

令和 2（2020）年度マ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

担当水研： 中央水産研究所

要 約

令和元年度本系群の資源評価データを用いて、再生産関係および管理基準値案等を検討した。本系群の再生産関係は、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、高加入期（1976～1987 年）を除き、近年の加入状況を反映すると考えられる通常加入期（1988～2018 年）の再生産関係式を候補とし、資源評価により推定された親魚量と加入量の情報に対し、ホッカー・スティック（HS）型の再生産関係を適用する。再生産関係のパラメータの推定方法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い。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 SBmsy（1097 千トン）を提案し、限界管理基準値としては MSY の 60% の漁獲が得られる親魚量である SB0.6msy（471 千トン）を、禁漁水準としては MSY の 10% の漁獲が得られる親魚量である SB0.1msy（66 千トン）を提案する。MSY を実現する漁獲圧（Fmsy）は、現状（2014～2018 年の平均の漁獲係数）の 0.99 倍である。

親魚量 (千トン)	現状の親魚量 (2018 年) に対する比	初期親魚量 (2,885 千ト ン) に対する比	期待できる 平均漁獲量 (千トン)	現状の漁獲圧 (2014～2018 年) に対する比 *	説 明
目標管理基準値案					
1097	0.67	0.38	368	0.99	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					
471	0.29	0.16	221	1.43	MSY の 60% の漁獲 が得られる親魚量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
66	0.04	0.02	37	1.73	MSY の 10% の漁獲 が得られる親魚量 (SB0.1msy)
2018 年					
1629	1.00	0.56	451**	-	2018 年の値

* 現状の漁獲圧における年齢別選択率に基づき管理基準値案および禁漁水準案を計算する際の、現状の年齢別漁獲係数に乗じる係数を示す。

** 2018 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

本系群の再生産関係式の設定は「令和 2（2020）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2020-ABCWG01-01）」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（v2.01）を用いた。frasyr で用いている式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和 2 年度研究機関会議版）（FRA2020-ABCWG01-02）」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	令和元年度 我が国周辺水域の漁業資源評価（水産庁・水産機構）

1-2) 再生産関係の検討

本系群の最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量の算出および将来予測の計算に使用する再生産関係として、ホッカー・スティック（HS）型再生産関係、リッカー（RI）型再生産関係、およびベバートン・ホルト（BH）型再生産関係を仮定した場合について検討した（補足資料 1）。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、残差の自己相関を考えたモデルと考えないモデルを比較した。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、自己相関の推定は同時推定法（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）。使用するデータは、資源評価で推定された 1976～2018 年全期間の加入量および親魚量を用いた。直近の情報も取り入れるために、2018 年の情報も用いている。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）は低くなっており（補足表 1-1）、再生産関係の検討候補として考えられた。再生産関係の検討候補を表 1 に示す。

マ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）。資源量は、1976/77 年のレジームシフト（Yasunaka and Hanawa 2002）と同期して増大し、1980 年代は 1,000 万トン以上の高い水準で推移した。その後、1988/89 年のレジームシフトと同期して 1988～1991 年の連続した再生産成功率の低下がみられ（Watanabe et al. 1995）、加入量および資源量が激減したとされる。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）、再生産関係も変化する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、1976～2018 年の期間で加入量水準に基づいて、再生産関係が通常加入期（1988～2018 年）と高加入期（1976～1987 年）の二種類の様態に分けられると仮定し、すべての再生産関係のタイプの場合についてモデルを考えた（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、再生産関係を期間で分けた場合には自己相関は考慮していない。再生産関係が切り替わる時期は、これまでの文献を参考に AICc から決定した（Yatsu et al. 2005、Takahashi et al. 2009、Kurota et al. 2020）。期間で分けた再生産関係の検討候補を表 1 に示す。

1-3) 再生産関係

再生産関係のタイプに関わらず、期間により再生産関係を分けた場合の方が、全期間のデータに当てはめた場合よりも、補正赤池情報量規準(AICc)は低くなっていた。期間で分けた再生産関係のうち、最小絶対値法で推定した方が AICc は低くなっていたが、パラメータの推定が不安定であり、また、最小二乗法を用いた場合と推定されたパラメータに大きな差はなかったため、最小二乗法を推定方法の推奨候補とした。最小二乗法を用いた場合、HS 型の再生産関係を仮定したモデルが AICc 最小となった。以上より、本系群の再生産関係としては、再生産関係を通常加入期と高加入期で分けた場合の、最小二乗法にもとづく HS 型再生産関係を適用する。本資源は、近年良好な加入が続いており、高加入期に移行しつつある可能性があるが、まだ明確に判断できる状態でないため、直近 2018 年が含まれる通常加入期(1988～2018 年)において推定された再生産関係を MSY を実現する親魚量(SBmsy)の計算および将来予測に用いる。

再生産関係式のパラメータの推定値を補足資料 1（補足表 1-2）に、親魚量および加入量の観測値との関係を図 1 に示す。加入量の誤差の分布は対数正規分布を仮定した。対数残差の標準偏差としては、再生産関係の予測値と観測値の対数残差の標準偏差（S.D.、補足表 1-2）を用いた（再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート FRA-SA-2020-ABCWG01-02）。

資源高水準期は特定の環境状態においてみられる短期的なものであり、持続可能な状態でないとみなされていることから（伊東 1961、1991）、高加入期より、通常加入期の再生産関係を長期的な SBmsy の計算に用いることは妥当だと考えられる。また、参考資料として、全期間のデータを用いた HS 型の再生産関係(最小二乗法、自己相関は同時推定を使用)の結果も示す(補足資料 2)。

全期間のデータに当てはめた再生産関係の場合に比べ、通常加入期の再生産関係に基づく最大持続生産量を実現する漁獲圧(Fmsy)等は、わずかに楽観的になっていた(表 3 および補足表 2-1)。そのため、通常加入期の再生産関係を適用することには、実際に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、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を適用した場合について簡易的な MSE (Management Strategy Evaluation、管理戦略評価)を行い、通常加入期の再生産関係を適用することにおける資源が減少するリスクを評価した(補足資料 3 ; MSE の詳細は「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)。簡易的な MSE を行った結果、安全係数 β が 0.5 以下であれば、10 年後に真(全期間のデータに当てはめた一つの再生産関係)の限界管理基準値を上回る確率は 90%を上回

った。AICc などから判断すると、再生産関係を期間で分けたモデルの方がもっともらしいと考えられるが、全期間を通じて一つの再生産関係である可能性も棄却できない。そのため、 β は標準値からむやみに上げるべきでないと考えられ、0.5 まで下げるほど資源減少のリスクを小さくすることができる。

一方で、通常加入期の再生産関係を適用することには、実際に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、そのリスクについても評価するため、高加入期の再生産関係により加入が変動している場合に通常加入期の再生産関係を想定して管理した場合についての簡易的な MSE を行った（補足資料 4）。その結果、正しく高加入期の再生産関係を適用した場合に比べると漁獲量は少なくなってしまう、 β を 1 に近づけるほど、漁獲量の減少幅は小さくなることが示唆された。また、参考として過去の高加入期と比較すると、 β が 0.7 以上であれば、2021 年以降の平均漁獲量の推移は、過去の高加入期（1976 年以降）の推移を上回る予測となっていた。

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）を実現する親魚量の算出、および将来予測は、「令和 2（2020）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2020-ABCWG01-01）」の 1 系資源の規則に従い、1-3）で示した再生産関係と、令和元年度我が国周辺水域の漁業資源評価（水産庁・水研機構）での将来予測計算に用いた各種設定を使用して実施した。すなわち、資源評価で推定された 1976～2018 年の加入量および親魚量に基づく通常加入期の HS 型再生産関係式と、自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重、および漁獲の選択率をシミュレーションの条件付けに用いた。ここで現状の漁獲圧（ F_{current} 、図 2）は 2014～2018 年の漁獲係数（F 値）の平均値である（表 2）。本系群では、平均世代時間（3.66 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

目標管理基準値案として通常加入期の状況での MSY を実現する親魚量（ SB_{msy} : 1097 千トン）、限界管理基準値案として MSY の 60% の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.6\text{msy}}$: 471 千トン）、禁漁水準案として MSY の 10% の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.1\text{msy}}$: 66 千トン）を提示する。これら管理基準値案および禁漁水準案について、漁獲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 368 千トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧（MSY を実現する漁獲圧： F_{msy} ）の、現状（2014～2018 年）の漁獲圧に対する比（ $F_{\text{msy}}/F_{\text{current}}$ ）は 0.99 で、その時

の漁獲割合 (Umsy) は、21%である。限界管理基準値として提案する SB0.6msy は SB0 の 16%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は 221 千トンである。SB0.6msy に対応する漁獲圧の、現状の漁獲圧に対する比は 1.43 で、その時の漁獲割合は 27%である。禁漁水準として提案する SB0.1msy は SB0 の 2%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は 37 千トンである。SB0.1msy に対応する漁獲圧の、現状の漁獲圧に対する比は 1.73 で、その時の漁獲割合は 30%である。様々に F 値を変えた場合の平衡状態における平均親魚量、およびこれに対する年齢別平均漁獲量を図 3 に示す。

SBmsy を計算する際、年齢別体重は一定と仮定しているが、本系群では、資源水準に応じた成長速度や肥満度の変化が報告されており (Wada and Kashiwai 1991、 Kawabata et al. 2011)、年齢別体重は資源水準に応じて変化している可能性がある。そこで、資源状態に応じた年齢別体重の変化が、SBmsy に与える影響を検討した (補足資料 5)。資源水準によって年齢別体重を変化させると、体重を固定にした場合に比べ、SBmsy や MSY はわずかに低くなったが、大きな変化は見られなかった。

2-3) 目標管理基準値案と漁獲割合

目標管理基準値 (SBtarget) 案と、その時の漁獲圧 (Fmsy) もしくは漁獲割合 (Umsy) を基準にした神戸プロットをそれぞれ図 4 に示す。本系群における漁獲圧は、1990 年代および 2000 年代は MSY 水準を大きく上回っていた。2010 年代に入ってから減少し、MSY 水準と同程度で推移している。また、漁獲割合を基準にしても同様の傾向が見られる。現状の親魚量 (2018 年の親魚量: 1,629 千トン) は目標管理基準値案を上回っている。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、0.67、0.29 および 0.04 である。

2-4) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則 (HCR) 案は、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) を変える規則であり、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ものとなっている。F 値の上限は Fmsy に漁獲管理規則で提案した β を乗じたものである。限界管理基準値案と禁漁水準案に標準値を使用し、 β に標準値である 0.8 を用いた場合の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲圧の関係を図 5a に、親魚量と期待できる平均的な漁獲量との関係を図 5b に示す。

2-5) 漁獲管理規則案に基づく将来予測

(1) 安全係数 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、 β を 0.8 とした漁獲管理規則案 (図 5) で将来予測した場合の、資源量、親魚量、漁獲量、加入量、および努力量の増減率の推移を図 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 2021 年から開始し、2019 年および 2020 年の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (Fcurrent) から仮定した。

予測される 2021 年の親魚量は目標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、 $0.8F_{msy}$ での漁獲圧は、現在の漁獲努力量の 80% 程度の漁獲圧に相当する。中長期的には、 $0.8F_{msy}$ での漁獲の継続により漁獲量および親魚量は MSY 水準で推移すると予測される。

(2) 安全係数 β を変えた場合

限界管理基準値案と禁漁水準案として標準値を用いた漁獲管理規則案での将来予測について、 β を 0.0~1.0 の間で変えたそれぞれの場合の、親魚量が目標管理基準値案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、親魚量平均値の推移および漁獲量平均値の推移を表 4~7 に示した。

本系群は 2018 年時点で目標管理基準値案を超えており、標準値である 0.8 を用いた場合でも、漁獲管理規則案による漁獲開始から 10 年後の 2031 年には 65% の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された (表 4)。また、 β が 0.9 以下であれば、2031 年にも 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と予測された。一方、 β が 1 の場合は 2031 年に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率が 50% を下回ったが、限界管理基準値案を上回る確率は 99% であった (表 5)。2022 年以降の将来親魚量は β が低い程多くなり (表 6)、 β が 0.6 以上であれば 2021 年の漁獲量は現状 (2018 年: 451 千トン) より多くなった (表 7)。

3. まとめ

本系群の再生産関係モデルは、全期間のデータに当てはめた場合よりも、通常加入期と高加入期で再生産関係式を分けた場合の方が $AICc$ は低くなっており、その中でも HS 型の再生産関係式を仮定したモデルが $AICc$ 最小となっていた。そのため、本系群の再生産関係としては、再生産関係式を期間で分けた場合の、最小二乗法にもとづく HS 型の再生産関係モデルを適用する。直近 2018 年が含まれる通常加入期 (1988~2018 年) を現状の状況と判断し、通常加入期において推定された再生産関係を MSY を実現する親魚量 (SB_{msy}) の計算や将来予測に用いる。

目標管理基準値案には再生産関係から推定される SB_{msy} を、限界管理基準値案、禁漁水準案には標準値である $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ をそれぞれ提示した。

現在の本系群の親魚量は、目標管理基準値案を上回っている。漁獲係数および漁獲割合は、2010 年代に入ってから低下し、現在は F_{msy} および U_{msy} と同等、または下回る値となっている。この目標管理基準値案をもとにした将来予測においては、 β が 0.9 以下であれば、漁獲管理規則を適用してから 10 年後も、目標管理基準値案を上回る確率は 50% 以上に維持できる予測となった (表 8)。高加入期に移行していた場合における漁獲機会の損失を考慮すると、 β をむやみに小さくすることは避けた方が良いと考えられる。ただし、再生産関係が期間によって明確に分かれておらず、期間を通じて一つである可能性を棄却できないことを考慮すると、 β を標準値の 0.8 より高い値とすることは推奨されない。以上より、 β は標準値の 0.8 とすることが望ましい。

4. 今後の検討事項

高加入期（1976～1987年）と通常加入期（1988～2018年）で再生産関係が異なることを想定したモデルを適用した。そのうち、現状を反映していると考えられる通常加入期の再生産関係を適用した。しかし、本系群は近年、比較的良好な加入が続いており、高加入期に移行しつつある可能性もある。現在のところ、現状の加入量のレジームを判別する手法は確立されておらず、またレジームの予測も困難であることから、通常加入期の再生産関係を用いることが現在のところ妥当と考えられる。今後レジームの判別手法や予測についての研究が進めば、通常加入期と高加入期の両再生産関係を適切に利用し、実状にあった将来予測が行えることが期待される。

本系群は、資源水準に応じて成長速度や肥満度など生物学的特徴が変化することが報告されている（Wada and Kashiwai 1991、 Kawabata et al. 2011）。これら生物学的特徴の変化を、MSY を実現する親魚量の計算や将来予測に組み込むべきか、組み込むのであればどのような関係を想定するべきか、などについて検討を続ける必要がある。

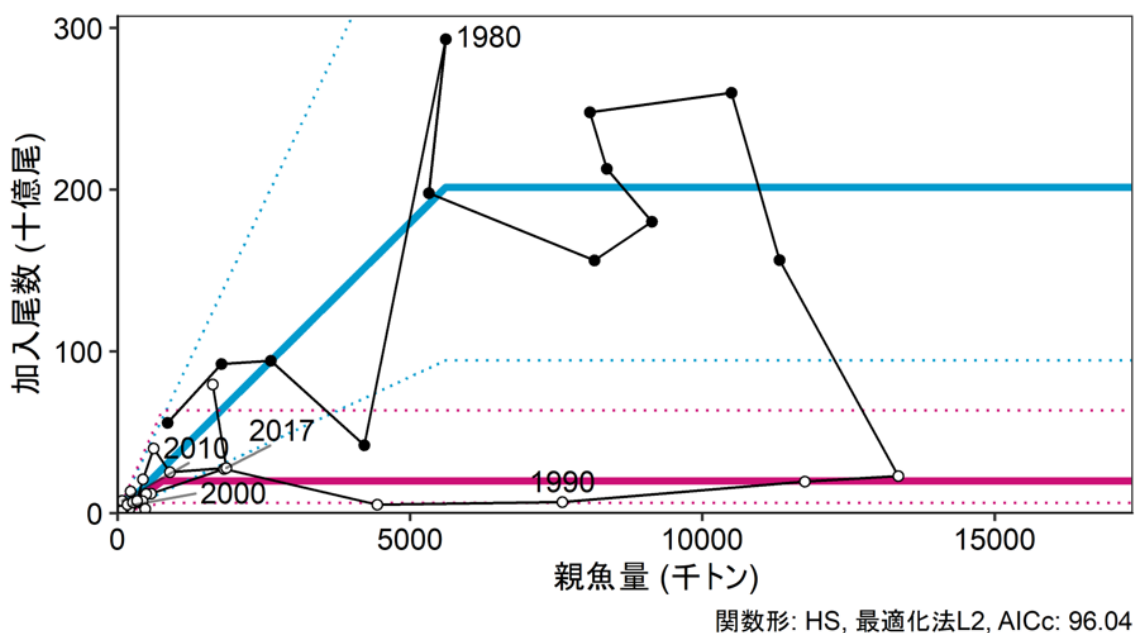
本系群は過去には、1988～1991年に連続した再生産成功率の低下がみられ（Watanabe et al. 1995）、加入量および資源量が激減した。その際、漁獲努力を削減できず高い漁獲圧がかかったために、資源および漁獲量は2000年代の極めて低い水準に移行したと指摘されている（Yatsu and Kaeriyama 2005）。再び、数年連続した再生産成功率の低下が起きる可能性は十分に考えられる。そのような場合に向けて、資源および漁獲量の急減を和らげる措置は可能かどうか、また可能だとしたらどのような条件で発動すべきかを検討しておく必要がある。

5. 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.
- 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.
- 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.
- 伊東祐方 (1961) 日本近海におけるマイワシの漁業生物学的研究. *日水研年報*, (9), 1-227.
- 伊東祐方 (1991) 日本のマイワシ—その生活と資源. 「魚油とマイワシ」松下七郎編著, 恒星社厚生閣, 東京, 191-255.
- Kawabata, A., H. Yamaguchi, S. Kubota and M. Nakagami (2011) Growth and fatness of 1975-2002 year classes of Japanese sardine in the Pacific waters around northern Japan. *Fish. Sci.*, 77, 291-299.
- 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.
- 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 (2020) 令和 2 (2020) 年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2020-ABCWG01-01.
- 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.
- Takahashi, M., Y. Watanabe, A. Yatsu, H. Nishida (2009) Contrasting responses in larval and juvenile growth to a climate-ocean regime shift between anchovy and sardine. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 66, 972–982.
- Tanaka E (2003) A method for estimating dynamics of carrying capacity using time series of stock and recruitment. *Fish. Sci.*, 69, 677-686.
- Wada, T. and M. Kashiwai (1991) Changes in growth and feeding ground of Japanese sardine with fluctuation in stock abundance. In: Long-term variability of pelagic fish populations and their environment, ed. Kawasaki, T. et al., Pergamon, Oxford, pp. 181-190.
- Watanabe, Y., H. Zenitani and R. Kimura (1995) Population decline of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to the recruitment failures. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52, 1609-1616.
- Yasunaka, S. and K. Hanawa (2002) Regime shifts found in the northern hemisphere SST field. *J. Meteor. Soc. Japan*, 80, 119-135.
- Yatsu, A. and M. Kaeriyama (2005) Linkages between coastal and open-ocean habitats and dynamics of Japanese stocks of chum salmon and Japanese sardine. *Deep-Sea Res. II*, 52, 727-737.
- 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：古市 生、由上龍嗣、上村泰洋、林 晃、井須小羊子、渡部亮介)



拡大図

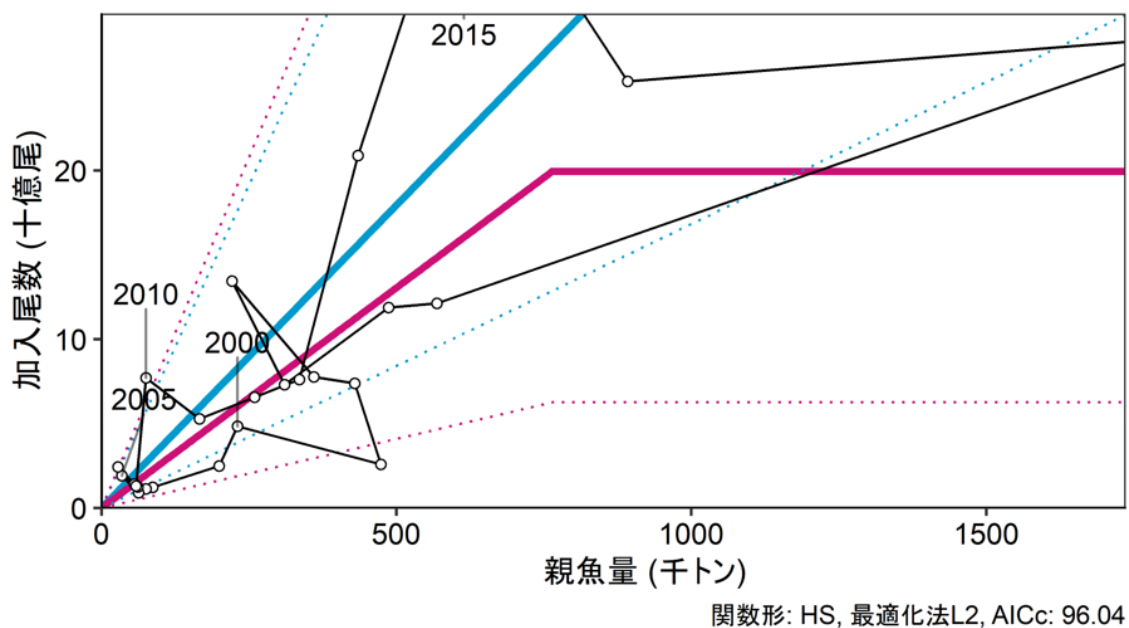


図 1. 再生産関係

再生産関係には期間で分けたホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を用い、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。青線は高加入期 (1976~1987 年) の再生産関係、赤線は通常加入期 (1988~2018 年) の再生産関係である。丸印は分析に使用した親魚量と加入量 (1976~2018 年) であり、黒丸は高加入期、白丸は通常加入期の値を示す。再生産関係式の上下の点線は、それぞれの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。図中の数字は加入群の年級 (生まれた年) を示す。

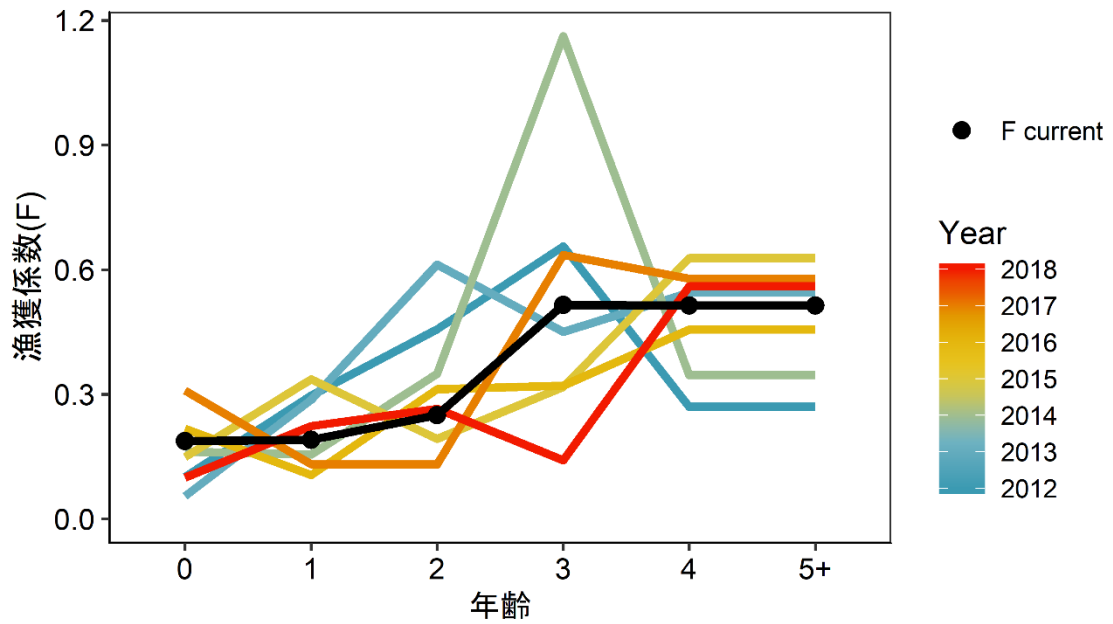


図 2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

2012 年以降の各年の年齢別 F 値を色分けして示す。黒線は現状の漁獲圧 (Fcurrent) であり、2014~2018 年の F 値の平均である。

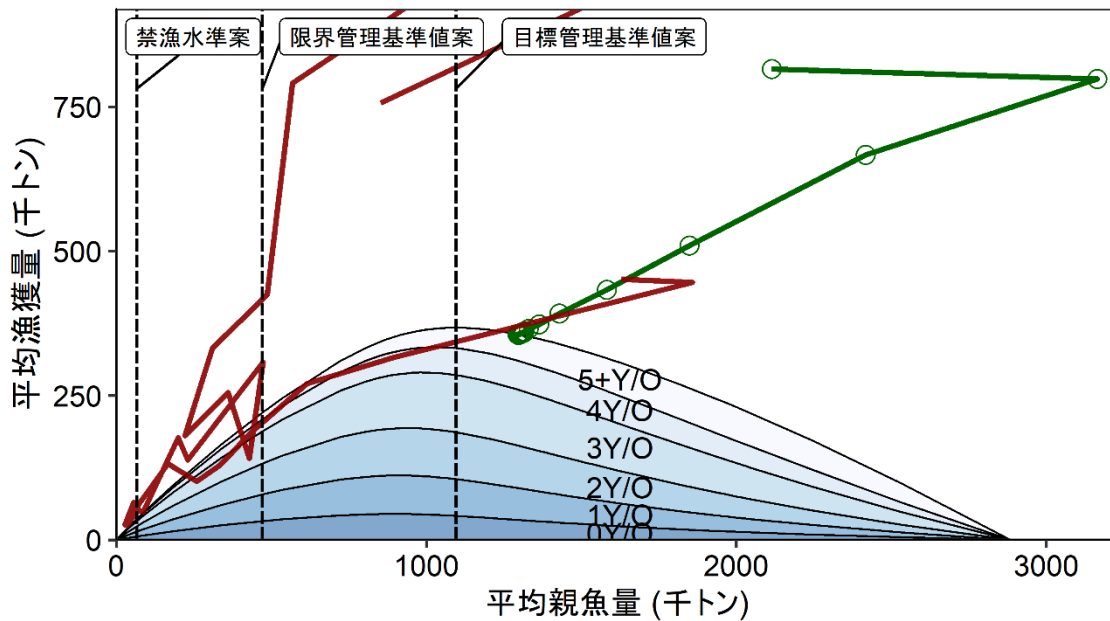
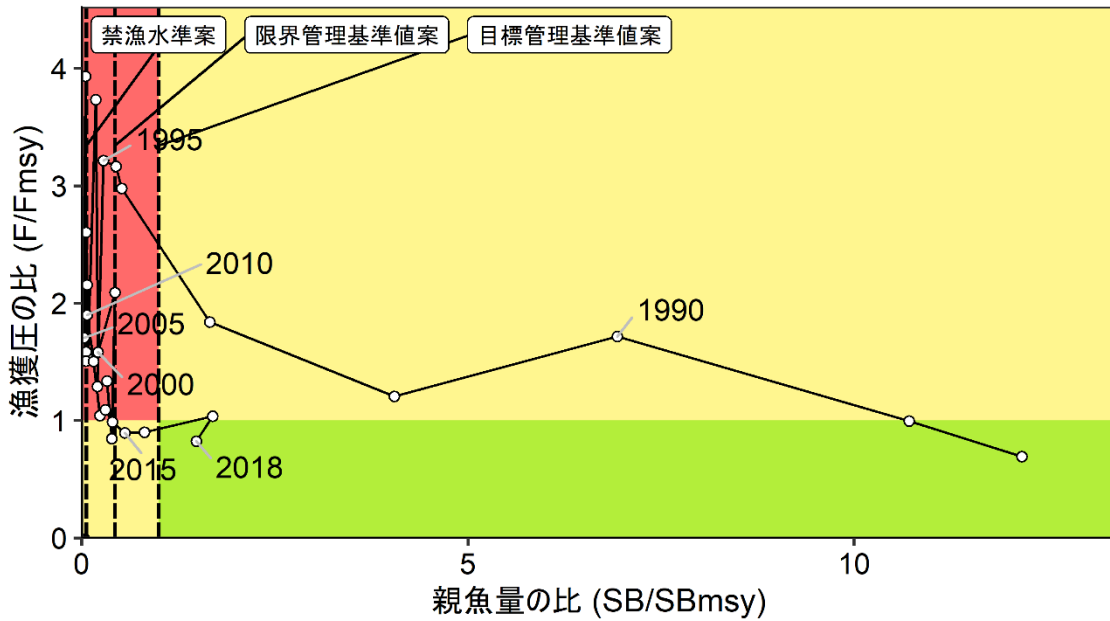


図3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

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と、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、緑線は提示する漁獲管理規則 (HCR) 案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。HCR 案で使用した安全係数 β は 0.8 である。なお、漁獲がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 2,885 千トンであり、過去の親魚量と漁獲量の一部は範囲外である (親魚量の最高値: 19,542 千トン、漁獲量の最高値: 2,916 千トン)。

a) 縦軸を漁獲圧の比 (F/Fmsy) で示した場合



拡大図

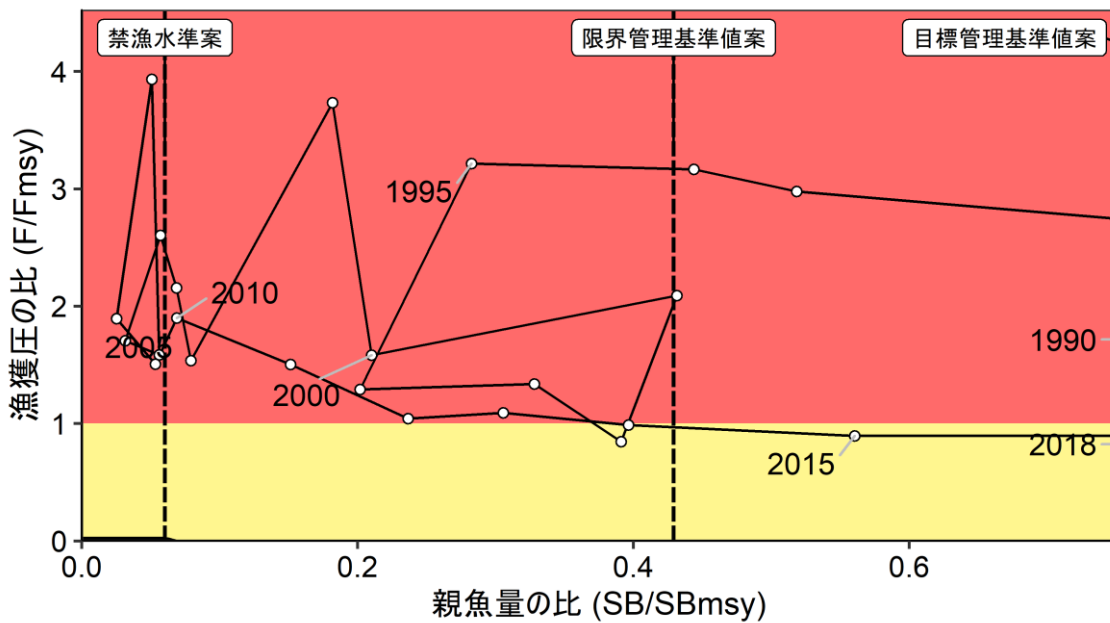
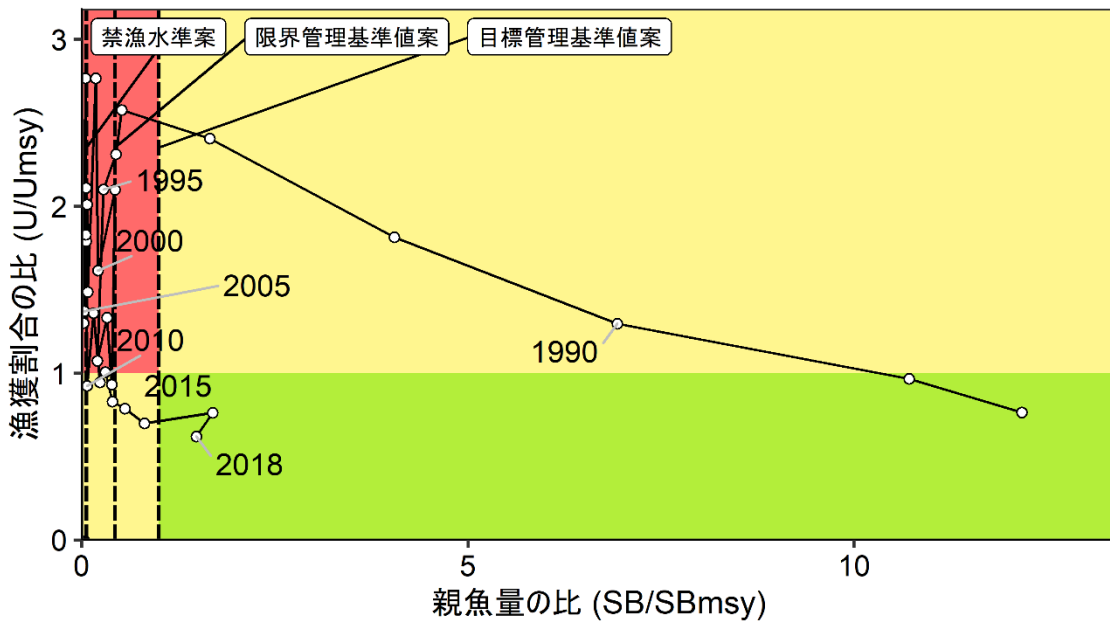


図4. 神戸プロット (4 区分)

(a) 縦軸に漁獲圧の比を用いた場合および (b) 漁獲割合の比を用いた場合の、通常加入期の再生産関係に基づく神戸プロットを示す。通常加入期のプロットのみを示している。目標管理基準値 (SBtarget) 案、限界管理基準値 (SBlimit) 案および禁漁水準 (SBban) 案にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy および SB0.1msy を用いた。

b) 縦軸を漁獲割合の比 (U/Umsy) で示した場合



拡大図

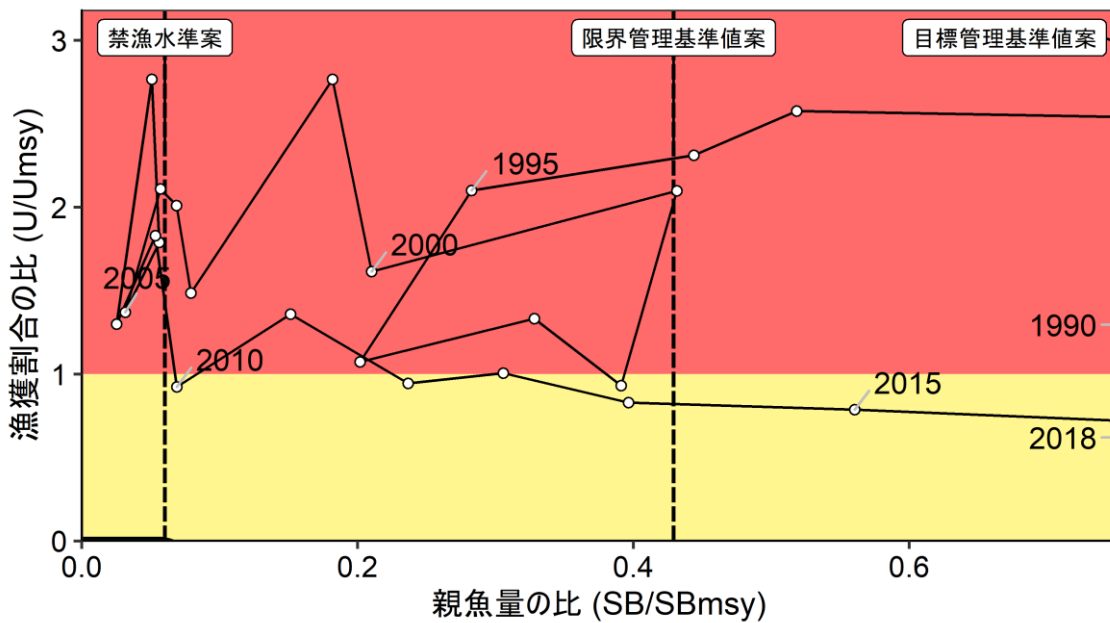
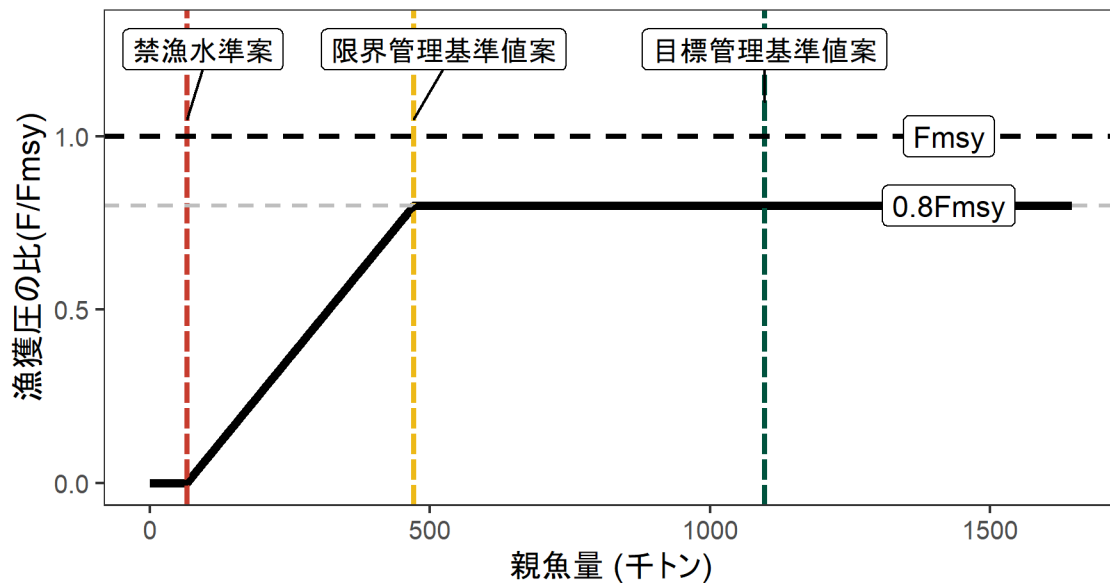


図4 (続き) . 神戸プロット (4 区分)

(a) 縦軸に漁獲圧の比を用いた場合および (b) 漁獲割合の比を用いた場合の、通常加入期の再生産関係に基づく神戸プロットを示す。通常加入期のプロットのみを示している。目標管理基準値 (SBtarget) 案、限界管理基準値 (SBlimit) 案および禁漁水準 (SBban) 案にそれぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ および $SB_{0.1msy}$ 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

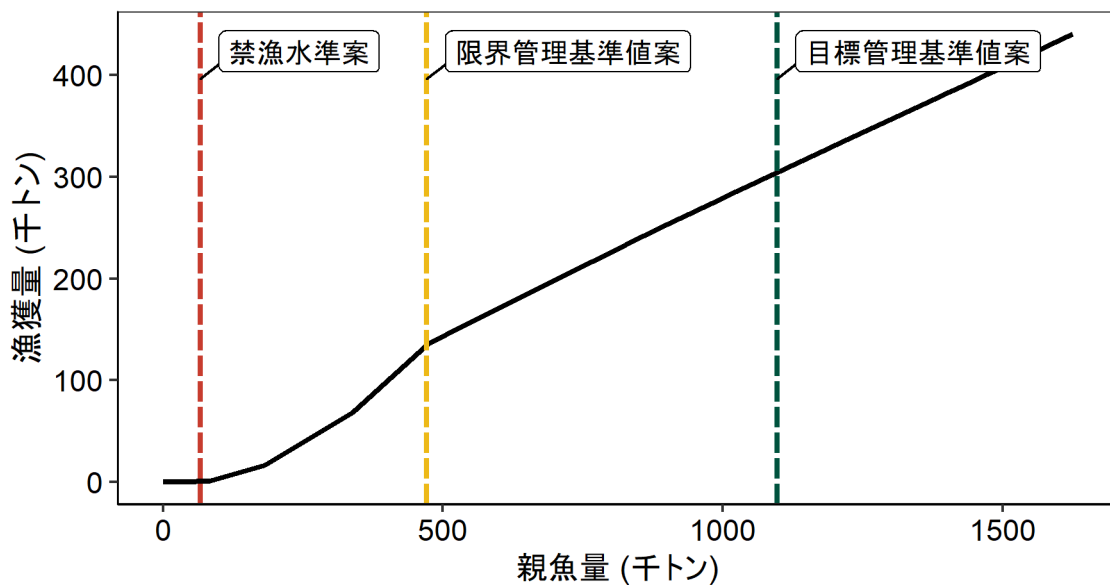


図 5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案、限界管理基準値 (SBlimit) 案および禁漁水準 (SBban) 案にそれぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ および $SB_{0.1msy}$ を用いた。通常加入期の再生産関係に基づき推定した。安全係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は HCR 案、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) は縦軸を漁獲圧の比にした場合、b) は縦軸を漁獲量にした場合である。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。

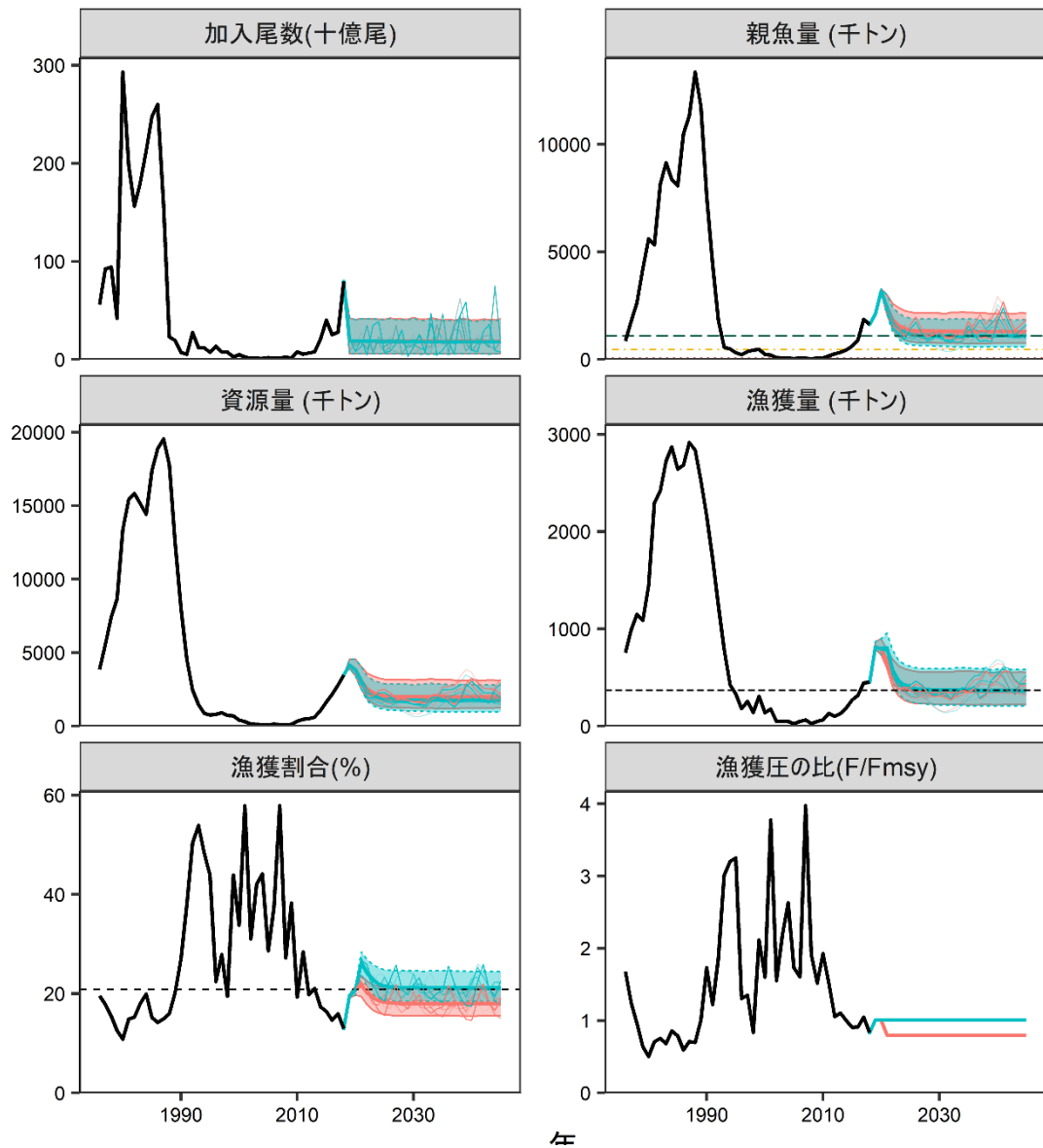


図 6. 通常加入期の再生産関係を適用した場合における、漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

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、黄点線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲量の図の破線は MSY を、漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2019 年と 2020 年の漁獲量は予測される資源量と $F_{current}$ により仮定し、2021 年以降の漁獲は漁獲管理規則案に基づく（図 5）。安全係数 β には 0.8 を用いた。

表 1. 再生産関係式の検討候補 適用する再生産関係式を太字とした

全期間の場合

再生産関係式	最適化法	自己 相関	期間	AICc	Δ AICc	順位
ホッケー・スティック型	最小二乗法	有	1976~2018	108.30	0	1
リッカー型	最小二乗法	有	1976~2018	109.11	0.81	2
ベバートン・ホルト型	最小二乗法	有	1976~2018	109.54	1.24	3
ホッケー・スティック型	最小二乗法	無	1976~2018	122.93	14.63	8
リッカー型	最小二乗法	無	1976~2018	122.27	13.97	7
ベバートン・ホルト型	最小二乗法	無	1976~2018	123.18	14.88	9
ホッケー・スティック型	最小絶対値法	無	1976~2018	118.09	9.79	4
リッカー型	最小絶対値法	無	1976~2018	120.02	11.72	5
ベバートン・ホルト型	最小絶対値法	無	1976~2018	120.16	11.86	6

自己相関の推定は、再生産関係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方が妥当なため、最適化法には最小二乗法を用いた。

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	Δ AICc	順位
ホッケー・スティック型	最小 二乗法	無	通常	1988~2018	96.04	5.72	4
			高	1976~1987			
リッカー型	最小 二乗法	無	通常	1988~2018	99.03	8.71	6
			高	1976~1987			
ベバートン・ホルト型	最小 二乗法	無	通常	1988~2018	96.88	6.56	5
			高	1976~1987			
ホッケー・スティック型	最小 絶対値法	無	通常	1989~2018	90.32	0	1
			高	1976~1987			
リッカー型	最小 絶対値法	無	通常	1988~2018	91.3	0.98	2
			高	1976~1987			
ベバートン・ホルト型	最小 絶対値法	無	通常	1988~2018	95.24	4.92	3
			高	1976~1987			

表 2. MSY を実現する親魚量の算出および将来予測計算に用いた各種設定

年齢	自然死亡 係数	成熟率	平均重量 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (Fcurrent)
0	0.40	0.0	17	0.3631	0.1871
1	0.40	0.2	45	0.3693	0.1903
2	0.40	1.0	81	0.4851	0.2499
3	0.40	1.0	105	1.0000	0.5152
4	0.40	1.0	121	0.9966	0.5135
5 歳以上	0.40	1.0	138	0.9966	0.5135

表 3. 管理基準値案および禁漁水準案に対応する漁獲量や漁獲圧など

管理基準値案又は禁漁水準案	説明	親魚量 (千トン)	SB0 に 対する比 ※	漁獲量※ ※ (千トン)	漁獲圧 ※※※	漁獲 割合※ ※※※	現状の 漁獲圧 に対する 比※※ ※※※
目標管理基準値案	SBmsy	1097	0.38	368	39.3	0.21	0.99
限界管理基準値案	SB0.6msy	471	0.16	221	29.7	0.27	1.43
禁漁水準案	SB0.1msy	66	0.02	37	25.1	0.30	1.73
MSY を実現する漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳以上) = (0.19, 0.19, 0.25, 0.51, 0.51, 0.51)					

※漁獲がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する管理基準値案や禁漁水準案の比

※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量

※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧を%SPR に換算した値

※※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲割合

※※※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比

表 4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	100	100	100	100	80	58	50	47	44	44	43	43	43
0.9	100	100	100	100	88	69	60	57	55	54	53	53	54
0.8	100	100	100	100	94	79	71	68	66	65	64	64	65
0.7	100	100	100	100	97	88	81	78	77	76	75	75	75
0.6	100	100	100	100	99	93	89	87	86	86	85	85	85
0.5	100	100	100	100	100	97	95	93	93	92	92	92	92
0.4	100	100	100	100	100	99	98	97	97	97	97	97	96
0.3	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99	99	99
0.2	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
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2019、2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

表 5. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.8	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
0.6	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
0.4	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
0.2	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
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2019、2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

表 6. 将来の親魚量の平均値の推移 (千トン)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	2,114	3,164	2,417	1,721	1,404	1,243	1,179	1,147	1,131	1,128	1,121	1,117	1,114
0.9	2,114	3,164	2,417	1,783	1,490	1,332	1,267	1,234	1,219	1,218	1,212	1,209	1,207
0.8	2,114	3,164	2,417	1,849	1,582	1,429	1,364	1,330	1,315	1,315	1,310	1,308	1,306
0.7	2,114	3,164	2,417	1,917	1,682	1,537	1,473	1,438	1,423	1,423	1,419	1,417	1,415
0.6	2,114	3,164	2,417	1,989	1,790	1,656	1,594	1,561	1,545	1,545	1,541	1,539	1,537
0.5	2,114	3,164	2,417	2,063	1,906	1,787	1,732	1,700	1,684	1,685	1,680	1,679	1,677
0.4	2,114	3,164	2,417	2,141	2,032	1,933	1,887	1,859	1,845	1,847	1,842	1,841	1,839
0.3	2,114	3,164	2,417	2,222	2,168	2,095	2,063	2,043	2,033	2,036	2,032	2,031	2,030
0.2	2,114	3,164	2,417	2,307	2,315	2,275	2,264	2,256	2,253	2,260	2,259	2,259	2,259
0.1	2,114	3,164	2,417	2,396	2,474	2,477	2,494	2,505	2,513	2,528	2,532	2,535	2,537
0	2,114	3,164	2,417	2,488	2,647	2,702	2,757	2,796	2,824	2,852	2,865	2,875	2,881

安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2019、2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

表 7. 将来の漁獲量の平均値の推移 (千トン)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	815	798	800	572	468	415	393	384	379	377	375	374	374
0.9	815	798	735	543	453	405	385	376	372	370	369	369	368
0.8	815	798	667	509	433	392	373	365	361	360	359	359	359
0.7	815	798	596	471	409	374	357	350	346	345	345	344	345
0.6	815	798	521	426	379	350	337	331	327	326	326	325	325
0.5	815	798	444	376	342	320	310	305	302	301	301	300	301
0.4	815	798	363	318	297	282	275	271	269	268	268	268	268
0.3	815	798	278	253	242	234	230	228	227	226	226	226	226
0.2	815	798	189	179	175	173	171	171	171	171	171	171	171
0.1	815	798	97	95	96	96	96	97	97	98	98	98	98
0	815	798	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2019、2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

表 8. 予測される親魚量、漁獲量、親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ
安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した結果を示す。

β	10 年後 (2031 年) の平 均親魚量 (千ト ン)	10 年後 (2031 年) に親魚量が 目標管理基 準値案を上 回る確率	0 年後 (2021 年) の予測漁獲 量 (千ト ン)	5 年後 (2026 年) の予測漁獲 量 (千ト ン)	10 年後 (2031 年) の予測漁獲 量 (千ト ン)	10 年後 (2031 年) に親魚量が 限界管理基 準値案を上 回る確率
1	1,114	43%	800	384	374	99%
0.9	1,207	54%	735	376	368	99%
0.8	1,306	65%	667	365	359	100%
0.7	1,415	75%	596	350	345	100%
0.6	1,537	85%	521	331	325	100%
0.5	1,677	92%	444	305	301	100%
0.4	1,839	96%	363	271	268	100%
0.3	2,030	99%	278	228	226	100%
0.2	2,259	100%	189	171	171	100%
0.1	2,537	100%	97	97	98	100%
0	2,881	100%	0	0	0	100%

補足資料 1 再生産関係式のモデル診断結果について

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。それぞれの再生産関係式の数式は以下の通りである ;

$$R_y = \begin{cases} \begin{cases} ab & \text{if } B_y > b \\ aB_y & \text{if } B_y \leq b \end{cases} & \text{(Hockey stick, HS)} \\ \frac{aB_y}{(1 + bB_y)} & \text{(Beverton Holt, BH)} \\ aB_y \exp(-bB_y) & \text{(Ricker, RI)} \end{cases}$$

ここで R_y は y 年の加入量、 B_y は y 年の親魚量である。いずれの再生産関係式でも、推定するパラメータは a および b の 2 つである。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。

全期間 (1976~2018 年) データを使用する場合、ホッケー・スティック (HS) 型、リッカー (RI) 型、ベバートン・ホルト (BH) 型の再生産関係式を、最小二乗法および最小絶対値法を用いて当てはめた。期間で分けた再生産関係のモデルと比較するために、自己相関は、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自己相関パラメータを同時に推定する“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方が妥当なため、最適化法には最小二乗法を用いた。推定された各再生産関係のパラメータを補足表 1-1 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) は低かった。

マ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)、再生産関係も変化する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かもしれない。そこで、1976~2018 年の加入量水準に基づいて、再生産関係が通常加入期と高加入期の二種類の様態に分けられるとし、高加入期から通常加入期に切り替わったと仮定した。再生産関係が切り替わる時期は、これまでの文献をもとに (Yatsu et al. 2005、Takahashi et al. 2009、Kurota et al.

2020)、1987～1990年の間を候補とした。切り替わる年と再生産関係のタイプすべての組み合わせについてのモデルを検討した。

再生産関係式および推定方法ごとに AICc がもっとも低い組み合わせを選出し、期間で分けた再生産関係の検討候補とした(補足表 1-2)。再生産関係のタイプに関わらず、通常加入期と高加入期に分けた場合の方が、全期間のデータに当てはめた場合より、AICc は低くなっていた。期間で分けた再生産関係のうち、最小絶対値法で推定した方が AICc は低くなっていたが、パラメータの推定が不安定であり、また、最小二乗法を用いた場合と推定されたパラメータに大きな差はなかったため、最小二乗法を候補とした。最小二乗法を用いた場合、HS 型の再生産関係を仮定したモデルの AICc が最小となった。

本系群の再生産関係として適用する、再生産関係を期間で分けた場合の最小二乗法にもとづく HS 型再生産関係式のモデル診断を行った(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)。残差トレンドと自己相関プロットを補足図 1-2 に示す。有意な自己相関は見られず、再生産関係を期間で分けることで加入量の自己相関をうまく対処できていると考えられる。なお、残差の時系列に着目すると、近年の加入量の残差は正に偏っており、通常加入期の再生産関係から予測されるよりも高い加入が続いていると解釈された。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。その結果、有意な逸脱は検出されなかった(補足図 1-3)。パラメータの推定における個々のデータの影響を、データを 1 年ずつ除くジャックナイフ解析で検討した。高加入期のデータは少なかったが、高加入期の再生産関係式のパラメータ推定において、影響の大きいデータは 1 点(1979 年)だけであった(補足図 1-4 および 1-5)。一方、通常加入期の再生産関係においては、各パラメータの推定値に大きな変化は見られず、推定された再生産関係は頑健であった(補足図 1-4 および 1-5)。また、残差のノンパラメトリックブートストラップを 1000 回行ったところ、すべてのパラメータでほとんどバイアスは見られなかった(補足図 1-6 および 1-7)。加えて、パラメータ a、b を変化させた場合のプロファイル尤度は、推定値で最大になっていることが確認された(補足図 1-8)。

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
- Clark C. W. A. T. Charles J. R. Beddington, M. Mangel (1985) Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Marine Resource Economics*, 2: 25-53.
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957). On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- 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.
- Ricker W. E. (1954). Stock and recruitment. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* , 11: 559–623.
- Takahashi, M., Y. Watanabe, A. Yatsu, H. Nishida (2009) Contrasting responses in larval and juvenile growth to a climate-ocean regime shift between anchovy and sardine. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 66, 972–982.
- 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.

補足表 1-1. 全期間のデータに基づく再生産関係式における各パラメータの推定値

再生産関係式	最適化法	自己 相関	推定 法	a	b	S.D.	ρ	デー タ 数	AICc
ホッケー・ スティック型	最小 二乗法	有	同時	0.034	1,629,150	0.763	0.604	43	108.30
リッカー型	最小 二乗法	有	同時	0.032	1.52e-07	0.775	0.554	43	109.54
ベバートン・ ホルト型	最小 二乗法	有	同時	0.040	5.00e-07	0.771	0.601	43	109.11
ホッケー・ スティック型	最小 二乗法	無	-	0.027	2,732,831	0.936	0	43	122.93
リッカー型	最小 二乗法	無	-	0.029	1.27e-07	0.929	0	43	122.27
ベバートン・ ホルト型	最小 二乗法	無	-	0.030	2.33e-07	0.938	0	43	123.18
ホッケー・ スティック型	最小 絶対値法	無	-	0.024	6,478,416	0.990	0	43	118.09
リッカー型	最小 絶対値法	無	-	0.025	3.17e-08	1.008	0	43	120.02
ベバートン・ ホルト型	最小 絶対値法	無	-	0.024	2.97e-08	1.014	0	43	120.16

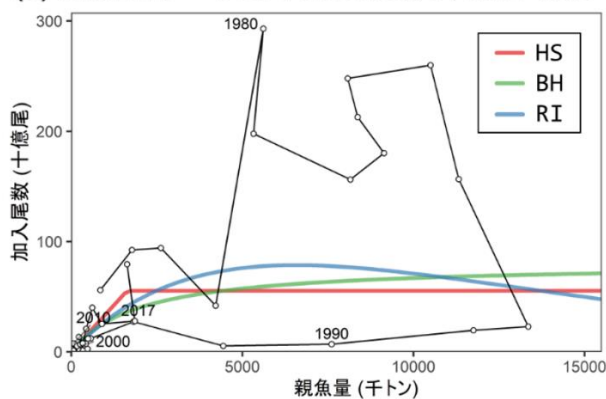
S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標で、対数残差の標準偏差（Standard Deviation、平均二乗誤差の平方根）である。

補足表 1-2. 再生産関係式を期間で分けたモデルにおける各パラメータの推定値

再生産 関係式	最適化法	期間	加入 期	a	b	S.D.	ρ	デー タ 数	AICc
ホッケー・ スティック 型	最小 二乗法	1988~2018	通常	0.026	764,253	0.705	0	31	96.04
		1976~1987	高	0.036	5,612,630	0.460	0	12	
リッカー型	最小 二乗法	1988~2018	通常	0.027	2.73e-07	0.755	0	31	99.03
		1976~1987	高	0.052	9.68e-08	0.436	0	12	
ベバートン・ ホルト型	最小 二乗法	1988~2018	通常	0.036	1.54e-06	0.734	0	31	96.88
		1976~1987	高	0.064	2.23e-07	0.429	0	12	
ホッケー・ スティック 型	最小 絶対値法	1988~2018	通常	0.023	1,005,619	0.717	0	31	90.32
		1976~1987	高	0.038	5,613,207	0.462	0	12	
リッカー型	最小 絶対値法	1988~2018	通常	0.024	2.29e-07	0.770	0	31	91.30
		1976~1987	高	0.063	1.08e-07	0.454	0	12	
ベバートン・ ホルト型	最小 絶対値法	1988~2018	通常	0.033	1.38e-06	0.736	0	31	95.21
		1975~1987	高	0.075	2.34e-07	0.448	0	12	

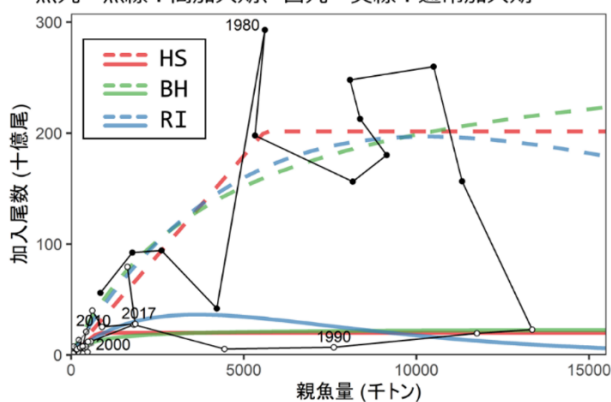
S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標で、対数残差の標準偏差（Standard Deviation、平均二乗誤差の平方根）である。

(a) 全期間のデータに当てはめた場合 | 最小二乗法



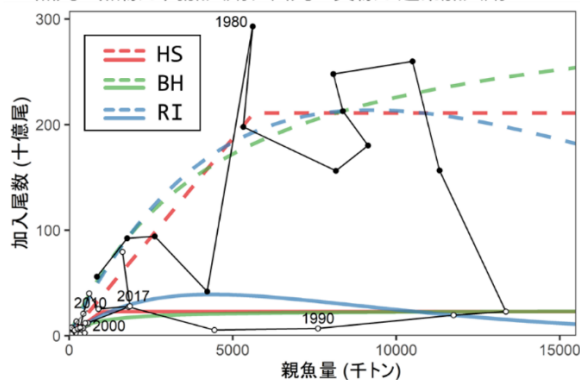
(b) 期間で分けた場合 | 最小二乗法

黒丸・点線：高加入期、白丸・実線：通常加入期



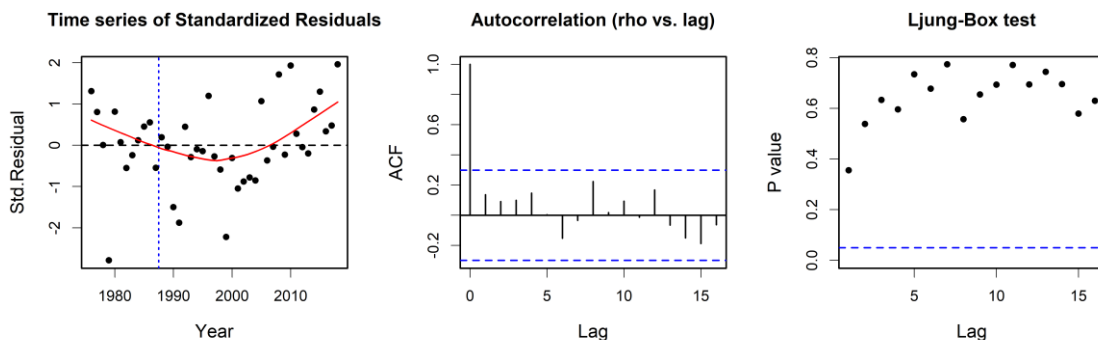
(c) 期間で分けた場合 | 最小絶対値法

黒丸・点線：高加入期、白丸・実線：通常加入期



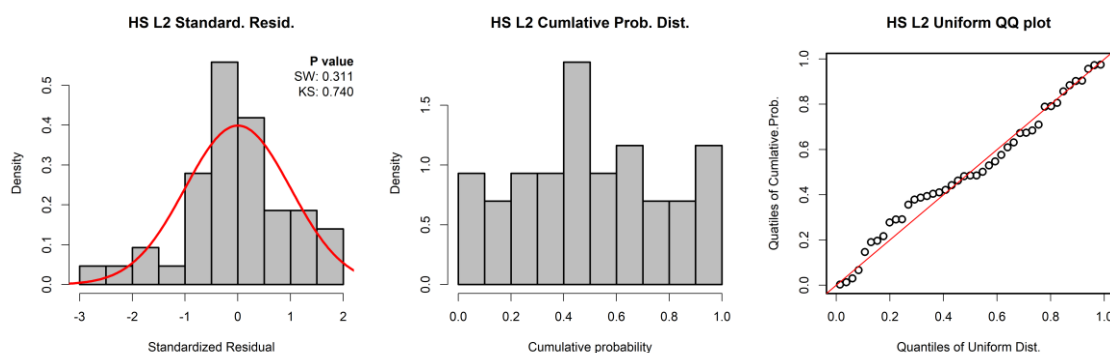
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

(a) 全期間のデータに当てはめた場合（自己相関は同時推定）、(b) 期間で分け、最小二乗法で最適化した場合、(c) 期間で分け、最小絶対値法で最適化した場合。ホッケースティック（HS）型、リッカー（RI）型、ベバートン・ホルト（BH）型の再生産関係式がそれぞれ書かれている。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数（1976～2018年）である。図中の数字は加入群の年級（生まれ年）を示す。



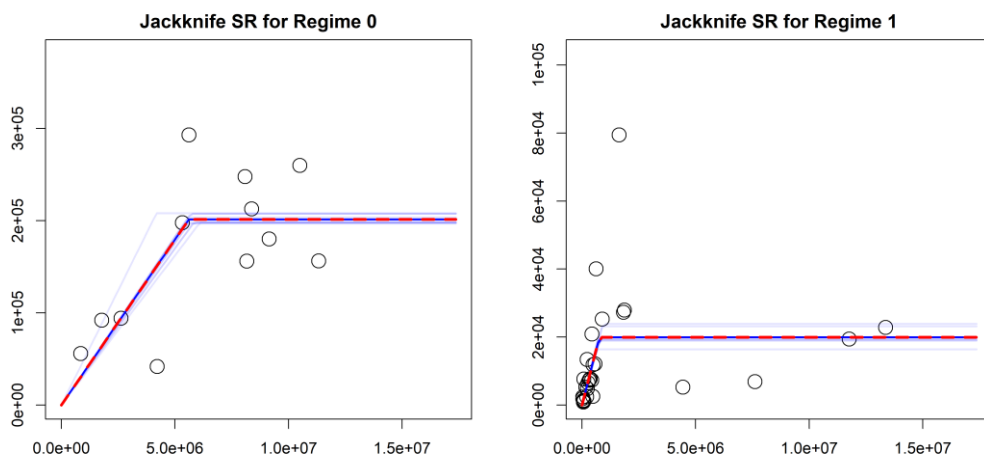
補足図 1-2. HS 型を仮定し、再生産関係を期間で分けたモデルにおける (左) 標準化残差の時系列トレンド、(中央) コレログラム、(右) Ljung-Box 検定における P 値

標準化残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線、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。コレログラムの図中の青色の点線は 95%信頼区間を、Ljung-Box 検定における P 値の図中の青色の点線は 5%水準を表している。



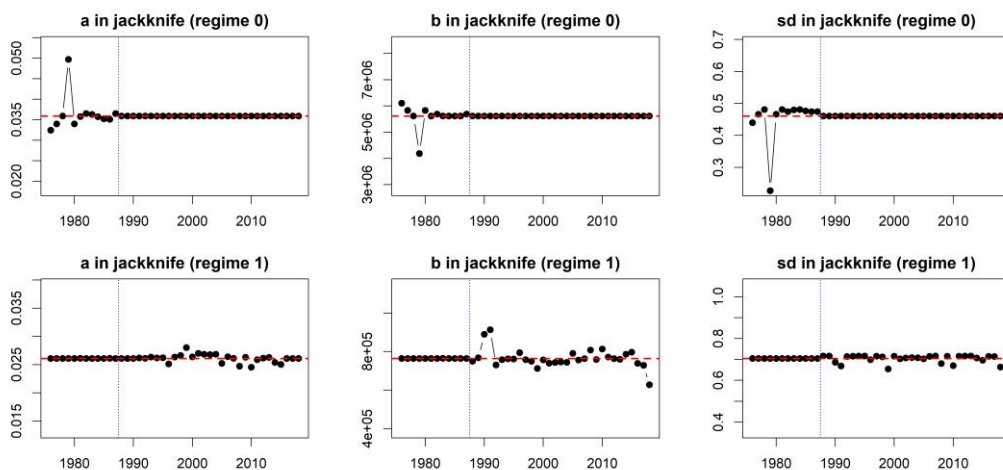
補足図 1-3. HS 型を仮定し、再生産関係を期間で分けたモデルにおける (左) 標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果、(中央) 残差の累積確率密度のヒストグラム、(右) 一様分布を仮定した QQ プロット

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表している。



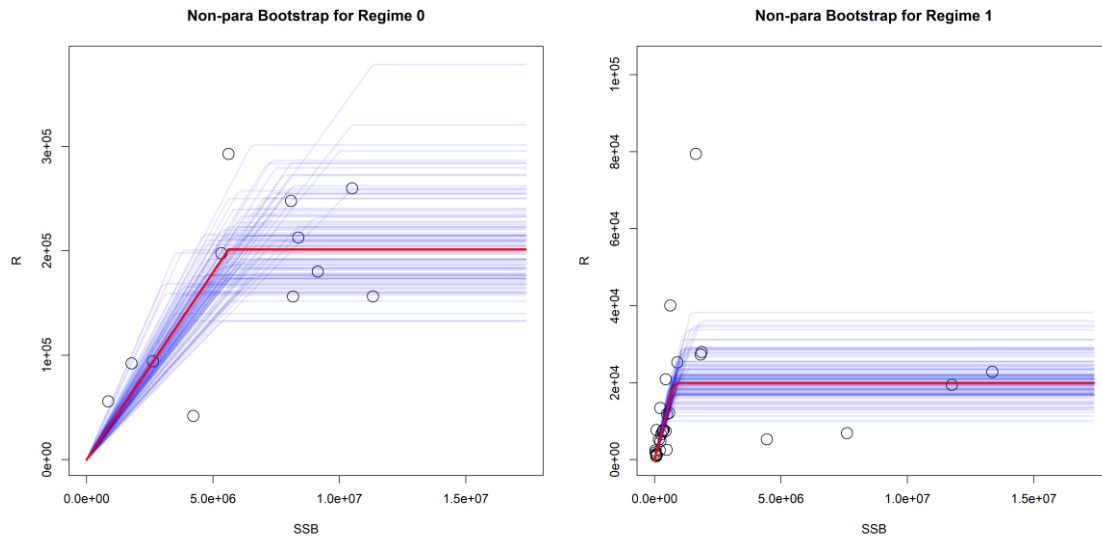
補足図 1-4. HS 型を仮定し、再生産関係を期間で分けたモデルにおけるジャックナイフ解析での推定結果

赤線は全データの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。分析に使用した親魚量と加入量を丸印で示す。左図は高加入期 (Regime0)、右図は通常加入期 (Regime1) の結果を示す。



補足図 1-5. HS 型を仮定し、再生産関係を期間で分けたモデルにおけるジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

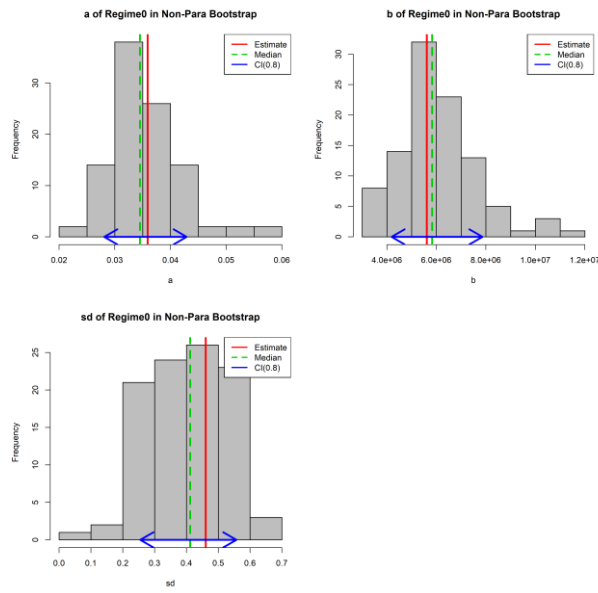
上段は高加入期 (Regime0)、下段は通常加入期 (Regime1) の結果を示す。青色の点線は再生産関係が切り替わる時点を表している。



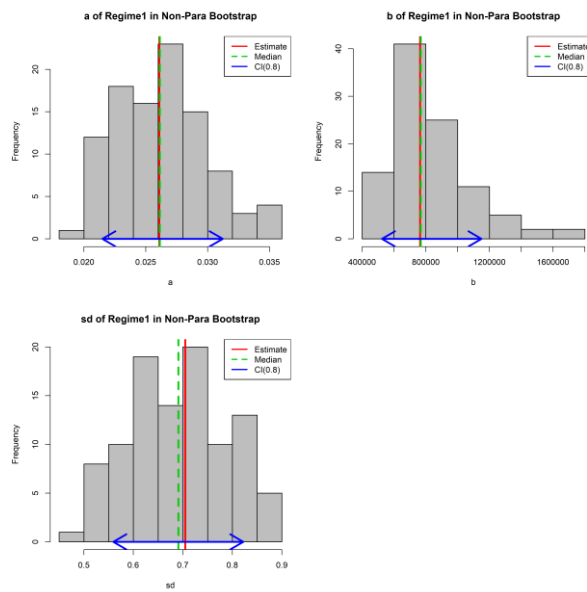
補足図 1-6. HS 型を仮定し、再生産関係を期間で分けたモデルにおける残差ブートストラップ解析の結果

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。分析に使用した親魚量と加入量を丸印で示す。左図は高加入期 (Regime0)、右図は通常加入期 (Regime1) の結果を示す。

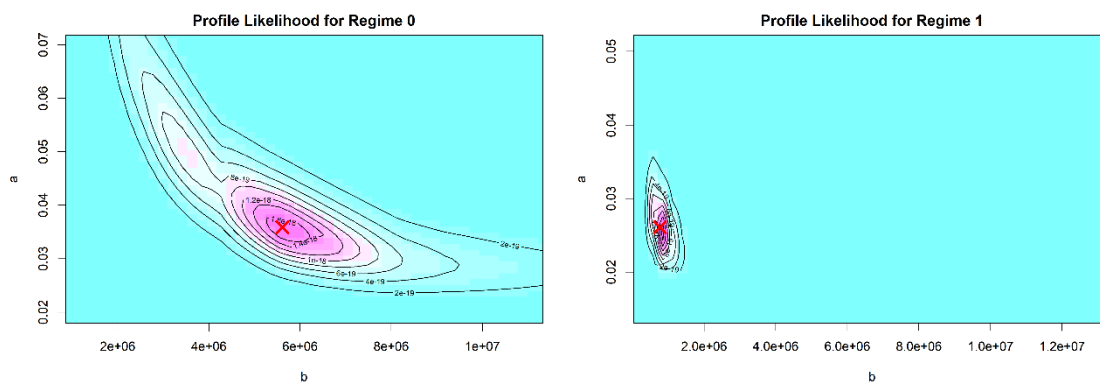
高加入期



通常加入期



補足図 1-7. HS 型を仮定し、再生産関係を期間で分けたモデルにおける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。上段は高加入期（Regime0）、下段は通常加入期（Regime1）の結果を示す。

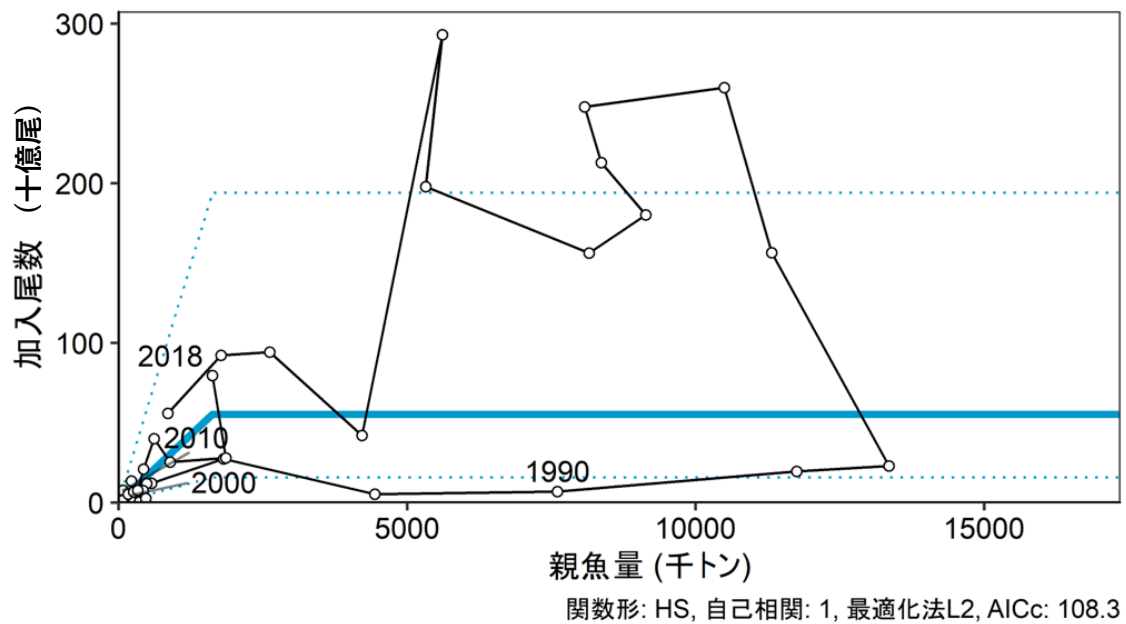


補足図 1-8. HS 型を仮定し、再生産関係を期間で分けたモデルにおける推定パラメータのプロファイル尤度

×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。左図は高加入期 (Regime0)、右図は通常加入期 (Regime1) の結果を示す。

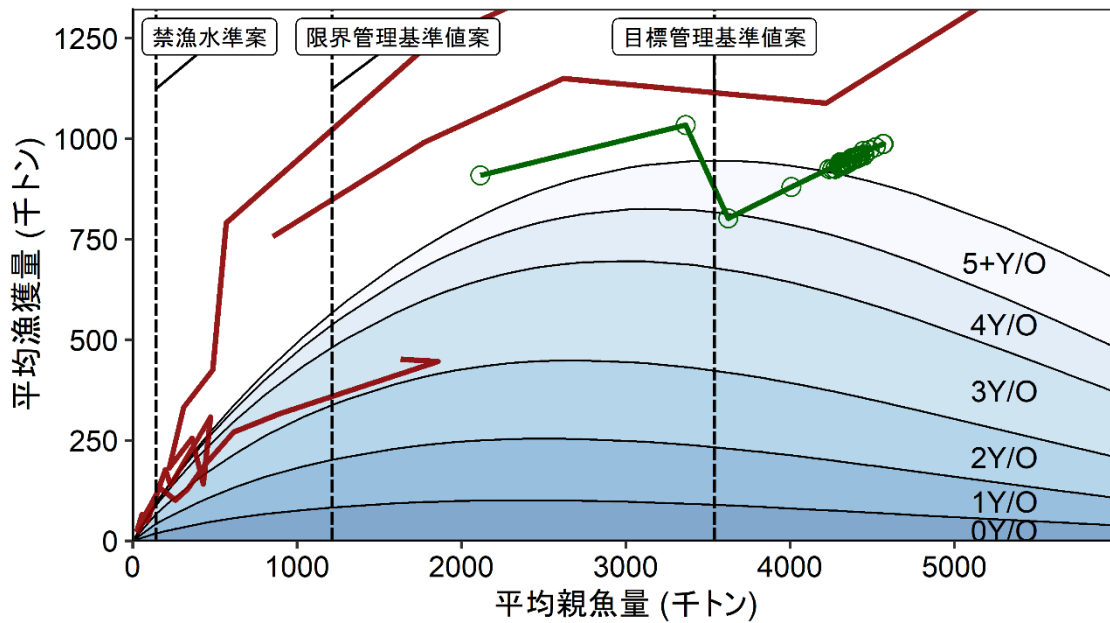
補足資料 2 全期間（1976～2018 年）のデータを用いた再生産関係の結果

全期間のデータを用いた場合の HS 型の再生産関係（最小二乗法、自己相関は同時推定）の結果を示す。



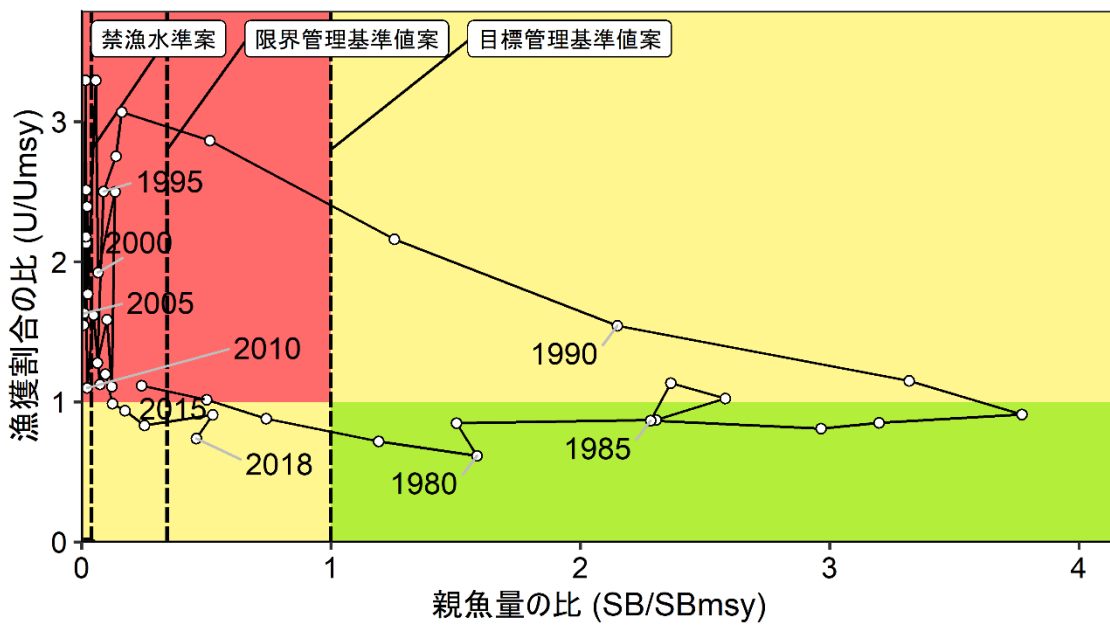
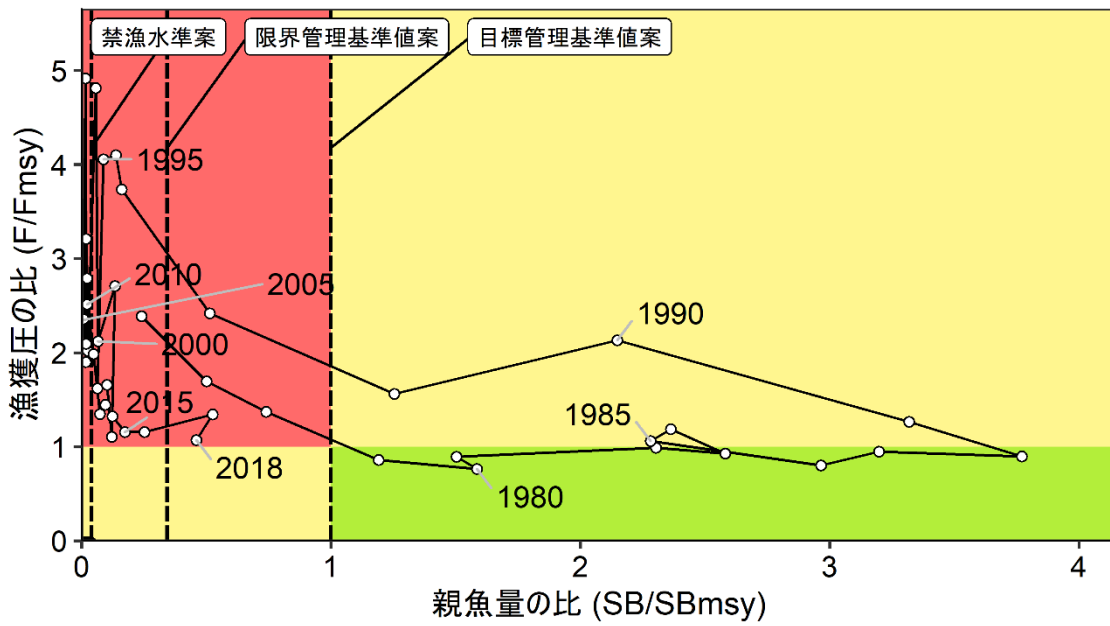
補足図 2-1. 全期間のデータを用いた HS 型再生産関係

青色の実線が再生産関係式を示し、白丸は分析に使用した親魚量と加入量（1976～2018 年）を示す。再生産関係式の上下の点線は、仮定した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。図中の数字は年級群を示す。



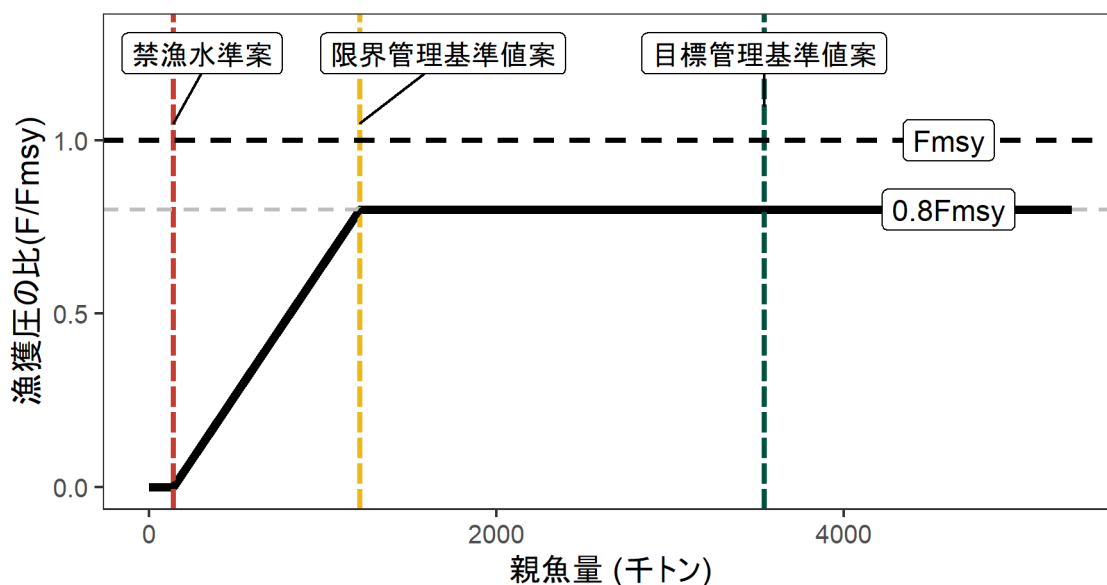
補足図 2-2. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係（全期間のデータを用いた HS 型再生産関係を適用した場合）

全期間のデータを用いた HS 型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と、管理基準値案および禁漁水準案の位置関係を示す。赤線は資源評価により推定された親魚量と漁獲量との推移を、緑線は提示する漁獲管理規則（HCR）案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。HCR 案で使用した安全係数 β は 0.8 である。なお、漁獲がなかった場合を仮定した初期親魚量（SB0）は 10,791 千トンである

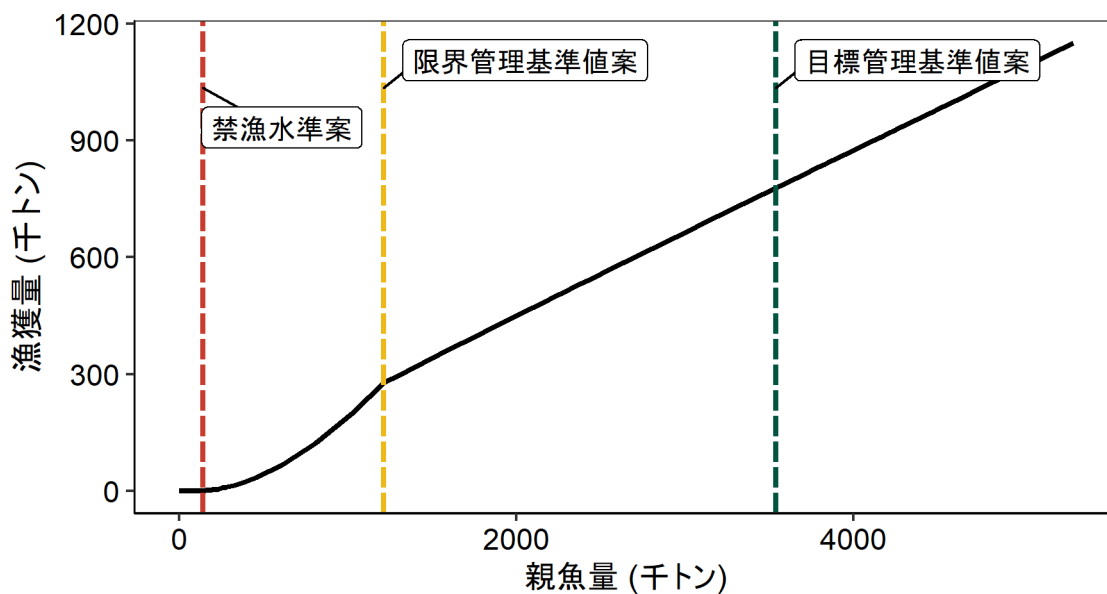


補足図 2-2. 神戸プロット (全期間のデータを用いた HS 型再生産関係を適用した場合)
 縦軸に漁獲圧の比を用いた場合 (上図) および漁獲割合の比を用いた場合 (下図) を示す。目標管理基準値 (SBtarget) 案、限界管理基準値 (SBlimit) 案および禁漁水準 (SBban) 案にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy および SB0.1msy を用いた。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合

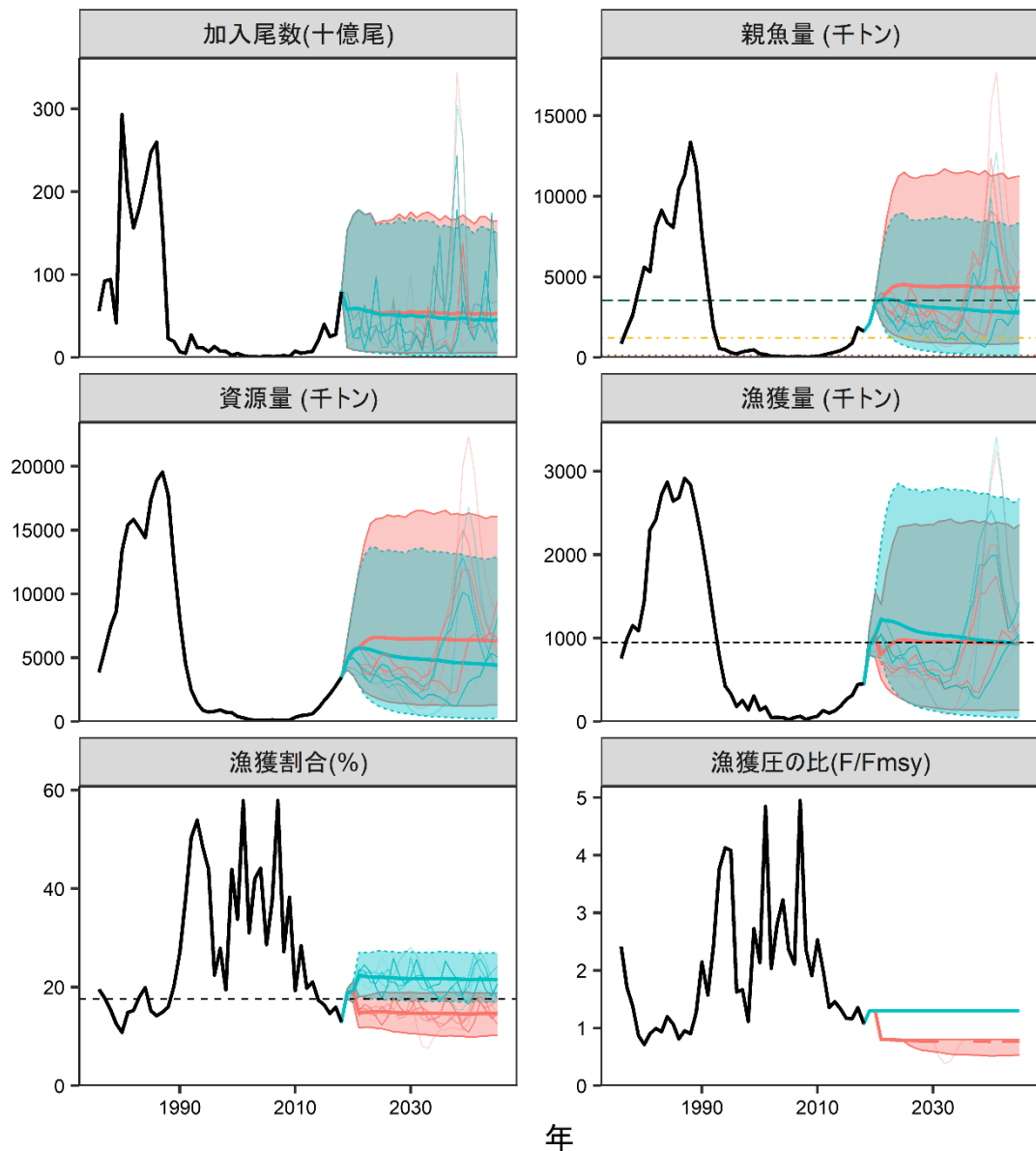


b) 縦軸を漁獲量にした場合



補足図 2-3. 漁獲管理規則案（全期間のデータを用いた HS 型再生産関係を適用した場合）

目標管理基準値 (SBtarget) 案、限界管理基準値 (SBlimit) 案および禁漁水準 (SBban) 案にそれぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ および $SB_{0.1msy}$ を用いた。全期間のデータを用いた再生産関係を適用して推定した。安全係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は HCR 案、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) は縦軸を漁獲圧の比にした場合、b) は縦軸を漁獲量にした場合である。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。



補足図 2-4. 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 (全期間のデータを用いた HS 型再生産関係を適用した場合) 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、黄点線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲量の図の破線は MSY を、漁獲割合の図の破線は Umsy を示す。2019 年と 2020 年の漁獲量は予測される資源量と $F_{current}$ により仮定し、2021 年以降の漁獲は漁獲管理規則案に基づく (補足図 2-3)。安全係数 β には 0.8 を用いた。

補足表 2-1. 管理基準値案および禁漁水準案に対応する漁獲量や漁獲圧など

管理基準値案又は禁漁水準案	説明	親魚量 (千トン)	SB0に 対する比 ※	漁獲量※ ※ (千トン)	漁獲圧 ※※※	漁獲 割合※ ※※※	現状の 漁獲圧 に対する 比※※ ※※※
目標管理基準値案	SBmsy	3,541	0.41	946	46.5	0.18	0.77
限界管理基準値案	SB0.6msy	1,214	0.14	567	29.7	0.27	1.43
禁漁水準案	SB0.1msy	141	0.02	95	20.4	0.34	2.13
MSY を実現する漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳以上) = (0.14, 0.14, 0.19, 0.40, 0.39, 0.39)					

全期間のデータを用いた HS 型再生産関係を適用した場合の結果

※漁獲がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する管理基準値案や禁漁水準案の比

※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量

※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧を%SPR に換算した値

※※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲割合

※※※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比

補足表 2-2. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

(全期間のデータを用いた HS 型再生産関係を適用した場合の結果)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	0	16	38	41	42	42	42	42	41	41	40	40	40
0.9	0	16	38	43	45	45	45	45	45	44	44	43	43
0.8	0	16	38	45	48	48	49	49	48	48	48	47	47
0.7	0	16	38	47	51	51	53	53	52	52	52	51	52
0.6	0	16	38	49	54	55	56	57	56	57	56	56	56
0.5	0	16	38	51	57	59	61	60	61	61	61	61	61
0.4	0	16	38	53	60	63	65	65	66	65	66	66	66
0.3	0	16	38	55	63	67	68	69	70	70	71	71	71
0.2	0	16	38	57	66	70	72	74	75	75	76	76	75
0.1	0	16	38	59	69	74	77	78	79	80	80	81	80
0.0	0	16	38	61	73	78	81	82	84	85	85	85	86

安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2019、2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 2-3. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

(全期間のデータを用いた HS 型再生産関係を適用した場合の結果)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	100	100	100	100	96	92	91	89	89	87	87	86	85
0.9	100	100	100	100	97	94	92	91	91	90	89	89	88
0.8	100	100	100	100	98	95	94	93	93	92	91	91	90
0.7	100	100	100	100	99	96	95	95	94	94	93	93	93
0.6	100	100	100	100	99	97	96	96	96	95	95	94	94
0.5	100	100	100	100	100	98	97	97	97	97	96	96	96
0.4	100	100	100	100	100	99	98	98	98	98	98	97	97
0.3	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	98	98	98
0.2	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99	99	99
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2019、2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-4. 将来の親魚量の平均値の推移（千トン）

（全期間のデータを用いた HS 型再生産関係を適用した場合の結果）

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	2,114	3,365	3,623	3,834	3,979	4,056	4,078	4,046	3,979	3,895	3,874	3,849	3,788
0.9	2,114	3,365	3,623	3,919	4,140	4,262	4,312	4,296	4,238	4,157	4,138	4,114	4,052
0.8	2,114	3,365	3,623	4,007	4,308	4,483	4,565	4,568	4,521	4,445	4,429	4,405	4,343
0.7	2,114	3,365	3,623	4,098	4,485	4,718	4,838	4,865	4,832	4,762	4,749	4,727	4,665
0.6	2,114	3,365	3,623	4,191	4,671	4,969	5,134	5,190	5,174	5,113	5,104	5,084	5,022
0.5	2,114	3,365	3,623	4,286	4,866	5,239	5,455	5,546	5,553	5,502	5,499	5,482	5,421
0.4	2,114	3,365	3,623	4,384	5,071	5,527	5,805	5,939	5,973	5,938	5,944	5,931	5,872
0.3	2,114	3,365	3,623	4,485	5,287	5,836	6,186	6,373	6,442	6,427	6,446	6,440	6,384
0.2	2,114	3,365	3,623	4,589	5,515	6,168	6,602	6,853	6,967	6,980	7,017	7,023	6,972
0.1	2,114	3,365	3,623	4,696	5,754	6,525	7,058	7,387	7,558	7,609	7,673	7,695	7,654
0	2,114	3,365	3,623	4,806	6,006	6,909	7,558	7,983	8,227	8,329	8,430	8,477	8,452

安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2019、2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 2-5. 将来の漁獲量の平均値の推移（千トン）

（全期間のデータを用いた HS 型再生産関係を適用した場合の結果）

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	909	1,034	976	1,026	1,061	1,073	1,075	1,065	1,050	1,035	1,019	1,011	1,000
0.9	909	1,034	890	956	1,004	1,027	1,036	1,030	1,019	1,006	993	985	976
0.8	909	1,034	802	879	939	971	987	987	979	969	957	950	942
0.7	909	1,034	711	797	865	906	927	932	928	920	910	905	898
0.6	909	1,034	618	708	781	828	855	864	864	858	850	846	840
0.5	909	1,034	522	611	686	737	768	781	783	781	775	772	767
0.4	909	1,034	424	507	579	631	663	679	684	684	681	679	675
0.3	909	1,034	322	394	458	507	538	555	562	564	563	562	559
0.2	909	1,034	218	273	323	362	389	404	412	415	415	415	414
0.1	909	1,034	111	141	171	195	211	222	227	230	231	232	231
0	909	1,034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の将来予測の結果を示す。2019、2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 2-6. 予測される親魚量、漁獲量、親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ
安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した結果を示す。

β	10 年後 (2031 年) の平 均親魚量 (千ト ン)	10 年後 (2031 年) に親魚量が 目標管理基 準値案を上 回る確率	0 年後 (2021 年) の予測漁獲 量 (千ト ン)	5 年後 (2026 年) の予測漁獲 量 (千ト ン)	10 年後 (2031 年) の予測漁獲 量 (千ト ン)	10 年後 (2031 年) に親魚量が 限界管理基 準値案を上 回る確率
1	3,788	40%	976	1,065	1,000	85%
0.9	4,052	43%	890	1,030	976	88%
0.8	4,343	47%	802	987	942	90%
0.7	4,665	52%	711	932	898	93%
0.6	5,022	56%	618	864	840	94%
0.5	5,421	61%	522	781	767	96%
0.4	5,872	66%	424	679	675	97%
0.3	6,384	71%	322	555	559	98%
0.2	6,972	75%	218	404	414	99%
0.1	7,654	80%	111	222	231	99%
0	8,452	86%	0	0	0	100%

全期間のデータを用いた HS 型再生産関係を適用した場合の結果

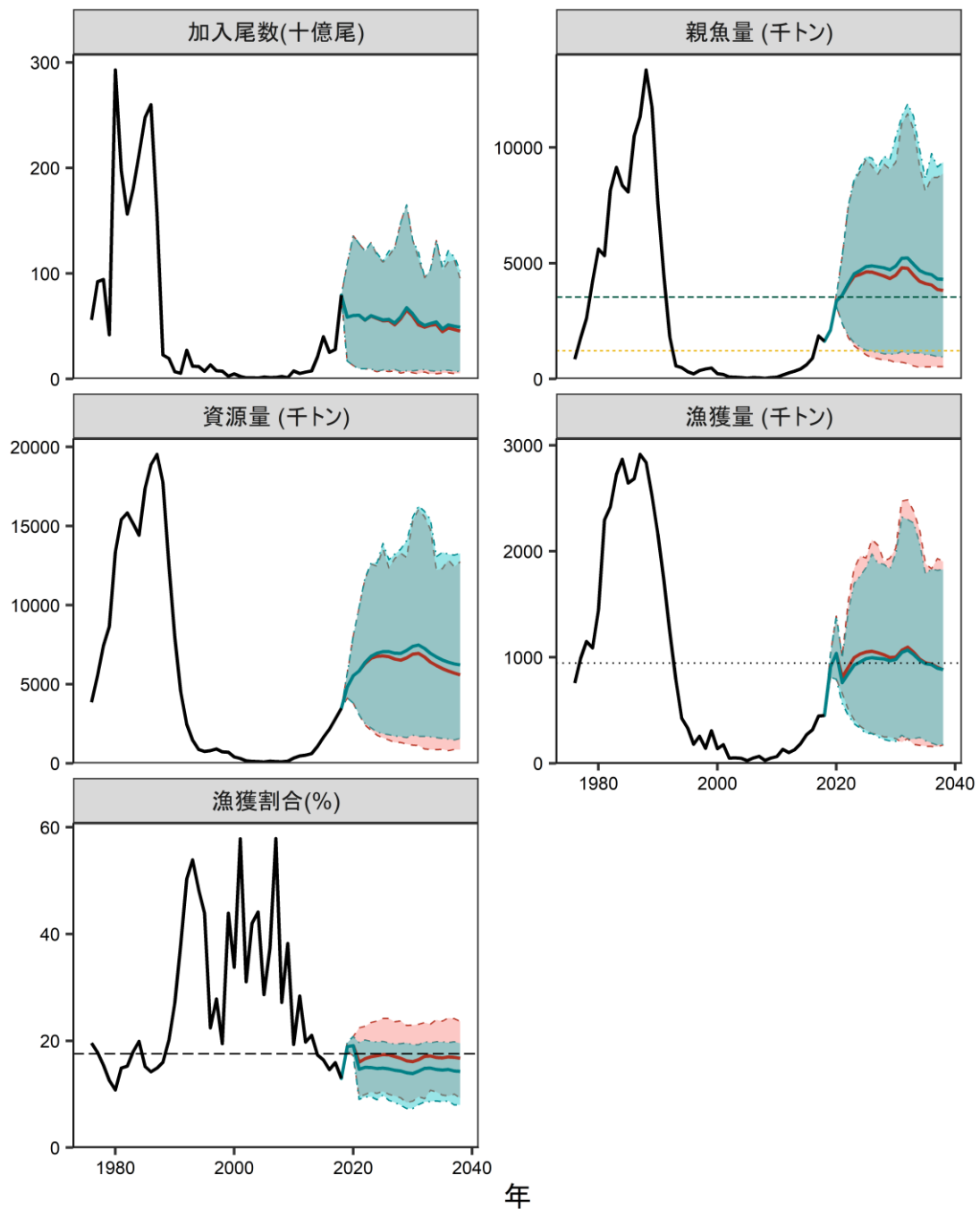
補足資料3 資源量減少のリスクの検討

全期間のデータに当てはめた再生産関係の場合に比べ、通常加入期の再生産関係に基づく F_{msy} 等は、わずかに楽観的になっていた（表3および補足表2-1）。これはおそらく、全期間のデータに当てはめた一つの再生産関係の場合の方が、加入量残差の分散は大きく、加えて自己相関もあるため、予測される加入量のばらつきが大きくなり、MSYを実現する親魚量が保守的に推定されたことが理由と考えられる。そのため、通常加入期の再生産関係を適用することには、実際に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、真の再生産関係が、全期間のデータに当てはめた一つ再生産関係であるときに、通常加入期の再生産関係を適用した場合について簡易的なMSEを行い、通常加入期の再生産関係を適用することにおける資源減少のリスクを評価した（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3および補足表3-1～3-4に示す。 β が0.5以下であれば、10年後に真（全期間のデータに当てはめた再生産関係）の限界管理基準値を上回る確率は90%を上回った（補足表3-2）。補正赤池情報量規準（AICc）などから判断すると、再生産関係を期間で分けたモデルの方がもっともらしいと考えられるが、期間を通じて一つの再生産関係である可能性も棄却できない。そのため、 β を標準値である0.8より高い値とすることは推奨されず、0.5に近づけるほど資源減少のリスクを小さくすることができる。

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3. 真の再生産関係が全期間のデータに当てはめた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（全期間のデータに当てはめた再生産関係）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し、漁獲量の図の破線はMSYを、漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す（いずれも真の再生産関係にもとづく値）。2019年と2020年の漁獲量は予測される資源量

と $F_{current}$ により仮定し、2021 年以降の漁獲は漁獲管理規則案に基づく。安全係数 β には 0.8 を用いた。

補足表 3-1. 将来の親魚量が（真の再生産関係の）目標管理基準値案を上回る確率（%）

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	0	15	39	43	41	41	40	37	39	38	36	38	38
0.9	0	15	39	44	44	43	42	41	43	41	39	40	42
0.8	0	15	39	45	45	45	45	46	45	44	42	43	45
0.7	0	15	39	47	49	47	49	50	48	49	46	47	51
0.6	0	15	39	49	51	49	51	54	53	52	50	53	54
0.5	0	15	39	52	53	52	56	56	55	57	57	57	59
0.4	0	15	39	54	57	56	59	60	61	60	63	63	64
0.3	0	15	39	56	60	62	65	66	65	65	69	69	69
0.2	0	15	39	58	63	68	68	68	70	70	75	76	75
0.1	0	15	39	60	67	70	74	74	76	77	78	80	81

真の再生産関係は、全期間のデータに当てはめた再生産関係だが、通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合の結果

補足表 3-2. 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（%）

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	100	100	100	99	91	85	83	78	77	76	75	75	73
0.9	100	100	100	100	93	88	84	81	80	79	78	79	77
0.8	100	100	100	100	94	90	87	86	84	82	82	81	80
0.7	100	100	100	100	97	92	89	88	87	86	85	85	85
0.6	100	100	100	100	98	93	93	91	90	89	88	88	88
0.5	100	100	100	100	98	96	95	93	93	91	92	91	91
0.4	100	100	100	100	99	98	96	95	94	94	94	94	93
0.3	100	100	100	100	100	99	98	97	96	96	95	96	95
0.2	100	100	100	100	100	100	99	98	98	98	98	97	98
0.1	100	100	100	100	100	100	100	99	98	99	98	99	99

真の再生産関係は、全期間のデータに当てはめた再生産関係だが、通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合の結果

補足表 3-3. 将来の親魚量の平均値の推移（千トン）

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	2,114	3,363	3,624	3,895	4,125	4,118	4,170	4,126	4,013	3,906	3,777	3,917	4,220
0.9	2,114	3,363	3,624	3,976	4,274	4,309	4,388	4,361	4,262	4,166	4,044	4,189	4,497
0.8	2,114	3,363	3,624	4,060	4,433	4,516	4,625	4,619	4,535	4,453	4,338	4,484	4,800
0.7	2,114	3,363	3,624	4,148	4,602	4,739	4,885	4,904	4,837	4,770	4,664	4,811	5,141
0.6	2,114	3,363	3,624	4,239	4,782	4,981	5,171	5,221	5,174	5,127	5,029	5,181	5,524
0.5	2,114	3,363	3,624	4,333	4,974	5,245	5,488	5,575	5,552	5,525	5,440	5,599	5,953
0.4	2,114	3,363	3,624	4,432	5,179	5,533	5,839	5,973	5,980	5,973	5,900	6,068	6,435
0.3	2,114	3,363	3,624	4,534	5,398	5,847	6,230	6,421	6,466	6,487	6,429	6,612	6,995
0.2	2,114	3,363	3,624	4,640	5,632	6,192	6,667	6,928	7,023	7,081	7,047	7,251	7,654
0.1	2,114	3,363	3,624	4,751	5,883	6,570	7,157	7,508	7,669	7,778	7,780	8,010	8,439

真の再生産関係は、全期間のデータに当てはめた再生産関係だが、通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合の結果

補足表 3-4. 将来の漁獲量の平均値の推移（千トン）

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	908	1,036	980	1,043	1,111	1,123	1,127	1,125	1,097	1,069	1,033	1,037	1,111
0.9	908	1,036	899	978	1,058	1,082	1,093	1,096	1,075	1,052	1,020	1,025	1,094
0.8	908	1,036	814	906	996	1,032	1,050	1,058	1,042	1,025	998	1,002	1,066
0.7	908	1,036	726	827	925	970	995	1,009	998	986	964	968	1,026
0.6	908	1,036	634	740	843	896	926	945	940	932	916	919	972
0.5	908	1,036	539	644	747	806	841	864	865	861	849	852	899
0.4	908	1,036	440	539	637	698	736	762	767	766	759	762	801
0.3	908	1,036	337	423	510	568	605	632	640	643	639	643	674
0.2	908	1,036	229	295	364	412	444	468	478	483	482	485	508
0.1	908	1,036	117	155	195	225	246	262	269	274	275	277	290

真の再生産関係は、全期間のデータに当てはめた再生産関係だが、通常加入期の再生産関係に基づき管理した場合の結果

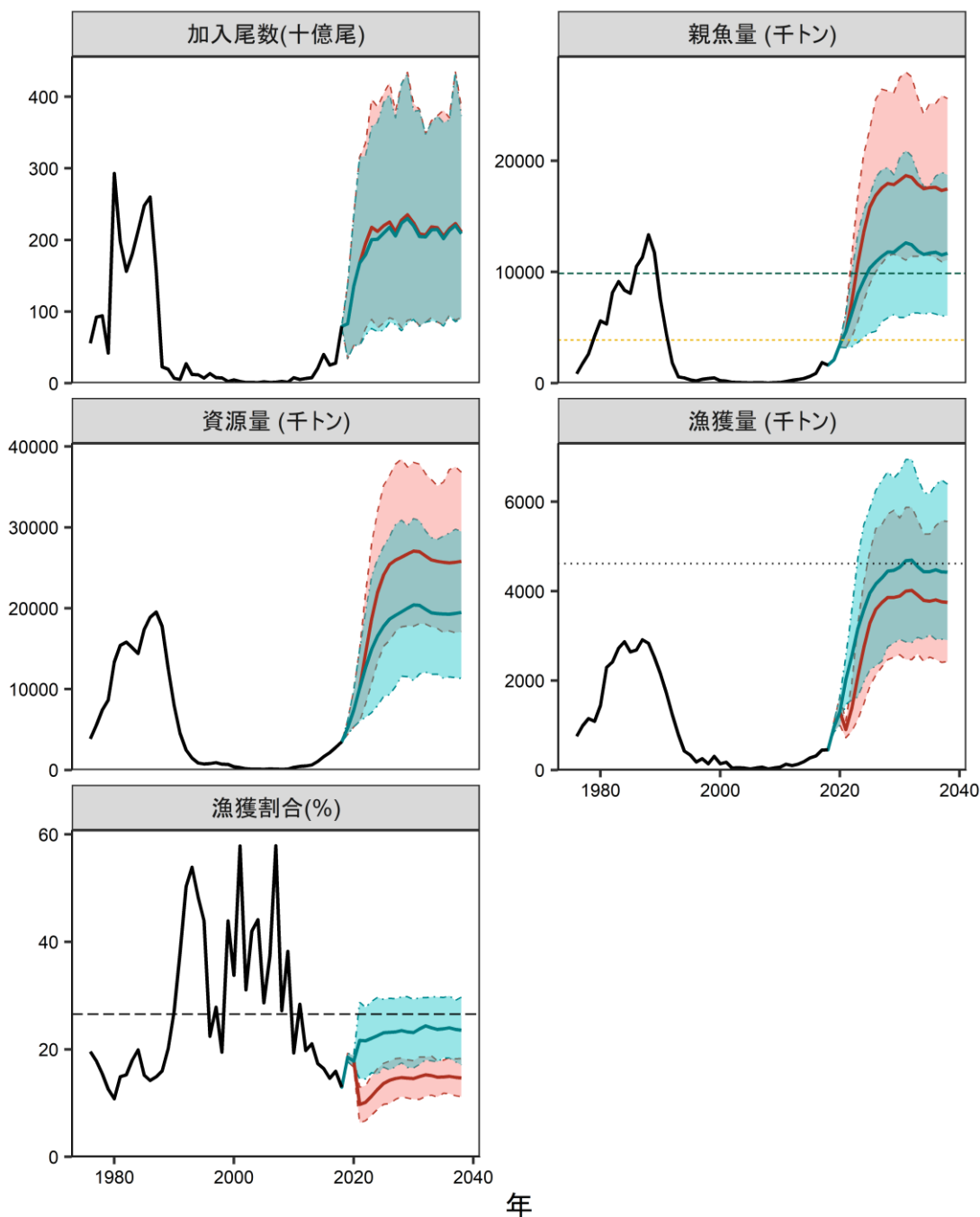
補足資料 4 漁獲機会の損失のリスクの検討

通常加入期の再生産関係を適用することには、実際に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も評価するため、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 4 および補足表 4-1～4-4 に示す。真の再生産関係が高加入期であったときに、通常加入期の再生産関係に基づき管理すると、多くの場合で現状の漁獲量以上となるものの（2018 年漁獲量：451 千トン）、正しく高加入期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（補足表 4-1）。 β を 1 に近くするほど、漁獲量の減少幅は小さくなることが示唆された。また、過去の高加入期と比較すると、 β が 0.7 以上であれば、2021 年以降の平均漁獲量の推移は、過去の高加入期（1976 年以降）の推移を上回る予測となっている。

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4. 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し、漁獲量の図の破線はMSYを、漁獲量の図の破線はUmsyを示す（どれも真の再生産関係に基づく値）。2019年と2020年の漁獲量は予測される資源量とFcurrentにより仮定し、2021年以降の漁獲は漁獲管理規則案に基づく。安全係数 β には0.8を用いた。

補足表 4-1. 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

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	965	1,299	2,426	2,858	3,367	3,697	3,978	4,106	4,236	4,394	4,408	4,505	4,659
0.9	965	1,299	2,226	2,724	3,283	3,665	3,991	4,160	4,292	4,450	4,463	4,543	4,697
0.8	965	1,299	2,018	2,563	3,161	3,592	3,957	4,158	4,295	4,451	4,466	4,537	4,682
0.7	965	1,299	1,801	2,372	2,995	3,468	3,866	4,095	4,242	4,389	4,408	4,472	4,602
0.6	965	1,299	1,575	2,151	2,782	3,281	3,705	3,958	4,113	4,254	4,275	4,328	4,444
0.5	965	1,299	1,340	1,895	2,512	3,021	3,459	3,728	3,889	4,025	4,050	4,094	4,199
0.4	965	1,299	1,094	1,604	2,180	2,676	3,108	3,383	3,546	3,678	3,712	3,752	3,846
0.3	965	1,299	838	1,272	1,774	2,227	2,628	2,893	3,053	3,178	3,220	3,259	3,341
0.2	965	1,299	571	897	1,285	1,651	1,984	2,214	2,357	2,468	2,515	2,552	2,617
0.1	965	1,299	291	475	699	921	1,129	1,280	1,379	1,456	1,495	1,523	1,565

● 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

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	965	1,299	1,090	1,635	2,395	3,073	3,612	3,906	4,047	4,157	4,142	4,174	4,296
0.9	965	1,299	999	1,518	2,251	2,923	3,463	3,764	3,910	4,022	4,015	4,046	4,162
0.8	965	1,299	904	1,394	2,091	2,749	3,285	3,592	3,744	3,859	3,861	3,890	3,999
0.7	965	1,299	806	1,260	1,915	2,550	3,074	3,384	3,542	3,659	3,670	3,700	3,801
0.6	965	1,299	704	1,117	1,719	2,320	2,825	3,133	3,295	3,414	3,436	3,466	3,559
0.5	965	1,299	597	963	1,503	2,055	2,529	2,829	2,993	3,113	3,144	3,176	3,260
0.4	965	1,299	487	798	1,262	1,750	2,179	2,460	2,621	2,739	2,778	2,812	2,887
0.3	965	1,299	372	620	995	1,400	1,764	2,013	2,163	2,272	2,317	2,351	2,415
0.2	965	1,299	253	428	698	998	1,273	1,470	1,594	1,686	1,729	1,761	1,812
0.1	965	1,299	129	222	368	534	691	808	885	944	976	998	1,029

補足表 4-2. 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（％）

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	0	0	2	16	43	65	78	85	89	92	92	90	89
0.9	0	0	2	17	45	71	81	88	91	94	95	93	93
0.8	0	0	2	18	47	75	87	90	94	96	96	95	95
0.7	0	0	2	19	48	79	88	93	95	97	97	97	97
0.6	0	0	2	19	50	80	90	95	96	99	98	99	99
0.5	0	0	2	20	54	83	93	98	98	99	99	99	99
0.4	0	0	2	21	55	85	96	98	99	99	99	100	100
0.3	0	0	2	22	58	88	97	99	99	100	99	100	100
0.2	0	0	2	22	60	91	99	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	2	23	65	94	100	100	100	100	100	100	100

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の結果

補足表 4-3. 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（％）

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	0	6	64	91	97	99	100	100	100	100	100	100	100
0.9	0	6	64	92	97	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	0	6	64	93	97	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	0	6	64	93	98	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	6	64	94	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	6	64	95	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	6	64	96	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	6	64	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	6	64	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	6	64	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100

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の結果

補足表 4-4. 将来の親魚量の平均値の推移（千トン）

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1.0	2,114	3,485	4,613	7,250	10,282	12,775	14,660	15,497	16,045	16,356	16,206	16,571	16,978
0.9	2,114	3,485	4,613	7,340	10,521	13,198	15,232	16,161	16,763	17,112	16,981	17,355	17,777
0.8	2,114	3,485	4,613	7,434	10,773	13,647	15,846	16,887	17,559	17,955	17,851	18,238	18,673
0.7	2,114	3,485	4,613	7,532	11,038	14,125	16,509	17,684	18,447	18,904	18,834	19,240	19,693
0.6	2,114	3,485	4,613	7,633	11,317	14,635	17,228	18,563	19,441	19,977	19,955	20,388	20,864
0.5	2,114	3,485	4,613	7,739	11,610	15,178	18,009	19,537	20,558	21,197	21,239	21,712	22,219
0.4	2,114	3,485	4,613	7,848	11,920	15,760	18,861	20,620	21,821	22,592	22,720	23,250	23,801
0.3	2,114	3,485	4,613	7,962	12,248	16,383	19,792	21,825	23,251	24,194	24,440	25,052	25,664
0.2	2,114	3,485	4,613	8,080	12,594	17,053	20,810	23,169	24,877	26,044	26,450	27,178	27,879
0.1	2,114	3,485	4,613	8,203	12,960	17,774	21,926	24,677	26,737	28,194	28,817	29,711	30,541

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の結果

補足資料 5 資源水準に応じた年齢別体重の変化の影響

MSY を実現する親魚量 (SBmsy) を計算する際、年齢別体重は一定と仮定しているが、本系群では、資源水準に応じた成長速度や肥満度の変化が報告されており (Wada and Kashiwai 1991; Kawabata et al. 2011)、年齢別体重は資源水準に応じて変化している可能性がある。そこで、資源水準に応じた年齢別体重の変化が、SBmsy に与える影響を検討した。まず、各齢において、資源尾数と体重の対数を取り、単回帰を行った。推定された各齢の回帰式から、資源尾数に応じた年齢別体重を確率的に発生させた (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)。適用した再生産関係は、通常加入期の HS 型 (最小二乗法・自己相関なし) であり、年齢別体重の設定以外は、本文と同じ設定にした。

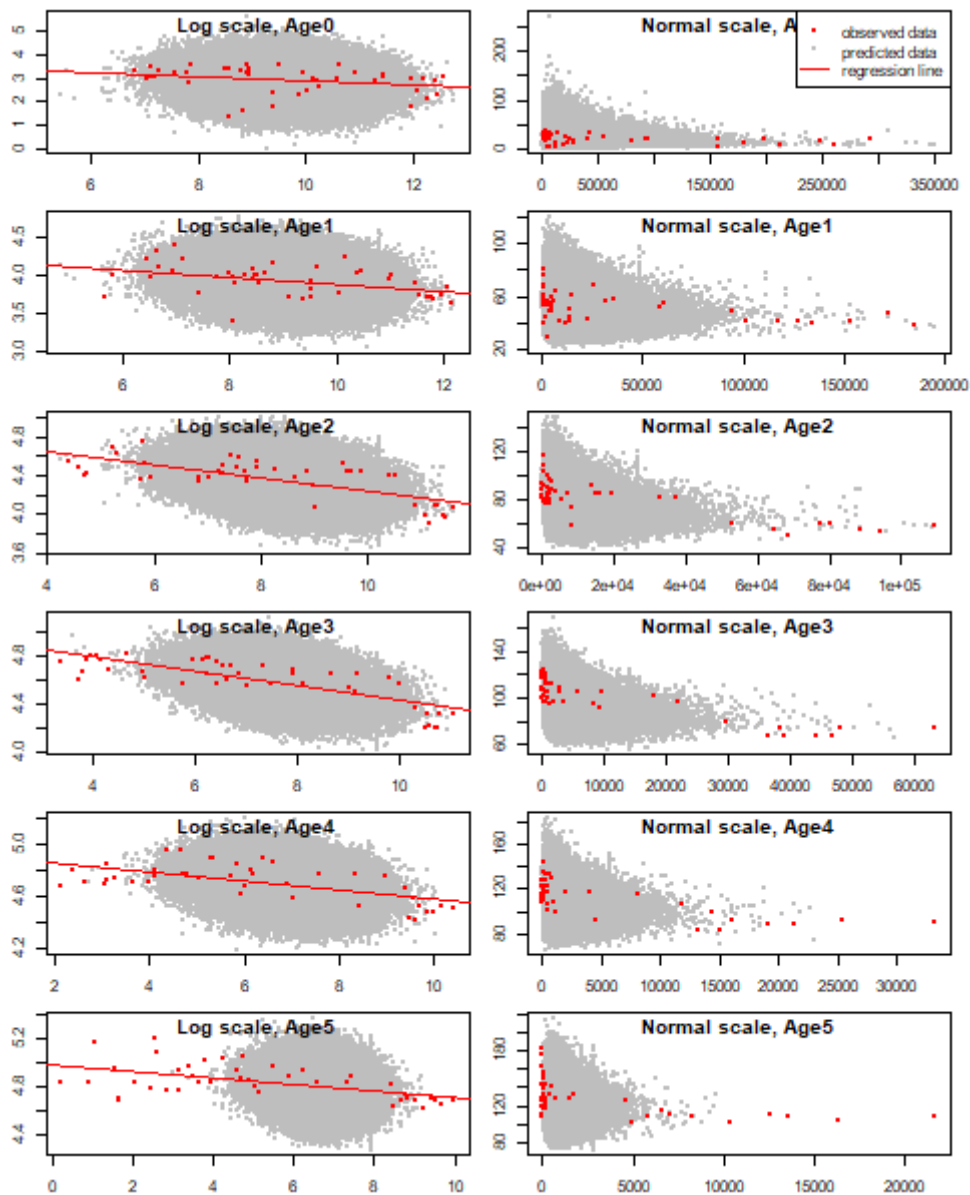
回帰分析の結果、資源尾数と年齢別体重の間には、資源尾数が増えると体重が減るといった負の関係が見られた (補足図 5)。この回帰式を用い、資源量に応じた年齢別体重の変化をシミュレーションに組み込むと、SBmsy や MSY はわずかに低くなったが、大きな変化は見られなかった (補足表 5)。今回は単純に各齢の資源尾数と体重の回帰式を用いたが、資源尾数と体重の関係をどのようにシミュレーションに組み込むかについては、今後も検討する必要がある。

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
- Kawabata, A., H. Yamaguchi, S. Kubota and M. Nakagami (2011) Growth and fatness of 1975-2002 year classes of Japanese sardine in the Pacific waters around northern Japan. *Fish. Sci.*, 77, 291-299.
- Wada, T. and M. Kashiwai (1991) Changes in growth and feeding ground of Japanese sardine with fluctuation in stock abundance. In: Long-term variability of pelagic fish populations and their environment, ed. Kawasaki, T. et al., Pergamon, Oxford, pp. 181-190.

補足表 5. 年齢別体重を固定した場合と資源尾数に応じて変化させた場合の SBmsy 等

	年齢別体重一定	資源尾数に応じて体重変化
SBmsy (千トン)	1,097	1,004
MSY (千トン)	368	346
Umsy	0.21	0.20
Fmsy/Fcurrent	0.99	0.98



補足図 5. 各齢における資源尾数と体重の関係

上から、0歳、1歳、2歳、3歳、4歳、5歳以上の資源尾数と体重の関係になっている。縦軸が体重、横軸が資源尾数である。左列は両軸が対数スケールであり、右列は通常スケールとなっている。赤線が推定された回帰式であり、赤色の点が実測値、灰色の点はシミュレーションで使用した値である。