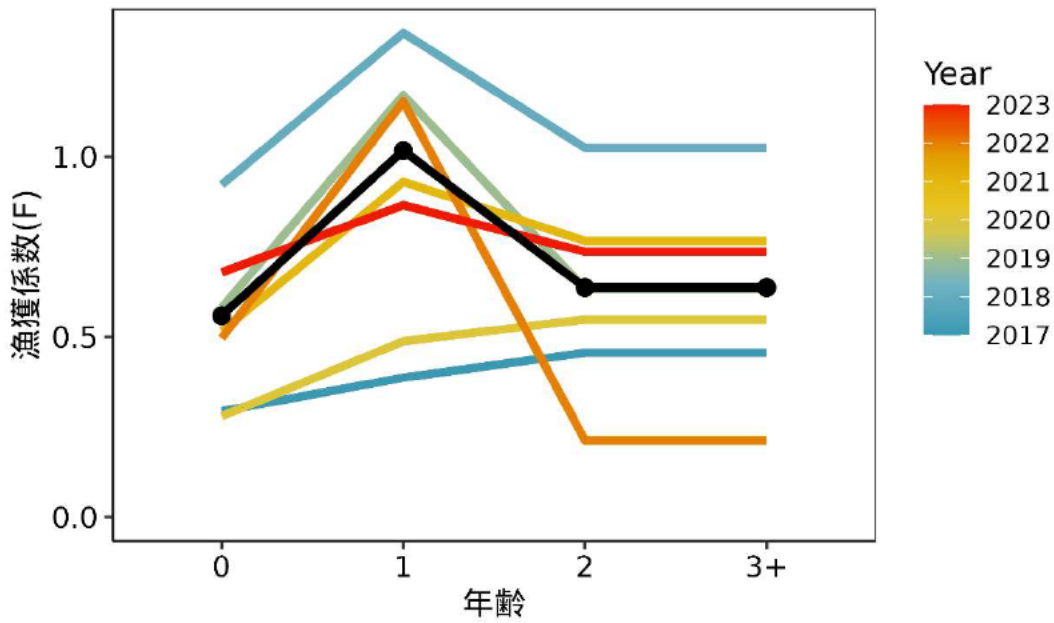


図2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

2017 年以降の各年の年齢別 F 値を示す。黒線は管理基準値を算出する選択率として用いた 2018～2022 年の F 値の平均である。

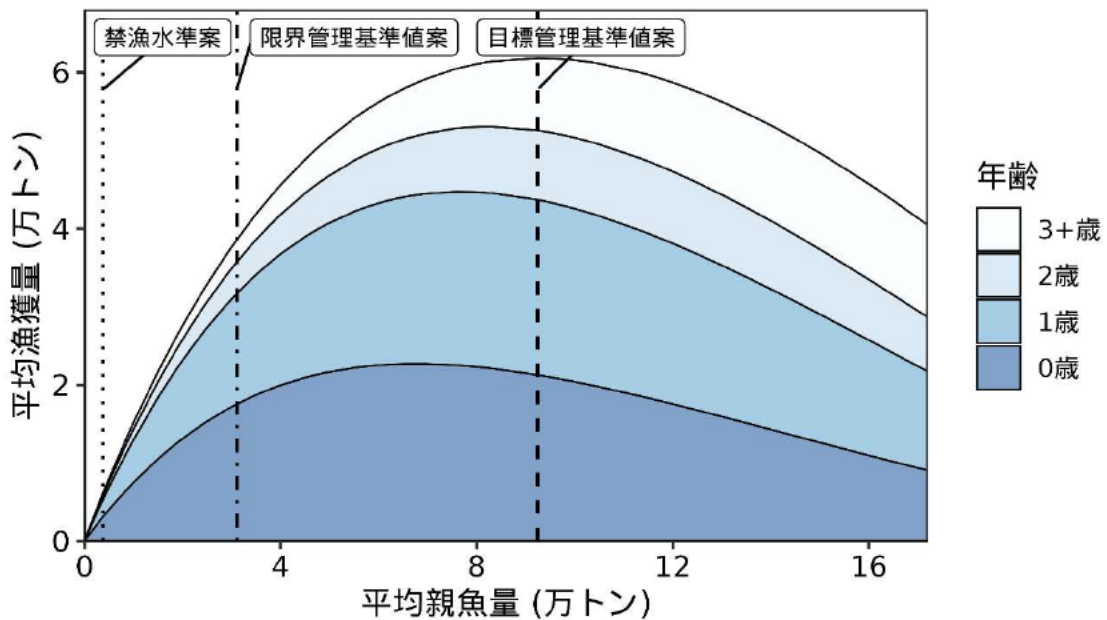


図3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

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。漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 24.6 万トンである。

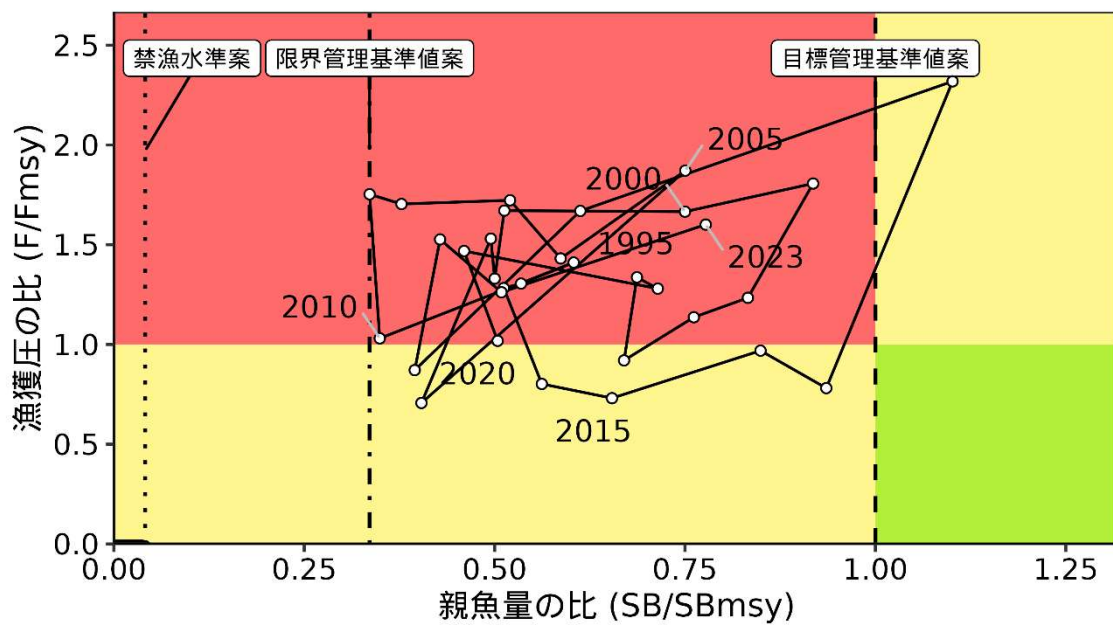
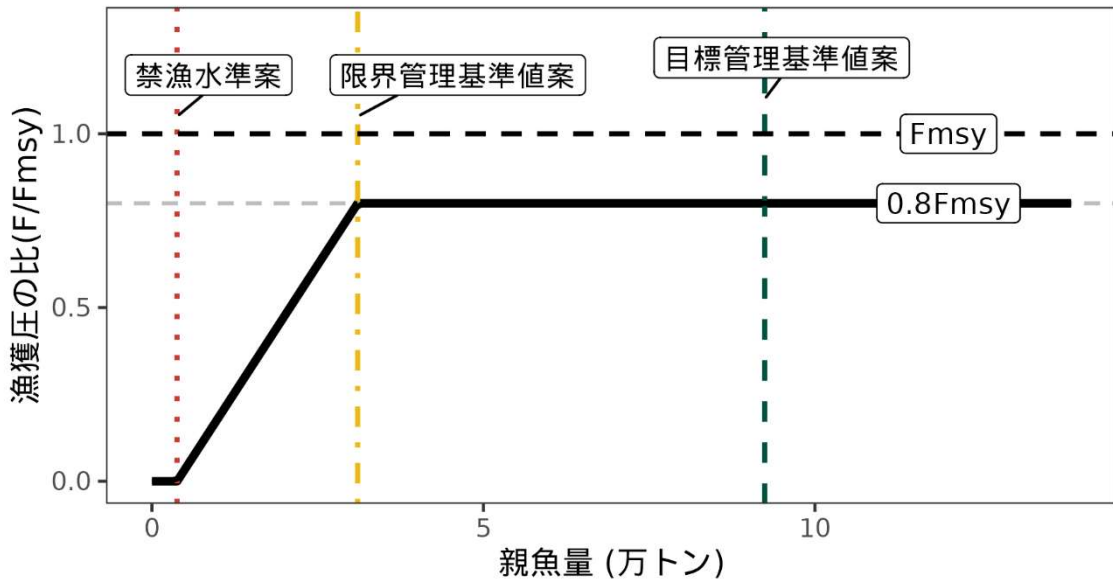


図 4. 神戸プロット

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 SB_{msy} 、 SB_{min} 、 $SB_{0.1msy}$ 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

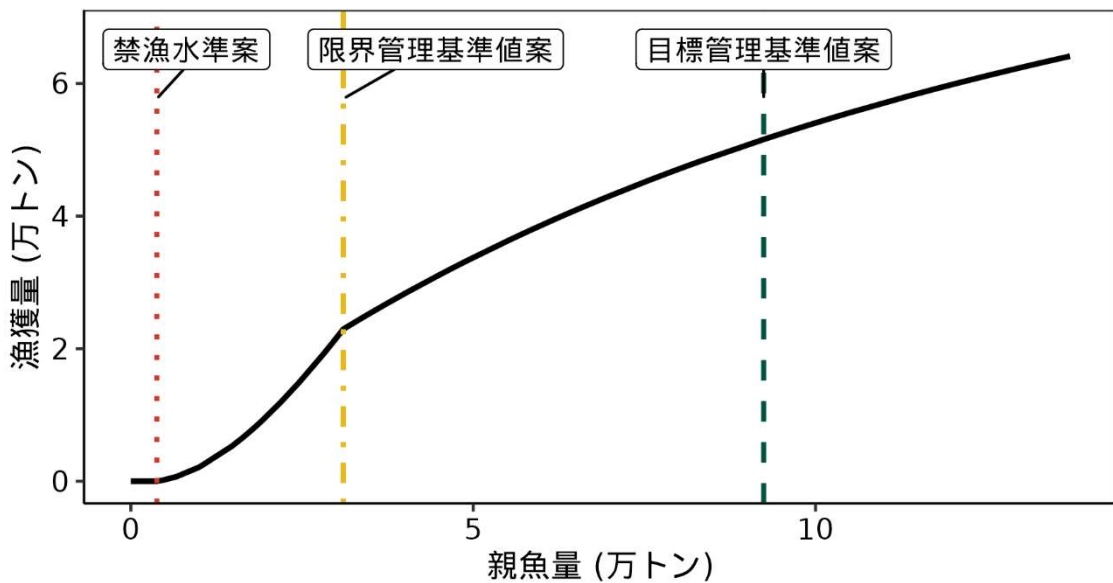


図 5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案はリッカー型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、それぞれ標準値を用いている。調整係数 β には 0.8 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は漁獲管理規則案、赤点線は禁漁水準案、黄一点鎖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。

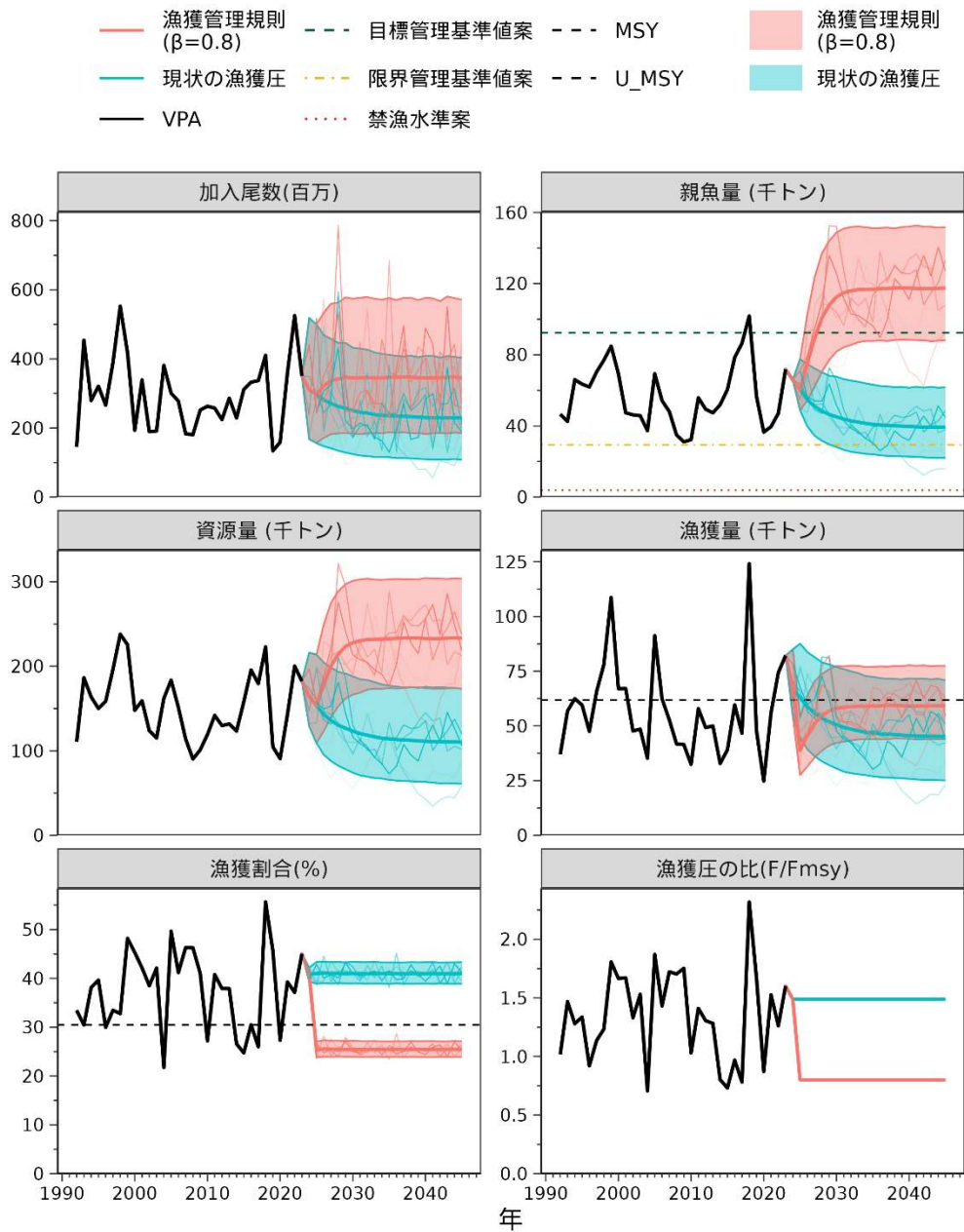


図 6. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（青色）の比較

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、黄一点鎖線は限界管理基準値案、赤点線は禁漁水準案を示す。漁獲量の図の黒破線は最大持続生産量 MSY を、漁獲割合の図の黒破線は目標管理基準値案を維持する漁獲割合の水準 (Umsy) を示す。2024 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2021-2023) により仮定し、2025 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と選択した再生産関係のパラメータ推定値

a) 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	無	30.6	2.85	5
リッカー(RI)	最小二乗法	無	28.5	0.77	2
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	無	27.8	0.00	1
ホッケー・スティック(HS)	最小絶対値法	無	33.1	5.30	6
リッカー(RI)	最小絶対値法	無	30.3	2.57	4
ベバートン・ホルト(BH)	最小絶対値法	無	29.9	2.12	3

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。

b) 選択した再生産関係のパラメータ推定値

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
リッカー型	最小二乗法	無	0.00850	8.92E-6	0.343	-

a と b はリッカー型再生産関係のパラメータ。S.D. は加入のばらつきをあらわす指標（対数残差の標準偏差）、 ρ は自己相関係数である。

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と Fmsy

年齢	選択率	Fmsy	F2021-2023	平均 体重 (g)	自然 死亡 係数	成熟 割合
0 歳	0.55	0.36	0.54	247	0.4	0
1 歳	1.00	0.66	0.98	350	0.4	0.6
2 歳	0.63	0.41	0.62	568	0.4	0.85
3 歳以上	0.63	0.41	0.62	752	0.4	1.00

選択率は 2018～2022 年の平均漁獲圧のものを用いた。自然死亡係数、平均重量は 2018～2022 年の平均である。現状の漁獲圧 (F2021-2023) は、上記の選択率の下で、2021～2023 年の年齢別の平均 F と同じ漁獲圧を与える F 値を換算して算出した。

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、現状の漁獲圧に対する努力量の比の関係、および SBmsy を維持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 (万トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (万トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBmsy	9.2	0.376	6.2	26.0	0.30	0.67
限界管理基準値案	SBmin	3.1	0.126	3.9	15.0	0.42	1.05
禁漁水準案	SB0.1msy	0.4	0.015	0.6	11.8	0.48	1.28
SBmsy を維持する 漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3+歳,) =(0.36, 0.66, 0.41, 0.41)					

表 4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	0	1	6	15	25	32	37	41	43	44	44	45
0.9			8	26	43	55	62	67	69	71	72	72
0.8			12	40	63	76	84	87	89	90	91	91
0.7			18	56	80	92	96	97	98	98	98	98
0.6			24	71	92	98	99	100	100	100	100	100
0.5			33	83	97	100	100	100	100	100	100	100
0.4			41	92	99	100	100	100	100	100	100	100
0.3			50	96	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2			60	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1			70	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			78	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧					0	0	0	0	0	0	0	0

β を 0.0～1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2021-2023) から予測される 6.7 万トンとし、2025 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 (F2021-2023、 $\beta = 1.49$ に相当) 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	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
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
0.8			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧					100	98	96	93	90	87	84	82

β を 0.0～1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2021-2023) から予測される 6.7 万トンとし、2025 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 (F2021-2023、 $\beta = 1.49$ に相当) 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	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		
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	
0.8			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.7			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.6			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.5			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.4			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.3			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.2			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.1			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
現状の漁獲圧					100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

β を 0.0～1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2021-2023) から予測される 6.7 万トンとし、2025 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 (F2021-2023、 $\beta = 1.49$ に相当) 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 (万トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		
1.0	6.6	6.1	6.8	7.6	8.2	8.6	8.8	9.0	9.1	9.1	9.2	9.2		
0.9			7.2	8.3	9.1	9.6	10.0	10.2	10.3	10.4	10.4	10.4		
0.8			7.5	9.0	10.1	10.8	11.3	11.5	11.6	11.7	11.7	11.7		
0.7			7.9	9.7	11.2	12.1	12.6	12.9	13.0	13.0	13.0	13.0		
0.6			8.3	10.6	12.4	13.5	14.1	14.4	14.4	14.5	14.4	14.4		
0.5			8.7	11.5	13.7	15.0	15.7	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9		
0.4			9.1	12.4	15.1	16.7	17.4	17.6	17.5	17.5	17.4	17.4		
0.3			9.5	13.5	16.7	18.6	19.3	19.3	19.2	19.1	19.0	19.0		
0.2			10.0	14.7	18.5	20.6	21.3	21.2	20.9	20.8	20.7	20.7		
0.1			10.5	15.9	20.5	22.9	23.5	23.2	22.7	22.5	22.5	22.5		
0.0			11.0	17.3	22.6	25.4	25.9	25.3	24.7	24.4	24.3	24.4		
現状の漁獲圧					5.5	5.1	4.8	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	4.1

β を 0.0～1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2021-2023) から予測される 6.7 万トンとし、2025 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 (F2021-2023、 $\beta = 1.49$ に相当) 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（万トン）

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	6.7	4.7	5.1	5.5	5.7	5.9	6.0	6.1	6.1	6.1	6.1	6.2
0.9		4.3	4.9	5.3	5.6	5.9	6.0	6.0	6.1	6.1	6.1	6.1
0.8		3.9	4.6	5.1	5.5	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9
0.7		3.5	4.2	4.8	5.2	5.4	5.5	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
0.6		3.0	3.8	4.4	4.8	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
0.5		2.6	3.4	4.0	4.3	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
0.4		2.1	2.9	3.4	3.7	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
0.3		1.6	2.3	2.8	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
0.2		1.1	1.6	2.0	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
0.1		0.6	0.8	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
0.0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
現状の漁獲圧			6.3	5.9	5.6	5.3	5.2	5.1	4.9	4.9	4.8	4.7

β を 0.0～1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年の漁獲量は現状の漁獲圧（F2021-2023）から予測される 6.7 万トンとし、2025 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（F2021-2023、 $\beta = 1.49$ に相当）で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 9. 将来予測結果のまとめとリスク評価

β	親魚量が目標 管理基準値案 を上回る確率		平均親魚量 (万トン)		平均漁獲量 (万トン)			リスク(10年間に 1度でも起きる確 率)		管理期間 10年間で 予測される 漁獲量の 平均年変動(AAV)
	5年後	10年 後	5年後	10年 後	1年目	5年後	10年 後	親魚量 が限界 管理基 準値案 を下回 る	親魚量 が禁漁 水準案 を下回 る	
	2030 年	2035 年	2030 年	2035 年	2025 年	2030 年	2035 年			
1.0	37%	45%	8.8	9.2	4.7	6.1	6.2	0%	0%	12%
0.9	62%	72%	10.0	10.4	4.3	6.0	6.1	0%	0%	12%
0.8	84%	91%	11.3	11.7	3.9	5.8	5.9	0%	0%	12%
0.7	96%	98%	12.6	13.0	3.5	5.6	5.6	0%	0%	13%
0.6	99%	100%	14.1	14.4	3.0	5.1	5.2	0%	0%	13%
0.5	100%	100%	15.7	15.9	2.6	4.6	4.6	0%	0%	13%
0.4	100%	100%	17.4	17.4	2.1	3.9	3.9	0%	0%	13%
0.3	100%	100%	19.3	19.0	1.6	3.1	3.1	0%	0%	13%
0.2	100%	100%	21.3	20.7	1.1	2.2	2.2	0%	0%	14%
0.1	100%	100%	23.5	22.5	0.6	1.2	1.2	0%	0%	14%
0.0	100%	100%	25.9	24.4	0	0	0	0%	0%	NA
現状 の漁 獲圧	0%	0%	4.5	4.1	6.3	5.1	4.7	0%	0%	32%

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（1年目）の 2025 年の値と、5年間および 10年間管理を行った後の値（2030年および 2035年）を示した。比較のため、現状の漁獲圧（F2021-2023、 $\beta = 1.49$ に相当）で漁獲を続けた場合の結果も示した。

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 (本系群の場合は A_{min} は 0 歳) 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。

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 1992~2022 年の加入量・親魚量のデータに当てはめた (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-SA2024-ABCWG02-04)」 (水産研究・教育機構 2024) を参照)。この場合、残差の正規性を仮定したほうが妥当であるため、最適化法には最小二乗法を用いた。推定された再生産関係式のパラメータを補足表 1-1 に示す。RI 型および BH 型を仮定した場合は、HS 型を仮定した場合と比べて親魚量が少ない場合にやや高い加入量が予測された (補足図 1-1)。

RI 型再生産関係式を最小二乗法により当てはめた場合の残差トレンドと自己相関プロットを補足図 1-2 に示す。RI 型再生産関係を仮定した場合、自己相関プロットの信頼区間に概ね収まっており、本資源については自己相関を考慮する必要はないと考えられた。なお、残差の時系列に着目すると、再生産関係モデルに対する残差の正規性については、Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定により検討したが優位な逸脱は検出されなかった (表 1、補足図 1-3)。

自己相関を考慮しないモデルについて、RI 型再生産関係式を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により検討したところ、推定の頑健性に大きな問題はみられなかった (補足図 1-4 および 1-5)。パラメータ推定の信頼区間は残差ブートストラップにより検討した (補足図 1-6 および 1-7)。また、プロファイル尤度を補足図 1-8 に示した。これらの結果からは、パラメータ推定において特段の問題は認められず、最適解として推定されていると考えられた。

引用文献

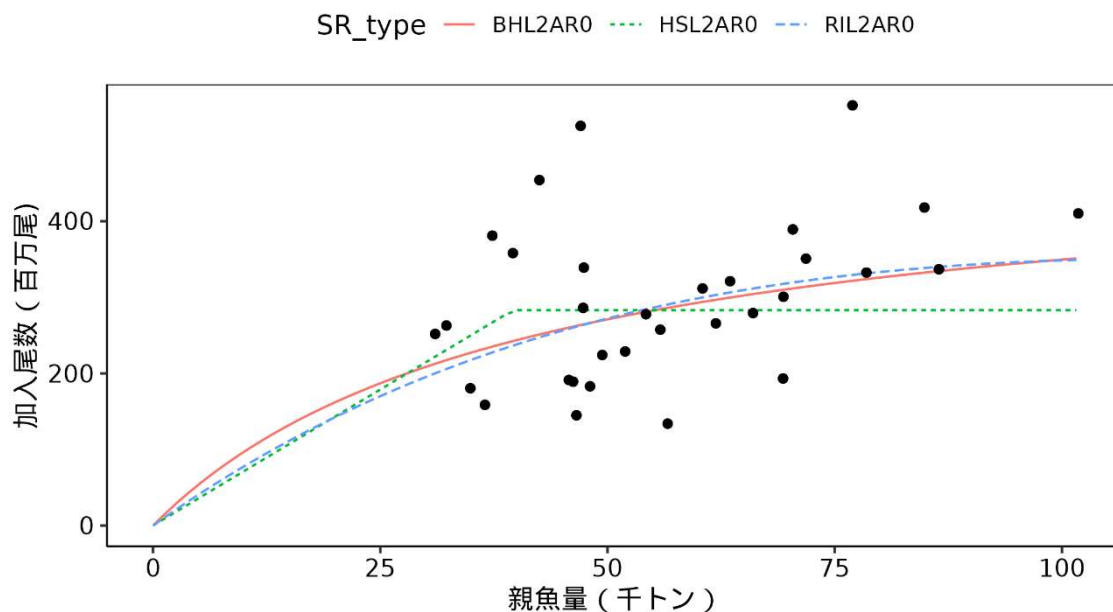
水産研究・教育機構 (2024) 令和 6 (2024) 年度 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来

予測シミュレーションに関する技術ノート. FRA-SA2024-ABCWG02-04.

Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957). On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.

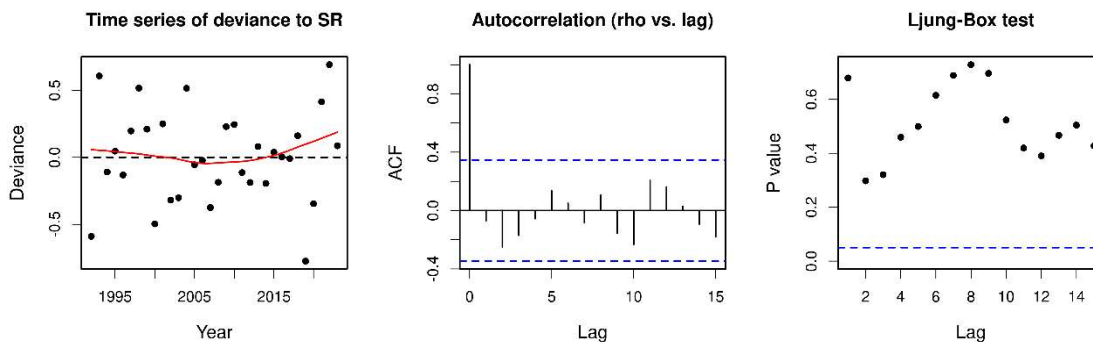
Clark C. W., A. T. Charles, J. R. Beddington, and M. Mangel (1985). Optimal capacity decisions in a developing fishery. Mar. Resour. Econ., **2**, 25-53.

Ricker W. E. (1954). Stock and recruitment. J. Fish. Res. Board Can., **11**, 559-623.

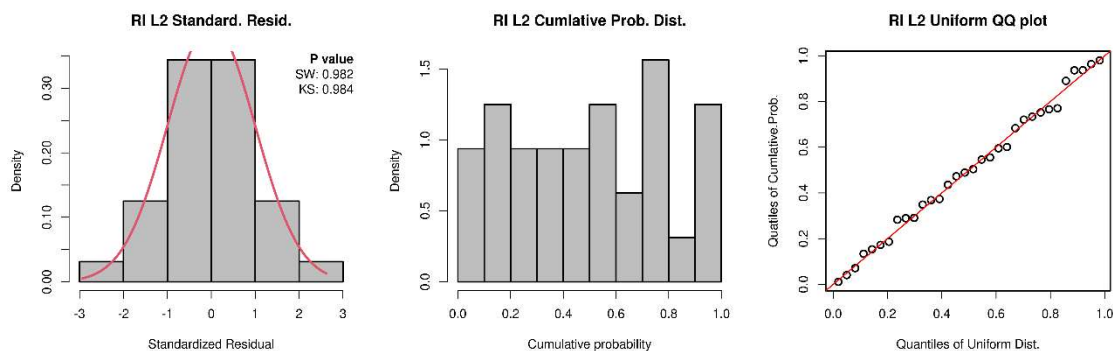


補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

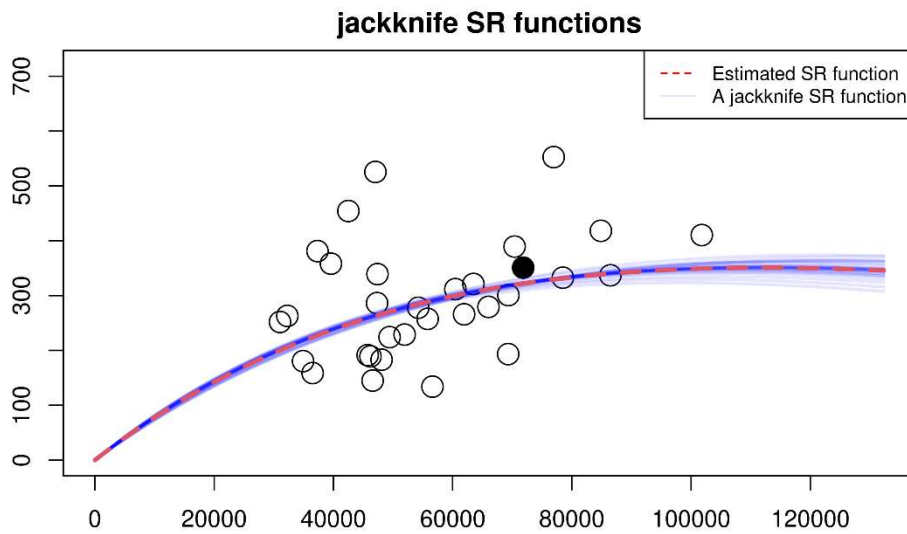
ホッケー・スティック型 (HS)、リッカー型 (RI)、ベバートン・ホルト型 (BH) の再生産関係式を、最小二乗法により当てはめた。黒丸は分析に使用した親魚量・加入尾数 (1992~2022 年) である。



補足図 1-2. 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）の青色の破線は 5%水準を表す。

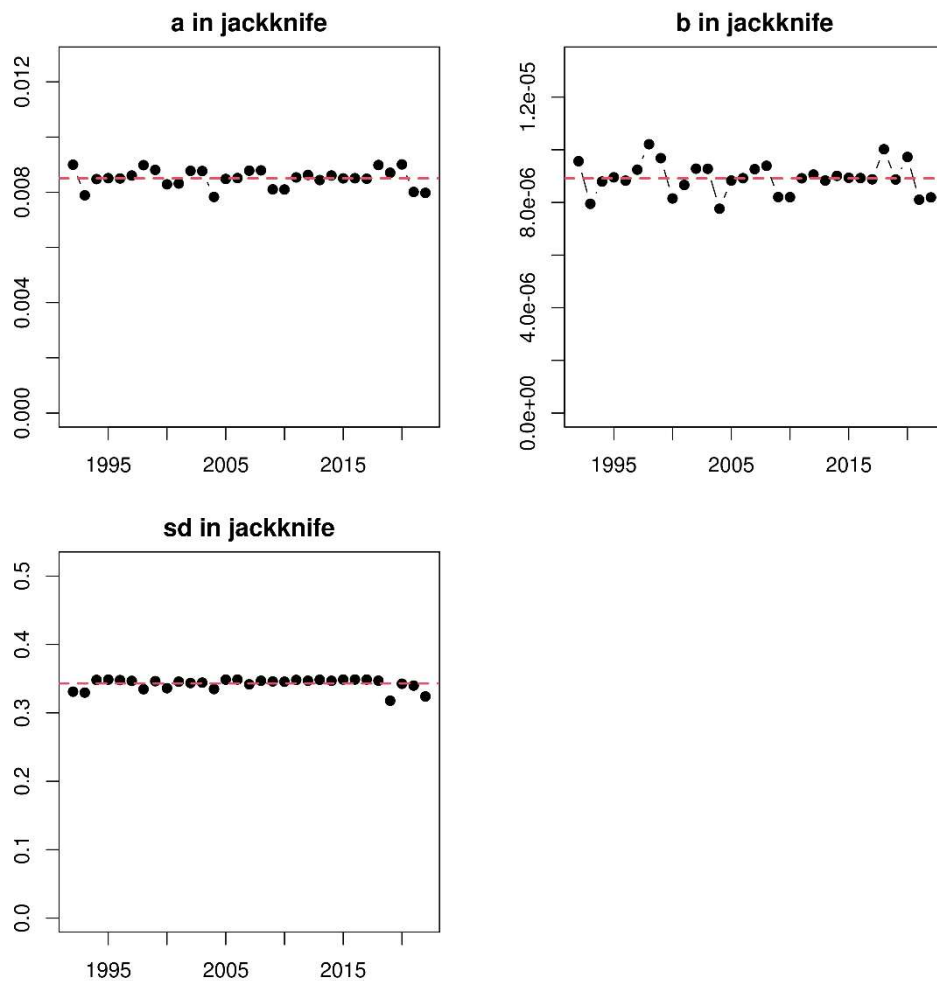


補足図 1-3. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）
 残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。

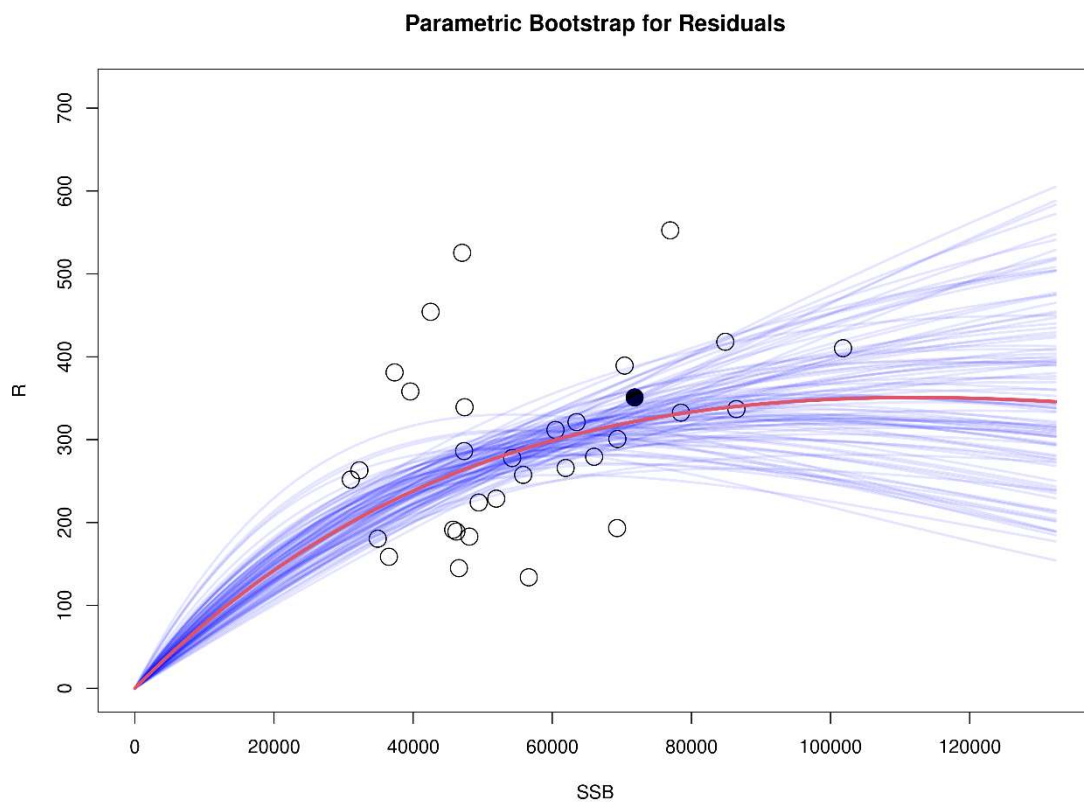


補足図 1-4. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果

赤破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、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2023年）を示す。

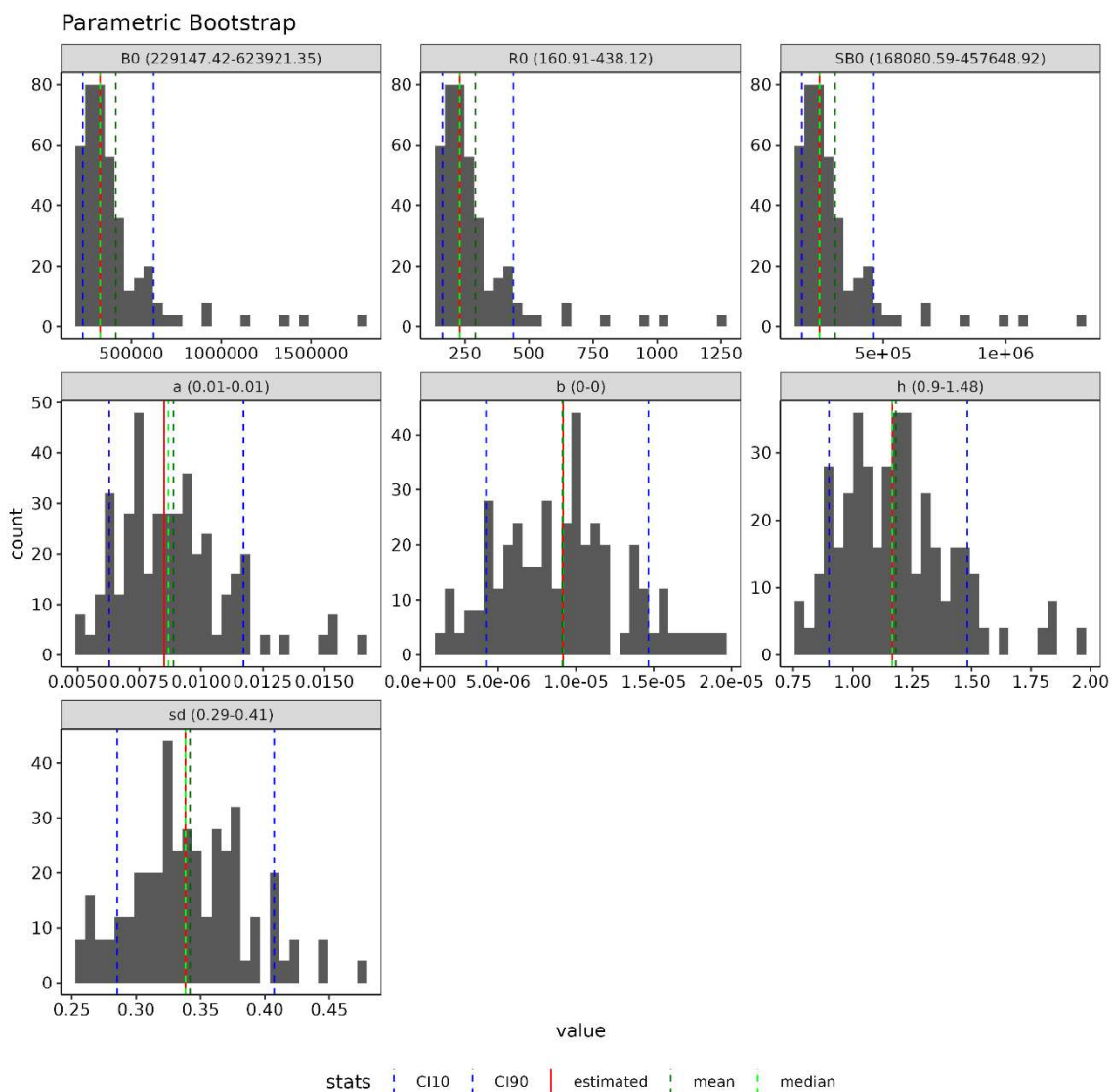


補足図 1-5. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

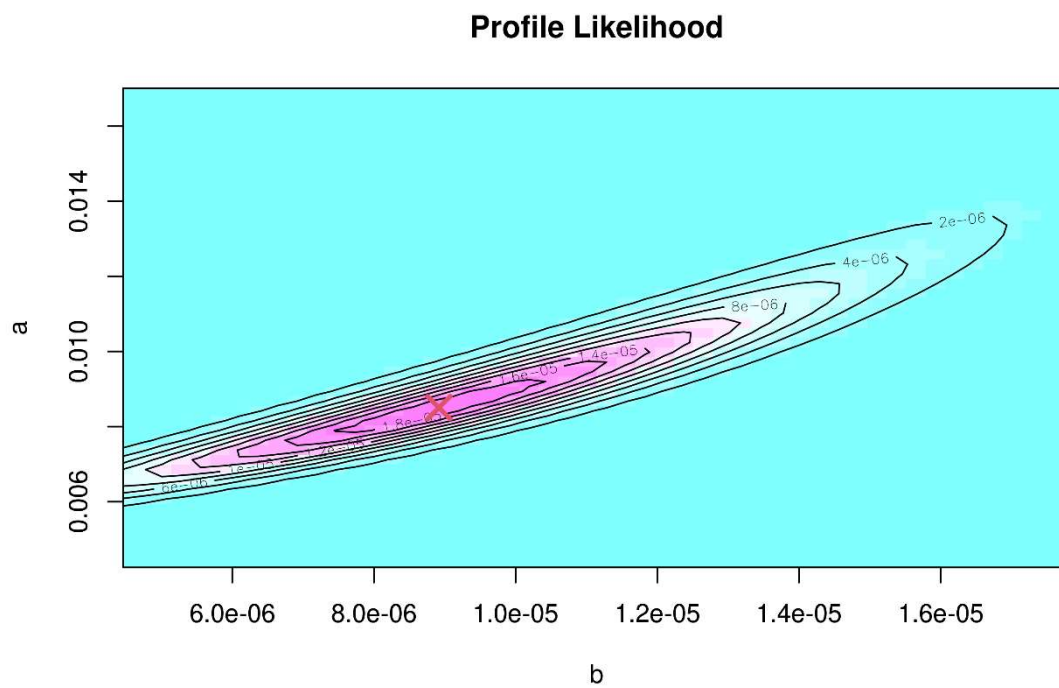


補足図 1-6. リッカー型再生産関係を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果

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（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、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2022年）を示す。



補足図 1-7. 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（緑破線）と 90%信頼区間（青破線）赤線はパラメータの点推定値である。



補足図 1-8. 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	R0	h	デー タ数
ホッケー・ スティック	L2* ¹	無	-	0.00715	3.96E+4	0.355	0	283	0.865	29
リッカー	L2	無	-	0.00850	8.92E-6	0.343	0	236	1.14	29
ベバートン・ ホルト	L2	無	-	0.0121	2.45E-5	0.339	0	453	0.757	29
ホッケー・ スティック	L1* ²	無	-	0.00494	8.30E+4	0.375	0	410	0.804	29
リッカー	L1	無	-	6.06E-3	4.56E-6	0.363	0	389	0.869	29
ベバートン・ ホルト	L1	無	-	9.61E-3	1.62E-5	0.340	0	535	0.713	29

*1 最小二乗法、*2 最小絶対値法

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。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。R0 は SB0 のときの平均加入尾数である。h（スティープネス）は再生産関係の密度補償効果の程度を示す指標であり、RI 型および BH 型の場合は 0.2SB0 のときの平均加入尾数を R0 で割った値、HS 型の場合は $1-SBhs/SB0$ （SBhs は HS の折れ点）となる値である。

補足資料 2 将来予測の方法

将来予測における各種設定には表 2 の値を用いた。資源尾数や漁獲量の予測は、統計ソフトウェア R (version 4.2.2) 用計算パッケージ frasyr (version 2.4.0.0) を用いて実施した。将来予測における加入量は、本資料において提案されたリッカー型再生産関係と年々推定される親魚量から求めた。

将来予測における漁獲係数 F は、「令和 6 (2024) 年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2024-ABCWG02-01)」(水産研究・教育機構 2024) における 1 系資源の管理規則に基づき算出される値を用いた。将来予測における選択率や漁獲物平均体重等の値は、MSY 管理基準値等の算出に用いた各種設定を用いた (表 2)。これらは再生産関係と同じく、令和 6 (2024) 年度の資源評価に基づく値であり、漁獲物平均体重はこの計算結果における 2018~2022 年の平均値である。

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法 ((1) - (3) 式) を用いた。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad (1)$$

$$N_{3+,y+1} = N_{3+,y} \exp(-F_{3+,y} - M) + N_{2,y} \exp(-F_{2,y} - M) \quad (2)$$

$$C_{a,y} = N_{a,y} \frac{F_{a,y}}{F_{a,y} + M_{a,y}} \{1 - \exp(-F_{a,y} - M)\} \quad (3)$$

親魚量が限界管理基準値未満である場合の漁獲率は、当年の親魚量に応じた係数を乗じて $\gamma(\text{SBt}) \times \beta \text{ Fmsy}$ として求めた。ここで $\gamma(\text{SBt})$ は「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」における 1 系資源の管理規則に基づき、(4) 式により計算された。

$$\gamma(\text{SBt}) = \frac{\text{SBt} - \text{SBban}}{\text{SBlimit} - \text{SBban}} \quad (4)$$

引用文献

- 水産研究・教育機構 (2024) 令和 6 (2024) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2024-ABCWG02-01, 水産研究・教育機構, 横浜, XXpp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-01.pdf
- 田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海区水産研究所研究報告, 28, 1-200.

補足資料 3 再生産関係式と MSY 管理基準値の違い

1) 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、AICc に基づき当てはまりが良いと判断された 3 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 型再生産関係、RI 型再生産関係、および BH 型再生産関係をそれぞれ最小二乗法で当てはめた場合である。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 管理基準値を補足表 3-1 に示す。参考として令和 5 年度まで採用していた管理基準値も示した。

補足表 3-1. 各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

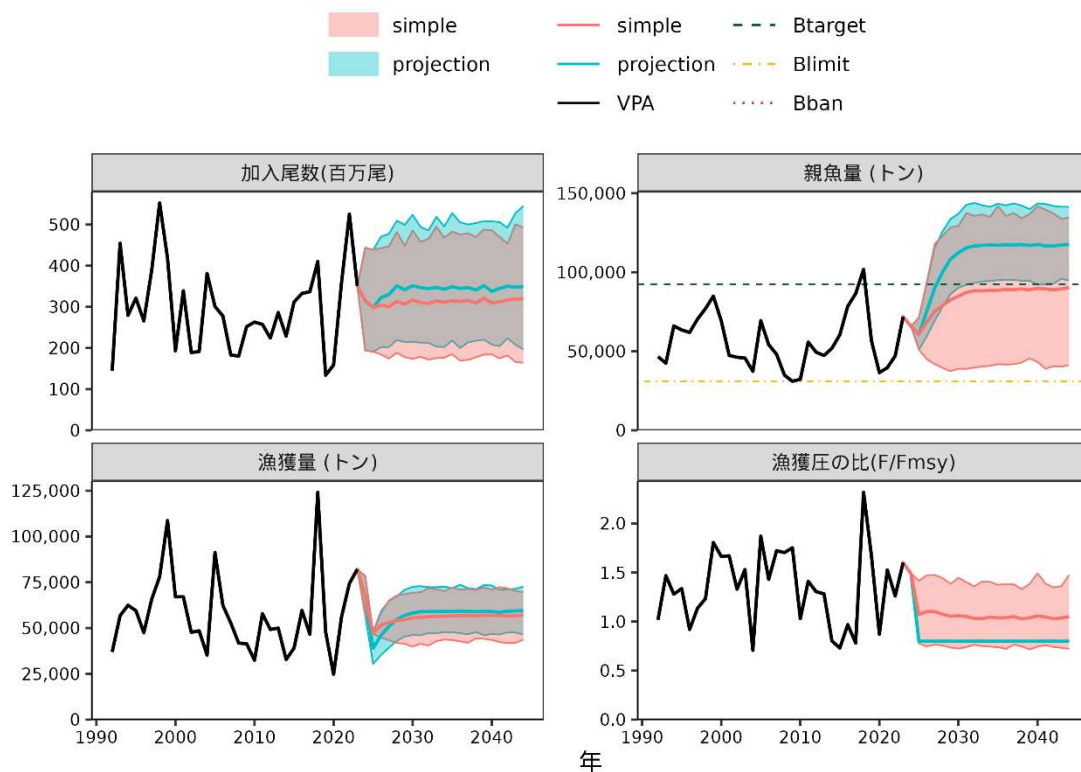
	HS 型 (最小二乗法)	RI 型 (最小二乗法)	BH 型 (最小二乗法)	HS 型 (最小絶対値法: 令和元年度に提案)
SBmsy	53,938 t	92,425 t	122,615 t	108,651 t
SB0.6msy	24,302 t	29,415 t	26,320 t	50,881 t
SB0.1msy	3,740 t	3,797 t	2,811 t	7,796 t
SBmin	-	31,039 t	-	-
MSY	54,641 t	61,837 t	63,197 t	76,437 t
Umsy	0.384	0.305	0.258	—
Fmsy/F2021-2023	0.913	0.671	0.547	—

RI 型や BH 型再生産関係を用いた場合、HS 型に比べて MSY 管理基準値 (SBmsy、SB0.6msy) は高い値となる。MSY 管理基準値 (SB0.1msy) は HS 型と RI 型は同程度だが、BH 型は低い値となる。また、RI 型や BH 型では、HS 型に比べると F2021-2023 に対する Fmsy の比は小さくなり、期待できる MSY は高くなる。

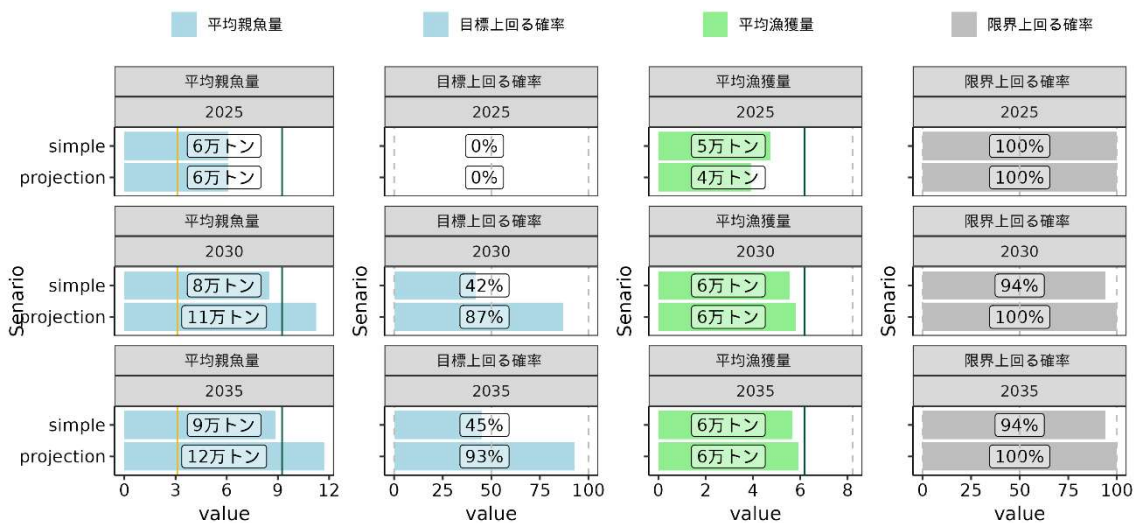
捕足資料 4 RI 型と HS 型の資源減少リスクの検討

HSL2 型の再生産関係は RI 型の再生産関係に比べ、 SB_{msy} は低く、 F_{msy} は高いなどの特徴があった（補足表 3-1）。そのため、HS 型の再生産関係を誤って適用した場合、漁獲可能量を過大に予測し、資源が減少するリスクが考えられた。そこで、簡易的な MSE により、①真の再生産関係が RI 型であるときに、HS 型の再生産関係を適用して管理した場合、②真の再生産関係が HS 型の再生産関係であるときに、RI 型の再生産関係を適用して管理した場合について、簡易的な MSE を行い資源減少のリスクを評価した。なお、MSE 実施時の β は 0.8 とし、RI 型で用いる限界管理基準値は過去に観測された最低親魚量とした。

①真の再生産関係が RI 型であるときに、HS 型の再生産関係を適用して管理した場合、HS 型の楽観的な管理基準値の影響で漁獲圧が高く、親魚量は RI 型で管理した場合よりも低い水準となった。漁獲量はやや低い水準となった。（補足図 4-1、4-2）。一方、②真の再生産関係が HS 型の再生産関係であるときに、RI 型の再生産関係を適用して管理した場合は、漁獲圧が低く、親魚量は高い水準で維持され、漁獲量はやや低い水準だった（補足図 4-3、4-4）。RI 型を誤って採用した場合でも、親魚量減少リスクおよび漁獲量の減少リスクは小さい。そのため、RI 型の再生産関係の適用が推奨される。

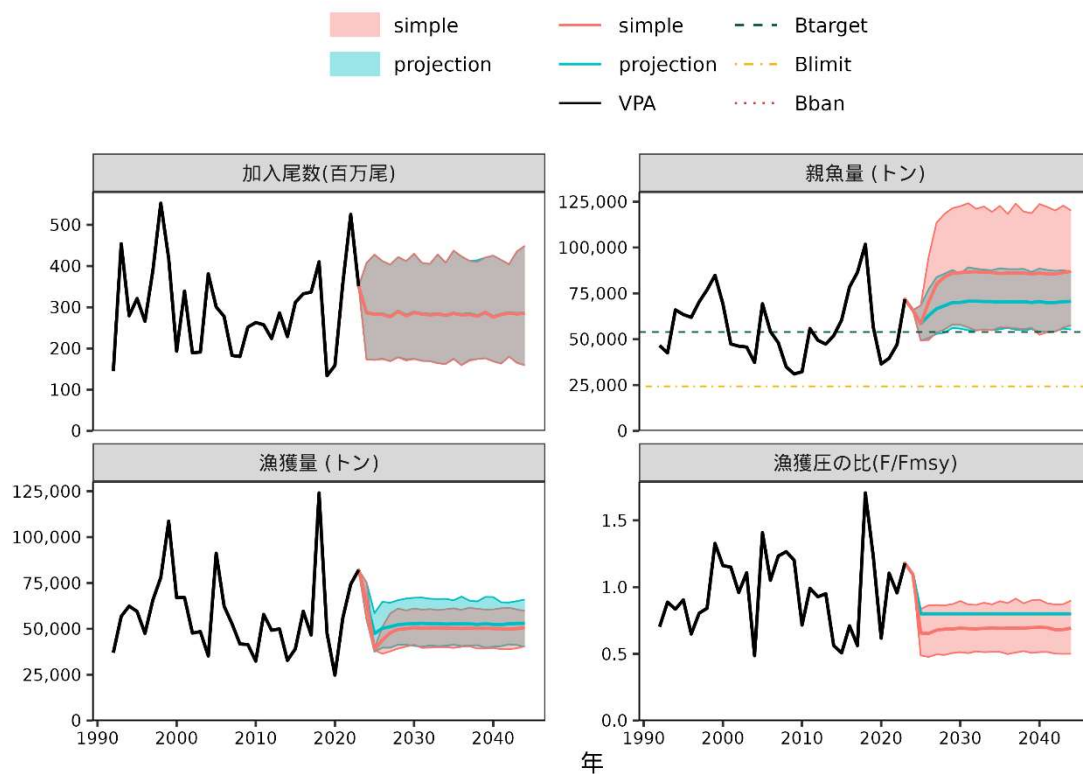


補足図 4-1. 真の再生産関係が RI 型であるときに、HS 型の再生産関係を適用した場合の加入尾数、親魚量、漁獲量、漁獲圧の比の将来予測
 目標管理基準値案、限界管理基準値案は真の再生産関係である RI 型の管理基準値案を示す。simple は真の再生産関係が RI 型であるときに、HS 型の再生産関係を適用した場合の将来予測、projection は真の再生産関係が RI 型であるときに、RI 型の再生産関係を適用した場合の将来予測。

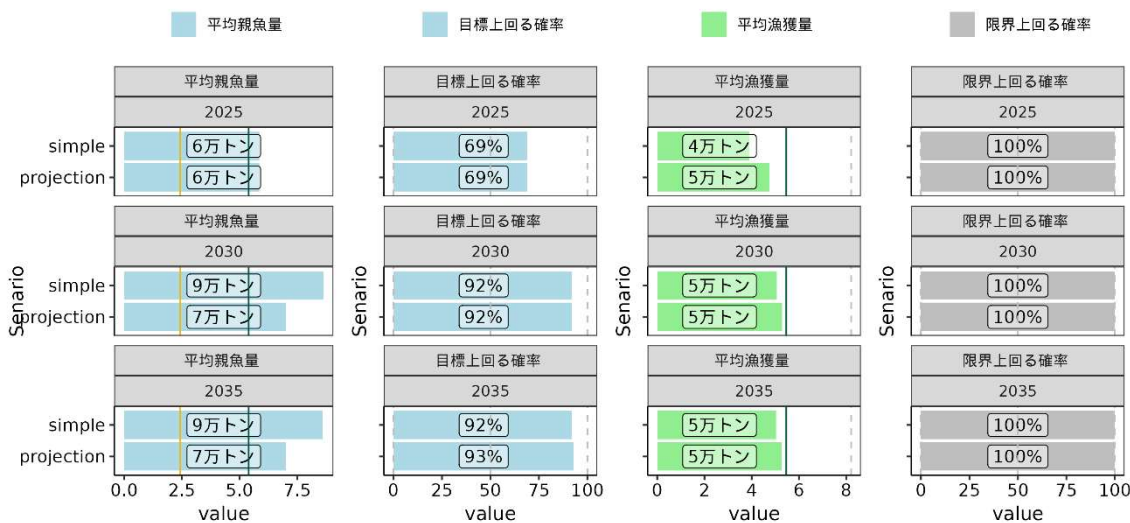


補足図 4-2. 真の再生産関係が RI 型であるときに、HS 型の再生産関係を適用した場合の 2025 年、2030 年、2035 年の平均親魚量、目標管理基準値案を上回る確率、平均漁獲量、限界管理基準値案を上回る確率

目標管理基準値案、限界管理基準値案は真の再生産関係である RI 型の管理基準値案を示す。simple は真の再生産関係が RI 型であるときに、HS 型の再生産関係を適用した場合の将来予測、projection は真の再生産関係が RI 型であるときに、RI 型の再生産関係を適用した場合の将来予測。



補足図 4-3. 真の再生産関係が HS 型であるときに、RI 型の再生産関係を適用した場合の加入尾数、親魚量、漁獲量、漁獲圧の比の将来予測
 目標管理基準値案、限界管理基準値案は真の再生産関係である HS 型の管理基準値案を示す。simple は真の再生産関係が HS 型であるときに、RI 型の再生産関係を適用した場合の将来予測、projection は真の再生産関係が HS 型であるときに、HS 型の再生産関係を適用した場合の将来予測。

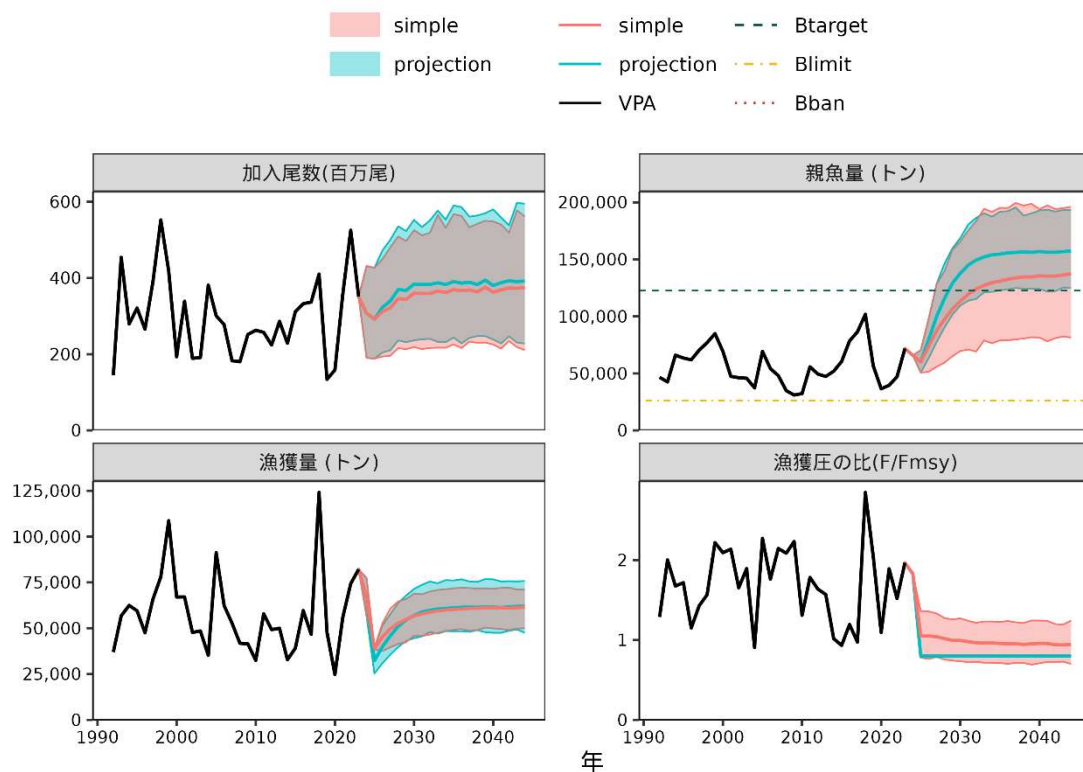


補足図 4-4. 真の再生産関係が HS 型であるときに、RI 型の再生産関係を適用した場合の加入尾数、親魚量、漁獲量、漁獲圧の比の将来予測
 目標管理基準値案、限界管理基準値案は真の再生産関係である HS 型の管理基準値案を示す。**simple** は真の再生産関係が HS 型であるときに、RI 型の再生産関係を適用した場合の将来予測、**projection** は真の再生産関係が HS 型であるときに、HS 型の再生産関係を適用した場合の将来予測。

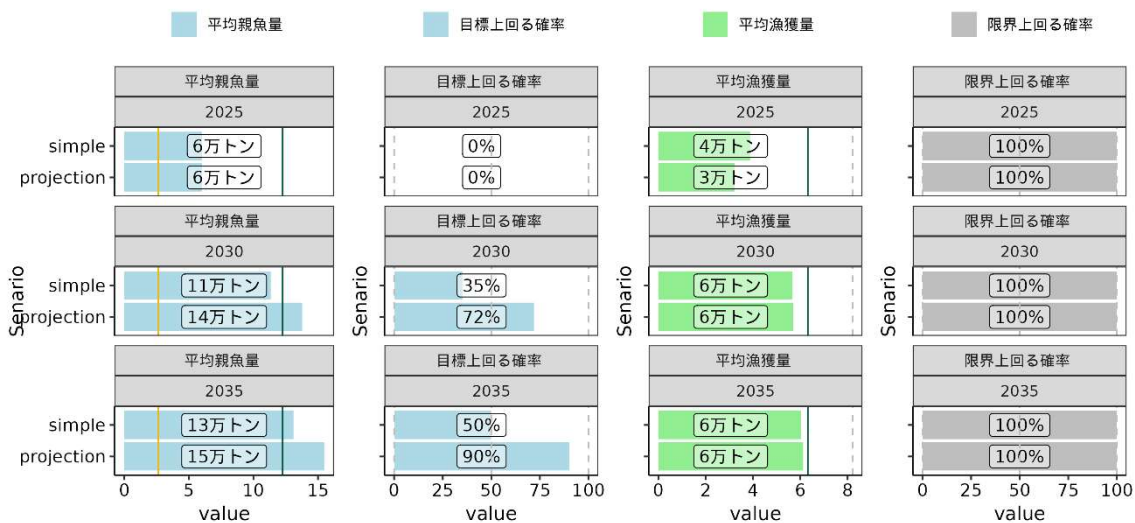
補足資料5 RI型とBH型の資源減少リスクの検討

BH型の再生産関係はRI型の再生産関係に比べ、 SB_{msy} は高く、 F_{msy} は低い（補足表3-1）。そのため、BH型の再生産関係を適用することは、漁獲可能量を過小に予測し、漁獲機会の喪失が生まれるリスクが考えられた。そこで、簡易的なMSEにより、①真の再生産関係がRI型であるときに、BH型の再生産関係を適用して管理した場合、②真の再生産関係がBH型の再生産関係であるときに、RI型の再生産関係を適用して管理した場合について、簡易的なMSEを行い漁獲量および資源減少のリスクを評価した。なお、MSE実施時の β は0.8とし、RI型で用いる限界管理基準値は過去に観測された最低親魚量とした。

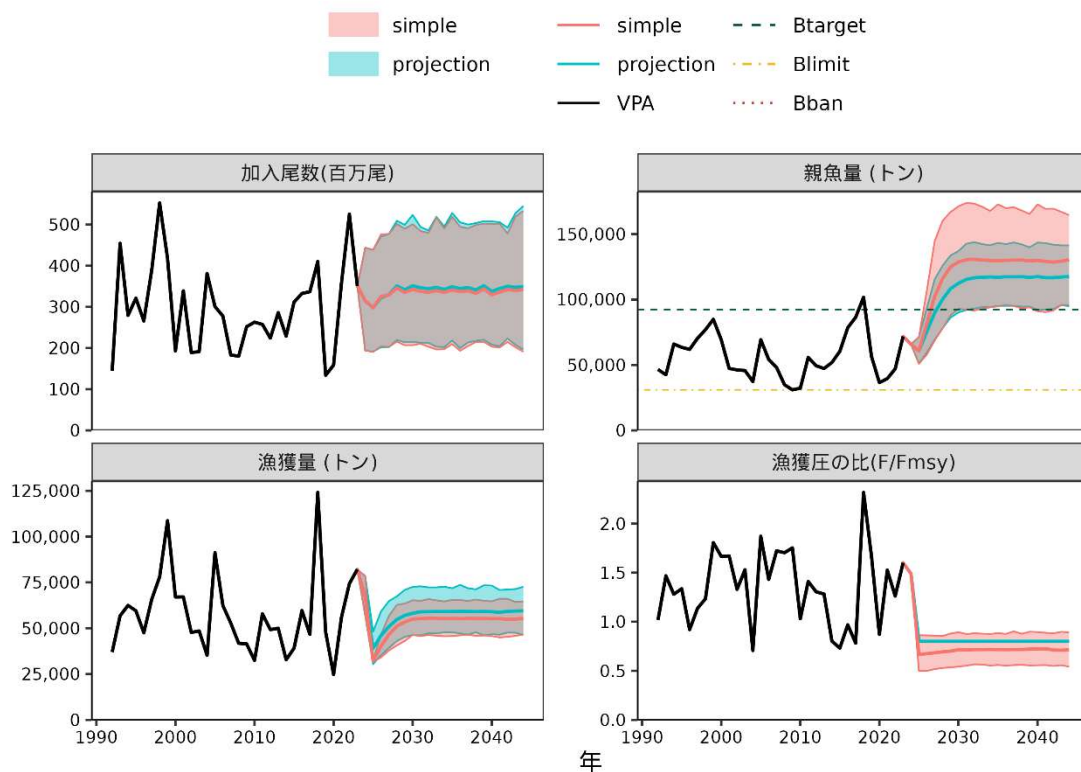
①真の再生産関係がBH型であるときに、RI型の再生産関係を適用して管理した場合、②真の再生産関係がRI型の再生産関係であるときに、BH型の再生産関係を適用した場合のどちらも親魚量は高い水準で維持される予測となった（補足図5-1、5-3）。2035年における平均親魚量の予測値を①と②のシナリオで比較すると、①真の再生産関係がBH型の再生産関係であるときに、RI型の再生産関係を適用して管理した場合の方が、平均親魚量の予測値が約2万トン下回る予測となったものの、いずれも目標管理基準値を上回る結果となった（補足図5-1、5-2）。BH型もRI型も誤って採用した場合に、親魚量減少リスクは小さい。また、①と②のシナリオにおける2035年の平均漁獲量の差は小さかったものの、BH型を誤って採用した場合には平均的漁獲量がやや減少するため（補足図5-4）、RI型の再生産関係の適用が推奨される。



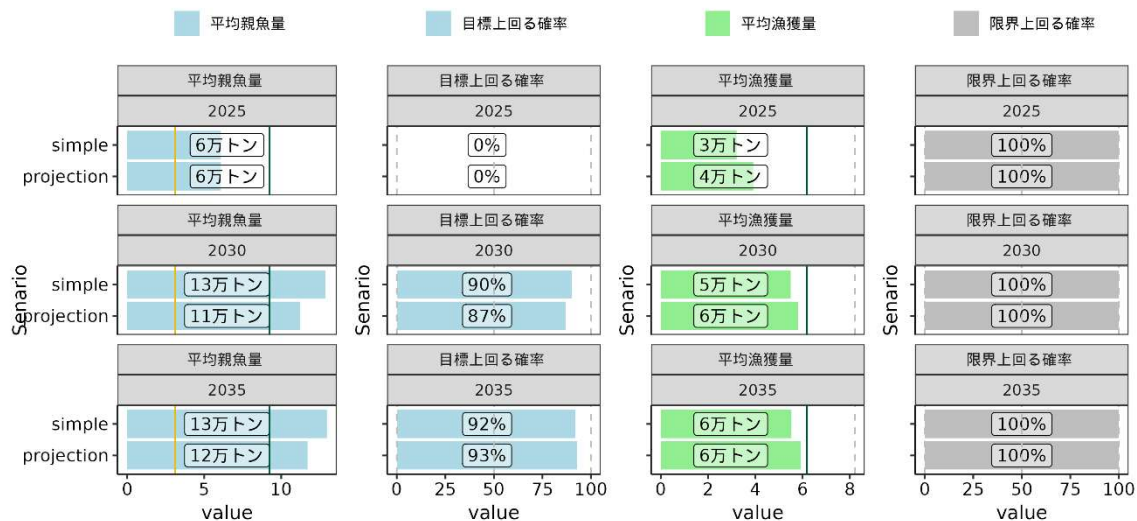
補足図 5-1. 真の再生産関係が BH 型であるときに、RI 型の再生産関係を適用した場合の加入尾数、親魚量、漁獲量、漁獲圧の比の将来予測
 目標管理基準値案、限界管理基準値案は真の再生産関係である BH 型の管理基準値案を示す。simple は真の再生産関係が BH 型であるときに、RI 型の再生産関係を適用した場合の将来予測、projection は真の再生産関係が BH 型であるときに、BH 型の再生産関係を適用した場合の将来予測。



補足図 5-2. 真の再生産関係が BH 型であるときに、RI 型の再生産関係を適用した場合の 2025 年、2030 年、2035 年の平均親魚量、目標管理基準値案を上回る確率、平均漁獲量、限界管理基準値案を上回る確率
 目標管理基準値案、限界管理基準値案は真の再生産関係である BH 型の管理基準値案を示す。simple は真の再生産関係が BH 型であるときに、RI 型の再生産関係を適用した場合の将来予測、projection は真の再生産関係が BH 型であるときに、BH 型の再生産関係を適用した場合の将来予測。



補足図 5-3. 真の再生産関係が RI 型であるときに、BH 型の再生産関係を適用した場合の加入尾数、親魚量、漁獲量、漁獲圧の比の将来予測
 目標管理基準値案、限界管理基準値案は真の再生産関係である RI 型の管理基準値案を示す。simple は真の再生産関係が RI 型であるときに、BH 型の再生産関係を適用した場合の将来予測、projection は真の再生産関係が RI 型であるときに、RI 型の再生産関係を適用した場合の将来予測。



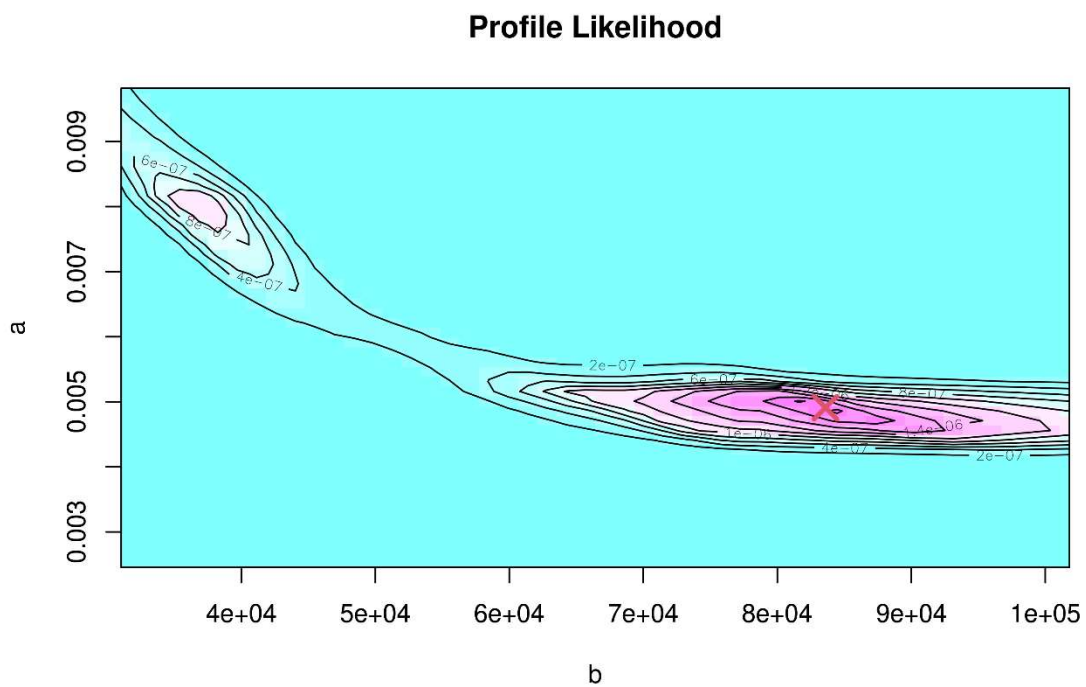
補足図 5-4. 真の再生産関係が RI 型であるときに、BH 型の再生産関係を適用した場合の加入尾数、親魚量、漁獲量、漁獲圧の比の将来予測
 目標管理基準値案、限界管理基準値案は真の再生産関係である RI 型の管理基準値案を示す。
 simple は真の再生産関係が RI 型であるときに、BH 型の再生産関係を適用した場合の将来予測、
 projection は真の再生産関係が RI 型であるときに、RI 型の再生産関係を適用した場合の将来予測。

補足資料 6 令和 5 年度まで使用していた再生産関係式（HS 型最小絶対値法）の検討

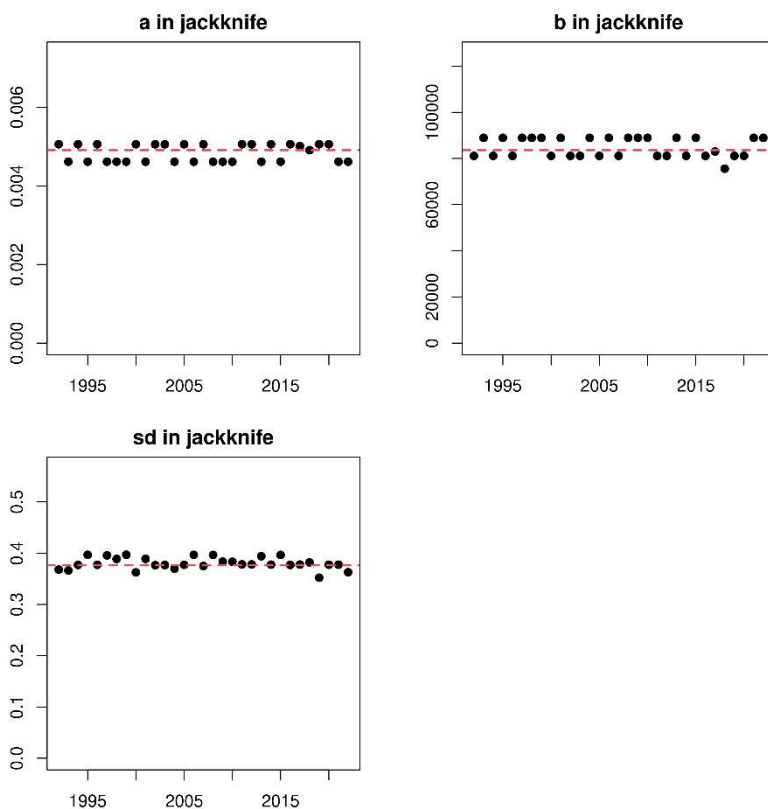
HS 型の再生産関係式では、最適化手法が最小絶対値法か、最小二乗法かによって管理目標値が大きく異なった。このため、令和元年度の資源評価時点では過去に観察された親魚量以下でより少ない加入量が得られる、保守的な HS 型最小絶対値法の再生産関係式が採用された経緯がある。今年度新たな情報を加えて再計算したところ、令和元年度に提案された管理基準値との差は大きくなかった（補足表 6-1）。一方で、HS 型最小絶対値法で推定した場合には、最大尤度を持つパラメータが複数推定され、その幅が比較的大きかった（補足図 6-1、6-2、6-3）。このため、管理基準値を定めるには不確実性が大きいと判断し、再生産関係式の見直しを行った。

補足表 6-1. 令和元年度に提案した再生産関係式に基づく管理基準値の比較

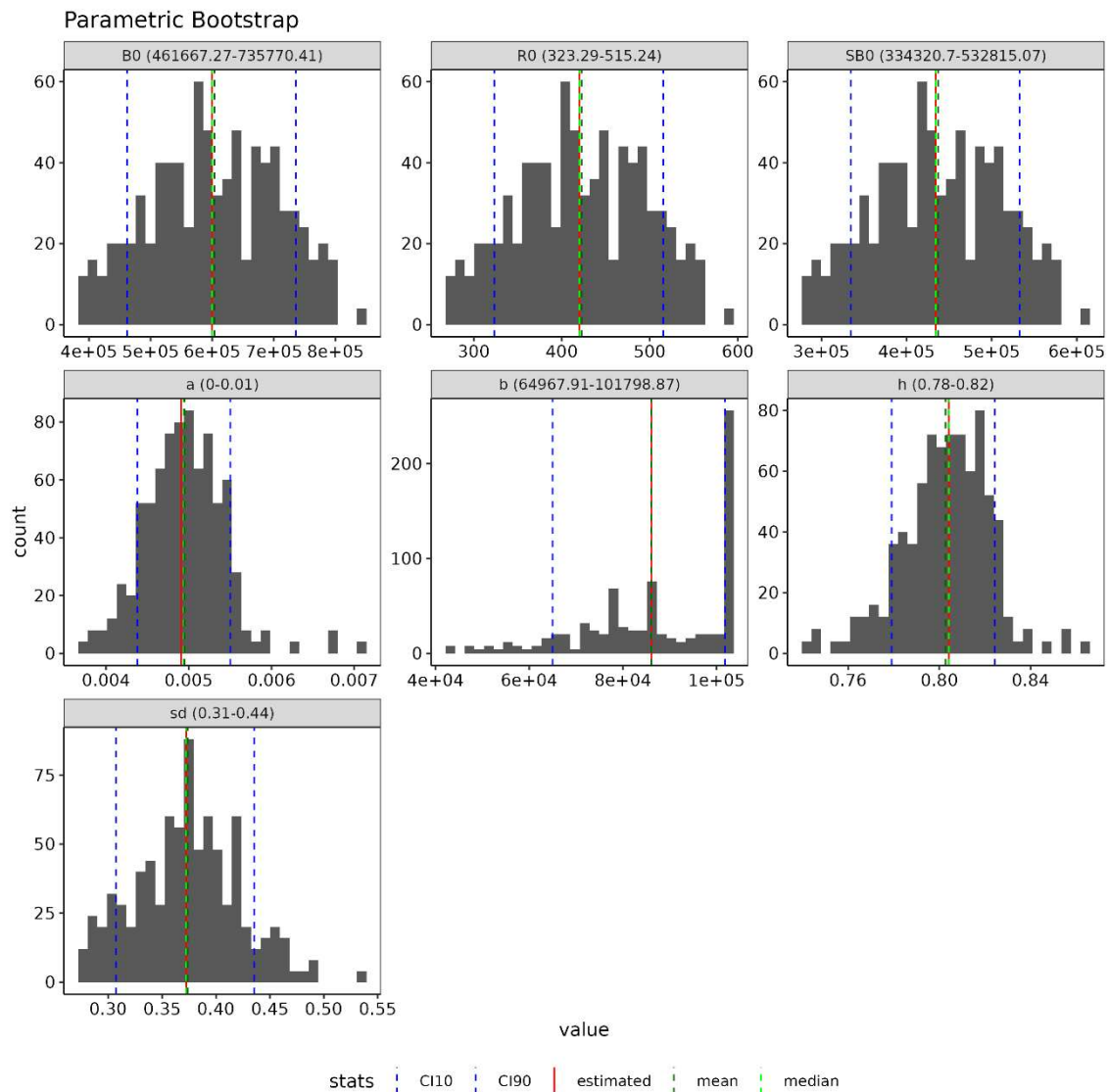
	HS 型 (最小絶対値法: 令和年度に提案)	HS 型 (最小絶対値法: 今年度再計算)
SBmsy	10.9 万トン	11.0 万トン
SB0.6msy	5.1 万トン	5.1 万トン
SB0.1msy	0.8 万トン	0.8 万トン
MSY	7.6 万トン	7.4 万トン



補足図 6-1. ホッケースティック型再生産関係式を最小絶対値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 6-2. ホッケースティック型再生産関係式を最小絶対値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 6-3. ホッケースティック型再生産関係式を最小絶対値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 90%信頼区間（青線）赤線はパラメータの点推定値である。