

令和 6（2024）年度スルメイカ冬季発生系群の 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（岡本 俊・宮原寿恵・松井 萌）

参画機関：北海道立総合研究機構釧路水産試験場、北海道立総合研究機構函館水産試験場、青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産資源研究所、茨城県水産試験場、千葉県水産総合研究センター、神奈川県水産技術センター、静岡県水産技術研究所、三重県水産研究所、和歌山県水産試験場、高知県水産試験場、佐賀県玄海水産振興センター、長崎県総合水産試験場、富山県農林水産総合技術センター、漁業情報サービスセンター、海洋生物環境研究所

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
ベバートン・ホルト型	最小絶対値法	無	0.1300	0.0017	0.4294	-

a と b (1/億尾) は再生産関係のパラメータであり、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	25.5 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	14.5 万トン	限界管理基準値案。MSY の 85%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.85msy)
SBban 案	1.6 万トン	禁漁水準案。MSY の 15%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.15msy)
Fmsy	0.35	SBmsy を維持する漁獲圧

%SPR	70.5%	Fmsy に対応する%SPR
MSY	14.4 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（v2.2.0.3）および messir（v1.1）を用いた。frasyr および messir 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（FRA-SA2024-ABCWG02-04）」（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 年度スルメイカ冬季発生系群の資源評価（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、残差に対して自己相関係数を推定する方法（2 段階推定）を用いた。再生産関係の検討は、資源評価で推定された 1979～2022 年漁期の親魚量および 1980～2023 年漁期の加入量に基づいて実施した。再生産関係の検討候補を表 1a に示す。

補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると、BH 型および RI 型を当てはめた場合に最も小さかった。また、最小絶対値法を用いた場合の方が最小二乗法を用いた場合よりも小さくなった。自己相関については、いずれの方法においても残差の自己相関係数が有意でなかったため、本系群の再生産関係式では反映させないこととした。なお、RI 型は親魚量がある値を超えると加入量が減少するという強い密度効果を表現しているが、スルメイカにおいてその事象を支持する知見は現在のところ無く、稚仔魚期の個体群密度が高い方が漁業資源への加入量が減少するような状況を積極的に反映させる根拠には欠け、推定された再生産関係は BH 型と大きな違いも無かったため、候補から除外した。

1-3) 再生産関係の候補

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-ABCWG02-05）」（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、現在採用されている再生産関係式と同じ「自己相関を考慮せずに最小絶対値法で最適化した BH 型再生産関係式」を提案する（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、平均体重) を使用して実施した。現状の漁獲圧 (F2021-2023、図 2) には 2021~2023 年漁期の漁獲係数 (F 値) の平均値を用いた。本系群では、世代時間 (1 年) の 50 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

管理基準値案等の定義や算出過程は本系群の従来手法 (加賀ほか 2020) に基づき、目標管理基準値案については MSY を実現する親魚量 (SB_{msy}) と定義した。限界管理基準値案は、推定された再生産関係に基づく加入量が得られる状況下にて F_{msy} で漁獲を継続した場合に、管理開始から 5 年後に SB_{msy} の概ね 95% に相当する平均親魚量を実現するために、管理開始直前に必要な親魚量と定義した。禁漁水準案の定義は、推定された再生産関係に基づく加入量が得られる状況下にて、3 年間禁漁した後の平均親魚量が限界管理基準値案の概ね 95% に達するために、その禁漁直前に必要な親魚量とした。図 1 の再生産関係に基づき、目標管理基準値 (SB_{target}) として 25.5 万トン、限界管理基準値 (SB_{limit}) として MSY の 85% の漁獲が得られる親魚量 ($SB_{0.85msy}$) である 14.5 万トン (図 3)、禁漁水準 (SB_{ban}) として MSY の 15% の漁獲が得られる親魚量 ($SB_{0.15msy}$) である 1.6 万トン (図 4) 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 41% 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 14.4 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 1.11 で、その時の漁獲割合 (U_{msy}) は 22% である。限界管理基準値として提案する $SB_{0.85msy}$ は SB_0 の 23%、禁漁水準として提案する $SB_{0.15msy}$ は SB_0 の 3% である。

図 5 に様々に 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漁獲量の平均値を示す。

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 6 に示す。本系群における漁獲係数 (F 値) は F_{msy} を上回っていた年が多かったが、近年の 2022、2023 年漁期は F_{msy} を下回っていた。現状の親魚量 (2023 年漁期の親

魚量：4.2 万トン）は目標管理基準値案 SBmsy 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 6.14、3.49 および 0.38 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 に調整係数 β を乗じたものである。限界管理基準値案（SBlimit）および禁漁水準案（SBban）としてそれぞれ SB0.85msy、SB0.15msy を用いた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 7a 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 7b に示す。図に例示した漁獲管理規則案の β は、後述する 5 年後および 10 年後に親魚量予測値がそれぞれ限界管理基準値案および目標管理基準値案を 50%以上の確率で達成する最大値 0.05 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 年度資源評価で予測された 2024 年漁期の資源量から、2025～2054 年漁期までの将来予測計算を行った（補足資料 2）。なお、スルメイカは単年生であるため、資源量と加入量は同義である。将来予測における加入量は、各年漁期の親魚量から再生産関係式を用いて予測した。加入量の不確実性として、本系群では今後 5 年間は直近 5 年間のような加入状況が続き、その後徐々に過去の平均的な加入状況に戻ると想定したバックワードリサンプリング法を適用し、10,000 回の繰り返し計算を行うことで考慮した。また、再生産関係式を用いて翌年の加入量を予測するためには資源評価の当年漁期終了後の親魚量および加入変動（再生産関係からのずれ）を予測する必要があるが、これらの予測には誤差が伴うため将来予測で考慮した。

2024 年漁期の漁獲量は、予測される資源量と F2024（詳細は岡本ほか(印刷中)の 4-(3)を参照）から予測した。将来予測における現状の漁獲圧は、令和 6 年度評価における 2021～2023 年漁期の平均漁獲圧（F2021-2023）とした。2025 年漁期以降の漁獲圧は、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基に算出した。なお、以上の将来予測における漁獲量は、日本と韓国、および太平洋における中国とロシアの漁獲量の合計であり、その合計漁獲量は漁獲管理規則案に基づき算定されたものである。

(2) 管理開始年（2025 年漁期）の予測値

2024 年漁期終了後の親魚量は 5.7 万トンと見込まれ、目標管理基準値案および限界管理基準値案を下回り、禁漁水準案を上回ると予測された（表 4～7）。この親魚量は限界管理基準値案未満であるため、2025 年漁期の漁獲圧は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 2025 年漁期の $\gamma(\text{SBt})$ 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 1A 資源の管理規則に基づき、下式により計算された。

$$\gamma(SB_t) = \frac{SB_t - SB_{ban}}{SB_{limit} - SB_{ban}}$$

漁獲管理規則案に基づき計算された 2025 年漁期の平均漁獲量は、 β を 0.05 とした場合には 0.1 万トン、 β を 1.0 とした場合には 1.2 万トンと予測された (表 8)。 $\beta=0.90$ の場合、 βF_{msy} での漁獲圧および漁獲割合は、現状と同程度の漁獲圧および漁獲割合に相当すると予測された。

(3) 管理開始から 5 年後および 10 年後 (2029、2034 年漁期終了後) の予測値

管理開始から 5 年後 (2029 年漁期終了後) の親魚量予測値が目標管理基準値案を上回る確率が 50%以上になる β は無く ($\beta=0$ であっても 28%)、限界管理基準値案を上回る確率が 50%以上になる β は 0.25 以下であった (表 4、5)。また、10 年後 (2034 年漁期終了後) の親魚量予測値が目標管理基準値案を上回る確率が 50%以上になる β は 0.05 以下であり、限界管理基準値案を上回る確率が 50%以上になる β は 0.50 以下であった (表 4、5)。以上のことから、5 年後および 10 年後に親魚量予測値がそれぞれ限界管理基準値案および目標管理基準値案を上回る確率が 50%以上になる β は 0.05 以下であった。

将来予測の結果の年推移を図 8 に示す。また、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 0.05 として漁獲管理規則案に基づく管理を継続した場合、平均親魚量は 5 年後に 19.9 万トン (90%予測区間は 5.6 万~42.8 万トン)、10 年後に 28.1 万トン (90%予測区間は 10.6 万~51.9 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 9.9 万トン (90%予測区間は 2.7 万~23.8 万トン)、10 年後に 10.9 万トン (90%予測区間は 3.2 万~24.1 万トン) と予測された。親魚量が目標管理基準値案を 50%以上の確率で上回る年は、 β を 0.05 とした場合には 2034 年漁期となると予測された (表 4)。また、限界管理基準値を 50%以上の確率で上回る年は、2028 年漁期と予測された。現状の漁獲圧 (F2021-2023) を継続した場合、管理開始から 5 年後の平均親魚量は 6.7 万トン (90%予測区間は 1.5 万~16.9 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 7%と予測された。また、管理開始から 10 年後の平均親魚量は 7.2 万トン (90%予測区間は 1.5 万~17.2 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 9%と予測された。この場合、 β を 0.05 とした場合と比べて平均漁獲量は多く予測されたものの、管理期間 10 年間に於いて親魚量が禁漁水準案を下回るリスクが生じ、また、現在の水準を下回るリスクが高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 1979~2022 年漁期の親魚量および 1980~2023 年漁期の加入量に基づき、再生産関係モデルとして自己相関を考慮しない BH 型再生産関係式を適用し、そのパラメータを最小絶対値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} (25.5 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 $SB_{0.85msy}$ (14.5 万トン)、 $SB_{0.15msy}$ (1.6 万トン) をそれぞれ提案する。

現在の本系群の親魚量は限界管理基準値案以下にあると考えられる。 SB_{msy} を維持する

漁獲割合は22%、漁獲圧はF2021-2023の1.11倍である(表3)。 β が0.05以下であれば、管理開始から5年後および10年後に親魚量がそれぞれ限界管理基準値案および目標管理基準値案を上回る確率が50%以上になると予測される。

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、資源評価手法の変更、資源量指標値の高精度化と親魚量指標値の開発、漁獲量集計方法の再検討が挙げられる。詳細については令和6年度スルメイカ冬季発生系群の資源評価(岡本ほか 印刷中)の補足資料11に記載した。

5. 引用文献

- 岡本 俊・宮原寿恵・松井 萌・森山丈継・西澤文吾・倉島 陽・西嶋翔太・高崎健二・瀬藤 聡(印刷中) 令和6(2024)年度スルメイカ冬季発生系群の資源評価. 水産研究・教育機構, 63pp. FRA-SA2024-SC14-01.
- 加賀敏樹・岡本 俊・久保田 洋・宮原寿恵・西嶋翔太(2020) 令和2(2020)年度スルメイカ冬季発生系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書. 水産研究・教育機構, 81pp. FRA-SA2020-BRP04-1. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_surume_w_20201014.pdf (last accessed 2 November 2021)
- 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, 24pp. 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-ABCWG02-04, 水産研究・教育機構, 横浜, 15pp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-04.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-ABCWG02-05, 水産研究・教育機構, 横浜, 49pp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-05.pdf

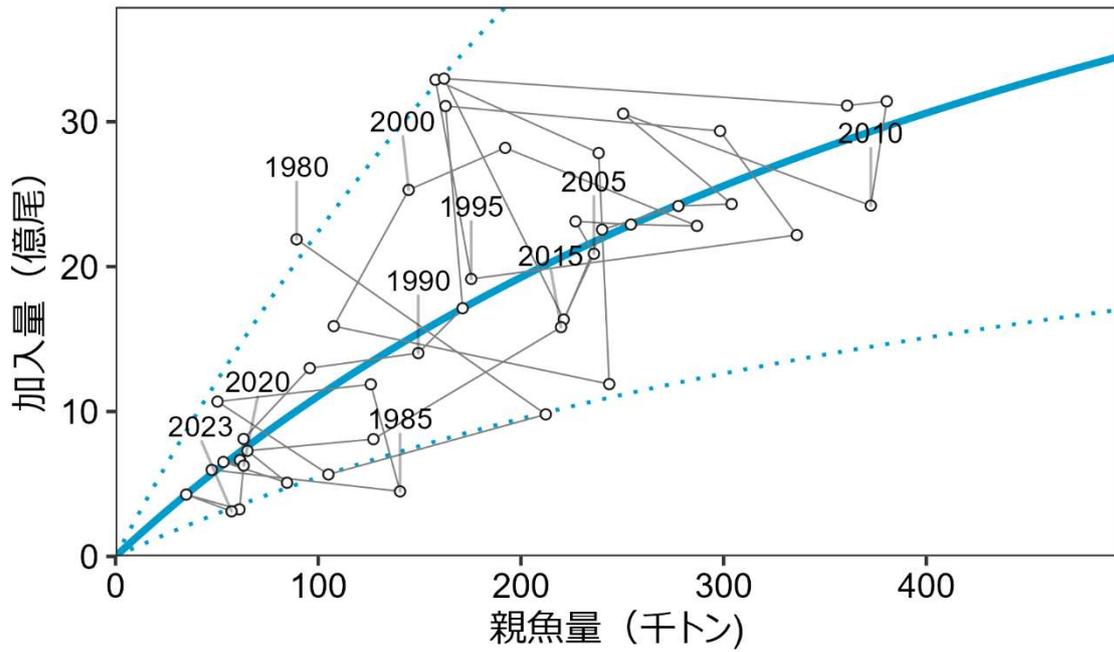


図1. 再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮しないベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係式を用い、最小絶対値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 1979～2021 年漁期の親魚量と 1980～2022 年漁期の加入量を示す。図中の数字は加入群の年級 (生まれ年) を示す。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。

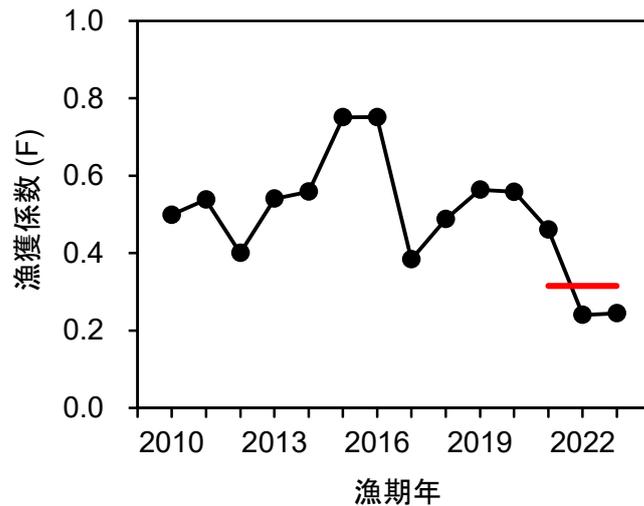


図2. 漁獲係数 (F 値) の年推移

赤線は現状の漁獲圧 (F2021-2023) であり、2021～2023 年漁期の F 値の平均である。

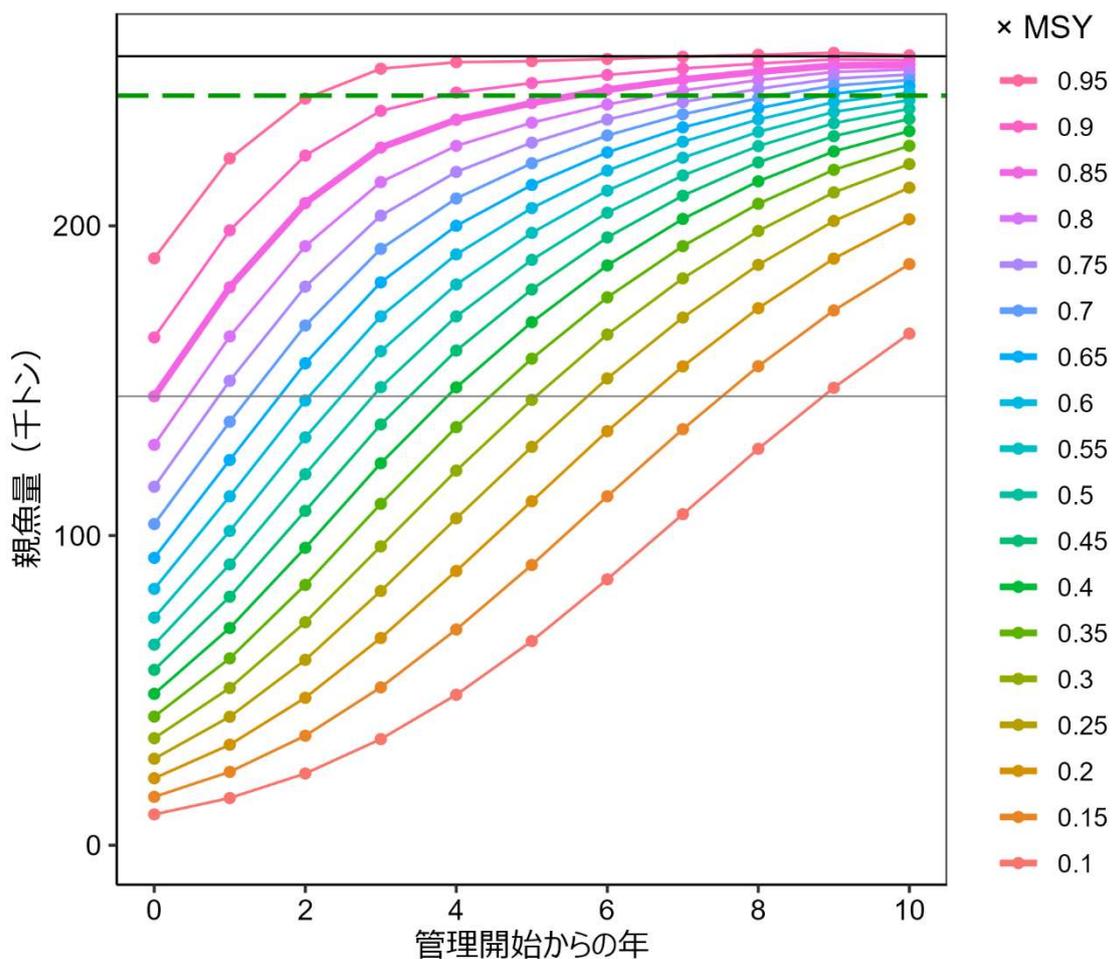


図3. MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として、 F_{msy} で漁獲を継続した場合に得られる平均親魚量の推移

BH 型再生産関係式に従って将来予測を行った。管理開始から 5 年後の平均親魚量が SB_{msy} の概ね 95%となるシナリオ、すなわち管理開始時の親魚量が $SB_{0.85msy}$ であるシナリオにおける平均親魚量の推移を太線とした。黒実線は SB_{msy} 、灰実線は $SB_{0.85msy}$ 、緑破線は SB_{msy} の 95%を示す。

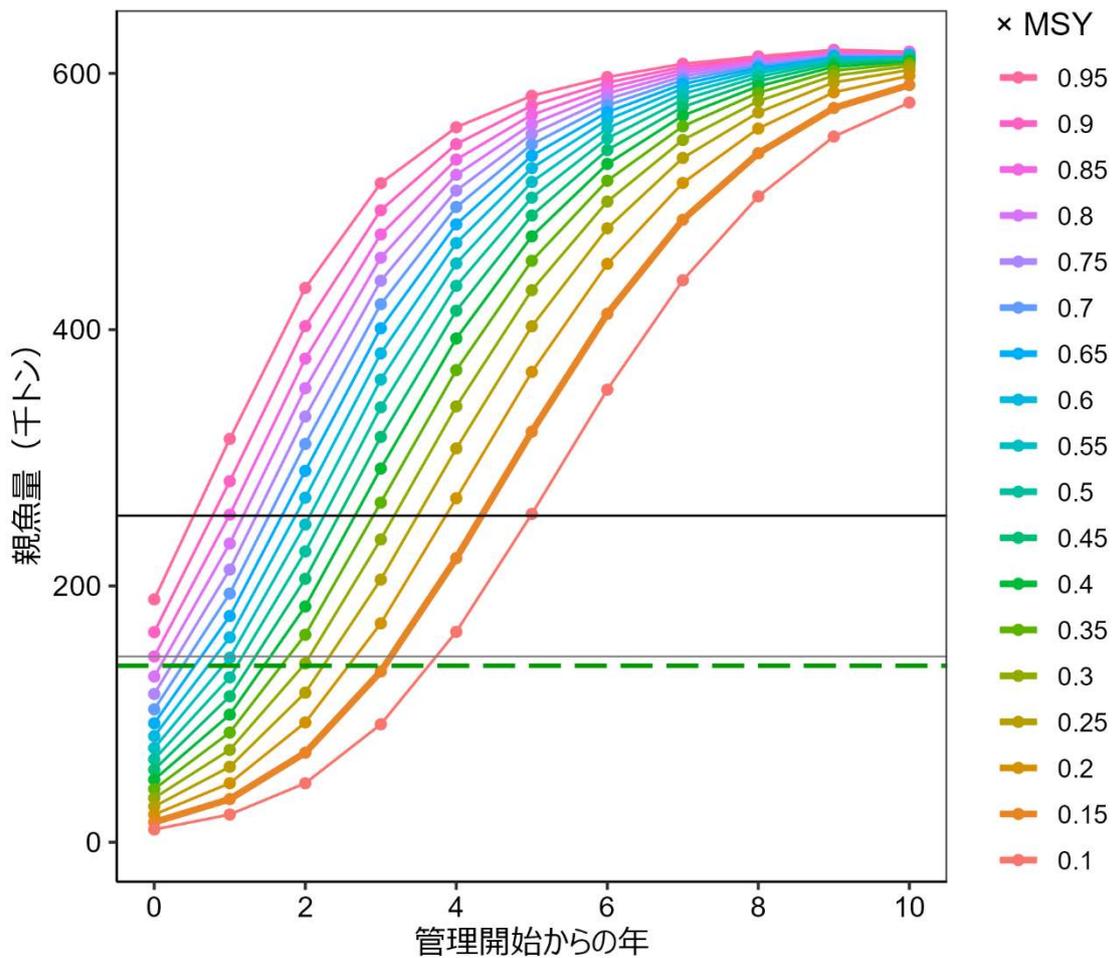


図4. MSY から5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として、漁獲が無い場合に得られる平均親魚量の推移

BH 型再生産関係式に従って将来予測を行った。管理開始から3年後の平均親魚量が SB0.85msy の概ね95%となるシナリオ、すなわち管理開始時の親魚量が SB0.15msy であるシナリオにおける平均親魚量の推移を太線とした。黒実線は SBmsy、灰実線は SB0.85msy、緑破線は SB0.85msy の95%を示す。

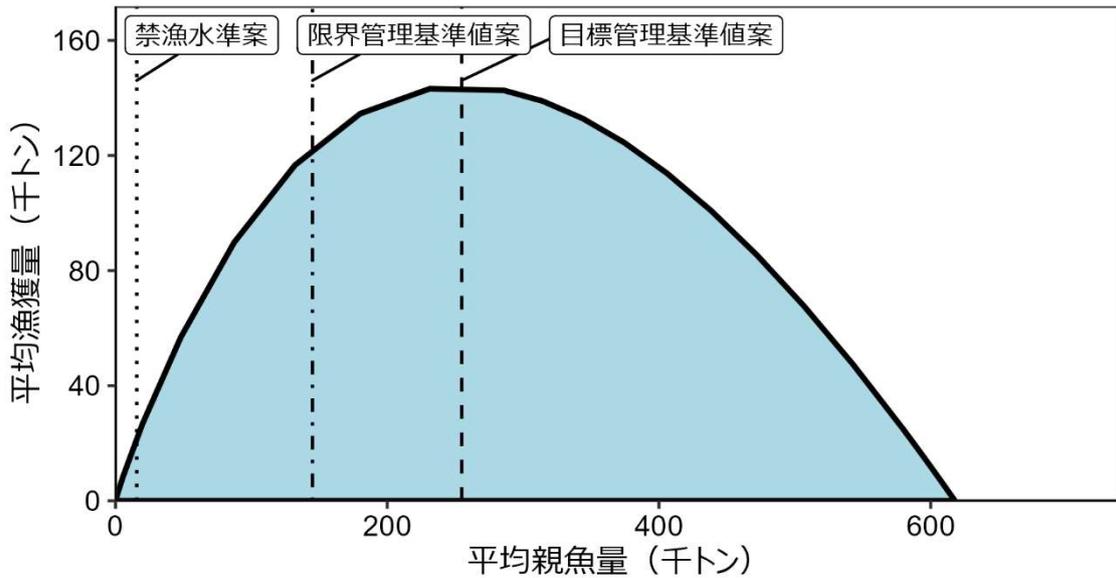


図 5. 管理基準値案および禁漁水準案と漁獲量曲線の関係

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 61.8 万トンである。

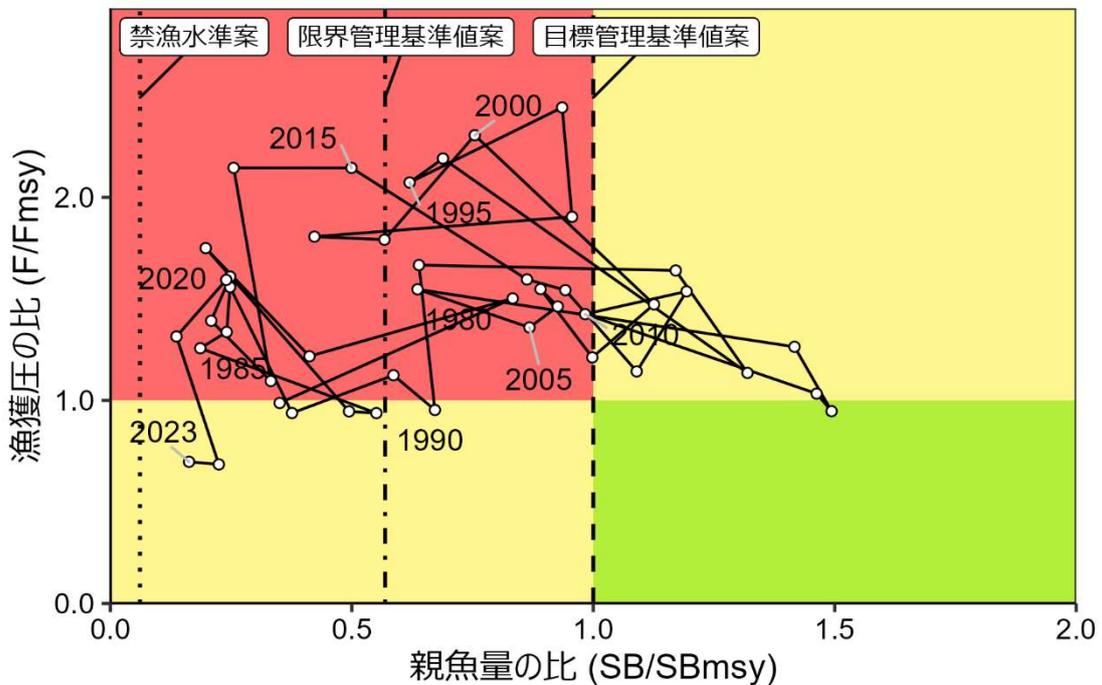
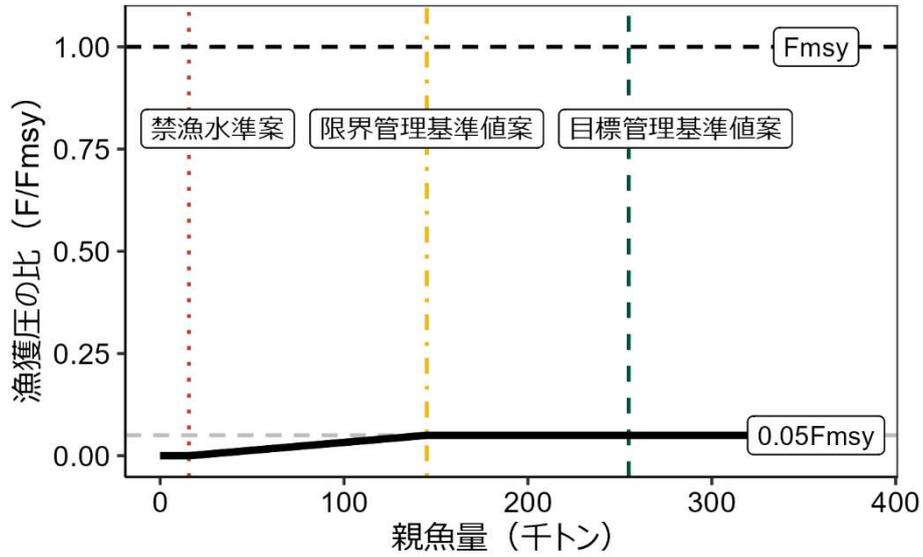


図 6. 神戸プロット

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} 、 $SB_{0.85msy}$ 、 $SB_{0.15msy}$ 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

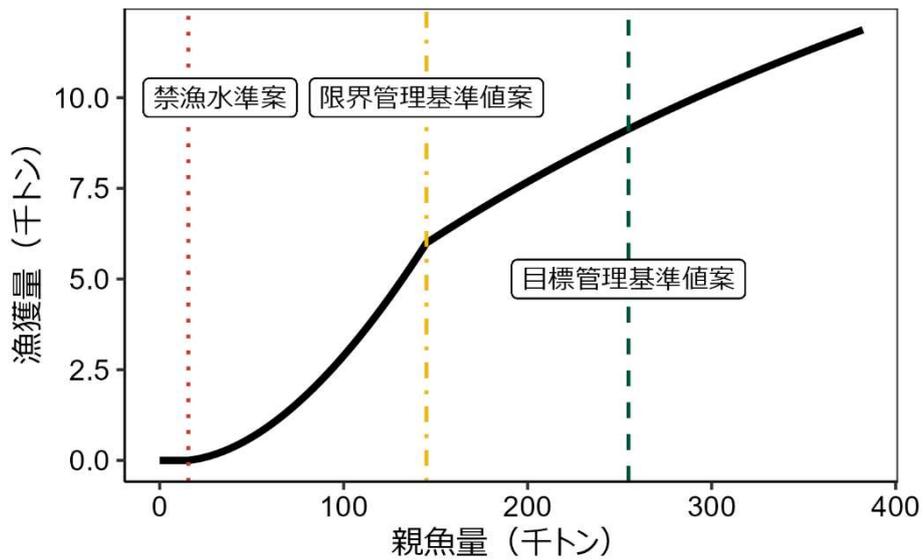


図 7. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案はベバートン・ホルト型再生産関係に基づき算出した SBmsy である。限界管理基準値 (SBlimit) 案は SB0.85msy、禁漁水準 (SBban) 案は SB0.15msy である。調整係数 β には 0.05 を用いた。黒破線は Fmsy、灰色破線は 0.05Fmsy、黒太線は HCR、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、それぞれの親魚量の下で漁獲管理規則案により期待される漁獲量 (加入変動は考慮せず、決定論的に計算した漁獲量) を示した。

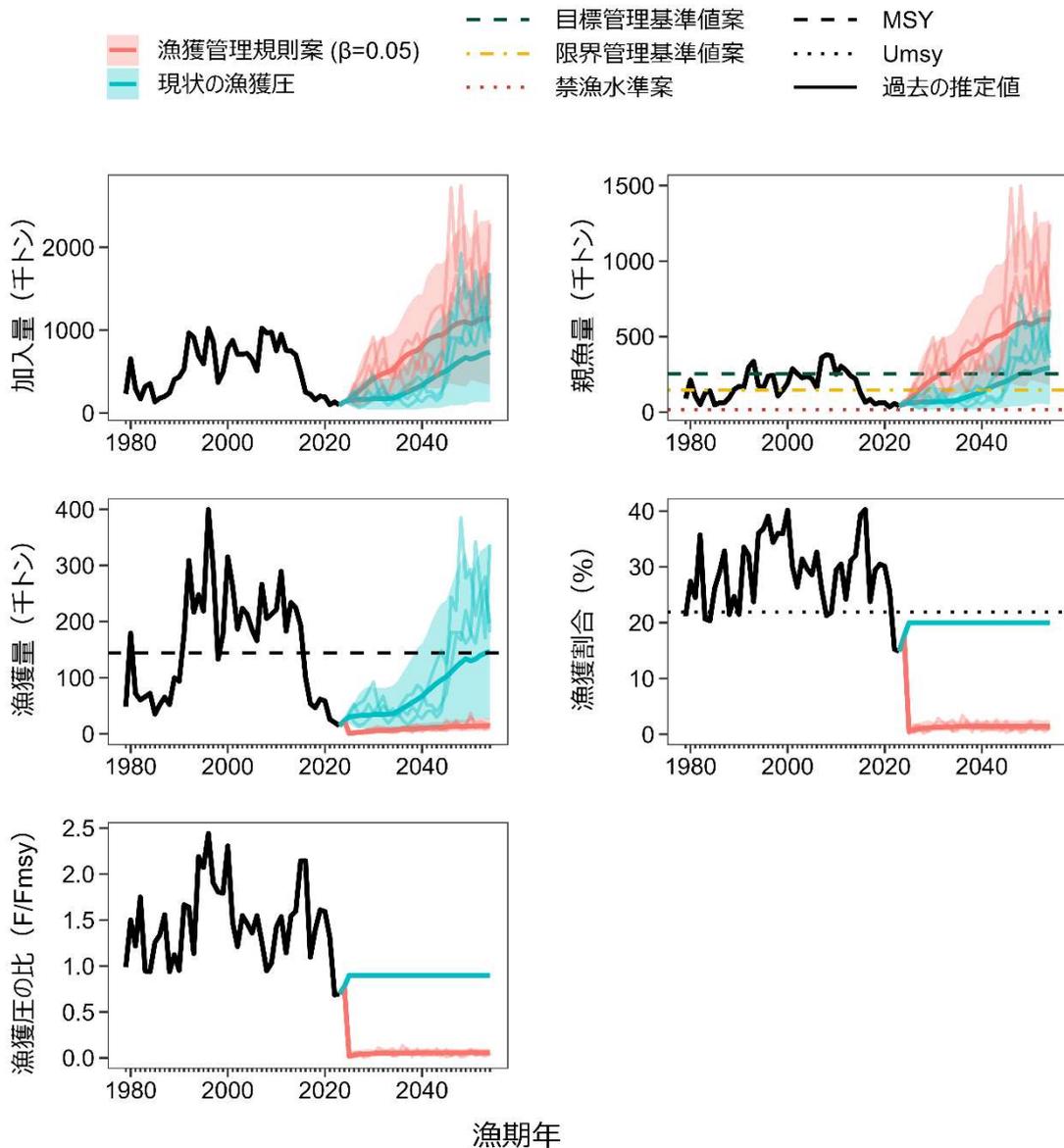


図 8. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（青色）の比較

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 年漁期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 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案 (図 7) に従うものとした。調整係数 β には 0.05 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	57.6	5.4	6
リッカー(RI)	最小二乗法	無	56.6	4.4	4
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	無	57.0	4.8	5
ホッケー・スティック(HS)	最小絶対値法	無	54.6	2.4	3
リッカー(RI)	最小絶対値法	無	52.2	0	1
ベバートン・ホルト(BH)	最小絶対値法	無	52.2	0	1

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。

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
BH 型	最小絶対値法	無	0.1300	0.0017	0.4294	-

a と b (1/億尾) は再生産関係のパラメータであり、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。

表 2. MSY 管理基準値案等の算出および将来予測計算に用いた各種設定

年齢	Fmsy	F2021-2023	平均重量 (g)	自然死亡係数 (漁期中)	成熟率
1	0.35	0.31	310	0.6	1

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	25.5	0.412	14.4	70.5	0.22	1.11
限界管理基準値案	SB0.85msy	14.5	0.235	12.2	61.5	0.29	1.55
禁漁水準案	SB0.15msy	1.6	0.025	2.2	49.4	0.37	2.24
SBmsy を維持する 漁獲圧	Fmsy	0.35					

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
1.00	0	0	0	0	3	4	4	3	3	3	4
0.95		0	0	0	3	4	4	4	4	4	5
0.90		0	0	0	4	5	5	5	5	5	6
0.85		0	0	0	4	5	6	5	6	6	6
0.80		0	0	1	5	6	7	6	6	7	8
0.75		0	0	1	5	7	7	7	8	8	9
0.70		0	0	1	6	8	8	8	9	9	10
0.65		0	0	2	7	9	9	10	10	11	12
0.60		0	0	2	8	10	11	11	12	12	14
0.55		0	0	3	9	11	12	12	13	15	16
0.50		0	0	3	9	12	13	14	15	17	18
0.45		0	0	4	10	13	15	16	17	19	20
0.40		0	0	5	11	15	16	18	20	22	23
0.35		0	0	6	12	16	18	20	23	24	27
0.30		0	0	7	13	17	20	23	25	28	30
0.25		0	0	8	14	19	22	26	29	31	34
0.20		0	0	10	15	21	25	29	32	35	38
0.15	0	0	11	16	23	27	32	36	39	42	
0.10	0	0	13	17	25	30	35	40	43	46	
0.05	0	0	15	19	27	33	39	44	48	52	
0.00	0	0	16	20	28	37	43	48	53	57	
現状の漁獲圧	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

調整係数 β を 0.00～1.00 にて 0.05 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2021-2023) から予測される 2.4 万トンとし、2025 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2021-2023、 $\beta=0.90$ 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
1.00	0	0	15	18	21	22	22	22	22	23	24
0.95		0	16	19	22	23	23	23	24	25	26
0.90		0	17	20	23	24	25	25	26	27	28
0.85		0	18	21	24	25	26	28	29	29	31
0.80		0	19	21	25	27	28	30	31	32	33
0.75		0	21	22	26	28	30	32	34	34	36
0.70		0	21	23	27	30	32	34	37	37	39
0.65		0	23	24	29	32	34	37	39	40	43
0.60		0	24	24	30	33	37	40	42	44	46
0.55		0	25	25	32	35	39	43	45	47	49
0.50		0	26	26	33	37	42	46	48	51	53
0.45		0	28	27	35	40	45	50	52	55	57
0.40		0	29	28	37	42	48	53	55	59	61
0.35		0	30	29	39	45	51	56	59	63	65
0.30		0	31	30	41	47	54	60	63	66	70
0.25		0	31	31	43	50	57	64	67	70	74
0.20		0	32	33	46	52	60	67	71	74	77
0.15	0	32	35	48	55	63	71	75	78	81	
0.10	0	32	38	49	58	66	74	78	81	84	
0.05	0	32	40	51	61	70	77	82	85	87	
0.00	0	32	42	53	63	73	81	85	88	90	
現状の漁獲圧	0	0	3	8	7	8	8	8	8	8	9

調整係数 β を 0.00～1.00 にて 0.05 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2021-2023) から予測される 2.4 万トンとし、2025 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2021-2023、 $\beta=0.90$ 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
1.00	100	100	100	100	100	99	100	100	100	100	100
0.95		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.90		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.85		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.80		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.75		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.70		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.65		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.60		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.55		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.50		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.45		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.40		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.35		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.30		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.25		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.20		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.15		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.10		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.05	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
現状の漁獲圧		100	100	100	97	94	95	94	95	94	95

調整係数 β を 0.00～1.00 にて 0.05 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2021-2023) から予測される 2.4 万トンとし、2025 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2021-2023、 $\beta=0.90$ 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
1.00	5.7	7.3	8.5	9.2	9.6	9.9	10.2	10.4	10.6	10.7	10.9
0.95		7.4	8.7	9.4	9.9	10.2	10.5	10.8	11.0	11.1	11.4
0.90		7.4	8.8	9.6	10.2	10.5	10.9	11.2	11.4	11.6	11.9
0.85		7.5	8.9	9.8	10.5	10.9	11.3	11.7	11.9	12.1	12.4
0.80		7.5	9.0	10.0	10.8	11.2	11.8	12.1	12.4	12.6	12.9
0.75		7.5	9.1	10.2	11.1	11.6	12.2	12.6	12.9	13.2	13.5
0.70		7.6	9.3	10.5	11.4	12.0	12.7	13.2	13.5	13.8	14.2
0.65		7.6	9.4	10.7	11.8	12.5	13.2	13.7	14.1	14.4	14.8
0.60		7.7	9.5	10.9	12.1	12.9	13.7	14.3	14.8	15.1	15.6
0.55		7.7	9.7	11.2	12.5	13.4	14.3	15.0	15.5	15.9	16.4
0.50		7.8	9.8	11.5	12.9	13.9	14.9	15.7	16.2	16.7	17.2
0.45		7.8	10.0	11.7	13.3	14.4	15.5	16.4	17.0	17.5	18.1
0.40		7.9	10.1	12.0	13.7	15.0	16.2	17.2	17.9	18.5	19.1
0.35		7.9	10.3	12.3	14.2	15.6	16.9	18.0	18.8	19.4	20.2
0.30		8.0	10.4	12.6	14.7	16.2	17.7	18.9	19.8	20.5	21.3
0.25		8.0	10.6	12.9	15.1	16.9	18.5	19.8	20.8	21.6	22.5
0.20		8.0	10.7	13.3	15.7	17.5	19.3	20.8	21.9	22.8	23.8
0.15	8.1	10.9	13.6	16.2	18.3	20.3	21.9	23.1	24.1	25.1	
0.10	8.1	11.1	14.0	16.8	19.0	21.2	23.0	24.4	25.5	26.6	
0.05	8.2	11.2	14.3	17.4	19.9	22.2	24.2	25.7	26.9	28.1	
0.00	8.2	11.4	14.7	18.0	20.7	23.3	25.5	27.1	28.4	29.7	
現状の漁獲圧		6.0	6.3	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.0	7.2

調整係数 β を 0.00～1.00 にて 0.05 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧（F2021-2023）から予測される 2.4 万トンとし、2025 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧（F2021-2023、 $\beta=0.90$ 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
1.00	2.4	1.2	2.3	3.1	3.4	3.6	3.7	4.0	4.1	4.1	4.2
0.95		1.2	2.2	3.1	3.3	3.6	3.7	4.0	4.1	4.2	4.3
0.90		1.1	2.2	3.0	3.3	3.6	3.7	4.0	4.1	4.2	4.3
0.85		1.0	2.1	2.9	3.2	3.5	3.7	3.9	4.1	4.2	4.3
0.80		1.0	2.0	2.8	3.1	3.4	3.6	3.9	4.1	4.2	4.3
0.75		0.9	1.9	2.7	3.0	3.4	3.6	3.9	4.0	4.1	4.3
0.70		0.9	1.8	2.6	2.9	3.3	3.5	3.8	4.0	4.1	4.2
0.65		0.8	1.7	2.4	2.8	3.2	3.4	3.7	3.9	4.0	4.2
0.60		0.7	1.6	2.3	2.7	3.1	3.3	3.6	3.8	4.0	4.1
0.55		0.7	1.5	2.2	2.6	3.0	3.2	3.5	3.7	3.9	4.0
0.50		0.6	1.4	2.0	2.4	2.8	3.1	3.4	3.6	3.7	3.9
0.45		0.6	1.2	1.9	2.3	2.6	2.9	3.2	3.4	3.6	3.7
0.40		0.5	1.1	1.7	2.1	2.5	2.7	3.0	3.2	3.3	3.5
0.35		0.4	1.0	1.5	1.9	2.3	2.5	2.8	3.0	3.1	3.2
0.30		0.4	0.9	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5	2.7	2.8	2.9
0.25		0.3	0.7	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.6
0.20		0.3	0.6	1.0	1.2	1.5	1.7	1.9	2.0	2.1	2.2
0.15	0.2	0.5	0.7	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.7	
0.10	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	
0.05	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	
0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
現状の漁獲圧		3.0	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6

調整係数 β を 0.00～1.00 にて 0.05 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧（F2021-2023）から予測される 2.4 万トンとし、2025 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧（F2021-2023、 $\beta=0.90$ 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	目標達成確率 (%)		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 (2029年漁期)に親魚量が限界管理基準値を上回る確率	10年後 (2034年漁期)に親魚資源量が目標管理基準値を上回る確率	5年後 (2029年漁期)	10年後 (2034年漁期)	1年後 (2025年漁期)	5年後 (2029年漁期)	10年後 (2034年漁期)	親魚量が現在の水準を下回る確率	親魚量が禁漁水準案を下回る確率	
1.00	22%	4%	9.9	10.9	1.2	3.6	4.2	86%	2%	87%
0.95	23%	5%	10.2	11.4	1.2	3.6	4.3	84%	1%	86%
0.90	24%	6%	10.5	11.9	1.1	3.6	4.3	82%	1%	84%
0.85	25%	6%	10.9	12.4	1.0	3.5	4.3	80%	0%	83%
0.80	27%	8%	11.2	12.9	1.0	3.4	4.3	78%	0%	82%
0.75	28%	9%	11.6	13.5	0.9	3.4	4.3	75%	0%	81%
0.70	30%	10%	12.0	14.2	0.9	3.3	4.2	73%	0%	80%
0.65	32%	12%	12.5	14.8	0.8	3.2	4.2	70%	0%	78%
0.60	33%	14%	12.9	15.6	0.7	3.1	4.1	67%	0%	77%
0.55	35%	16%	13.4	16.4	0.7	3.0	4.0	64%	0%	76%
0.50	37%	18%	13.9	17.2	0.6	2.8	3.9	61%	0%	75%
0.45	40%	20%	14.4	18.1	0.6	2.6	3.7	58%	0%	73%
0.40	42%	23%	15.0	19.1	0.5	2.5	3.5	55%	0%	72%
0.35	45%	27%	15.6	20.2	0.4	2.3	3.2	53%	0%	71%
0.30	47%	30%	16.2	21.3	0.4	2.0	2.9	50%	0%	69%
0.25	50%	34%	16.9	22.5	0.3	1.8	2.6	48%	0%	68%
0.20	52%	38%	17.5	23.8	0.3	1.5	2.2	47%	0%	67%
0.15	55%	42%	18.3	25.1	0.2	1.2	1.7	45%	0%	65%
0.10	58%	46%	19.0	26.6	0.1	0.8	1.2	44%	0%	64%
0.05	61%	52%	19.9	28.1	0.1	0.4	0.6	43%	0%	63%
0.00	63%	57%	20.7	29.7	0.0	0.0	0.0	43%	0%	—
現状の漁獲圧	7%	0%	6.7	7.2	3.0	3.3	3.6	86%	13%	32%

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.00～1.00 にて 0.05 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 年漁期の値と、5 年後および 10 年後の値 (2029 年漁期および 2034 年漁期) を示した。比較のため、現状の漁獲圧 (F2021-2023、 $\beta = 0.90$ 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 1979~2022 年漁期の親魚量および 1980~2023 年漁期の加入量のデータに当てはめた。自己相関パラメータを推定する際は、残差に対して自己相関係数を推定する方法 (2 段階推定) を用いた (詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (FRA-SA2024-ABCWG02-04)」(水産研究・教育機構 2024) を参照)。再生産関係の検討候補を表 1a に示し、各再生産関係式で推定されたパラメータを補足表 1-1 に示す。補正赤池情報量規準 (AICc) を比較すると、BH 型および RI 型を当てはめた場合に最も小さかった。また、最小絶対値法を用いた場合の方が最小二乗法を用いた場合よりも小さくなった。自己相関については、いずれの方法においても残差の自己相関係数が有意でなかったため、本系群の再生産関係式では反映させないこととした。その結果、RI 型と BH 型では、データ使用期間で見ると比較的類似した関係が得られた。ここで、RI 型は親魚量がある値を超えると加入量が減少するという強い密度効果を表現しているが、スルメイカで同年級群の個体間での共食いが想定されたとしても、それによって稚仔魚期の個体群密度が高い方が漁獲資源への加入量が減少するような状況は生物学的に想定しがたいため、候補から除外した。なお、HS 型を仮定した場合は、RI 型および BH 型を仮定した場合と比べて親魚量が約 10 万~約 25 万トンの場合に高い加入量が予測され、それ以上の親魚量の場合には低い加入量が予測された (補足図 1-1)。

BH 型再生産関係式を最小絶対値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。BH 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、BH 型再生産関係を仮定した場合には近年の加入量がモデルからの予測値よりも低く、減少傾向にあると解釈された。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。（補足図 1-3）。

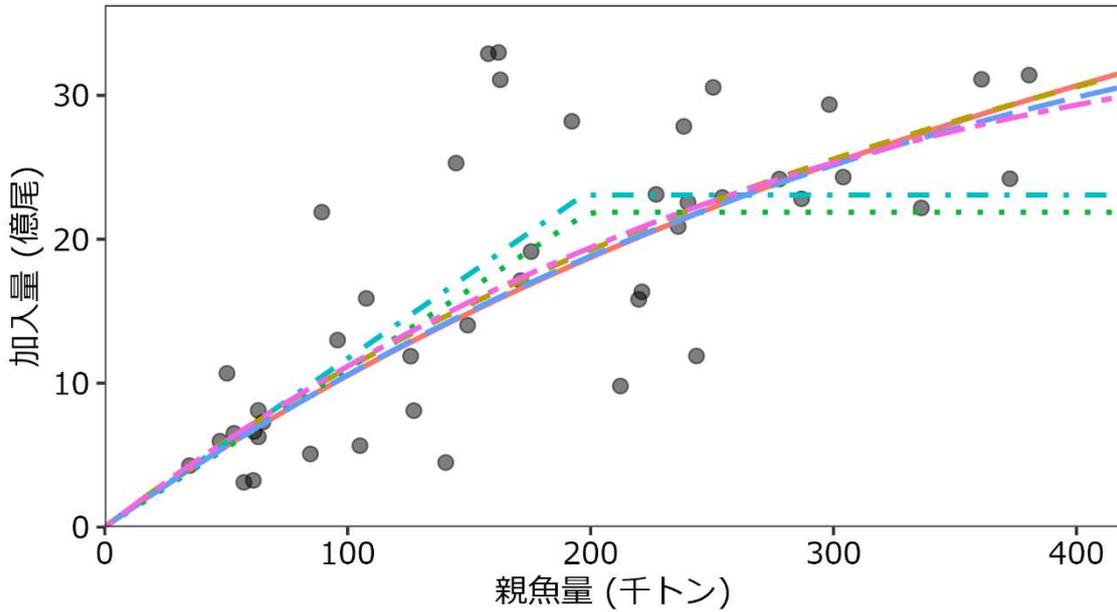
自己相関を考慮しないモデルについて、BH 型再生産関係式を最小二乗法により当てはめる上での個々のデータの影響をジャックナイフ法により検討したところ、推定の頑健性に大きな問題はみられなかった（補足図 1-4 および 1-5）。パラメータ推定の信頼区間は残差ブートストラップにより検討した（補足図 1-6 および 1-7）。また、プロファイル尤度を補足図 1-8 に示した。これらの結果からは、パラメータ推定において特段の問題は認められず、最適解として推定されていると考えられた。

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.

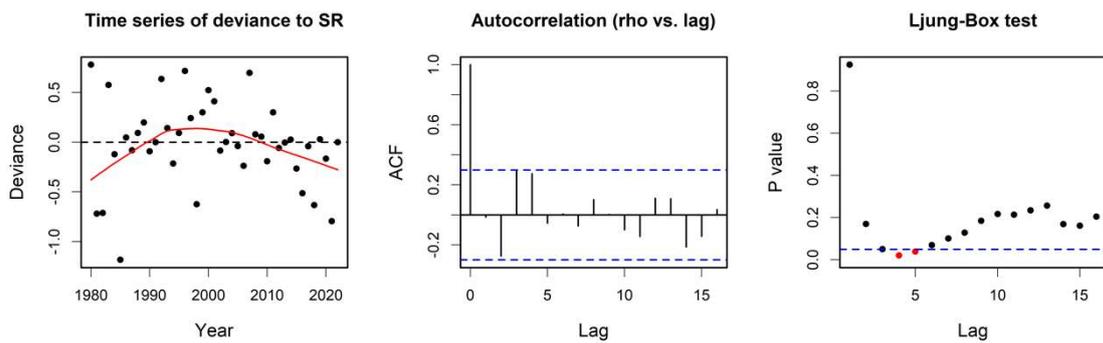
再生産関係式

— BH(最小絶対値法) ····· HS(最小絶対値法) - - - RI(最小絶対値法)
 - - - BH(最小二乗法) ····· HS(最小二乗法) - - - RI(最小二乗法)

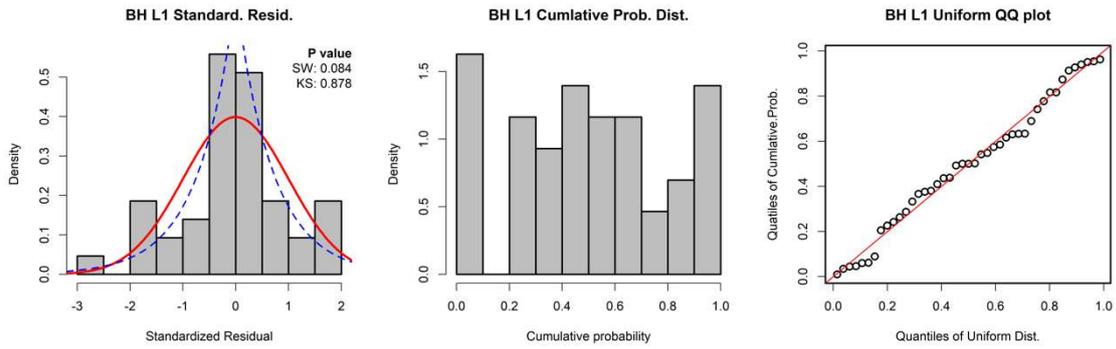


補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

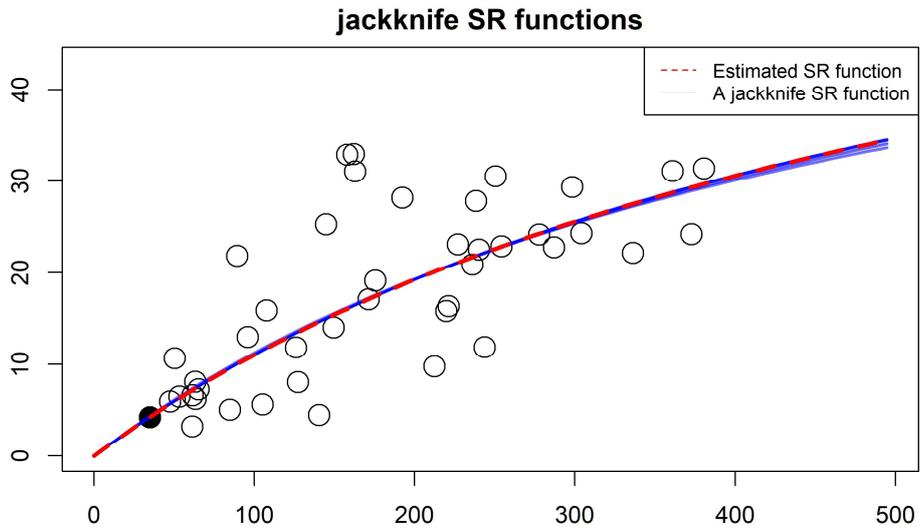
ホッケー・スティック型 (HS)、リッカー型 (RI)、ベバートン・ホルト型 (BH) の再生産関係式を、最小二乗法および最小絶対値法により当てはめた。黒丸は分析に使用した親魚量 (1979~2022 年漁期) ・加入尾数 (1980~2023 年漁期) である。



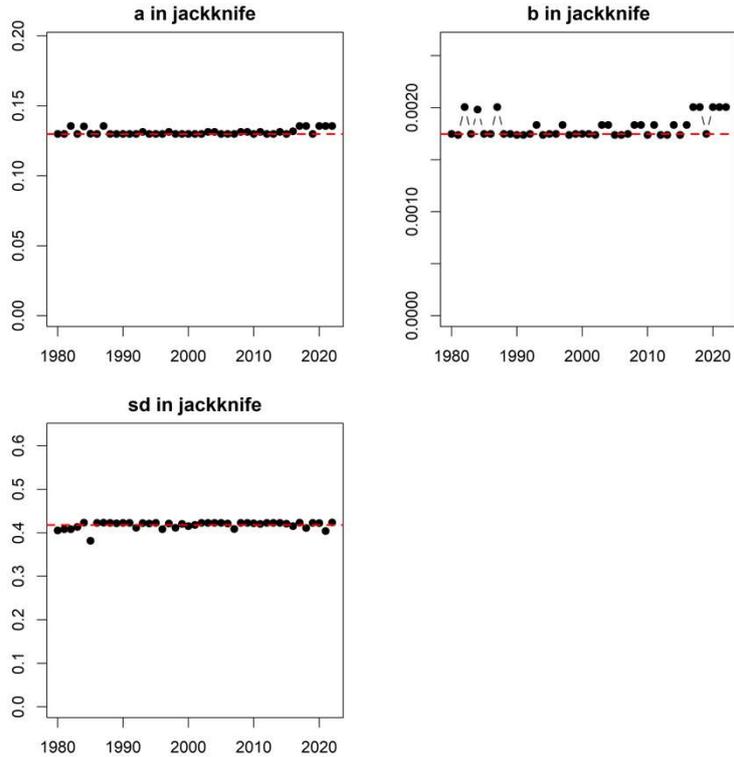
補足図 1-2. BH 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差トレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図)
 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。



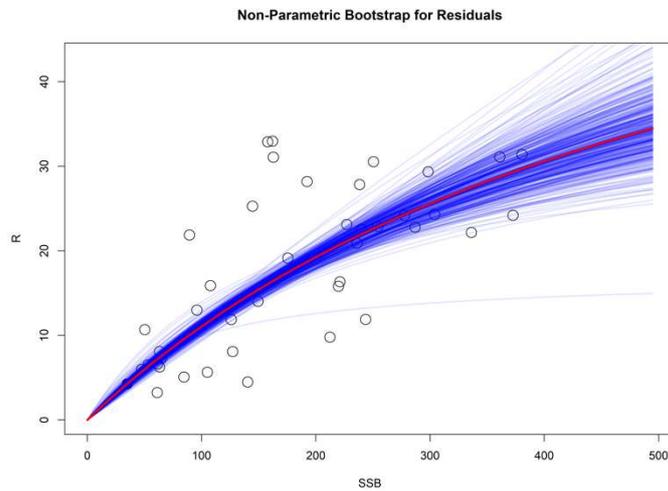
補足図 1-3. BH 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）
 残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。



補足図 1-4. BH 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（千トン）、縦軸は加入尾数（億尾）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 年漁期）を示す。

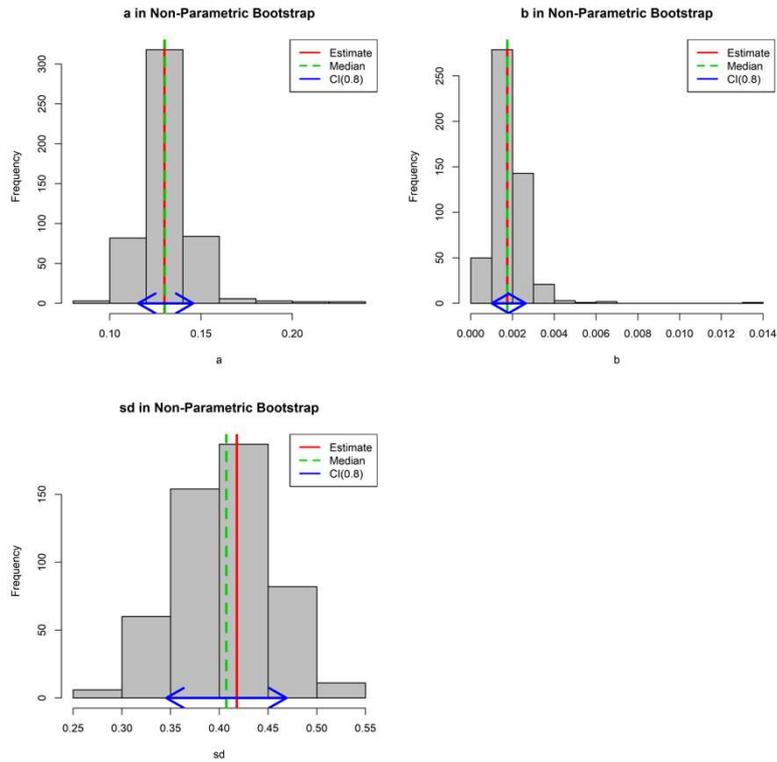


補足図 1-5. BH 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

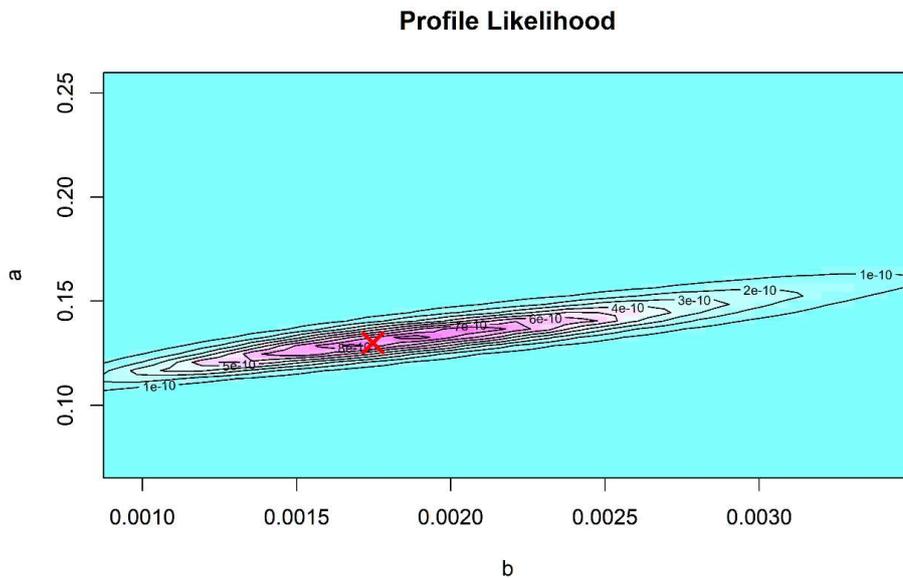


補足図 1-6. BH 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果

赤線は元データでの推定値、青線は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（千トン）、縦軸は加入尾数（億尾）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 年漁期）を示す。



補足図 1-7. BH 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 90%信頼区間（青線）
赤線はパラメータの点推定値である。



補足図 1-8. BH 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	-	0.1099	199.17	0.4322	0	21.8839	0.4527	44
リッカー	L2	無	-	0.1188	0.0012	0.4271	0	33.9582	0.3262	44
ベバートン・ ホルト	L2	無	-	0.1204	0.0014	0.4276	0	40.5008	0.3246	44
ホッケー・ スティック	L1*2	無	-	0.1171	197.03	0.4363	0	23.0806	0.4758	44
リッカー	L1	無	-	0.1286	0.0014	0.4294	0	31.6992	0.3475	44
ベバートン・ ホルト	L1	無	-	0.1300	0.0017	0.4294	0	38.6055	0.3640	44

*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（億尾）である。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指標であり、RI 型および BH 型の場合は $0.2SB_0$ のときの平均加入尾数を R0 で割った値、HS 型の場合は $1-SB_h/SB_0$ （SB_h 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 4.3.3) を用いて実施した。

2-1) 再生産関係と今後の加入の想定

将来予測における加入量は、本資料において提案されたベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係 (表 1b) と予測親魚量から求めた。

本系群に再生産関係を当てはめた時、近年は残差が負に偏る傾向が見られているため (補足図 1-2)、将来予測においては、今後 5 年間は直近 5 年間のような加入状況が続き、その後徐々に過去の平均的な加入状況に戻るという仮定を以下のバックワードリサンプリング法によって設定した (補足図 2-1)。なお、加入量の不確実性を考慮するため、10,000 回の繰り返し計算を行った。

- 将来予測の 1~5 年目：資源評価の最新 5 年分 (2019~2023 年漁期、2024 年漁期の加入量は予測値であるため含めない) の残差のみから重複を許したリサンプリングを行う。
- 将来予測の 6~10 年目：最新 5 年分 (2019~2023 年漁期) の残差、または、さらに過去に遡った 5 年分 (2014~2018 年漁期) の残差のどちらかをランダムに選択し、選ばれた方の 5 年分の残差から重複を許してリサンプリングする。
- 将来予測の 11 年目~：上記の手順のように、5 年ずつリサンプリングできる範囲を追加する。

このバックワードリサンプリング法で使用する加入量の残差は、適用された再生産関係式に対し、今年度の資源解析結果で得られた親子関係のプロットからの残差として求めた。

2-2) 翌年漁期の加入量予測と漁獲量算定

再生産関係式を用いて翌年の加入量を予測するためには資源評価の当年漁期終了後の親魚量および加入変動 (再生産関係からのずれ) を予測する必要があるが、これらの予測には誤差が伴う。誤差の詳細と漁獲量算定までの流れについて以下に記す。なお、スルメイカは単年性資源であるため、資源尾数と加入尾数は同値である。

① 漁期終了後の親魚尾数の予測

t 年漁期終了後の親魚尾数 S_t は t 年漁期の資源尾数 N_t と漁獲尾数 C_t 、および自然死亡係数 M (0.6) から式 1 で計算される。

$$S_t = \left[N_t - C_t \cdot \exp\left(\frac{M}{2}\right) \right] \cdot \exp(-M) \quad (1)$$

N_t は資源量指標値 (= 小型いか釣り漁船の標準化 CPUE) に比例係数を掛けることで算出される。資源評価の当年漁期においては、資源尾数は当年漁期途中までの小型いか釣り漁業データと調査データから予測する。また、当年漁期の漁獲尾数は予測資源尾数と直近 3 年間の平均漁獲係数などによる現状の漁獲圧 (F_{current}) から予測する。したがって、当年漁期終了後の予測親魚尾数 S_t' には、当年漁期の資源尾数の予測誤差、および F_{current} による漁獲尾

数の予測誤差が含まれる。過去のデータに基づいて S'_t の誤差を推定するため、1982～2023年漁期の各年漁期を対象として上記の将来予測と同様に漁期途中までのデータから標準化CPUEの予測値と F_{current} を求め、過去の予測親魚尾数 $S'_{t,\text{past}}$ を計算した。対数正規分布の誤差を仮定し、親魚尾数の確定値 $S_{t,\text{past}}$ に対する $S'_{t,\text{past}}$ の標準誤差 σ_1 (0.19)を求めた。将来予測のシミュレーションにおいては、 $S'_{t,k}$ は式2で得られるとした。

$$S'_{t,k} = S_{t,k} \cdot \exp(\varepsilon_{t,1,k} - 0.5\sigma_1^2), \quad \varepsilon_{t,1,k} \sim \text{Normal}(0, \sigma_1^2) \quad (2)$$

$\varepsilon_{t,1,k}$ は平均0、標準偏差 σ_1 の正規分布から得られるランダムな誤差であり、 $-0.5\sigma_1^2$ は平均値のバイアス補正項である。kはシミュレーションの試行回数を示す。

② 加入変動の予測

スルメイカ冬季発生系群の再生産関係はBH型であり、親魚尾数と加入尾数の関係は式3で定式化される。

$$R(S_t|a, b) = \frac{aS_t}{1 + bS_t} \quad (3)$$

aとbは再生産関係式から推定される係数である。ここで、各年漁期の資源尾数の確定値 $N_{i,\text{past}}$ と再生産関係式からの推定値との残差 e_i は式4で表される(iは1980～2023年漁期)。

$$e_i = \log(N_{i,\text{past}}) - \log R(S_{i-1,\text{past}}|a, b) \quad (4)$$

実際の資源変動には確率的な加入変動が伴い、本資源では今後5年間は直近5年間のような加入状況が続くと想定したバックワードリサンプリング法を適用しているため、翌年漁期の真の資源尾数は式5で表される。

$$N_{t+1,k} = R(S_{t,k}|a, b) \cdot \exp(\varepsilon_{t,2,k} + \delta), \quad (5)$$

$$\delta = -\log\left(\frac{\sum_{i=198}^{2023} \exp(e_i)}{44}\right)$$

$\varepsilon_{t,2,k}$ はバックワードリサンプリング法によって無作為抽出される残差である。 δ は残差リサンプリングで誤差を与える場合の平均値のバイアス補正項であり、再生産関係式に $\exp(\varepsilon_{t,2,k} + \delta)$ を掛けることによって加入変動を表している。

翌年漁期の真の資源尾数は式5で表されるが、将来予測においては親魚尾数と加入変動に予測誤差が生じるため、管理上の予測資源尾数 $N'_{t+1,k}$ は式6で表される。

$$N'_{t+1,k} = R(S'_{t,k}|a, b) \cdot \exp(\varepsilon'_{t,2,k} + \delta) \quad (6)$$

$\varepsilon'_{t,2,k}$ はバックワードリサンプリング法によって前述の手順と同様に無作為抽出される残差であり、真の加入変動を表す式5の $\varepsilon_{t,2,k}$ とは独立である。

③ 予測資源尾数からの漁獲量算定

漁獲管理規則案に基づいて翌年の漁獲尾数 $C'_{t+1,k}$ を算定する際には、漁獲係数 $F'_{t+1,k}$ を掛ける資源尾数として $N'_{t+1,k}$ を使用する(式7)。

$$C'_{t+1,k} = N'_{t+1,k} \cdot \exp\left(-\frac{M}{2}\right) \cdot [1 - \exp(-F'_{t+1,k})], \quad F'_{t+1,k} = f(S'_{t,k}) \quad (7)$$

$F'_{t+1,k}$ は漁獲管理規則案に基づき、式8と式9によって求められる（図7a参照）。

$$F'_{t+1,k} = \begin{cases} 0 & \text{if } S'_{t,k} < SB_{\text{ban}} \\ \beta \cdot \gamma \cdot F_{\text{msy}} & \text{if } SB_{\text{ban}} < S'_{t,k} < SB_{\text{limit}} \\ \beta \cdot F_{\text{msy}} & \text{if } S'_{t,k} \geq SB_{\text{limit}} \end{cases} \quad (8)$$

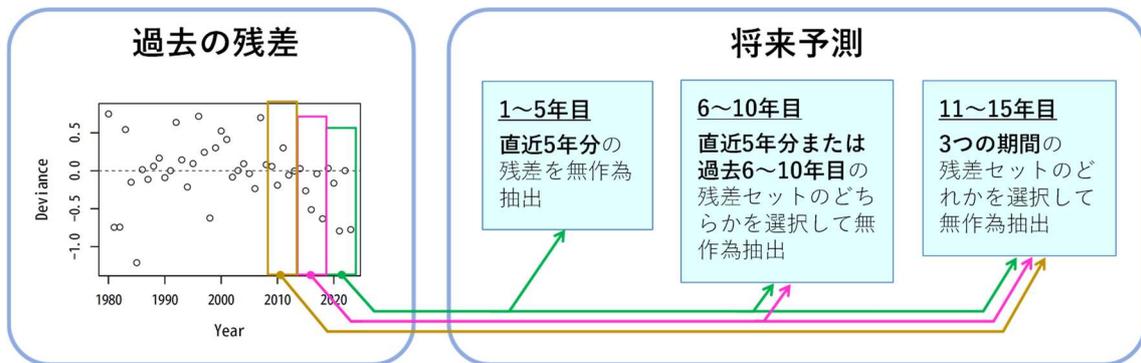
$$\gamma = \frac{S'_{t,k} - SB_{\text{ban}}}{SB_{\text{limit}} - SB_{\text{ban}}} \quad (9)$$

F_{msy} はMSYを得られる漁獲係数、 SB_{limit} は限界管理基準値案、 SB_{ban} は禁漁水準案である。
 $t+1$ 年漁期終了後の真の親魚尾数 $S_{t+1,k}$ を計算する際には真の資源尾数 $N_{t+1,k}$ と $C'_{t+1,k}$ を使用するが、 $C'_{t+1,k}$ が $N_{t+1,k} \cdot \exp(-M/2)$ 以上の場合は $S_{t+1,k}$ が計算上0以下になってしまうため、僅かながら $S_{t+1,k}$ が残るように式10で漁獲尾数を下方修正した。続いて、式11で $S_{t+1,k}$ を算出した。

$$C'_{t+1,k} = 0.99N_{t+1,k} \cdot \exp\left(-\frac{M}{2}\right) \quad (10)$$

$$S_{t+1,k} = \left[N_{t+1,k} - C'_{t+1,k} \cdot \exp\left(\frac{M}{2}\right) \right] \cdot \exp(-M) \quad (11)$$

尾数単位による計算結果は、今年度の資源評価における平均体重（310 g）を用いて、最終的に全て重量単位に換算した。なお、実際の管理の手順では、漁獲管理規則案に基づいた翌年漁期の漁獲尾数 $C'_{t+1,k}$ は、異なる $\varepsilon'_{t,2,k}$ をランダムに抽出した十分回数のシミュレーションによって得られた $N'_{t+1,k}$ の分布を基に計算される $C'_{t+1,k}$ の分布の平均値を利用しているが、ここでは計算時間の短縮のために式7を利用した。



補足図 2-1. バックワードリサンプリング法の概念図