

令和 3（2021）年度カタクチイワシ太平洋系群の 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、再生産関係や管理基準値案などを検討した。本系群の再生産関係は、海洋環境等に伴って大きく変化している可能性があることから、資源評価により推定された親魚量と加入量から高加入期（1988～2009 年）の情報を除き、近年と同程度の加入状況を反映すると考えられる通常加入期（1978～1987 年および 2010～2018 年）の情報にベバートン・ホルト（BH）型再生産関係を適用する。BH 型再生産関係のパラメータ推定には最小二乗法を使用し、加入量の残差の自己相関は考慮しなかった。目標管理基準値としては、再生産関係に基づき算出される最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量である SB_{msy} （11.2 万トン）を、限界管理基準値としては、MSY の 60% の漁獲量が得られる親魚量である $SB_{0.6msy}$ （2.8 万トン）を、禁漁水準としては、MSY の 10% の漁獲量が得られる親魚量である $SB_{0.1msy}$ （0.3 万トン）を提案する。MSY を実現する漁獲圧（ F_{msy} ）は、現状の漁獲圧（2018～2020 年の平均の漁獲係数）の 0.48 倍である。

（本資料における、再生産関係、MSY、 F_{msy} および SB_{msy} については、令和 2 年度の資源評価結果に基づき、令和 3 年 2 月 16 日に開催されたカタクチイワシ太平洋系群の新たな資源評価に関する研究機関会議において議論され、令和 3 年 3 月 26 日にカタクチイワシ太平洋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、基本的に前記会議において検討のために用いられた資料からの転載となっている。一方、漁獲管理規則案に基づく将来予測結果については、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した）

親魚量 (万トン)	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 (万トン)	現状の漁獲圧 (2018～2020 年) に対する比*	説 明
目標管理基準値案					
11.2	3.25	0.35	8.1	0.48	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					
2.8	0.82	0.09	4.8	1.14	MSY の 60%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
0.3	0.09	0.01	0.8	1.59	MSY の 10%の漁 獲が得られる親魚 量 (SB0.1msy)
2020 年					
3.5	1.00	0.26	5.6**	—	2020 年の値

* 管理基準値案および禁漁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 年の実際の漁獲量を示す。

1. 再生産関係

1-1) 使用するデータセット

本資源の再生産関係式の設定は「令和 3（2021）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2021-ABCWG02-01）」に従い、以下のデータセットを使用して実施した。解析には R パッケージ frasyr (v2.1.1.0、コミット番号 426f94b) を用いた。frasyr で用いた式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和 3 年度研究機関会議版）（FRA-SA2021-ABCWG01-02、2021 年 2 月 19 日版）」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
加入量・親魚量	令和 2 年度カタクチイワシ太平洋系群の資源評価(水産庁・水産機構)

1-2) 再生産関係の検討

本資源の最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量の算出や漁獲管理規則案に基づく将来予測の計算など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。最適化方法として、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でモデルを比較した。後出

の、期間で再生産関係を分けたモデルと比較できるように、自己相関パラメータを推定する際は同時推定法（自己相関パラメータもモデルに組み込み、再生産関係式のパラメータと自己相関パラメータを同時に推定する手法）を用いた（詳細は「再生産関係推定におけるモデル診断手法（FRA-SA2020-BRP01-5）」を参照）。再生産関係の検討に使用するデータは、令和2年度の資源評価で推定された1978～2018年の加入量および親魚量とした。同資源評価の最終年である2019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。全期間のデータを用いた場合の再生産関係の検討候補を表1に示す。再生産関係式によらず、残差に自己相関を考慮したモデルの方が補正赤池情報量規準（AICc）は低くなった。

カタクチイワシ太平洋系群は、数十年スケールの地球規模の大気～海洋生態系の構造の転換（レジームシフト）と同期して、マイワシ太平洋系群と逆位相の変化を示しながら、大きく資源変動することが知られている（Kawasaki 1992、Klyashtorin 1998、Chavez et al. 2003）。海洋環境などの変化は、環境収容力や加入成功などに影響し（Tanaka 2003、Yatsu et al. 2005）、再生産関係にも変化をもたらす可能性が考えられる。全期間のデータに再生産関係を当てはめたときに、加入量の残差に自己相関が見られたことも、期間によって再生産関係が異なることに起因する可能性がある。そこで、再生産関係が期間によって異なる場合も検討することとし、これまでの文献（Kurota et al. 2020）を参考に、再生産関係が高加入期（1988～2009年）と通常加入期（1978～1987年および2010～2018年）の二種類の様態に分けられると仮定した上で、すべての再生産関係のタイプについてモデルを検討した（補足資料1、および「再生産関係推定におけるモデル診断手法（FRA-SA2020-BRP01-5）」も参照）。なお、期間を区切って再生産関係を求めた場合は自己相関を考慮しなかった。期間で分けた場合の再生産関係の検討候補を表1に示す。補正赤池情報量規準（AICc）は、再生産関係にBH型を用いた場合に低く、また、最適化手法に最小二乗法を用いた場合に低くなった。

1-3) 再生産関係の候補

再生産関係のタイプに関わらず、期間を区切って再生産関係を求めた場合の方が、全期間のデータに当てはめた場合よりもAICcは低くなった（表1）。また、期間で分けた再生産関係の中でも、AICcの低い最小二乗法が、推奨される推定方法と考えられた。さらに、最小二乗法を用いた場合、BH型の再生産関係を仮定したモデルのAICcが最小となった。これらの結果や、「再生産関係の決定に関するガイドライン（FRA-SA2020-ABCWG01-03）」のa（予測力）およびb（生物学的妥当性）の基準に従い、本系群の再生産関係としては、通常加入期と高加入期で分割し、最小二乗法を用いて求めたBH型再生産関係を適用する（図1）。なお、本資源の近年の加入量は低い水準で推移しているため、通常加入期の再生産関係を、MSYを実現する親魚量の算出や漁獲管理規則案に基づく将来予測の計算などに用いた。

2. 管理基準値

2-1) データセットおよび計算方法

MSYを実現する親魚量の算出や漁獲管理規則案に基づく将来予測の計算などは、「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)」の1系資源の管理規則に従い、1-3)で決定した再生産関係と、令和2年度の資源評価における将来予測計算に用いた各種設定（自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重）を使用して実施した。管理基準値案などを達成する努力量と現状の努力量との比較は、令和3年度資源評価における現状の漁獲圧に基づいて行った。現状の漁獲圧の年齢別選択率は、MSYを実現する親魚量の算出に用いた令和2年度の $F_{current}$ の年齢別選択率（表2）と等しくなるように、 F 値と%SPRとの関係を用いて調整した（F2018-2020、図2）。現状の漁獲圧に基づく将来予測においては、このF2018-2020を現状の漁獲圧として使用した。本資源では、平均世代時間（1.4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、この平衡状態において平均漁獲量が最大化される F 値を F_{msy} 、さらに、この 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

通常加入期における目標管理基準値(SB_{target})としてはMSYを実現する親魚量(SB_{msy} : 11.2万トン)を、限界管理基準値(SB_{limit})としてはMSYの60%の漁獲量が得られる親魚量($SB_{0.6msy}$: 2.8万トン)を、禁漁水準(SB_{ban})としてはMSYの10%の漁獲量が得られる親魚量($SB_{0.1msy}$: 0.3万トン)を用いることを提案する。これらの管理基準値案などについて、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35%に相当し、その平均親魚量に対して期待できる平均漁獲量(MSY)は8.1万トンである。また、MSYを実現する漁獲圧(F_{msy} 、目標管理基準値案に対応する漁獲圧)の、現状の漁獲圧に対する比($F_{msy}/F_{2018-2020}$)は0.48で、その時の漁獲割合(U_{msy})は28%である。限界管理基準値として提案する $SB_{0.6msy}$ は SB_0 の9%、禁漁水準として提案する $SB_{0.1msy}$ は SB_0 の1%である。

様々な F 値を変えた場合の平衡状態における平均親魚量およびこれに対応する年齢別平均漁獲量を図3に示す。平均親魚量が SB_{limit} 以下では0歳および1歳魚がほとんどを占め、 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

通常加入期におけるMSYを実現する親魚量である SB_{msy} と、MSYを実現する漁獲圧である F_{msy} を基準にした神戸プロットを図4に示す。各年の親魚量および漁獲係数(F 値)は令和3年度の資源評価で推定された値である。本系群における F 値は、1978～1979年、1983年、1986～1987年および2010～2013年には F_{msy} を下回っていたが、それ以外の年は F_{msy} を上回っていたと判断される。現状の親魚量(2020年の親魚量: 3.5万トン)は限界管理基準値案(SB_{limit} 、2.8万トン)を上回っているが、目標管理基準値案(SB_{target} 、11.2万トン)は下回っている。2020年の親魚量に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案および禁漁水準案の比は、それぞれ3.25、0.82および0.09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本資料で提示した値を用いた場合（すなわち、 SB_{limit} は $SB0.6msy$ 、 SB_{ban} は $SB0.1msy$ の場合）の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を図 5a に、この漁獲管理規則案で漁獲した場合に期待できる平均的な漁獲量との関係を図 5b に示す。図に例示した漁獲管理規則案は、いずれも β に標準値である 0.8 を用いた。

2-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

(1) 調整係数 β に標準値を用いた場合

限界管理基準値案と禁漁水準案に標準値を用いて、 β を 0.8 とした漁獲管理規則案（図 5a）で将来予測した場合の、資源量、親魚量、漁獲量、加入量および漁獲割合などの推移を図 6 に示す。なお、今回の将来予測では、漁獲管理規則案による漁獲は 2022 年から開始し、2021 年の漁獲量は同年に予測される資源量と F2018-2020 から仮定した。ここで、F2018-2020 は、令和 2 年度資源評価の $F_{current}$ と同じ選択率の下で、%SPR が令和 3 年度資源評価における 2018～2020 年の平均漁獲圧と同じ値をとる F 値である。

予測される 2022 年の親魚量は限界管理基準値案を上回っているため、漁獲管理規則案に従い、まず βF_{msy} での漁獲が行われる。 $\beta=0.8$ の場合、 βF_{msy} での漁獲圧は、現在の漁獲努力量の 0.4 倍の漁獲圧に相当する。なお、中長期的には、 $0.8F_{msy}$ で漁獲を継続した場合、漁獲量は平均的に MSY 水準付近で推移するのに対し、親魚量は平均的に MSY 水準を上回る形で推移すると予測される。

(2) 調整係数 β を変えた場合

漁獲管理規則案を用いた将来予測について、調整係数 β を 0.0～1.0 の間で変えた場合に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、禁漁水準案を上回る確率、親魚量平均値の推移、および漁獲量平均値の推移を表 4～8 に示した。それぞれの表には、F2018-2020 で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。本資源の親魚量は 2020 年時点で限界管理基準値案を上回る一方、目標管理基準値案は下回っているが、漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2032 年には、 β が 0.8 であれば 73%の確率で目標管理基準値案を上回る（表 4）。また、 β が 0.9 以下であれば、2032 年には 50%以上の確率で目標管理基準値案以上に親魚量を維持できるが、 β が 1 の場合には、親魚量が 2032 年に目標管理基準値案を上回る確率は 50%を下回る。なお、 β が 1 であっても、2023 年以降は限界管理基準値案以上に親魚量を維持できる（表 5）。

2023 年以降の親魚量は β が低い程多くなる一方（表 7）、いずれの β の値でも 2022 年の漁獲量は現状（2020 年：5.6 万トン）よりも少ない（表 8）。

表 9 に β を 0.0～1.0 の間で変えた場合に管理開始後 10 年目までの期間内において親魚量が限界管理基準値案を下回るリスク、親魚量が禁漁水準案を下回るリスクおよび漁獲量が前年と比較して半減するリスクを示した。いずれのリスクも 1%を下回った。

3. まとめ

本資源では、令和 2 年度の資源評価で推定された 1978～2018 年の加入量および親魚量に基づき、再生産関係として通常加入期（1978～1987 年および 2010～2018 年）の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二乗法により推定した。

目標管理基準値案には、上記の再生産関係から推定される MSY を実現する親魚量である SBmsy（11.2 万トン）を提案する。また、限界管理基準値案および禁漁水準案には、標準値である SB0.6msy（2.8 万トン）および SB0.1msy（0.3 万トン）をそれぞれ提案する。

現在の本資源の親魚量は限界管理基準値案以上、目標管理基準値案未満にあると考えられる。MSY を実現する漁獲割合は 28%、同漁獲圧は F2018-2020 の 0.48 倍である（表 3）。 β が 0.9 以下であれば、10 年後に 50%以上の確率で親魚量が MSY を実現する水準を上回ると予測される。

4. 今後の検討事項

本資源は寿命が短く、漁獲物の大半は 0～1 歳魚であるため、将来予測には大きな不確実性がある。また、TAC 管理の候補種であることから、漁獲数量の制限が実施された場合に向けて、コホート解析へのチューニングの導入の検討が必要である。

なお、本種はマサバなどの様々な高次捕食者を支える餌資源でもあるため、捕食圧の影響は浮魚資源の中でも他魚種と比べて大きい可能性があるが、捕食圧の影響を精度高く定量することは困難であるため、本資源の自然死亡係数（M）に適切に反映できていないことにより、資源量や漁獲圧の推定などに大きな不確実性をもたらしている可能性がある。そのため、捕食圧や M の検証など、不確実性の軽減に向けた取り組みが必要である。

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 年度研究機関会議版). FRA-SA2020-ABCWG01-02. 2021 年 2 月 19 日版. <http://abchan2.fra.go.jp/nc3/community/001fa787b4032d1aaf8c4e589746603/c64f0de2b6e39c59ab6845bb293593ce>

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

Chavez, F.P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota, C.M. Niquen (2003) From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, **299**, 217-221.

Kawasaki, T. (1992) Climate-dependent fluctuations in far eastern sardine population and their impacts on fisheries and society. In: *Climate variability, climate change and fisheries*, ed. Glantz, M.H., Cambridge University press, Cambridge, pp. 325-354.

Klyashtorin, L. B. (1998) Long-term climate change and main commercial fish production in the Atlantic and Pacific. *Fish. Res.*, **37**, 115-125.

Kurota, H., C.S. Szuwalski, M. Ichinokawa (2020) Drivers of recruitment dynamics in Japanese major fisheries resources: Effects of environmental conditions and spawner abundance. *Fish.*

Res., **221**, 105353.

西嶋翔太・市野川桃子・岡村 寛 (2020) 再生産関係推定におけるモデル診断手法. FRA-SA2020-BRP01-5.

Tanaka, E. (2003) A method for estimating dynamics of carrying capacity using time series of stock and recruitment. Fish. Sci., **69**, 677-686.

Yatsu, A., T. Watanabe, M. Ishida, H. Sugisaki, L.D. Jacobsen (2005) Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management. Fish. Oceanogr., **14**, 263-278.

(執筆者：木下順二、安田十也、渡邊千夏子、上村泰洋)

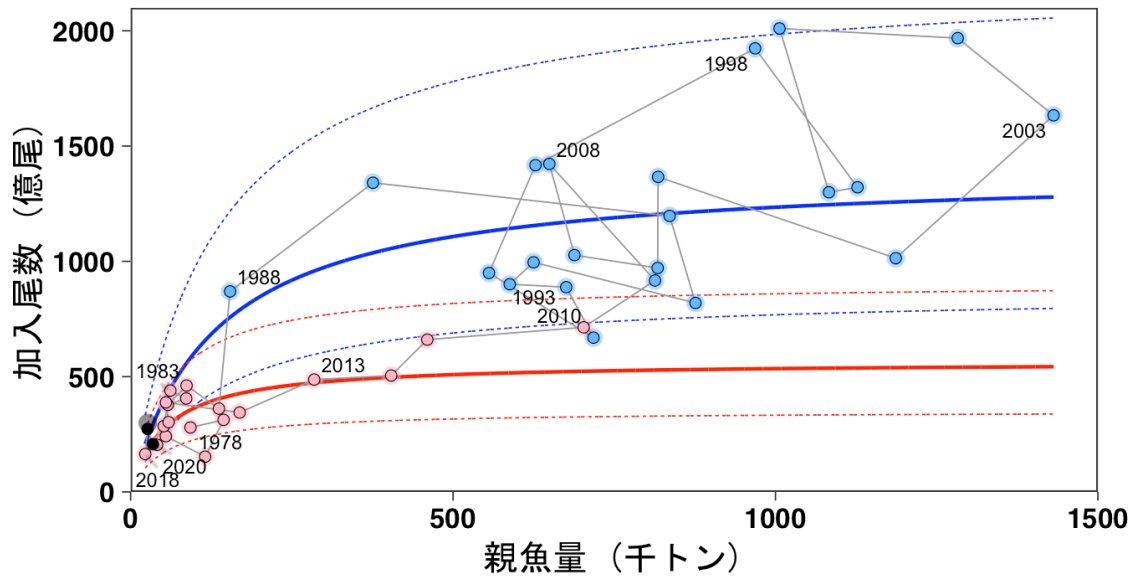


図 1. 再生産関係

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、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。青実線は高加入期 (1988～2009 年) の再生産関係、赤実線は通常加入期 (1978～1987 年および 2010～2018 年) の再生産関係である。青および赤の丸印は、分析に使用した令和 2 年度の資源評価で推定された高加入期および通常加入期の親魚量と加入量をそれぞれ示す。パラメータ推定の際は加入量の推定値に不確実性の高い 2019 年のデータ (灰色点) を除いた。図中の再生産関係式の上下の点線は、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。図中の枠付き丸印および黒丸は、再生産関係のパラメータ推定に用いたデータではなく、令和 3 年度の資源評価で推定された 1978～2018 年および 2019～2020 年の親魚量と加入量をそれぞれ示す。図中の数字は加入群の年級 (生まれ年) を示す。

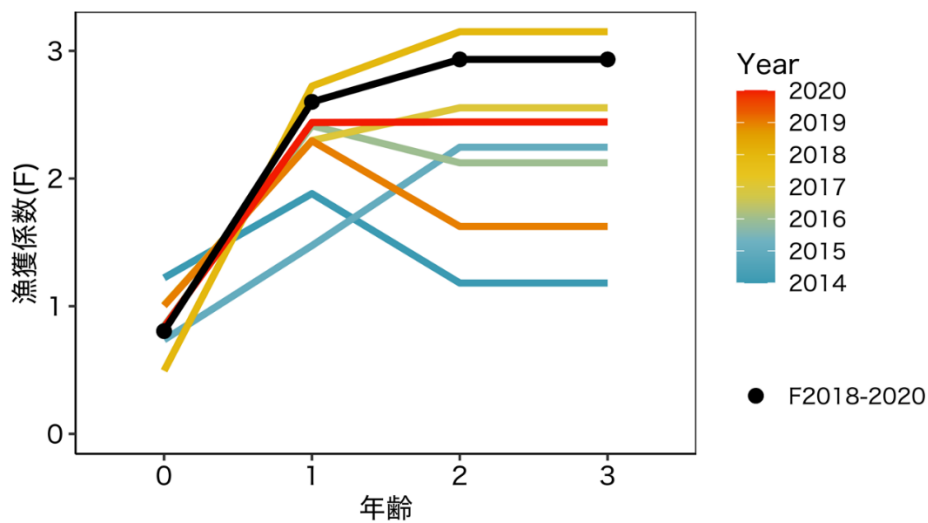


図 2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

令和 3 年度の資源評価における 2014 年以降の各年の年齢別 F 値を示す。黒線は令和 3 年度の資源評価における現状の漁獲圧であり、年齢別選択率が令和 2 年度の $F_{current}$ の選択率と等しくなるように、F 値と %SPR との関係を用いて調整した (F2018-2020)。

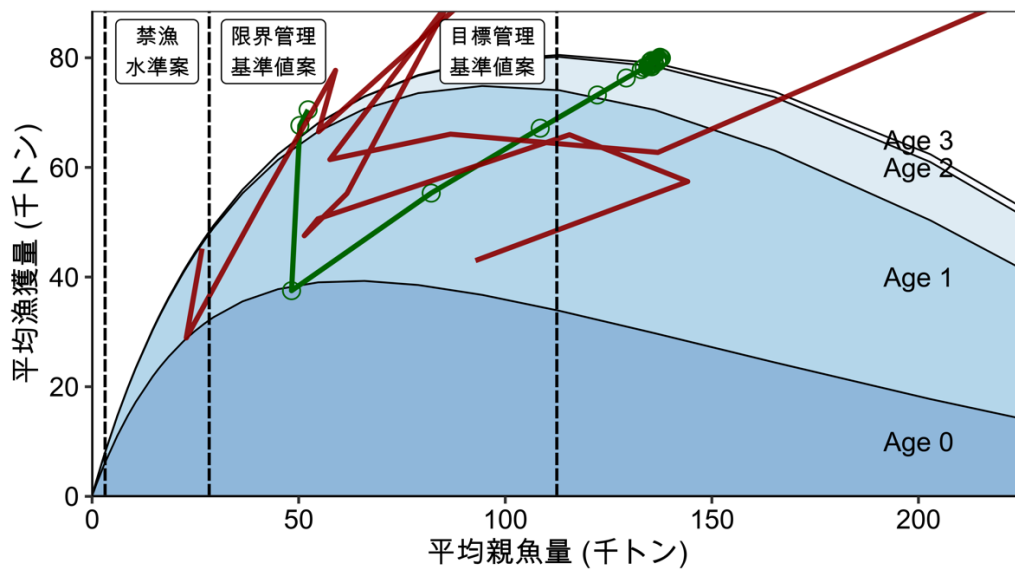


図 3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

令和 2 年度の資源評価結果の下で、通常加入期の再生産関係を適用した場合の将来予測シミュレーションにおける、平衡状態での平均親魚量に対する年齢別平均漁獲量の関係と、平均親魚量に対する管理基準値案および禁漁水準案の位置関係を示す。赤線は令和 2 年度の資源評価により推定された親魚量と漁獲量の推移を、緑線は調整係数 $\beta = 0.8$ の漁獲管理規則案 (HCR) で漁獲を行った場合の将来予測での平均親魚量と平均漁獲量の推移を示す。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 32.2 万トンである。

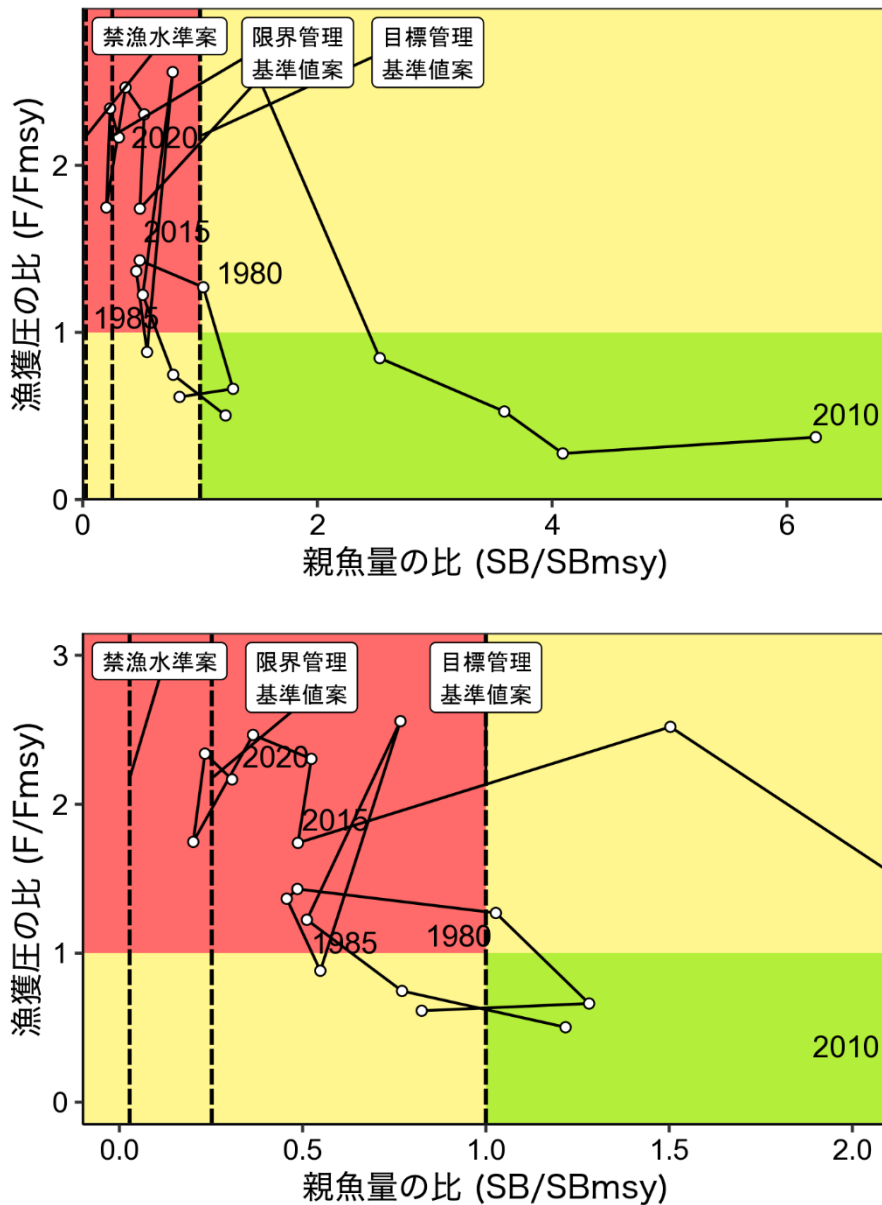
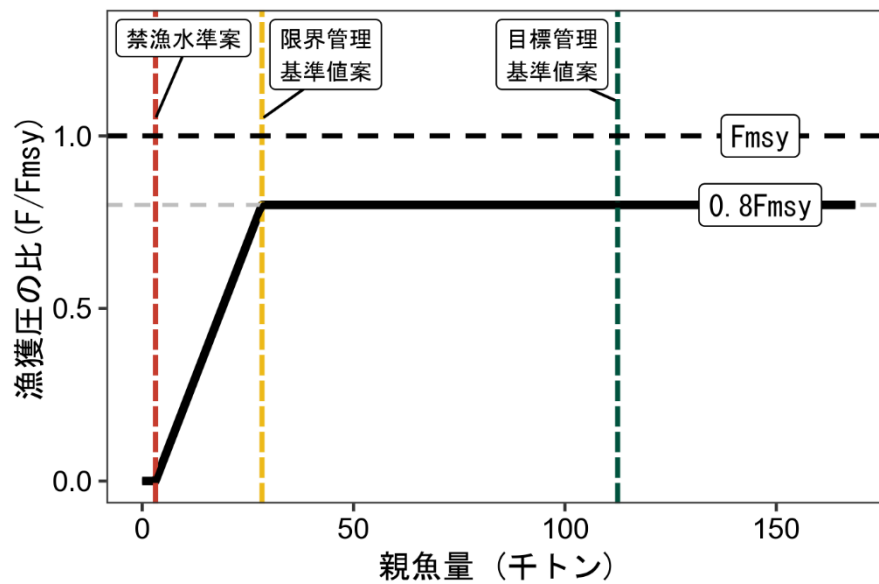


図 4. 神戸プロット

横軸は各年の親魚量 (SB) の MSY を実現する親魚量 (SB_{msy}) に対する比、縦軸は各年の漁獲圧 (F) の MSY を実現する漁獲圧 (F_{msy}) に対する比である。図中の目標管理基準値案、限界管理基準値案および禁漁水準案には、それぞれ令和 2 年度の資源評価結果から推定された SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ および $SB_{0.1msy}$ を用いた。各年の SB および F は令和 3 年度の資源評価で推定された値である。白丸は通常加入期とした年 (1978～1987 年および 2010～2020 年) の結果である。下図は上図の一部を拡大したものである。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

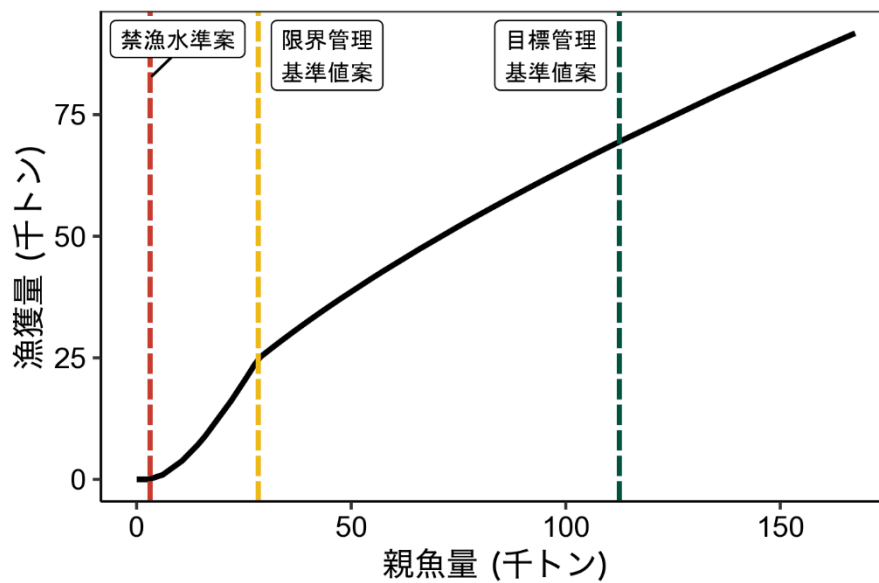


図 5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値案 (SBtarget) は通常加入期の BH 型再生産関係に基づき算出した SBmsy である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) には、それぞれ SB0.6msy と SB0.1msy 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 Fmsy、灰色破線は 0.8Fmsy、黒太線は漁獲管理規則案 (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。

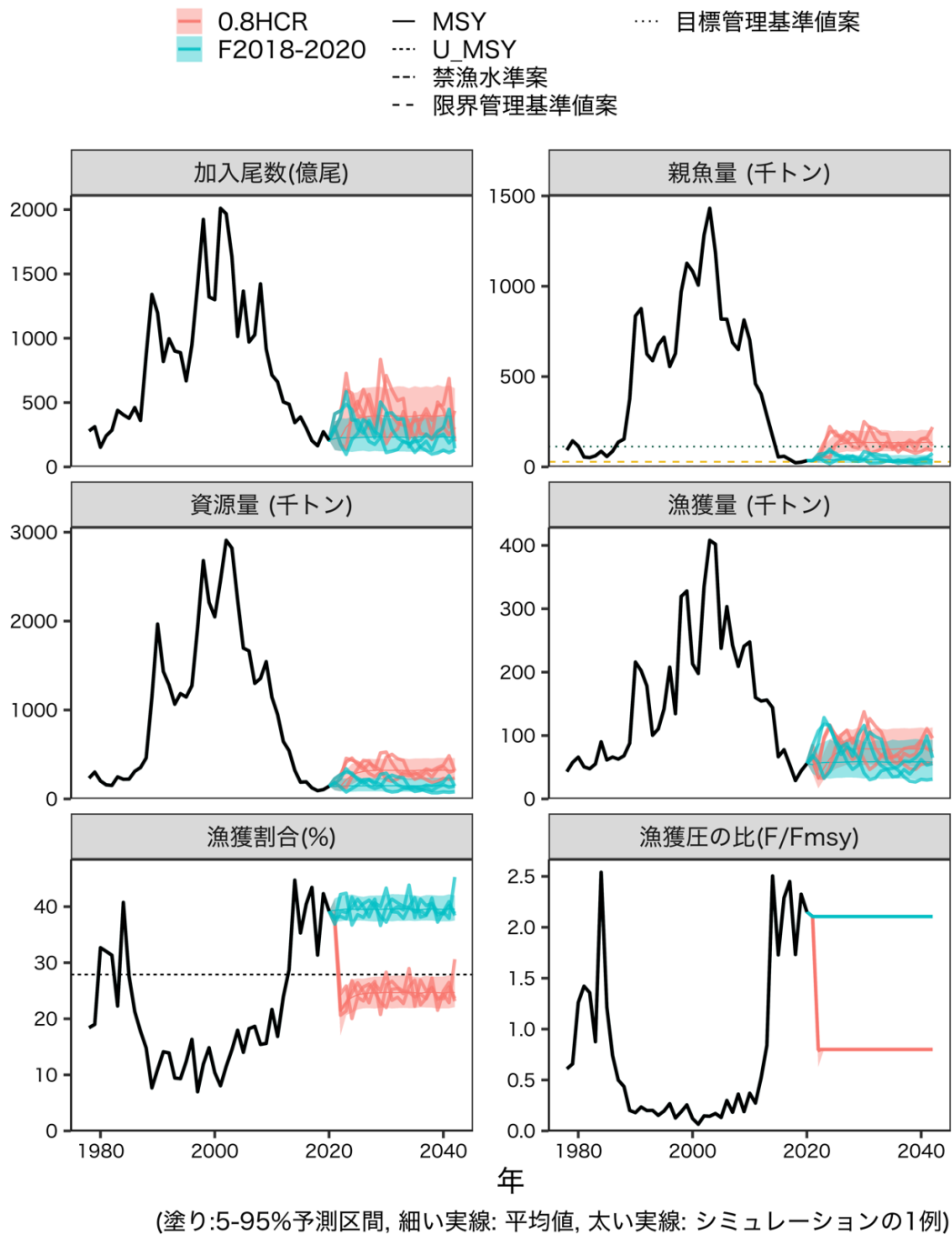
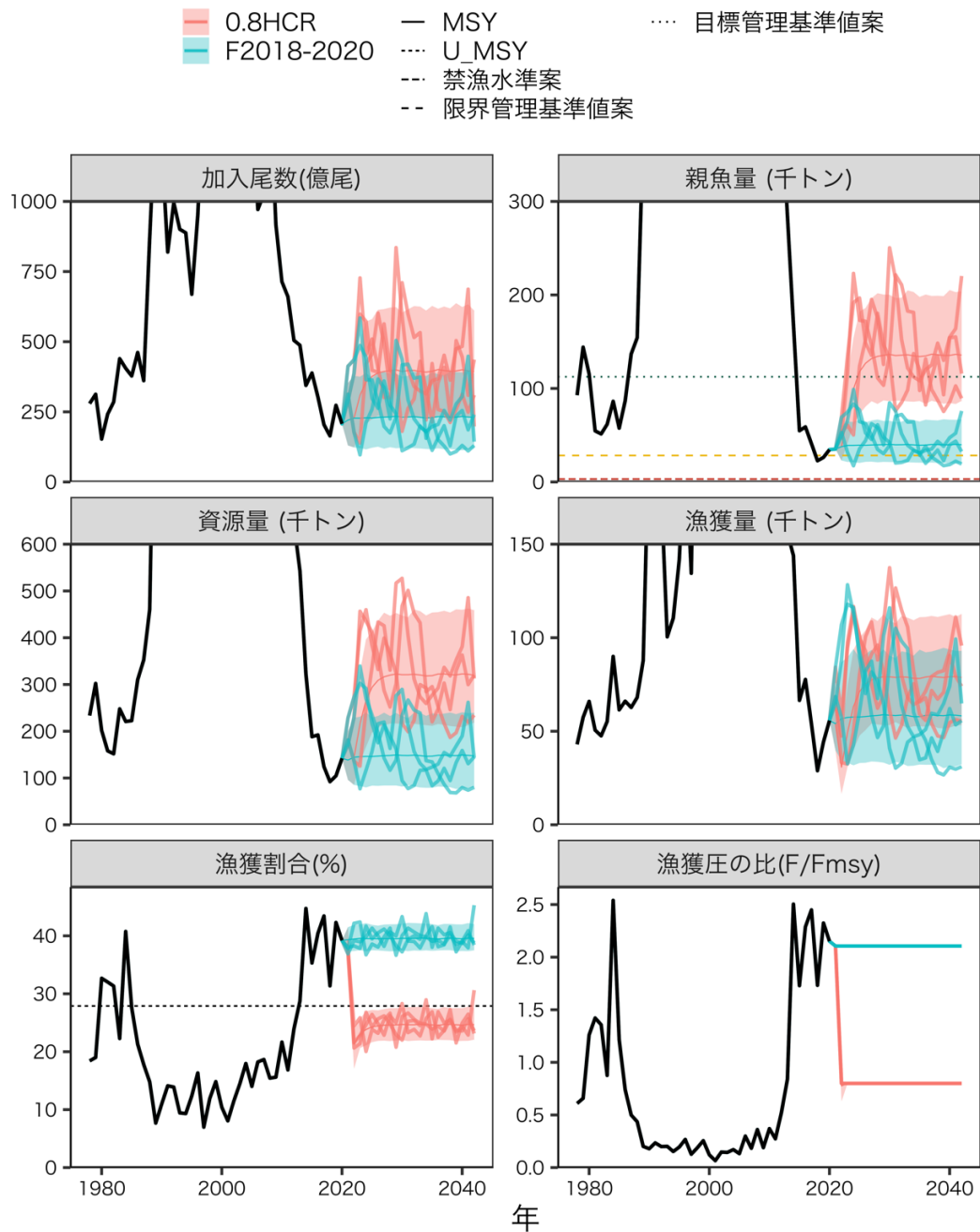


図 6. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

細実線は平均値、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、太実線は 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 年の漁獲は同年に予測される資源量と 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。



(塗り:5-95%予測区間, 細い実線: 平均値, 太い実線: シミュレーションの1例)

図 6. (続き) 加入尾数、親魚量、資源量、漁獲量などのパネルの低値の拡大図

表 1. 再生産関係式の検討候補

適用した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、再生産関係の推奨順位を示したものではない。全期間の場合では、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。

全期間の場合

再生産関係式	最適化法	自己相関	AICc	$\Delta AICc$	順位
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	無	54.0	21.2	7
リッカー (RI)	最小二乗法	無	51.6	18.8	6
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	無	40.2	7.4	2
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	有	43.5	10.7	4
リッカー (RI)	最小二乗法	有	40.4	7.6	3
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	有	32.8	0.0	1
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	無	56.0	23.2	8
リッカー (RI)	最小絶対値法	無	61.3	28.5	9
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	無	44.4	11.6	5

期間で分けた場合

再生産関係式	最適化法	自己相関	加入期	期間	AICc	$\Delta AICc$	順位
ホッケー・スティック	最小二乗法	無	通常	1978~1987 及び 2010~2018	32.09	5.98	3
			高	1988~2009			
リッカー	最小二乗法	無	通常	1978~1987 及び 2010~2018	43.39	17.28	5
			高	1988~2009			
ベバートン・ホルト	最小二乗法	無	通常	1978~1987 及び 2010~2018	26.11	0.00	1
			高	1988~2009			
ホッケー・スティック	最小絶対値法	無	通常	1978~1987 及び 2010~2018	35.88	9.77	4
			高	1988~2009			
リッカー	最小絶対値法	無	通常	1978~1987 及び 2010~2018	46.74	20.63	6
			高	1988~2009			
ベバートン・ホルト	最小絶対値法	無	通常	1978~1987 及び 2010~2018	29.34	3.23	2
			高	1988~2009			

表 2. MSY を実現する親魚量の算出や漁獲管理規則案に基づく将来予測の計算などに用いた各種設定

年齢	自然死亡 係数	成熟率	平均重量 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (F _{current}) *	F2018-2020**
0	1.0	0.0	4.7	0.27	0.76	0.81
1	1.0	1.0	10.0	0.89	2.46	2.60
2	1.6	1.0	17.8	1.00	2.77	2.93
3	1.9	1.0	23.6	1.00	2.77	2.93

* F_{current} は令和 2 年度の資源評価における 2017～2019 年の F 値の年齢別平均値である。

** F2018-2020 は令和 3 年度の資源評価における 2018～2020 年の F 値の年齢別平均値と%SPR が等しい漁獲圧である。

表 3. 各種管理基準値案における平衡状態のときの平均親魚量、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する比、平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、令和 3 年度の資源評価における現状の漁獲圧 (F2018-2020) に対する努力量の比の関係、および MSY を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数 (Fmsy)

管理基準値案	説明	親魚量 (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	SBtarget	11.2	0.35	8.1	44.8	0.28	0.48
限界管理基準値案	SB0.6msy	2.8	0.09	4.8	22.5	0.41	1.14
禁漁水準案	SB0.1msy	0.3	0.01	0.8	15.3	0.47	1.59
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳) =(0.38, 1.23, 1.39, 1.39)					

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	3	15	28	35	39	42	44	46	44	46	44	43
0.9	0	0	0	4	21	38	50	54	56	59	59	59	58	56	58
0.8	0	0	0	6	29	51	62	69	70	72	73	74	73	72	72
0.7	0	0	0	7	37	64	77	82	85	85	85	86	84	84	84
0.6	0	0	0	8	47	76	88	92	92	93	93	93	92	92	93
0.5	0	0	0	12	59	87	95	97	96	98	97	97	98	97	98
0.4	0	0	0	16	70	94	99	99	99	99	99	100	100	99	100
0.3	0	0	0	21	81	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	25	89	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	31	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	38	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2018-2020	0	0	0	0	0	0	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 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は 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 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	100	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2018-2020	100	100	81	79	78	78	78	79	80	81	79	81	80	80	78

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 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 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	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
0.0	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 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 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（千トン）

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	35	35	38	65	85	99	106	110	111	112	113	112	113	113	112
0.9	35	35	38	68	92	108	116	120	122	123	124	123	123	123	123
0.8	35	35	38	71	99	118	127	132	134	135	136	135	136	136	135
0.7	35	35	38	75	107	129	140	145	148	149	150	149	149	149	149
0.6	35	35	38	78	116	141	154	160	163	165	166	164	165	165	164
0.5	35	35	38	82	126	155	170	177	181	182	183	182	182	182	182
0.4	35	35	38	87	137	171	188	197	200	202	204	202	202	203	202
0.3	35	35	38	91	149	189	210	219	223	226	227	225	226	226	225
0.2	35	35	38	96	162	210	234	245	250	253	254	252	253	253	252
0.1	35	35	38	102	177	234	263	276	282	284	286	284	284	285	283
0.0	35	35	38	108	194	261	296	312	319	322	324	322	322	323	320
F2018-2020	35	35	38	39	39	39	39	40	40	40	40	40	40	40	40

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 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 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（千トン）

β	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	56	54	36	54	66	73	77	79	80	81	80	80	80	80	80
0.9	56	54	34	52	65	73	76	79	80	80	80	80	80	80	80
0.8	56	54	31	49	63	71	75	77	79	79	79	79	79	79	79
0.7	56	54	28	46	61	69	73	76	77	77	77	77	77	77	77
0.6	56	54	25	43	57	66	70	72	73	74	74	74	74	74	74
0.5	56	54	21	39	53	61	66	68	69	69	69	69	69	69	69
0.4	56	54	18	33	47	55	59	61	62	63	63	62	63	62	62
0.3	56	54	14	27	39	47	50	52	53	53	53	53	53	53	53
0.2	56	54	10	20	29	35	38	40	40	41	41	41	41	41	41
0.1	56	54	5	11	16	20	22	23	23	23	24	23	23	23	23
0.0	56	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2018-2020	56	54	57	57	58	58	58	58	58	59	59	58	59	58	58

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 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 F2018-2020 で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 9. 予測される平均親魚量および平均漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率などのまとめ

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の結果をまとめた。漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度(0 年後)である 2022 年の値と、5 年間および 10 年間管理を行った後である 2027 年および 2032 年の値を示した。

β	10 年後 の目標 達成確 率	予測平均親魚量 (千トン)		予測平均漁獲量 (千トン)			リスク (10 年間に 1 度で も起きる確率)		
	親魚資 源量が 目標管 理基準 値案を 上回る	5 年後	10 年 後	0 年後	5 年後	10 年 後	親魚量 が現在 の水準 を下回 る	親魚量 が禁漁 水準を 下回る	漁獲 量が 半減 する
		2027 年	2032 年	2022 年	2027 年	2032 年			
1	46%	110	113	36	79	80	1%未満	0%	0%
0.9	58%	120	123	34	79	80	1%未満	0%	0%
0.8	73%	132	136	31	77	79	1%未満	0%	0%
0.7	84%	145	149	28	76	77	0%	0%	0%
0.6	92%	160	165	25	72	74	0%	0%	0%
0.5	98%	177	182	21	68	69	0%	0%	0%
0.4	100%	197	202	18	61	63	0%	0%	0%
0.3	100%	219	226	14	52	53	0%	0%	0%
0.2	100%	245	253	10	40	41	0%	0%	0%
0.1	100%	276	284	5	23	23	0%	0%	0%
0	100%	312	322	0	0	0	0%	0%	0%

補足資料 1 再生産関係式のモデル診断結果について

最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量の算出や漁獲管理規則案に基づく将来予測の計算など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の候補とした。 R_y を y 年当初の加入量、 B_y を y 年当初の親魚量、 A_{min} を加入年齢 (本資源の場合には $A_{min} = 0$) としたときのそれぞれの再生産関係式の数式は以下の通りである。

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

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

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

いずれの再生産関係式でも、推定するパラメータは a および b の 2 つである。HS 型の場合、 a は折れ点までの再生産曲線の傾き (百万尾/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。

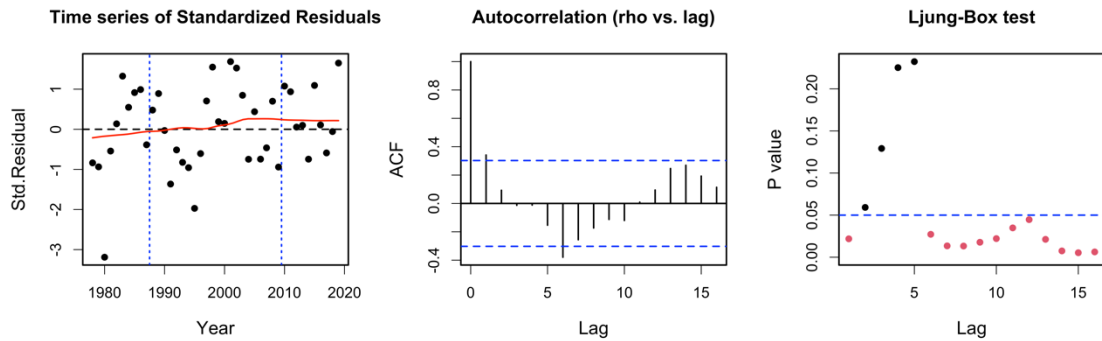
再生産関係がレジームによって分かれ、全期間 (1978~2018 年) の場合について、HS 型、RI 型、および BH 型の再生産関係式を、最小二乗法および最小絶対値法により当てはめた。残差の自己相関 (AR) については、自己相関パラメータ ρ もモデルに組み込み、再生産関係式のパラメータと同時に推定する“同時推定法”を用いた (詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (FRA-SA2020-ABCWG01-02)」を参照)。この場合、残差の正規性を仮定したほうが妥当であるため、最適化法には最小二乗法を用いた。推定された再生産関係式のパラメータを補足表 1-1 に示す。

再生産関係が通常加入期と高加入期の 2 種類の期間に分けられるとした場合について、高加入期 (1988~2009 年) と通常加入期 (1978~1987 年および 2010~2018 年) の再生産プロットにそれぞれ BH 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 1-1 に示す。残差の時系列に特段の傾向は認められない。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 1-2)。

再生産関係を期間で分け、それぞれの期間の再生産プロットに BH 型再生産関係式を最小二乗法により当てはめた場合における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。その結果、通常加入期の BH 型再生産関係式のパラメータ推定の頑健性に大きな問題はみられなかった (補足図 1-3 および 1-4)。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 1-5 および 1-6)。また、プロファイル尤度を補足図 1-7 に示した。これらの結果からは、管理基準値案の算定に用いる通常加入期の BH 型再生産関係式のパラメータ推定においては、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。

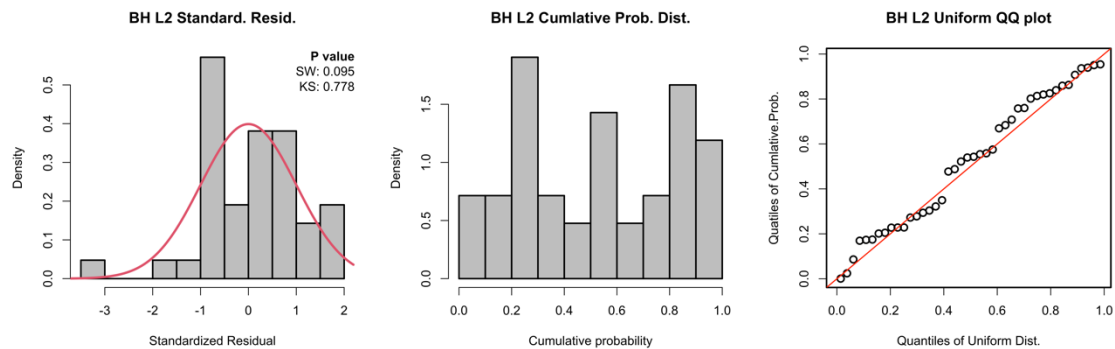
引用文献

- ABCWG (2020) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 2 年度研究機関会議版). FRA-SA2020-ABCWG01-02.
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957) On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Clark C. W., A. T. Charles, J. R. Beddington, and M. Mangel (1985) Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Mar. Resour. Econ.*, **2**, 25-53.
- Punt A, A. D. M. Smith, D. Smith, G. N. Tuck, and N. L. Klaer (2014) Selecting relative abundance proxies for BMSY and BMEY. *ICES J. Mar. Sci.*, **71**, 469-483.
- Ricker W. E. (1954) Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Board Can.*, **11**, 559-623.



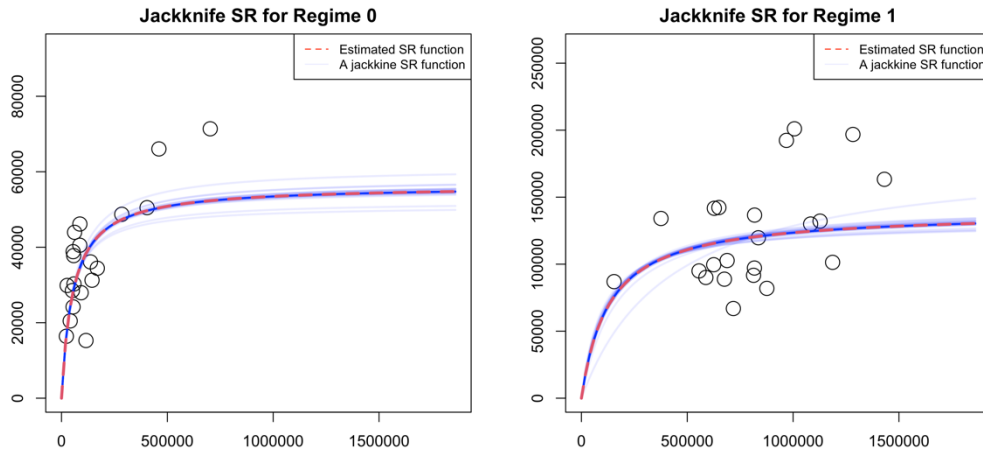
補足図 1-1. ベバートン・ホルト型再生産関係式を高加入期と通常加入期のそれぞれの再生産プロットに最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差トレンド（左図）、自己相関プロット（中央図）、および Ljung-Box 検定における P 値（右図）

残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。垂直方向の青色の点線は再生産関係が切り替わる時点を表している。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。

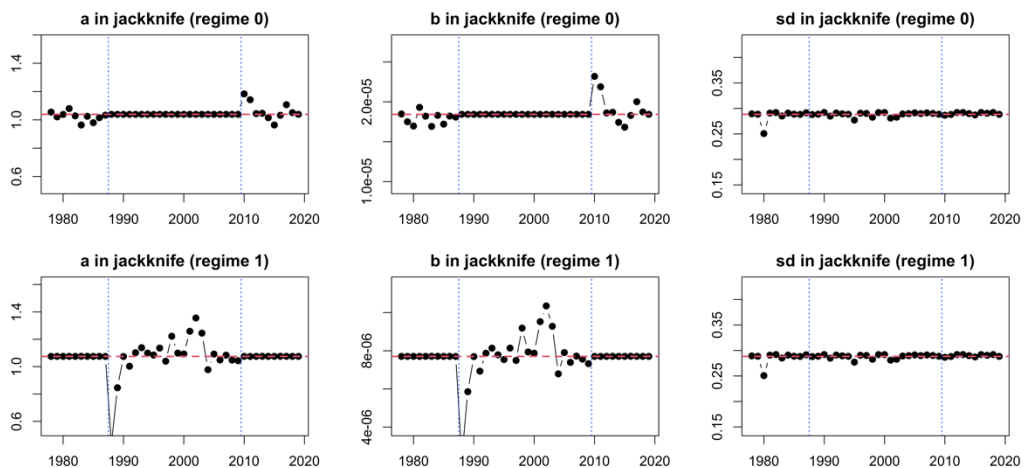


補足図 1-2. ベバートン・ホルト型再生産関係式を高加入期と通常加入期のそれぞれの再生産プロットに最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）

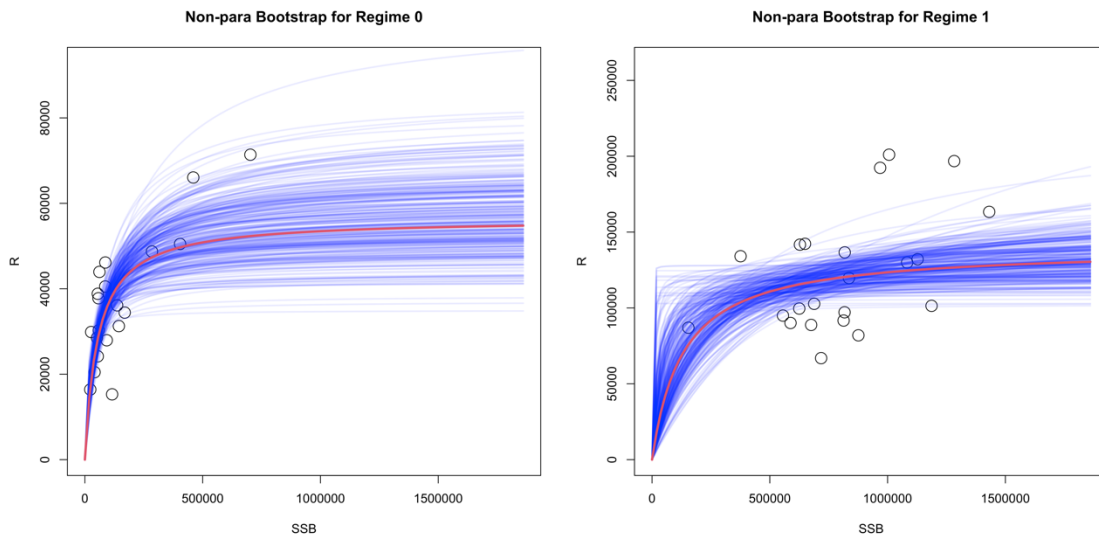
残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定（SW）と Kolmogorov-Smirnov 検定（KS）の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。



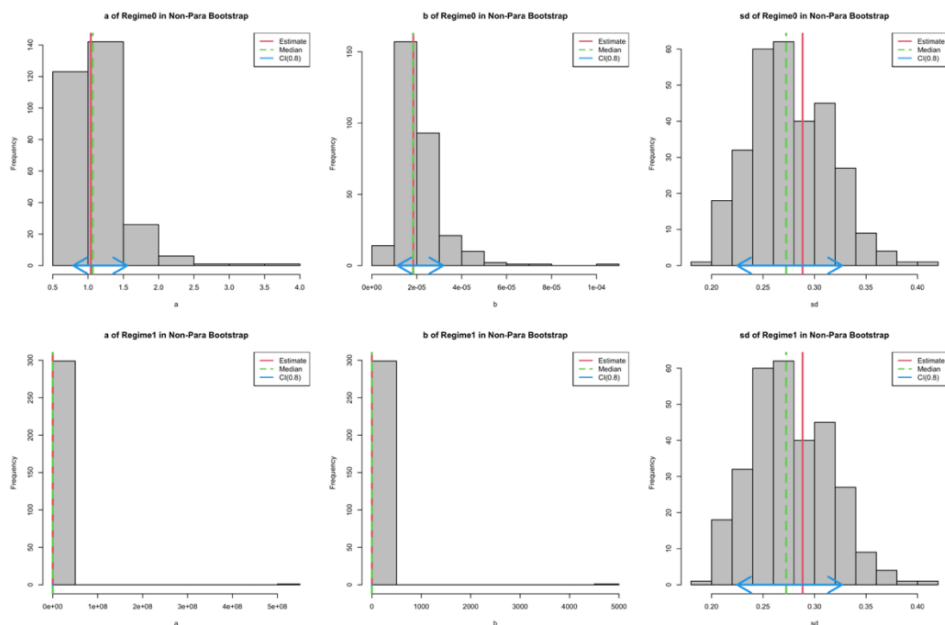
補足図 1-3. ベバートン・ホルト型再生産関係式を高加入期と通常加入期のそれぞれの再生産プロットに最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果
左図は通常加入期、右図は高加入期の結果を示す。
赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数を示す。



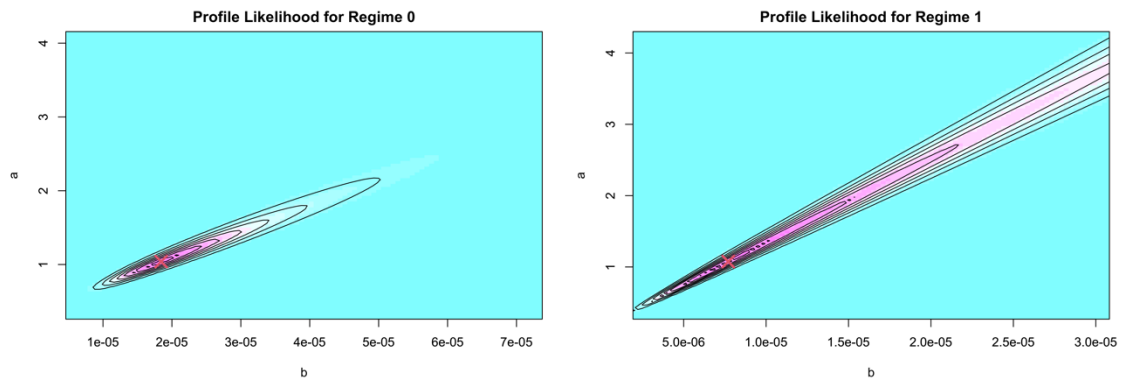
補足図 1-4. ベバートン・ホルト型再生産関係式を高加入期と通常加入期のそれぞれの再生産プロットに最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響
上段は通常加入期、下段は高加入期の結果を示す。青色の点線は再生産関係が切り替わる時点を示している。



補足図 1-5. ベバートン・ホルト型再生産関係式を高加入期と通常加入期のそれぞれの再生産プロットに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
左図は通常加入期、右図は高加入期の結果を示す。
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（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数を示す。



補足図 1-6. ベバートン・ホルト型再生産関係式を高加入期と通常加入期のそれぞれの再生産プロットに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 80%信頼区間（青線）
上段は通常加入期、下段は高加入期の結果を示す。赤線はパラメータの点推定値である。



補足図 1-7. ベバートン・ホルト型再生産関係式を高加入期と通常加入期のそれぞれの再生産プロットに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
左図は通常加入期、右図は高加入期の結果を示す。×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 を実現する親魚量の算出などに使用した再生産関係式の各パラメータの推定値

適用した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、h は 0.2SB0 になったときの R0 に対する加入の比 (スティープネス) である。

全期間の場合

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 (HS)	最小二乗法	無	-	0.421	251412	0.431	0	1059	0.746	41
リッカー (RI)	最小二乗法	無	-	0.415	1.24E-06	0.419	0	1046	0.591	41
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	無	-	0.565	3.92E-06	0.364	0	814	0.569	41
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	有	同時	0.430	245267	0.366	0.528	1054	0.751	41
リッカー (RI)	最小二乗法	有	同時	0.458	1.42E-06	0.353	0.557	1032	0.640	41
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	有	同時	0.775	6.81E-06	0.322	0.554	731	0.644	41
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	無	-	0.509	199186	0.448	0	1014	0.789	41
リッカー (RI)	最小絶対値法	無	-	0.490	1.47E-06	0.432	0	1099	0.676	41
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	無	-	0.669	5.11E-06	0.370	0	786	0.610	41

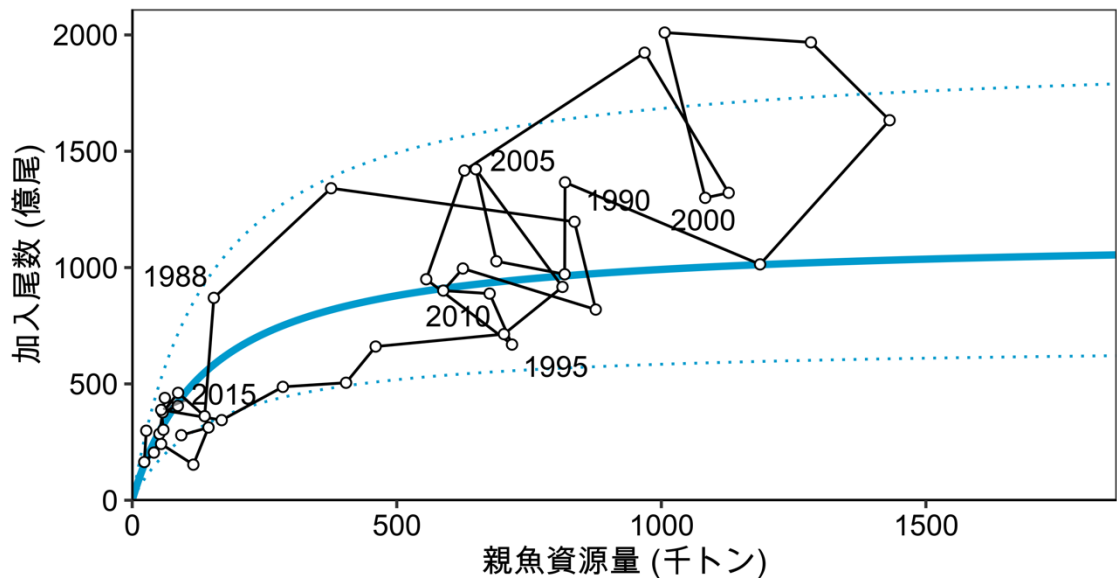
期間で分けた場合

再生産関係式	最適化法	自己相関	加入期	期間	a	b	S.D.	R0	h	データ数
ホッケー・スティック	最小二乗法	無	通常	1978~1987 及び 2010~2018	0.592	66663	0.310	395	0.819	19
			高	1988~2009	0.564	210410	0.310	1187	0.810	22
リッカー	最小二乗法	無	通常	1978~1987 及び 2010~2018	0.530	3.01E-06	0.356	631	0.719	19
			高	1988~2009	0.346	9.74E-07	0.356	1302	0.511	22
ベバートン・ホルト	最小二乗法	無	通常	1978~1987 及び 2010~2018	1.039	1.84E-05	0.288	483	0.708	19
			高	1988~2009	1.075	7.71E-06	0.288	1245	0.715	22
ホッケー・スティック	最小絶対値法	無	通常	1978~1987 及び 2010~2018	0.590	68722	0.311	405	0.818	19
			高	1988~2009	0.564	212282	0.311	1197	0.810	22
リッカー	最小絶対値法	無	通常	1978~1987 及び 2010~2018	0.618	3.17E-06	0.378	673	0.813	19
			高	1988~2009	0.247	6.60E-07	0.378	1313	0.390	22
ベバートン・ホルト	最小絶対値法	無	通常	1978~1987 及び 2010~2018	1.076	1.86E-05	0.290	498	0.715	19
			高	1988~2009	1.682	1.29E-05	0.290	1215	0.797	22

補足資料 2 自己相関考慮でレジーム分けしない場合の再生産関係と管理基準値案

(補足資料 2 に示す内容については、令和 2 年度の資源評価結果に基づいている)

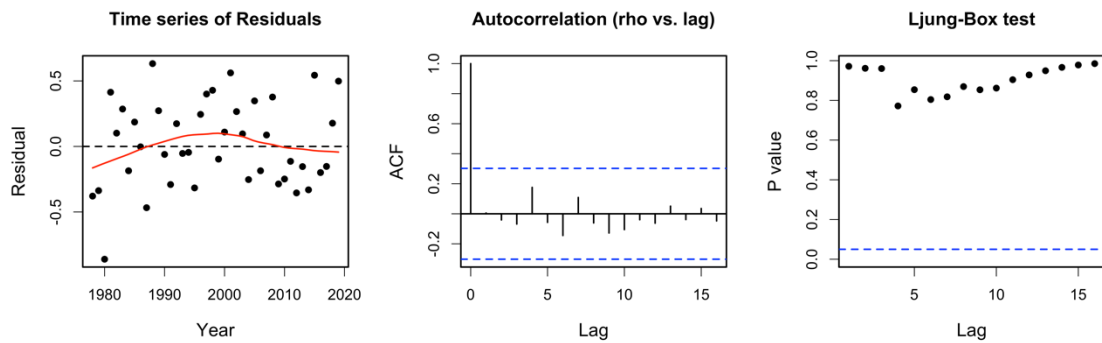
レジーム分けをしない場合の再生産関係に関する結果の概要を以下に示す（補足図 2-1～2-9、補足表 2-1～2-4）。



関数形: BH, 自己相関: 1, 最適化法L2, AICc: 32.81

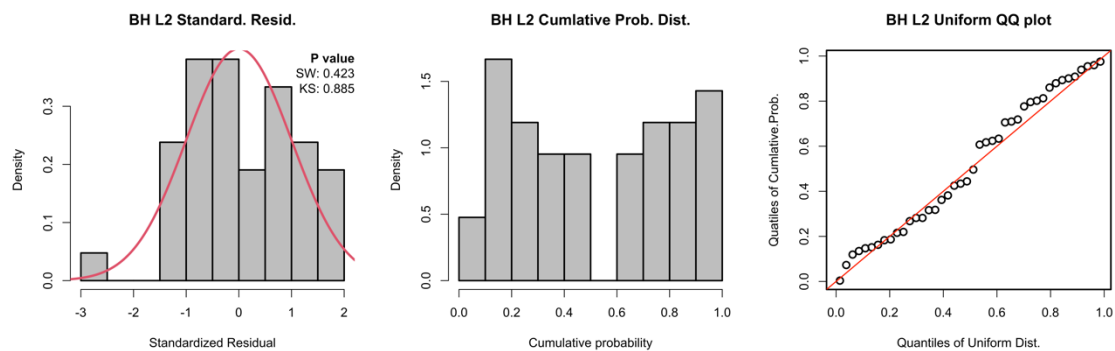
補足図 2-1. 再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮（同時推定）したベバートン・ホルト（BH）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1978～2018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2019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。



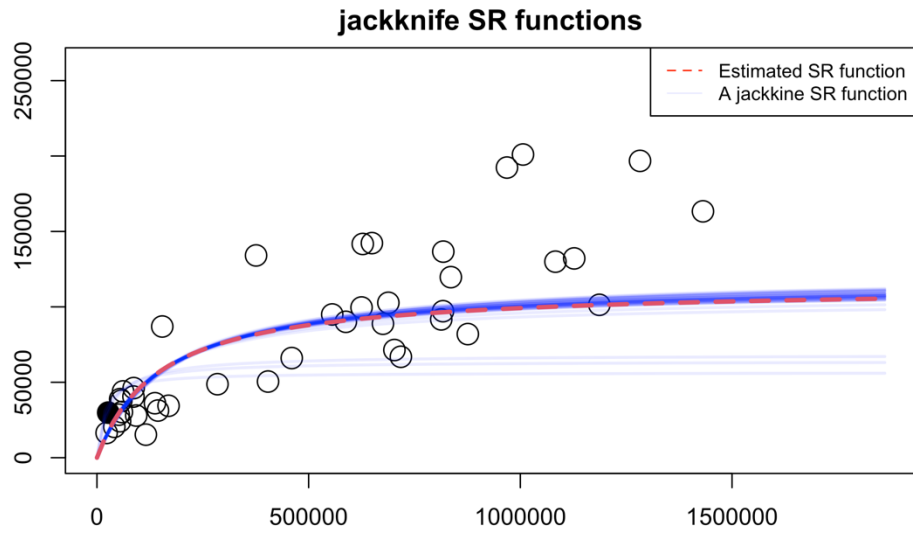
補足図 2-2. 自己相関を考慮したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差トレンド（左図）、自己相関プロット（中央図）、および Ljung-Box 検定における P 値（右図）

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。



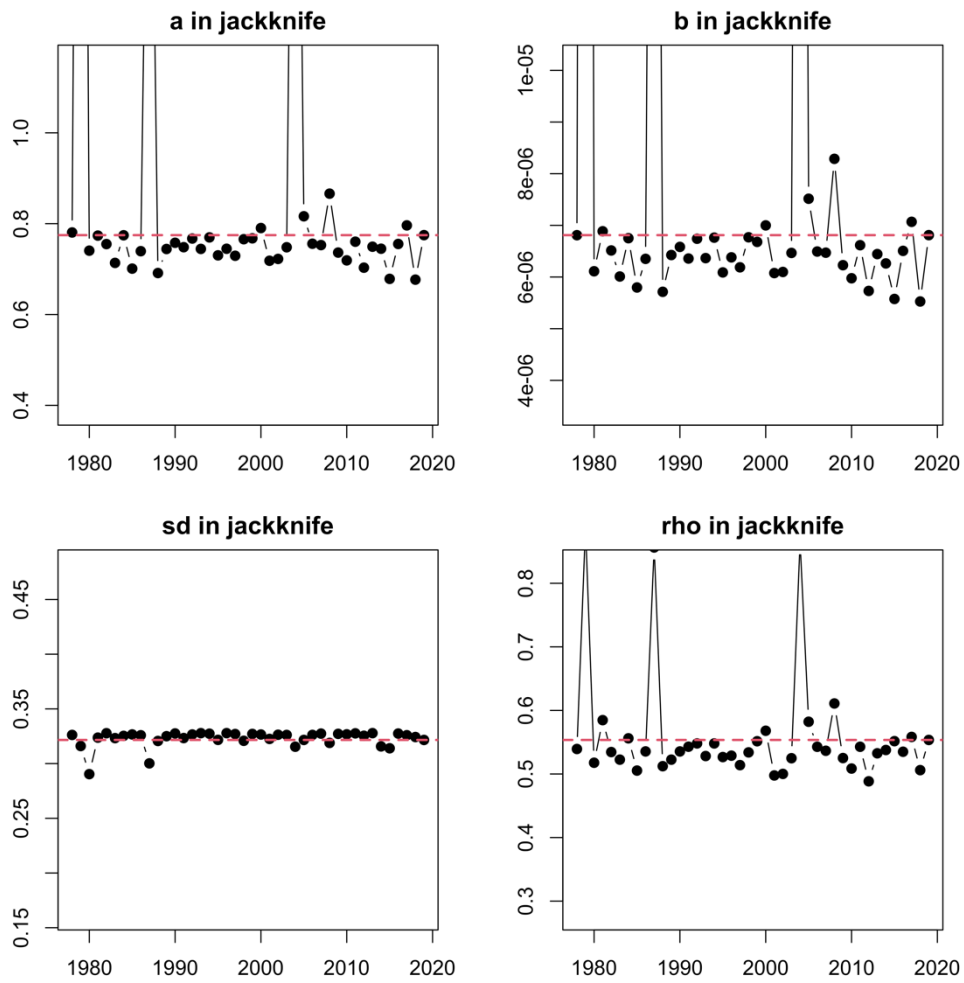
補足図 2-3. 自己相関を考慮したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）

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。

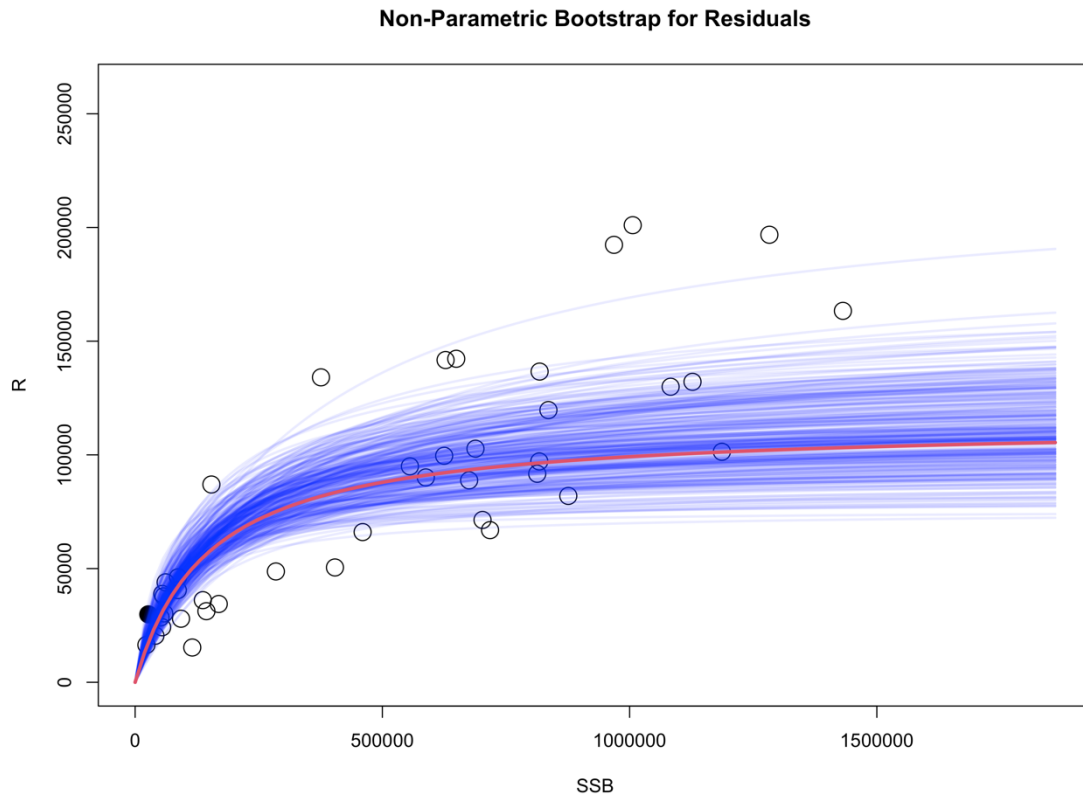


補足図 2-4. 自己相関を考慮したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果

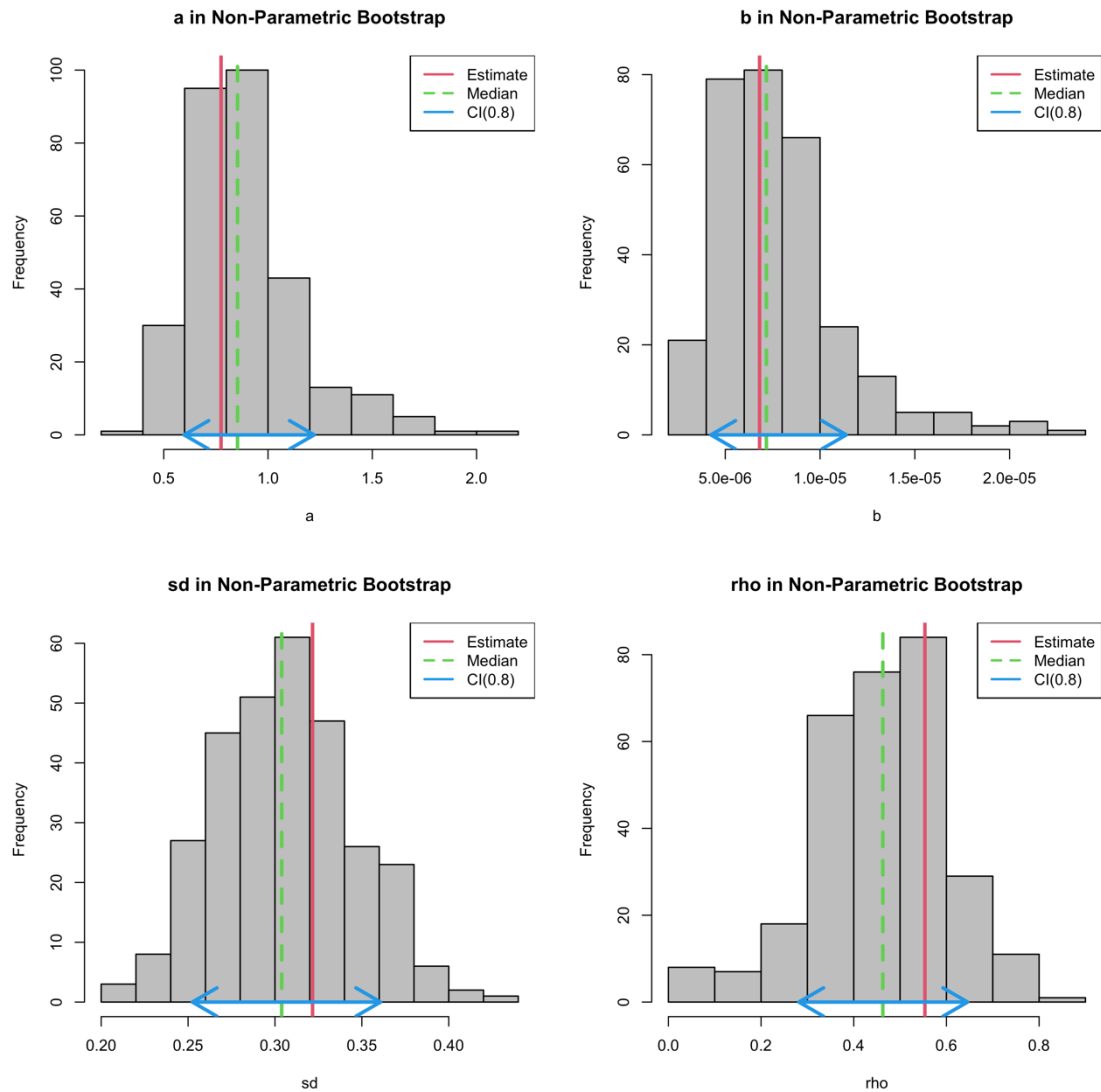
赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数を示す。



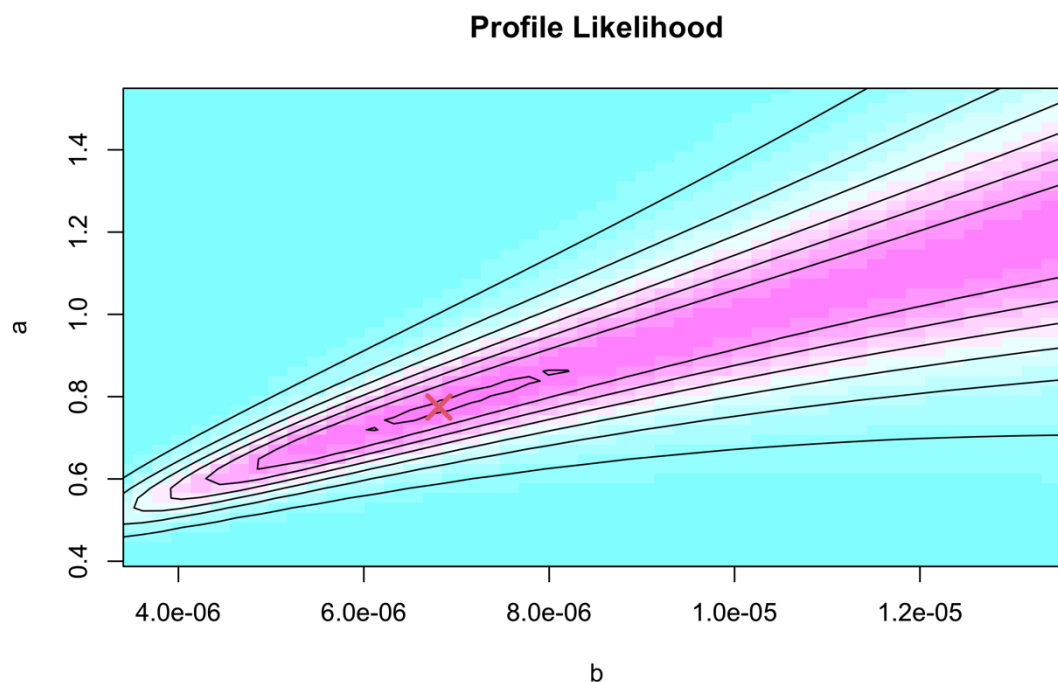
補足図 2-5. 自己相関を考慮したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



補足図 2-6. 自己相関を考慮したベバートン・ホルト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（トン）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数を示す。



補足図 2-7. 自己相関を考慮したベバートン・ホルト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 80%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 2-8. 自己相関を考慮したベバートン・ホルト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。

```
$convergence
[1] "Successful convergence"

$hessian
[1] "Hessian successfully having positive definite"

$boundary
[1] "Parameters not reaching boundaries (successful)"

$optim
[1] "NOT achieving the global optimum"

$loglik_diff
[1] 0.1198836
```

補足図 2-9. 自己相関を考慮したベバートン・ホルト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診断メッセージ
\$optim の項目は大域解が推定されたかを示す。このシナリオでは到達していない。

補足表 2-1. 再生産関係式の検討候補

再生産関係式	最適化法	推定法	AICc	ΔAICc	順位
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	二段階	54.0	21.2	6
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	同時	43.5	10.7	4
リッカー (RI)	最小二乗法	二段階	51.6	18.8	5
リッカー (RI)	最小二乗法	同時	40.4	7.6	3
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	二段階	40.2	7.4	2
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	同時	32.8	0.0	1

順位は AICc の値に基づくものであり、再生産関係の推奨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もしくは二段階推定法を用いた。最適化法には最小二乗法を用いた。

補足表 2-2. MSY を実現する親魚量の算出などに用いた各種設定

年齢	自然死亡 係数	成熟率	平均重量 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (Fcurrent)
0	1.0	0.0	6.0	0.27	0.76
1	1.0	1.0	12.5	0.89	2.46
2	1.6	1.0	18.8	1.00	2.77
3	1.9	1.0	23.8	1.00	2.77

Fcurrent は 2017～2019 年の F 値の年齢別平均値である。

平均重量は全期間（1978～2019 年）の年齢別体重の平均値である。

補足表 2-3. 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 (Fcurrent) に対する努力量の比の関係、および MSY を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数 (Fmsy)

管理基準値案	説明	親魚量 (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	SBtarget	26.4	0.362	19.2	47.5	0.28	0.50
限界管理基準値案	SB0.6msy	7.1	0.097	11.5	25.7	0.40	1.14
禁漁水準案	SB0.1msy	0.8	0.011	1.9	17.0	0.46	1.65
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳) = (0.38, 1.22, 1.38, 1.38)					

補足表 2-4. 再生産関係式と管理基準値案推定の感度試験

仮定する再生産関係による管理基準値案の違いを把握するため、AICc に基づき予測力が最も高いと判断された再生産関係モデル（BH 型）と同じ最適化方法および自己相関係数の推定方法の組み合わせで、再生産関係モデルの型を変更した場合のそれぞれ管理基準値案を算出した。最適化方法は最小二乗法を、自己相関係数の推定方法は同時推定法を適用した。それぞれの再生産関係モデルに基づき算出された管理基準値案などを下表に示す。

	BH 型（同時推定法）	HS 型（同時推定法）	RI 型（同時推定法）
SBtarget	264,101 t	358,796 t	393,809 t
SB0.6msy	70,848 t	136,213 t	132,941 t
SB0.1msy	7,662 t	17,462 t	15,547 t
MSY	191,821 t	261,771 t	234,916 t
Umsy	0.275	0.275	0.242
Fmsy/Fcurrent	0.497	0.498	0.400

HS 型や RI 型再生産関係を用いた場合、BH 型に比べて管理基準値案（SBtarget、SB0.6msy、および SB0.1msy）は高い値となる。

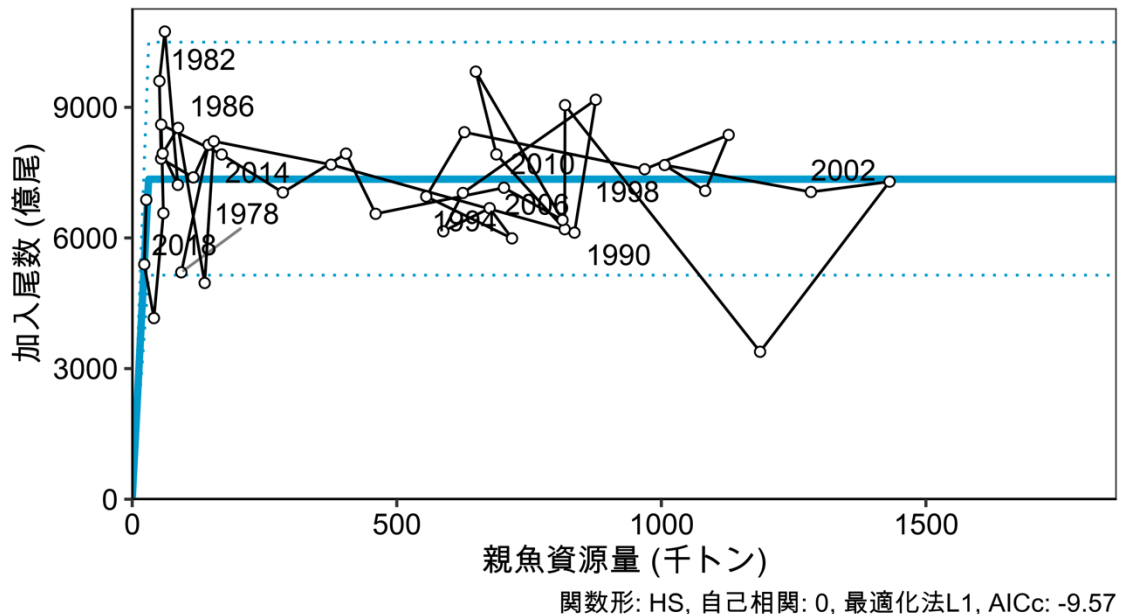
補足資料 3 シラス漁業を考慮し、0 歳魚の自然死亡係数を 1.0 とした場合の再生産関係と管理基準値案

(補足資料 3 に示す内容については、令和 2 年度の資源評価結果に基づいている)

シラス漁業で漁獲された魚を 0 歳魚として資源評価に取り込んだ場合の結果の概要を以下に示す(補足図 3-1、補足表 3-1～3-4)。この設定は令和 2 年度資源評価(木下ほか 2021)の補足資料 5 の 1 に示した設定の一つである。

引用文献

木下順二・上村泰洋・安田十也 (2021) 令和 2 (2020) 年度カタクチイワシ太平洋系群の資源評価. 1-45. <http://abchan.fra.go.jp/digests2020/details/202024.pdf>



補足図 3-1. 再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮しないホッカー・スティック (HS) 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 1978～2018 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 2019 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。

補足表 3-1. 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	推定法	AICc	ΔAICc	順位
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	無	-	-1.1	8.4	4
リッカー (RI)	最小二乗法	無	-	59.8	69.4	8
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	無	-	-1.6	8.0	3
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	有	同時	-0.4	9.2	5
リッカー (RI)	最小二乗法	有	同時	47.5	57.1	7
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	有	同時	0.9	10.5	6
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	無	-	-9.6	0.0	1
リッカー (RI)	最小絶対値法	無	-	67.2	76.8	9
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	無	-	-5.7	3.9	2

順位は AICc の値に基づくものであり、再生産関係の推奨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、最適化法には最小二乗法を用いた。

補足表 3-2. MSY を実現する親魚量の算出などに用いた各種設定

年齢	自然死亡 係数	成熟率	平均重量 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (Fcurrent)
0	1.0	0.0	0.2	1.00	3.99
1	1.0	1.0	12.5	0.62	2.46
2	1.6	1.0	18.8	0.69	2.77
3	1.9	1.0	23.8	0.69	2.77

Fcurrent は 2017～2019 年の F 値の年齢別平均値である。

平均重量は全期間の年齢別体重の平均値である。

補足表 3-3. 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（Fcurrent）に対する努力量の比の関係、および MSY を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数（Fmsy）

管理基準値案	説明	親魚量 (千トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (千トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBtarget	2,326	0.407	508	40.7	0.21	0.18
限界管理基準値案	SB0.6msy	619	0.108	305	10.8	0.42	0.47
禁漁水準案	SB0.1msy	19	0.003	51	0.6	0.59	1.18
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳) = (0.72, 0.44, 0.50, 0.50)					

補足表 3-4. 再生産関係式と管理基準値案推定の感度試験

仮定する再生産関係による管理基準値案の違いを把握するため、AICc に基づき各再生産関係モデルのうち最も AICc が低いモデルについてそれぞれ管理基準値案を算出した。HS 型は最適化法を最小絶対値法で自己相関の考慮なし、BH 型は最適化法を最小絶対値法で自己相関の考慮なし、RI 型は最適化法を最小二乗法で自己相関の考慮あり（同時推定法）とした。それぞれの再生産関係モデルに基づき算出された管理基準値案などを下表に示す。

	HS 型 最適化法：最小絶対値法 ρ 推定法：なし	BH 型 最適化法：最小絶対値法 ρ 推定法：なし	RI 型 最適化法：最小二乗法 ρ 推定法：同時推定法
SBtarget	2,325,508 t	2,307,563 t	960,290 t
SB0.6msy	619,174 t	614,349 t	267,068 t
SB0.1msy	19,177 t	0 t	30,513 t
MSY	507,959 t	504,047 t	384,656 t
Umsy	0.208	0.208	0.359
Fmsy/Fcurrent	0.180	0.180	0.369

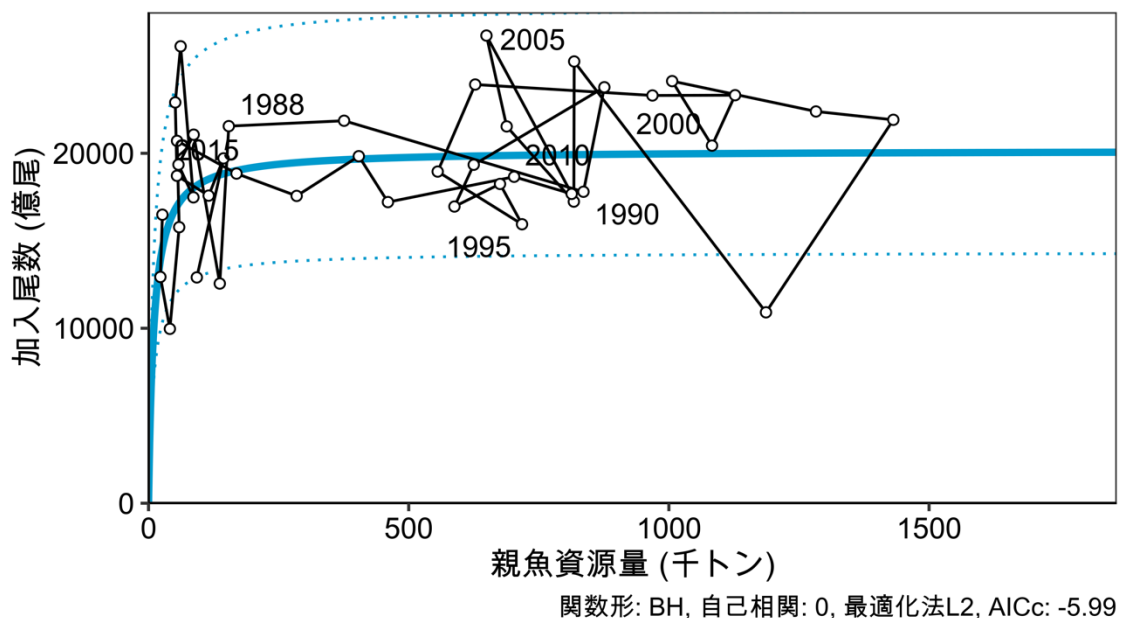
補足資料 4 シラス漁業を考慮し、0 歳魚の自然死亡係数を 2.7 とした場合の再生産関係と管理基準値案

(補足資料 4 に示す内容については、令和 2 年度の資源評価結果に基づいている)

シラス漁業で漁獲された魚を 0 歳魚として資源評価に取り込んだ場合の結果の概要を以下に示す(補足図 4-1、補足表 4-1～4-4)。この設定は令和 2 年度資源評価(木下ほか 2021)の補足資料 5 の 1 に示した設定の一つである。

引用文献

木下順二・上村泰洋・安田十也 (2021) 令和 2 (2020) 年度カタクチイワシ太平洋系群の資源評価. 1-45. <http://abchan.fra.go.jp/digests2020/details/202024.pdf>



補足図 4-1. 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 1978～2018 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 2019 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。

補足表 4-1. 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	推定法	AICc	$\Delta AICc$	順位
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	無	-	-5.1	0.9	2
リッカー(RI)	最小二乗法	無	-	58.6	64.6	8
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	無	-	-6.0	0.0	1
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	有	同時	-1.0	5.0	6
リッカー(RI)	最小二乗法	有	同時	44.3	50.3	7
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	有	同時	-3.5	2.5	5
ホッケー・スティック(HS)	最小絶対値法	無	-	-4.4	1.6	4
リッカー(RI)	最小絶対値法	無	-	66.0	72.0	9
ベバートン・ホルト(BH)	最小絶対値法	無	-	-5.0	1.0	3

順位は AICc の値に基づくものであり、再生産関係の推奨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、最適化法には最小二乗法を用いた。

補足表 4-2. MSY を実現する親魚量の算出などに用いた各種設定

年齢	自然死亡 係数	成熟率	平均重量 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (Fcurrent)
0	2.7	0.0	0.2	1.00	3.17
1	1.0	1.0	12.5	0.78	2.46
2	1.6	1.0	18.8	0.88	2.77
3	1.9	1.0	23.8	0.88	2.77

Fcurrent は 2017～2019 年の F 値の年齢別平均値である。

平均重量は全期間の年齢別体重の平均値である。

補足表 4-3. 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 (Fcurrent) に対する努力量の比の関係、および MSY を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数 (Fmsy)

管理基準値案	説明	親魚量 (千トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (千トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBtarget	6,551	0.418	1,602	41.8	0.23	0.21
限界管理基準値案	SB0.6msy	1,853	0.118	961	11.9	0.45	0.55
禁漁水準案	SB0.1msy	34	0.002	160	0.3	0.60	1.69
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳) =(0.67, 0.52, 0.58, 0.58)					

補足表 4-4. 再生産関係式と管理基準値案推定の感度試験

仮定する再生産関係による管理基準値案の違いを把握するため、AICc に基づき各再生産関係モデルのうち最も AICc が低いモデルについてそれぞれ管理基準値を算出した。BH 型は最適化法を最小二乗法で自己相関の考慮なし、HS 型は最適化法を最小二乗法で自己相関の考慮なし、RI 型は最適化法を最小二乗法で自己相関の考慮あり（同時推定法）とした。それぞれの再生産関係モデルに基づき算出された管理基準値案を下表に示す。

	BH 型 最適化法：最小二乗法 ρ 推定法：なし	HS 型 最適化法：最小二乗法 ρ 推定法：なし	RI 型 最適化法：最小二乗法 ρ 推定法：同時推定法
SBtarget	6,550,950 t	6,298,837 t	1,305,273 t
SB0.6msy	1,852,584 t	1,778,460 t	310,685 t
SB0.1msy	33,579 t	40,061 t	30,693 t
MSY	1,601,614 t	1,541,928 t	735,867 t
Umsy	0.234	0.234	0.465
Fmsy/Fcurrent	0.210	0.210	0.600

補足資料 5 真の再生産関係がレジーム分割ではなかった場合の簡易 MSE

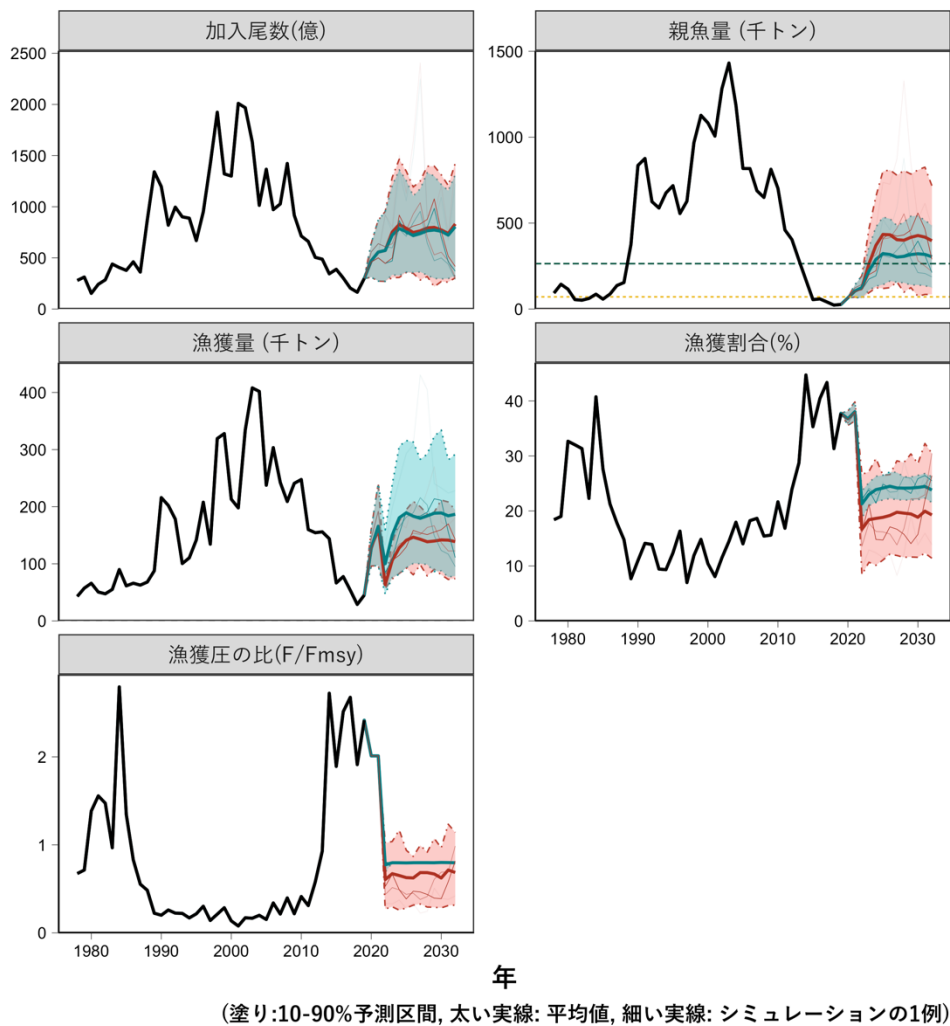
(補足資料 5 に示す内容については、令和 2 年度の資源評価結果に基づいている)

通常加入期の再生産関係を適用することには、本当は再生産関係が明確に分かれておらず期間を通じて一つであった場合に、漁獲可能量を過小に予測し、漁獲機会を損失するリスクが考えられた。そこで、真の再生産関係が、全期間のデータに当てはめた一つの再生産関係であるときに、通常加入期の再生産関係に基づき管理（漁獲管理規則案に基づく漁獲）をした場合について簡易的な MSE を行った（詳細は「簡易的 MSE を用いた複数の管理基準値の頑健性の比較・HCR の検討（FRA-SA2020-BRP01-7）」を参照）。

結果を補足図 5-1 および補足表 5-1～5-4 に示す。真の再生産関係がレジーム無しの再生産関係であったときに、通常加入期の再生産関係に基づき管理すると、正しくレジーム無しの再生産関係に基づき管理できた場合に比べて漁獲量は少なくなったが、漁獲管理規則案の β が 0.55 以上の場合には、現状の漁獲量（2019 年漁獲量：4.5 万トン）以上となった（補足表 5-1）。

引用文献

市野川桃子 (2020) 簡易的 MSE を用いた複数の管理基準値の頑健性の比較・HCR の検討.
FRA-SA2020-BRP01-7.



補足図 5-1. 真の再生産関係がレジーム無しの再生産関係であるときに、通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合の将来予測（赤色）と、真の再生産関係（レジーム無しの再生産関係）に基づき管理した場合の将来予測（緑色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間である。親魚量の図の緑破線は、目標管理基準値案、黄点線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す（どれも真の再生産関係にもとづく値）。2020 年・2021 年の漁獲量は同年に予測される資源量と F_{current} により仮定し、2022 年以降の漁獲は $\beta=0.8$ の漁獲管理規則案に基づく。

補足表 5-1. 将来の漁獲量の平均値の推移（千トン）

● 真のレジーム無しの再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	128	166	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	128	166	8	17	24	28	28	28	28	29	29	29	29
0.1	128	166	16	32	45	52	53	52	53	54	55	54	54
0.15	128	166	24	46	64	73	74	73	74	76	77	75	75
0.2	128	166	31	59	81	92	92	91	92	95	95	94	94
0.25	128	166	38	71	96	108	108	106	108	111	112	110	110
0.3	128	166	45	82	110	122	121	119	122	125	126	123	124
0.35	128	166	51	92	121	134	133	131	133	137	138	135	136
0.4	128	166	58	101	132	144	143	141	144	147	148	145	146
0.45	128	166	64	109	141	154	152	149	152	156	157	154	155
0.5	128	166	69	117	149	161	159	156	160	164	164	161	162
0.55	128	166	75	124	156	168	165	162	166	170	171	167	168
0.6	128	166	80	130	163	174	170	167	171	175	176	172	174
0.65	128	166	86	136	168	179	175	171	175	180	180	176	178
0.7	128	166	91	141	173	183	178	175	179	183	184	179	182
0.75	128	166	96	146	177	187	181	178	182	186	187	182	185
0.8	128	166	100	150	181	189	183	180	184	189	189	184	187
0.85	128	166	105	154	184	192	185	181	186	190	191	186	188
0.9	128	166	109	158	186	193	186	182	187	192	192	186	190
0.95	128	166	113	161	188	195	187	183	188	192	193	187	190
1	128	166	117	164	190	196	188	183	188	193	193	187	191

● 真のレジーム無しではなく通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	128	166	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	128	166	5	11	16	19	20	20	20	20	20	20	20
0.1	128	166	10	22	30	35	37	38	37	37	38	38	38
0.15	128	166	15	31	42	50	53	53	52	53	53	53	53
0.2	128	166	20	40	54	63	67	66	65	66	67	67	67
0.25	128	166	24	48	64	74	79	78	77	78	79	79	79
0.3	128	166	29	56	73	84	89	89	87	88	89	89	89
0.35	128	166	33	63	82	93	98	98	96	97	98	99	98
0.4	128	166	37	69	89	101	107	106	104	105	107	107	106
0.45	128	166	41	75	96	108	114	113	111	112	114	114	113
0.5	128	166	44	81	102	115	121	119	117	118	120	120	119
0.55	128	166	48	86	107	120	126	124	122	123	125	125	124
0.6	128	166	51	91	112	125	131	129	126	128	130	130	128
0.65	128	166	54	95	117	130	136	133	130	132	134	133	132
0.7	128	166	58	99	121	134	140	137	134	135	137	137	135
0.75	128	166	61	103	125	138	143	140	136	138	140	140	137
0.8	128	166	63	106	128	141	147	143	139	140	142	142	139
0.85	128	166	66	109	131	144	149	145	141	142	144	143	141
0.9	128	166	69	112	134	147	151	147	142	144	146	145	142
0.95	128	166	72	115	136	149	153	149	144	146	147	146	144
1	128	166	74	118	139	151	155	151	145	147	149	147	145

補足表 5-2. 将来の親魚量が（真の再生産関係の）目標管理基準値を上回る確率（％）

● 真のレジーム無しの再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	0	0	2	56	90	96	98	98	97	97	97	98	97
0.05	0	0	2	54	90	95	97	98	95	96	97	97	96
0.1	0	0	2	54	89	92	95	95	94	95	96	95	96
0.15	0	0	2	52	87	91	93	94	94	94	95	94	92
0.2	0	0	2	51	85	91	92	94	94	93	92	93	90
0.25	0	0	2	49	85	88	92	94	94	92	90	90	89
0.3	0	0	2	49	81	84	91	93	92	89	90	86	88
0.35	0	0	2	46	78	84	90	89	89	88	88	84	84
0.4	0	0	2	42	73	83	88	85	87	88	82	84	84
0.45	0	0	2	41	70	80	86	81	81	86	77	84	81
0.5	0	0	2	38	69	79	81	77	81	83	77	83	79
0.55	0	0	2	34	65	74	77	74	77	77	74	80	79
0.6	0	0	2	33	60	72	75	71	74	73	71	74	75
0.65	0	0	2	33	56	70	71	69	71	67	68	72	74
0.7	0	0	2	33	55	68	67	62	67	64	62	70	70
0.75	0	0	2	32	51	65	63	55	61	61	55	66	67
0.8	0	0	2	30	50	57	61	49	56	59	53	59	61
0.85	0	0	2	29	46	56	56	47	53	55	51	55	56
0.9	0	0	2	29	42	48	51	46	47	45	50	49	52
0.95	0	0	2	28	38	43	42	43	40	42	47	45	49
1	0	0	2	26	36	41	39	36	34	35	44	40	41

● 真のレジーム無しではなく通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	0	0	2	56	90	96	98	98	97	97	97	98	97
0.05	0	0	2	54	90	93	97	98	95	96	97	96	96
0.1	0	0	2	54	89	91	94	95	94	95	96	95	95
0.15	0	0	2	53	86	91	92	94	94	94	94	94	92
0.2	0	0	2	52	85	90	92	94	94	93	91	91	89
0.25	0	0	2	51	84	88	91	94	93	91	91	89	88
0.3	0	0	2	51	83	86	90	94	90	90	89	87	87
0.35	0	0	2	50	79	84	89	90	89	89	87	85	84
0.4	0	0	2	50	77	84	89	87	87	88	86	84	83
0.45	0	0	2	49	73	82	86	83	87	86	83	82	82
0.5	0	0	2	48	72	81	86	81	82	84	80	81	81
0.55	0	0	2	46	69	79	82	81	78	82	75	81	79
0.6	0	0	2	45	68	79	80	74	75	81	74	79	78
0.65	0	0	2	44	66	77	77	74	75	78	74	75	74
0.7	0	0	2	44	65	73	74	73	73	76	74	72	74
0.75	0	0	2	44	64	71	73	71	73	72	72	69	73
0.8	0	0	2	41	61	70	72	69	71	68	68	67	72
0.85	0	0	2	40	61	69	71	66	70	63	67	66	68
0.9	0	0	2	40	59	69	71	64	68	61	65	65	66
0.95	0	0	2	40	59	67	70	63	66	59	60	65	65
1	0	0	2	38	58	64	69	59	62	58	59	64	61

補足表 5-3. 将来の親魚量が（真の再生産関係の）限界管理基準値案を上回る確率（％）

● 真のレジーム無しの再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	0	89	83	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.05	0	89	83	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	89	83	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.15	0	89	83	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	89	83	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.25	0	89	83	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	89	83	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.35	0	89	83	99	100	99	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	89	83	99	100	99	100	100	100	100	100	100	100
0.45	0	89	83	99	100	99	99	99	99	100	100	100	100
0.5	0	89	83	98	100	99	99	99	99	100	100	100	100
0.55	0	89	83	98	99	99	99	99	99	100	100	100	100
0.6	0	89	83	98	99	99	99	99	99	100	100	100	100
0.65	0	89	83	98	98	99	99	99	99	100	100	100	99
0.7	0	89	83	98	98	99	99	99	99	98	100	100	98
0.75	0	89	83	97	98	98	99	99	99	98	100	98	98
0.8	0	89	83	96	98	98	99	99	99	98	100	98	98
0.85	0	89	83	96	97	98	99	99	99	98	98	98	98
0.9	0	89	83	96	97	98	99	99	97	97	98	98	98
0.95	0	89	83	96	97	98	99	98	96	97	98	98	96
1	0	89	83	95	97	97	99	98	95	97	97	97	96

● 真のレジーム無しではなく通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	0	89	83	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.05	0	89	83	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	89	83	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.15	0	89	83	98	100	99	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	89	83	98	100	99	99	99	99	100	100	100	100
0.25	0	89	83	98	99	99	99	99	99	99	100	100	100
0.3	0	89	83	98	97	99	99	99	99	99	99	100	100
0.35	0	89	83	98	97	96	99	99	99	98	98	98	99
0.4	0	89	83	98	97	96	97	99	98	97	98	98	98
0.45	0	89	83	97	97	96	97	98	98	97	97	97	98
0.5	0	89	83	97	96	96	96	98	98	97	97	96	96
0.55	0	89	83	96	95	96	96	97	97	96	96	96	95
0.6	0	89	83	95	95	95	96	95	96	96	95	96	93
0.65	0	89	83	95	95	95	96	92	94	94	94	94	93
0.7	0	89	83	95	95	95	96	92	93	93	94	94	93
0.75	0	89	83	93	94	95	93	92	92	93	92	91	93
0.8	0	89	83	92	94	93	92	92	90	92	90	90	91
0.85	0	89	83	92	94	92	90	92	90	92	89	89	91
0.9	0	89	83	91	93	91	90	92	90	92	88	88	87
0.95	0	89	83	91	93	90	90	92	90	91	88	87	84
1	0	89	83	91	92	90	89	91	90	90	88	86	82

補足表 5-4. 将来の親魚量の平均値の推移（千トン）

● 真のレジーム無しの再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	65	105	125	331	544	679	713	698	702	721	734	732	709
0.05	65	105	125	322	521	644	672	657	661	680	692	690	667
0.1	65	105	125	314	499	611	635	619	624	642	653	650	629
0.15	65	105	125	305	478	581	601	585	590	606	617	614	593
0.2	65	105	125	298	459	553	569	552	558	574	584	581	560
0.25	65	105	125	290	440	526	539	523	528	544	553	550	530
0.3	65	105	125	283	422	502	512	495	500	515	524	521	502
0.35	65	105	125	276	406	478	486	470	475	489	497	494	476
0.4	65	105	125	269	390	457	462	446	451	465	472	469	451
0.45	65	105	125	262	375	436	440	424	429	442	449	446	429
0.5	65	105	125	256	361	417	419	403	408	421	427	424	407
0.55	65	105	125	249	347	399	399	383	388	401	407	403	387
0.6	65	105	125	243	334	382	381	365	370	382	388	384	369
0.65	65	105	125	238	322	366	363	348	352	364	370	366	351
0.7	65	105	125	232	311	350	347	332	336	347	353	349	334
0.75	65	105	125	227	299	336	332	317	321	332	337	333	319
0.8	65	105	125	221	289	322	317	302	306	317	321	318	304
0.85	65	105	125	216	279	309	304	289	292	303	307	303	290
0.9	65	105	125	211	269	297	291	276	279	289	293	290	277
0.95	65	105	125	206	260	285	278	264	267	277	281	277	265
1	65	105	125	202	251	274	267	252	255	265	268	265	253

● 真のレジーム無しではなく通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	65	105	125	331	544	679	713	698	702	721	734	732	709
0.05	65	105	125	325	529	655	685	669	673	692	705	702	679
0.1	65	105	125	320	514	633	660	642	646	665	677	675	652
0.15	65	105	125	315	499	613	636	617	621	640	652	649	627
0.2	65	105	125	310	486	594	614	594	598	616	628	625	603
0.25	65	105	125	305	473	576	593	573	576	594	606	601	580
0.3	65	105	125	300	461	559	573	552	555	574	585	579	558
0.35	65	105	125	296	450	543	555	533	536	555	565	560	538
0.4	65	105	125	292	439	528	538	515	518	537	547	541	520
0.45	65	105	125	287	429	513	522	498	500	519	530	524	503
0.5	65	105	125	283	419	500	506	482	483	503	513	507	486
0.55	65	105	125	280	410	487	492	467	467	486	497	491	470
0.6	65	105	125	276	401	476	479	452	452	470	481	475	455
0.65	65	105	125	272	393	464	466	439	438	456	467	460	440
0.7	65	105	125	269	385	454	454	427	425	443	453	446	425
0.75	65	105	125	266	378	444	443	415	412	430	440	432	411
0.8	65	105	125	262	371	434	432	403	400	417	428	418	397
0.85	65	105	125	259	364	425	422	393	389	406	416	406	385
0.9	65	105	125	256	357	416	412	383	378	395	405	395	374
0.95	65	105	125	253	351	408	403	373	368	385	395	385	364
1	65	105	125	251	345	400	394	364	359	375	384	375	354

補足資料 6 真の再生産関係が高レジームであった場合の簡易 MSE

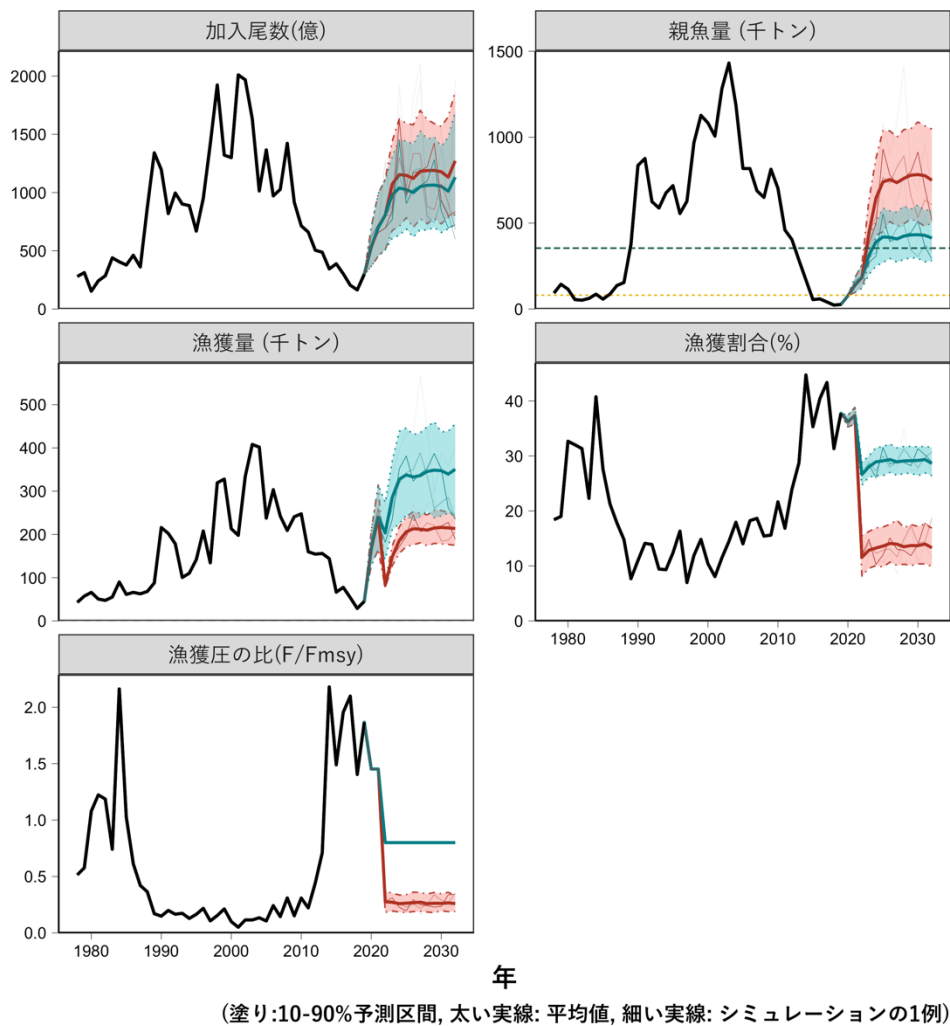
(補足資料 6 に示す内容については、令和 2 年度の資源評価結果に基づいている)

通常加入期の再生産関係を適用することには、本当は高加入期であった場合に、漁獲機会を損失するリスクも考えられた。そこで、漁獲機会を損失するリスクについて評価するため、真の再生産関係式は高加入期だが、通常加入期の再生産関係に基づき管理（漁獲管理規則案に基づく漁獲）をした場合について簡易的な MSE を行った（詳細は「簡易的 MSE を用いた複数の管理基準値の頑健性の比較・HCR の検討 (FRA-SA2020-BRP01-7)」を参照）。

結果を補足図 6-1 および補足表 6-1～6-4 に示す。真の再生産関係が高加入期の再生産関係であったときに、通常加入期の再生産関係に基づき管理すると、正しく高加入期の再生産関係で管理できた場合に比べて漁獲量は少なくなったが、漁獲管理規則案の β が 0.4 以上で現状の漁獲量（2019 年漁獲量：45 千トン）以上となった（補足表 6-1）。最近年の資源状況を鑑みれば、現在は通常加入期と判断して支障ないと思われるが、通常加入期から高加入期への移行という観点で過去の加入尾数と親魚量の変化を見ると、1980 年代終盤と 1990 年代後半に数年以内の急激な増加が認められるため（補足図 6-1）、将来においても 5 年間の管理期間中に通常加入期から高加入期への移行が生じる可能性は否定できない。そのため、継続的なモニタリングが必要であると考ええる。

引用文献

市野川桃子 (2020) 簡易的 MSE を用いた複数の管理基準値の頑健性の比較・HCR の検討.
FRA-SA2020-BRP01-7.



補足図 6-1. 真の再生産関係が高加入期の再生産関係であるときに、通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合の将来予測（赤色）と、真の再生産関係（高加入期の再生産関係）に基づき管理した場合の将来予測（緑色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の90%が含まれる90%予測区間である。親魚量の図の緑破線は、目標管理基準値案、黄点線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す（どれも真の再生産関係にもとづく値）。2020年・2021年の漁獲量は同年に予測される資源量と F_{current} により仮定し、2022年以降の漁獲は $\beta=0.8$ の漁獲管理規則案に基づく。

補足表 6-1. 将来の漁獲量の平均値の推移（千トン）

● 真の高加入期の再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	166	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	166	240	18	37	51	57	58	58	60	61	61	60	60
0.1	166	240	35	70	95	105	107	107	110	111	111	109	110
0.15	166	240	52	99	133	146	147	148	152	153	153	151	152
0.2	166	240	67	125	165	180	181	182	187	189	189	186	187
0.25	166	240	82	149	193	209	210	210	216	219	218	215	217
0.3	166	240	96	169	216	233	234	234	241	244	243	239	242
0.35	166	240	109	188	237	254	254	255	262	265	264	259	263
0.4	166	240	122	204	255	271	271	272	280	282	282	277	281
0.45	166	240	134	219	270	286	285	286	294	297	296	291	296
0.5	166	240	145	232	283	298	296	298	307	309	309	303	309
0.55	166	240	156	244	294	309	306	308	317	320	319	312	320
0.6	166	240	166	255	303	317	314	316	325	328	327	321	329
0.65	166	240	176	264	311	324	320	323	332	335	334	327	336
0.7	166	240	186	272	318	330	326	329	338	341	340	332	342
0.75	166	240	195	279	323	334	330	333	342	345	344	336	347
0.8	166	240	204	286	328	338	333	336	346	349	347	339	351
0.85	166	240	212	291	331	340	335	339	348	351	350	342	354
0.9	166	240	220	296	334	342	336	340	350	353	351	343	356
0.95	166	240	228	301	336	343	337	341	351	354	352	344	357
1	166	240	235	304	338	344	337	341	351	354	353	344	358

● 真の高加入期ではなく通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	166	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	166	240	7	15	21	24	26	26	26	26	26	26	26
0.1	166	240	14	29	40	46	49	49	48	49	50	50	49
0.15	166	240	20	42	57	66	69	70	69	70	71	70	70
0.2	166	240	26	54	73	84	88	88	87	89	89	89	89
0.25	166	240	32	65	87	100	104	105	103	106	106	106	105
0.3	166	240	37	75	100	115	119	120	118	121	121	121	120
0.35	166	240	43	85	112	128	133	133	131	134	135	135	134
0.4	166	240	48	94	123	140	145	145	144	147	148	147	146
0.45	166	240	53	102	134	151	157	156	155	158	159	158	158
0.5	166	240	58	110	143	161	167	167	165	168	169	169	168
0.55	166	240	62	118	152	170	176	176	174	178	179	178	177
0.6	166	240	67	125	159	178	185	184	182	187	188	187	186
0.65	166	240	71	131	167	186	193	192	190	194	196	195	194
0.7	166	240	75	137	174	193	200	199	197	202	203	202	201
0.75	166	240	79	143	180	200	207	206	204	209	210	209	208
0.8	166	240	83	148	186	206	213	212	210	215	216	215	214
0.85	166	240	87	153	191	212	219	218	216	221	222	221	219
0.9	166	240	90	158	196	217	224	223	221	226	227	226	225
0.95	166	240	94	163	201	222	229	228	226	231	232	231	230
1	166	240	97	167	206	226	234	233	230	236	237	236	234

補足表 6-2. 将来の親魚量が（真の再生産関係の）目標管理基準値を上回る確率（％）

● 真の高加入期の再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	0	0	1	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.05	0	0	1	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	1	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.15	0	0	1	84	99	99	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	1	80	98	99	100	100	100	100	100	100	100
0.25	0	0	1	79	98	99	100	100	100	100	100	100	99
0.3	0	0	1	74	97	99	100	100	98	100	100	100	99
0.35	0	0	1	69	96	97	100	99	98	98	98	99	99
0.4	0	0	1	64	92	97	100	98	98	97	95	99	99
0.45	0	0	1	57	89	95	98	97	96	97	94	98	98
0.5	0	0	1	52	88	91	97	94	95	95	93	94	97
0.55	0	0	1	49	88	90	95	92	93	94	93	91	92
0.6	0	0	1	45	84	87	93	84	92	93	92	88	89
0.65	0	0	1	38	79	84	88	80	82	88	88	83	86
0.7	0	0	1	31	70	79	81	75	76	83	79	80	79
0.75	0	0	1	28	61	74	74	67	71	78	76	77	74
0.8	0	0	1	27	58	63	68	63	66	71	72	75	69
0.85	0	0	1	27	53	57	59	59	57	65	64	66	62
0.9	0	0	1	24	49	51	53	50	56	60	59	61	49
0.95	0	0	1	23	45	45	46	45	52	49	56	57	39
1	0	0	1	21	38	40	42	37	44	43	50	48	34

● 真の高加入期ではなく通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	0	0	1	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.05	0	0	1	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	1	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.15	0	0	1	87	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	1	86	99	99	100	100	100	100	100	100	100
0.25	0	0	1	84	99	99	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	1	84	98	99	100	100	100	100	100	100	100
0.35	0	0	1	82	98	99	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	1	80	98	99	100	100	100	100	100	100	99
0.45	0	0	1	80	98	99	100	100	99	100	100	100	99
0.5	0	0	1	80	98	99	100	100	98	100	100	100	99
0.55	0	0	1	80	97	98	100	100	98	100	100	100	99
0.6	0	0	1	80	96	97	100	100	98	100	100	99	99
0.65	0	0	1	79	95	97	100	100	98	98	100	99	99
0.7	0	0	1	78	95	97	100	100	98	98	99	99	99
0.75	0	0	1	75	95	97	100	100	98	98	98	99	99
0.8	0	0	1	73	95	97	100	99	98	97	98	99	99
0.85	0	0	1	72	95	97	100	99	98	96	97	99	99
0.9	0	0	1	69	93	97	99	99	97	96	95	99	99
0.95	0	0	1	68	93	97	99	98	96	96	95	99	99
1	0	0	1	68	93	97	98	97	96	96	95	99	98

補足表 6-4. 将来の親魚量の平均値の推移（千トン）

● 真の高加入期の再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	77	139	184	529	847	1,010	1,052	1,040	1,069	1,089	1,093	1,088	1,057
0.05	77	139	184	510	801	945	980	967	995	1,013	1,017	1,012	983
0.1	77	139	184	493	758	886	915	902	929	946	949	944	916
0.15	77	139	184	476	719	832	856	843	870	885	888	882	855
0.2	77	139	184	460	682	783	802	790	816	830	832	827	801
0.25	77	139	184	444	648	738	754	741	767	779	782	777	752
0.3	77	139	184	430	616	697	710	697	722	734	736	731	707
0.35	77	139	184	416	587	659	669	657	681	692	693	689	666
0.4	77	139	184	402	559	625	632	620	643	653	655	650	628
0.45	77	139	184	389	533	592	598	586	608	618	619	615	594
0.5	77	139	184	377	509	562	566	555	576	585	587	582	562
0.55	77	139	184	365	486	534	537	526	546	555	556	552	533
0.6	77	139	184	354	465	508	510	499	519	527	528	524	505
0.65	77	139	184	343	444	484	484	474	493	500	502	497	480
0.7	77	139	184	332	425	461	460	450	469	476	477	473	456
0.75	77	139	184	322	407	439	438	428	446	453	454	450	434
0.8	77	139	184	313	390	419	417	408	425	431	432	429	413
0.85	77	139	184	303	374	400	398	388	405	411	412	408	394
0.9	77	139	184	294	358	382	379	370	386	392	393	389	375
0.95	77	139	184	286	344	365	362	353	368	373	375	371	358
1	77	139	184	277	330	349	345	336	351	356	358	354	341

● 真の高加入期ではなく通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合

beta	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
0	77	139	184	529	847	1,010	1,052	1,040	1,069	1,089	1,093	1,088	1,057
0.05	77	139	184	522	829	984	1,022	1,009	1,037	1,057	1,061	1,055	1,025
0.1	77	139	184	515	811	959	994	980	1,008	1,027	1,031	1,026	996
0.15	77	139	184	508	795	936	968	954	981	1,000	1,004	998	969
0.2	77	139	184	502	779	915	944	929	956	975	979	973	944
0.25	77	139	184	496	765	895	922	906	933	952	956	950	921
0.3	77	139	184	490	751	876	902	885	911	931	934	928	899
0.35	77	139	184	485	738	859	882	866	891	911	914	908	879
0.4	77	139	184	479	725	842	864	847	873	892	896	889	861
0.45	77	139	184	474	713	827	847	830	855	875	878	872	844
0.5	77	139	184	469	702	812	831	814	839	858	862	856	828
0.55	77	139	184	465	691	798	816	799	824	843	846	840	812
0.6	77	139	184	460	681	785	802	785	810	829	832	826	798
0.65	77	139	184	455	671	773	789	772	796	815	819	812	785
0.7	77	139	184	451	662	761	777	759	783	802	806	799	772
0.75	77	139	184	447	653	750	765	747	771	790	794	787	760
0.8	77	139	184	443	645	740	754	736	760	779	782	776	749
0.85	77	139	184	439	636	730	743	725	749	768	772	765	739
0.9	77	139	184	435	629	720	733	715	739	758	761	755	728
0.95	77	139	184	432	621	711	723	705	729	748	752	745	719
1	77	139	184	428	614	702	714	696	720	739	742	736	710