

スルメイカ秋季発生系群における 最新の状況を踏まえた管理目標等の検討

水産研究・教育機構 水産資源研究所
宮原寿恵、岡本 俊

要 約

令和6年8月6日に開催された第4回資源管理方針に関する検討会(スルメイカ全系群)(以下、第4回SH会合とする)での議論を経て、本系群に関して水産庁より依頼された“令和5年度資源評価をベースとした再生産関係式、管理基準値等、将来予測の試算”について対応した。本依頼の中には、本系群の近年の低加入状況も考慮した試算も含まれている。

令和5年度資源評価結果のうち、再生産関係に基づく前進計算結果を資源量推定に含まない1981~2020年漁期の資源解析結果を用い、全期間のデータを用いた場合、および低加入期のみデータを用いた場合の再生産関係をそれぞれ推定した。再生産関係から得られる残差、および加入量の水準が大きく変化した年を検出した結果に加えて、過去の知見も踏まえて、本系群の低加入期は解析期間中の1990年漁期まで、および2016年漁期以降であると仮定した。

全期間のデータを用いた場合、ベバートン・ホルト(BH)型の再生産関係が選択され、目標管理基準値は25.3万トン、限界管理基準値は12.2万トン、禁漁水準は0.9万トンと算定された。低加入期のみデータを用いた場合もBH型再生産関係が選択され、目標管理基準値は全期間のデータを用いた場合と比べて約1/2倍の12.7万トン、限界管理基準値は6.0万トン、禁漁水準は0.5万トンと算定された。

将来予測では、全期間のデータから求められた再生産関係、管理基準値等を用いて、今後は再生産関係における平均的な加入が発生することを想定した場合と、近い将来まで近年の悪い加入状況が続くと想定した場合について計算を行った。将来予測にあたっては、上記で求めた各再生産関係を用い更新した2021年漁期以降の資源解析結果もそれぞれ使用した。前者の結果、管理開始から5年後および10年後に親魚量がそれぞれ、限界管理基準値および目標管理基準値を上回る確率が50%以上となる最大の調整係数 β は0.75であり、その場合の翌年漁期の漁獲量は7.6万トンと算定された。後者の結果、同様の条件を満たす最大の β は0.55であり、その場合の翌年漁期の漁獲量は4.8万トンと算定された。また、低加入期のみデータから求められた再生産関係、管理基準値等を用いて、今後は再生産関係における平均的な加入が発生することを想定した場合についても計算を行った結果、上記同様の条件を満たす最大の β は0.80で、その場合の翌年漁期の漁獲量は9.7万トンと算定された。全期間のデータを使用した場合よりも平均漁獲量が1.3~2.0倍大きい理由は、低加入期のみデータから算定された管理基準値の方が小さい(管理目標が低い)ことにあり、5年後および10年後の平均親魚量は全期間のデータを使用した場合と比べて約1/2~2/3倍であった。

はじめに

本資料では、水産庁からの依頼を受けて以下の事項に対応した。

1. 令和5年度評価をベースとした、以下①から③の3パターンに関する試算
 - ① 資源評価に利用可能な全期間のデータを使用して推定した再生産関係に基づいて管理基準値等（目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準）を算定し、この管理基準値等に基づく漁獲管理規則により将来予測を行う。なお、将来予測における加入量推定値は、全期間のデータを使用して推定した再生産関係に基づくものとする。
 - ② 管理基準値等の算定方法は①と同様とした上で、将来予測における加入推定値には、令和5年度評価で用いたバックワードリサンプリングを使用する。
 - ③ 過去の親魚量と加入量の関係から「低加入期」を推定した上で、当該低加入期のみのデータを用いて推定した再生産関係から管理基準値等を算定し、この管理基準値等に基づく漁獲管理規則により将来予測を行う。なお、将来予測における加入量推定値は、上記の低加入期の再生産関係に基づくものとする。
2. 1で行うそれぞれの将来予測において、5年後及び10年後にそれぞれ、限界管理基準値及び目標管理基準値を上回る確率（※ β は0.05刻み）の試算

再生産関係の推定については1節（p.3～4）、管理基準値等の算定については2節（p.4～6）、将来予測については3節（p.6～8）に検討内容および結果を示す。

※本資料で示す再生産関係式および管理基準値等は上記依頼事項に基づいて計算された結果であり、今後の資源評価および資源管理における再生産関係式および管理基準値等を提案するものではないことに注意されたい。

1. 令和5年度資源評価結果に基づく再生産関係の推定

管理基準値（目標管理基準値、限界管理基準値）および禁漁水準の算出および将来予測計算に使用する再生産関係を推定するにあたって、本系群ではこれまで、2019年度資源評価結果に基づき、1981～2018年漁期のデータを使用していた。しかしながら、本系群の新規加入量は2016年以降、過去平均的な再生産関係よりも低い傾向にあるため、今後も同様の傾向が継続することを想定し、使用データを低加入期のみに限定した場合の再生産関係の推定も求められている。水産庁からの依頼に基づき、初めに、1-(1)では最新の令和5年度資源評価の全期間データを用いて再生産関係を推定した。ただし、本系群の2021年漁期以降の資源量推定には再生産関係を用いた前進計算で推定された加入量（資源量）も活用されている（宮原ほか 2024）ため、前進計算を含まない2020年漁期までのデータ（以降、これを再生産関係、および管理基準値等の推定に用いる全期間のデータとする）を用いて再生産関係を推定した。次に1-(2)で、上記の再生産関係から得られる残差、および加入量を用いて水準が大きく変化した年を検出し、低加入期のみデータを抽出した上で再生産関係を推定した。なお、再生産関係として、ホッケー・スティック（HS）型、リッカー（RI）型、およびベバートン・ホルト（BH）型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。自己相関パラメータを推定する際は、再生産関係式のパラメータと同時に推定する手法（同時推定法）を用いた。モデル選択には補正赤池情報量規準（AICc）を用いた。

(1) 全期間のデータを用いた場合の再生産関係の推定

令和5年度資源評価結果の1981～2020年漁期のデータを用いて再生産関係を検討した。再生産関係の各候補モデルとAICcを表1aに示す。補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると、RI型を当てはめた場合に最も小さく、次いでBH型、HS型となった。また、最小二乗法を用いた場合の方が最小絶対値法を用いた場合よりも小さくなった。自己相関については、いずれの方法においても残差の自己相関係数が有意でなかったため、本系群の再生産関係式では反映させないこととした。なお、RI型は親魚量がある値を超えると加入量が減少するという強い密度効果を表現しているが、スルメイカで同年級群の個体間での共食いが想定されたとしても、それによって稚幼魚期の個体群密度が低い方が漁獲資源への加入量が多くなるような状況は生物学的に考え難いため、候補から除外した。

上述の通り、本資料における再生産関係としては、「再生産関係の決定に関するガイドライン（FRA-SA2024-ABCWG02-03）」のa（予測力）およびb（生物学的妥当性）の基準に従い、再生産関係式に現在採用されているHS型ではなく、「自己相関を考慮せずに最小二乗法で最適化したBH型再生産関係式」を最終候補として採用するものとした（図1）。この再生産関係式のパラメータ推定値を表1bに示した。

本項で推定された再生産関係式を用い、2021年漁期以降の資源解析結果について、令和5年度資源評価と同様の手法を用いて更新した。更新された2021年漁期以降の漁獲量、資源量、親魚量を表2に示す。資源量は令和5年度評価と比べ3～6%減少し、親魚量は4～8%減少した。

(2) 低加入期のデータのみを用いた場合の再生産関係の推定

1-(1)で選択された再生産関係から得られる残差、および加入量を用いて、レジームシフトを検出するために開発された手法である Sequential T-test Analysis of Regime Shifts (STARS, Rodionov 2004)を適用し、それぞれの水準が大きく変化した年を検出した(図2、3)。解析には1-(1)にて更新した2022年漁期までの資源解析結果を用いた。残差を使用した場合、1991年漁期と2015年漁期に大きなRSI(Regime Shift Index)が観察された(図2下図)。一方、加入量を使用した場合、1991年漁期と2016年漁期に大きなRSIが観察された(図3下図)。再生産関係の残差では1990年漁期年まで、そして2015年以降で負の傾向があること(図2上図)、一方加入量は1990年漁期まで、そして2016年漁期以降で低い水準であること(図3上図)を考慮すると、1990年漁期まで、および2015年漁期または2016年漁期以降が本系群の低加入期であると仮定できる。1989年以降に東シナ海やその周辺海域で再生産可能海域が拡大したことや(Sakurai et al. 2000)、1988/1989年のレジームシフトによって北西太平洋では寒冷期から温暖期に移行した(Yasunaka and Hanawa 2002、Overland et al. 2008)といった過去の知見、および加入量の年推移(図3上図)から総合的に判断し、本資料では1990年漁期までが低加入期であったと仮定した。また、2015年漁期については、残差は負の値をとるが、これは2014年漁期が過去最も高い親魚量であったのに対し2015年漁期加入量が2013年漁期以前と同程度であったためと考えられることから、加入量の推移を重視し、2016年漁期に再び低加入期に移行したと仮定した。

低加入期(1982~1990年漁期および2016~2020年漁期)のデータを用いて再生産関係を検討した。再生産関係の各候補モデルとAICcを表3aに示す。補正赤池情報量規準(AICc)は、BH型を当てはめた場合に最も小さかった。また、最小絶対値法を用いた場合の方が最小二乗法を用いた場合よりも小さくなった。自己相関については、いずれの方法においても残差の自己相関係数が有意でなかったため、本系群の再生産関係式では反映させないこととした。したがって、低加入期における再生産関係としては、1-(1)とは最適化法が異なる「自己相関を考慮せずに最小絶対値法で最適化したBH型再生産関係式」を最終候補として採用する(図4)。この再生産関係式のパラメータ推定値を表3bに示した。全期間のデータを使用した場合の結果と比べて、期待される加入量は相対的に小さくなり、その差は次第に小さくなっていった(図1、4)。

本項で推定された再生産関係式を用い、2021年漁期以降の資源解析結果について、1-(1)と同様に更新した。更新された2021年漁期以降の漁獲量、資源量、親魚量を表2に示す。資源量は令和5年度評価と比べ4~8%減少し、親魚量は3~13%減少した。

2. 管理基準値と禁漁水準

最大持続生産量(MSY)に対応する管理基準値等の算出、および将来予測は、「令和6(2024)年度 漁獲管理規則およびABC算定のための基本指針(FRA-SA2024-ABCWG02-01)」の1系資源の管理規則に従い、1節で最終候補とした再生産関係と、令和5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を使用して実施した(表4)。本系群では、世代時間1年の50倍にあたる50年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漁獲圧(F値、あるいは漁獲係数)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。

(1) 全期間のデータから推定された再生産関係に基づく算定結果

各管理基準値の定義や算出過程は従来（久保田ほか 2020）どおりとし、目標管理基準値については MSY を実現する親魚量（SBmsy）と定義した。限界管理基準値は、推定された再生産関係に基づく加入量が得られる状況下にて Fmsy で漁獲を継続した場合に、管理開始から 5 年後に SBmsy の概ね 95% に相当する平均親魚量を実現するために、管理開始直前に必要な親魚量と定義した。禁漁水準の定義は、推定された再生産関係に基づく加入量が得られる状況下にて 3 年間禁漁した後の平均親魚量が限界管理基準値の概ね 95% に達するため、その禁漁直前に必要な親魚量とした。図 1 の再生産関係に基づく、目標管理基準値は 25.3 万トン、限界管理基準値は MSY の 80% の漁獲が得られる親魚量（SB0.80msy）である 12.2 万トン（図 5）、禁漁水準は MSY の 10% の漁獲が得られる親魚量（SB0.10msy）である 0.9 万トンと算定された（図 6）。以上の管理基準値等と、2019 年度の資源評価結果に基づいて決定された現在適用中の管理基準値等との比較を表 5 にまとめた。本系群の現在適用中の管理基準値等は、HS 型再生産関係式から算出されている。本資料にて用いた令和 5 年度評価において、1981～2020 年漁期資源量は、日本海スルメイカ漁場一斉調査の釣獲試験から得られた標準化 CPUE（いか釣り機 1 台 1 時間あたり釣獲尾数）から推定されている（宮原ほか 2024）。この標準化手法が 2019 年度資源評価時点より変更されていること（2019 年度以降の標準化手法の変更の経緯については、FRA-SA2022-SC11-101 参照）から、異なる再生産関係式が選択されたと考えられる。両者を比較すると、目標管理基準値は現行の値より 7.6 万トン低い値となり、限界管理基準値、禁漁水準もそれぞれ 6.7 万トン、2.1 万トン低い値となった。

また、様々に F 値を変えた場合の平衡状態における親魚量、およびこれに対する漁獲量の平均値を図 7 に示し、目標管理基準値である SBmsy と、その達成に向けた漁獲圧 Fmsy を基準にした神戸プロットを図 8 に示す。2022 年漁期の漁獲圧は Fmsy を下回る。同年漁期の親魚量（5.2 万トン）は限界管理基準値を上回るものの、目標管理基準値は下回る。2023 年漁期の予測親魚量（9.0 万トン）も同様に、限界管理基準値を上回るものの、目標管理基準値は下回る。

(2) 低加入期のみのデータから推定された再生産関係に基づく算定結果

2-(1)と同じ定義を使用して各管理基準値を算定した。図 4 の再生産関係に基づく、目標管理基準値は 12.7 万トン、限界管理基準値は MSY の 80% の漁獲が得られる親魚量（SB0.80msy）である 6.0 万トン（図 9）、禁漁水準は MSY の 10% の漁獲が得られる親魚量（SB0.10msy）である 0.5 万トンと算定された（図 10）。目標管理基準値は、全期間のデータを用いた場合と比べて約 1/2 の大きさになる。以上の管理基準値等と、2019 年度の資源評価結果に基づいて決定された現在適用中の管理基準値等との比較を表 5 にまとめた。

また、様々に F 値を変えた場合の平衡状態における親魚量、およびこれに対する漁獲量の平均値を図 11 に示し、目標管理基準値である SBmsy と、その達成に向けた漁獲圧 Fmsy を基準にした神戸プロットを図 12 に示す。2022 年漁期の漁獲圧は Fmsy を下回り、同年漁期の親魚量は目標管理基準値を上回ることになる。2023 年漁期の予測親魚量は目標管理基準値を下回るが、限界管理基準値は上回る。なお、本項の結果に基づく、本資源は過去一

度も限界管理基準値を下回っていないことになる。

3. 漁獲管理規則と将来予測

本資料で提示する漁獲管理規則は「令和 6（2024）年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2024-ABCWG02-01）」の 1 系資源の管理規則に基づき、限界管理基準値および禁漁水準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を変えるルールである。漁獲圧の上限は F_{msy} に調整係数 β を乗じた値とし、親魚量が限界管理基準値を下回ると禁漁水準まで直線的に漁獲圧を下げる（例：図 13～15）。すなわち、親魚量に応じて下式から得られる係数 $\gamma(SB_t)$ を乗じ、 $\gamma(SB_t) \times \beta \times F_{msy}$ として算出する。

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

ここで、 SB_t は t 年の親魚量、 SB_{limit} は限界管理基準値、 SB_{ban} は禁漁水準を示す。漁獲管理規則に従って漁獲圧を決定し、加入量の不確実性を考慮した上で将来予測を実施した。また、資源評価においては、翌年の加入量を予測するにあたり当年漁期終了後の親魚量および加入変動を予測する必要があるが、これらの予測には誤差が伴うため将来予測で考慮した（詳細は宮原ほか（2024）の補足資料 2-(9)-②を参照）。なお、本系群の将来の漁獲量は、本系群を漁獲するすべての国の漁獲量の合計であり、その合計漁獲量が漁獲管理規則に基づき決定される。将来予測では、2020 年漁期までは令和 5 年度資源評価結果を、2021 年漁期以降は 1-(1)で更新したデータを用い、漁獲管理規則による漁獲は 2024 年漁期から開始することとした。

(1) 全期間のデータから推定された再生産関係と管理基準値に基づく結果

全期間のデータを用いて算定された限界管理基準値（12.2 万トン）と禁漁水準（0.9 万トン）を使用し、例として β を 0.75 および 0.55 した場合の漁獲管理規則における親魚量と漁獲係数の関係をそれぞれ図 13a、14a に、この漁獲管理規則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それぞれ図 13b、14b に示す。このような漁獲管理規則に従って漁獲圧を決定し、加入量の不確実性を考慮した上で将来予測を実施した。

① 再生産関係における平均的な加入が今後発生すると想定した場合の将来予測

上記 3-(1)の漁獲管理規則に関して調整係数 β を 0.00～1.00 まで 0.05 間隔で変え、1-(1)で推定された再生産関係（図 1）における平均的な加入が今後発生すると想定した場合の将来予測計算を行った。この将来予測では、再生産関係式を用いて各年に予測される親魚量から加入量を予測し、その予測値に対して対数正規分布に従う乱数を与えることで加入量の不確実性を考慮した。対数正規分布に従う乱数を予測値に与える計算を 10,000 回繰り返し行った。

設定した β ごとに、親魚量が目標管理基準値を上回る確率、限界管理基準値を上回る確率、禁漁水準を上回る確率、親魚量平均値の推移、および漁獲量平均値の推移を表 7 に示した。表には、現状の漁獲圧（F2020-2022：2020～2022 年漁期の平均漁獲圧で $\beta = 0.50$ に相当、表 6 左）で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。管理開始から 5 年後の 2028 年漁期に親魚量が限界管理基準値を上回る確率が 50%以上となり、なおかつ 10 年後の 2031

年漁期に親魚量が目標管理基準値を上回る確率が 50%以上となる β は 0.75 以下であった (表 7a、b)。 β が 0.75 の場合の漁獲管理規則 (図 13) に基づいて試算された 2024 年漁期の平均漁獲量は 7.6 万トンであった (表 7e)。また、5 年後の平均親魚量は 28.9 万トンで、10 年後には 29.5 万トンであった (表 7d)。なお、図 16 には、 β を 0.75 とし、将来予測と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測の結果を示した。

② 近い将来まで近年の悪い加入状況が続くと想定した場合の将来予測

上記 3-(2)の漁獲管理規則に関して調整係数 β を 0.00~1.00 まで 0.05 間隔で変え、近い将来まで近年の悪い加入状況が続くと想定した場合の将来予測計算を行った。本系群に 1-(1)の再生産関係 (図 1) を当てはめた時、近年は残差が負に偏る傾向が見られているため (図 2 上図)、ここでの将来予測では、今後 5 年間は直近 5 年間のような悪い加入状況が続き、その後徐々に過去の平均的な加入状況に戻るとする仮定を反映したバックワードリサンプリング法を採用した。すなわち、今後 5 年間は直近 5 年の再生産関係の残差を無作為抽出して加入量の予測値に与え、その後は 5 年単位で残差を無作為抽出する期間を拡大していくと設定した (詳細は宮原ほか (2024) の補足資料 2-(9)-①を参照)。なお、加入量の不確実性を考慮するため、10,000 回の繰り返し計算を行った。

設定した β ごとに、親魚量が目標管理基準値を上回る確率、限界管理基準値を上回る確率、禁漁水準を上回る確率、親魚量平均値の推移、および漁獲量平均値の推移を表 8 に示した。管理開始から 5 年後の 2028 年漁期に親魚量が限界管理基準値を上回る確率が 50%以上となり、なおかつ 10 年後の 2031 年漁期に親魚量が目標管理基準値を上回る確率が 50%以上となる β は 0.55 以下であった (表 8a、b)。 β が 0.55 の場合の漁獲管理規則 (図 14) に基づいて試算された 2024 年漁期の平均漁獲量は 4.8 万トンであった (表 8e)。また、5 年後の平均親魚量は 21.6 万トンで、10 年後には 31.0 万トンであった (表 8d)。なお、図 17 には、 β を 0.55 とし、将来予測と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測の結果を示した。

(2) 低加入期みのデータから推定された再生産関係と管理基準値等に基づく結果

低加入期みのデータを用いて算定された限界管理基準値 (6.0 万トン) と禁漁水準 (0.5 万トン) を使用し、例として β を 0.80 とした場合の漁獲管理規則における親魚量と漁獲係数の関係を図 15a、に、この漁獲管理規則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 15b に示す。

漁獲管理規則に関して調整係数 β を 0.00~1.00 まで 0.05 間隔で変え、1-(2)で推定された再生産関係 (図 4) における平均的な加入が今後発生すると想定した場合の将来予測計算を行った。この将来予測では、再生産関係式を用いて各年に予測される親魚量から加入量を予測し、その予測値に対して対数正規分布に従う乱数を与えることで加入量の不確実性を考慮した。対数正規分布に従う乱数を予測値に与える計算を 10,000 回繰り返し行った。

設定した β ごとに、親魚量が目標管理基準値を上回る確率、限界管理基準値を上回る確率、禁漁水準を上回る確率、親魚量平均値の推移、および漁獲量平均値の推移を表 9 に示した。表には、現状の漁獲圧 (F2020-2022 : 2020~2022 年漁期の平均漁獲圧で $\beta = 0.46$ に相当、表 6 右) で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。管理開始から 5 年後の 2028 年漁期に親魚量が限界管理基準値を上回る確率が 50%以上となり、なおかつ 10 年後の 2031

年漁期に親魚量が目標管理基準値を上回る確率が 50%以上となる β は 0.80 以下であった (表 9a、b)。 β が 0.80 の場合の漁獲管理規則 (図 15) に基づいて試算された 2024 年漁期の平均漁獲量は 9.7 万トンであった (表 9e)。全期間のデータを使用した場合 (3-(1)) よりも平均漁獲量が 1.3~2.0 倍大きい理由は、低加入期のみデータから算定された管理基準値の方が小さい (管理目標が低い) ことにある。5 年後の平均親魚量は 14.4 万トン、10 年後には 14.2 万トンで (表 9d)、全期間のデータを使用した場合 (3-(1)) と比べて約 1/2~2/3 倍であった。なお、図 18 には、 β を 0.80 とし、将来予測と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測の結果を示した。

引用文献

- ABCWG (2024) 令和 6 (2024) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2024-ABCWG02-01
- ABCWG (2024) 再生産関係の決定に関するガイドライン. FRA-SA2024-ABCWG02-05.
- 久保田洋・宮原寿恵・西嶋翔太・加賀敏樹・岡本 俊 (2020a) 令和 2 (2020) 年度スルメイカ秋季発生系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書. FRA-SA-2020-BRP04-2, 水産研究・教育機構, 横浜, 87pp. http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_surume_a_20201014.pdf
- 宮原寿恵・岡本 俊・西嶋翔太・松倉隆一・松井 萌・森山丈継・倉島 陽・高崎健二・稲掛伝三・井桁庸介・阿部祥子・永井 平 (2024) 令和 5 (2023) 年度スルメイカ秋季発生系群の資源評価. FRA-SA2023-SC-14-02, 令和 5 年度我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産研究・教育機構, 横浜, 97pp. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2024/03/details_2023_19.pdf
- Overland, J., S. Rodionov, S. Minobe, and N. Bond (2008) North Pacific regime shift: definitions, issues and recent transitions. *Prog. Oceanogr.*, **77**, 92-102.
- Sakurai, Y., H. Kiyofuji, S. Saitoh, T. Goto, and Y. Hiyama (2000) Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. *ICES J. Mar. Sci.*, **57**, 24-30.
- Sergei N Rodionov (2004) A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters*, 31(9).
- Yasunaka, S. and K. Hanawa (2002) Regime shifts found in the Northern Hemisphere SST field. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **80**, 119-135.

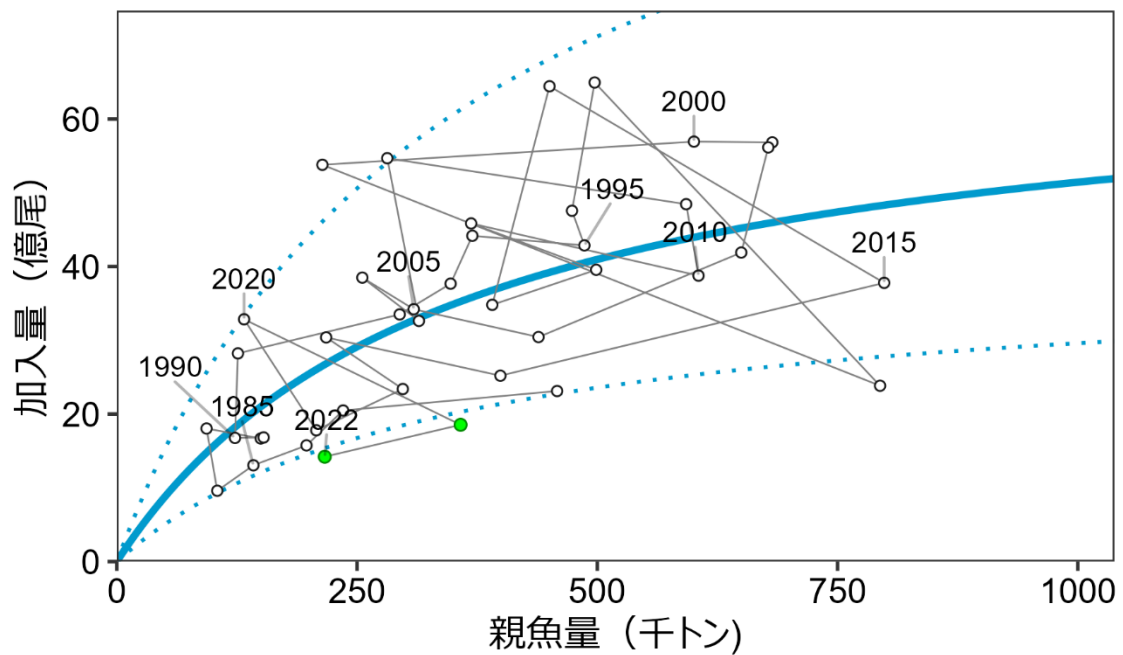


図1. 全期間のデータを用いて推定された再生産関係

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。白丸印は分析に使用した 1981～2019 年漁期の親魚量と 1982～2020 年漁期の加入量を示す。また、緑丸印は 2020～2021 年漁期の親魚量と 2021～2022 年漁期の加入量を示す。後者については 1-(1)を参照されたい。図中の数字は加入群の年級 (生まれ年) を示す。図中の再生産関係式 (青実線) の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。

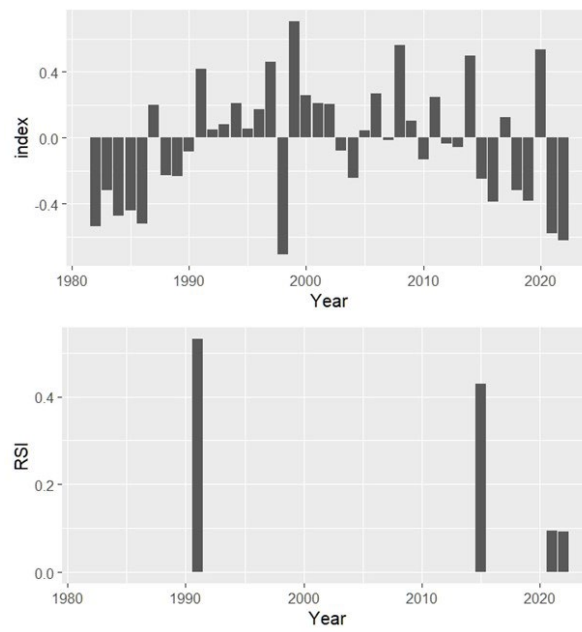


図 2. 再生産関係から得られる残差を用いたシフト検出 (STARS) の結果

上図は残差、下図は RSI (Regime Shift Index) を示し、大きい RSI が検出された年に残差の大きな水準変化が生じたことを表している。

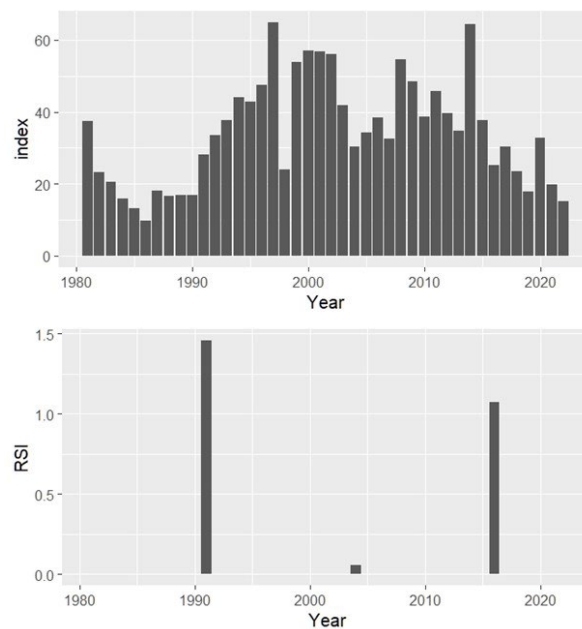


図 3. 加入量を用いたシフト検出 (STARS) の結果

上図は加入量、下図は RSI (Regime Shift Index) を示し、大きい RSI が検出された年に加入量の大きな水準変化が生じたことを表している。

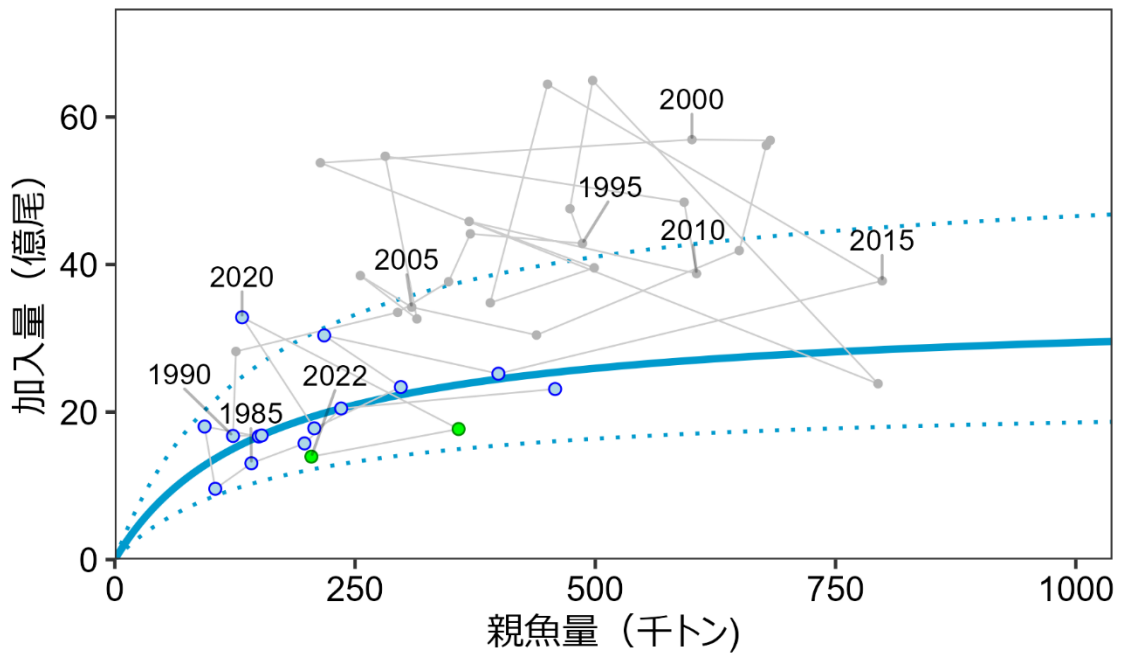


図4. 低加入期のみのデータを用いて推定された再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮しないベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係式を用い、最小絶対値法によりパラメータ推定を行った。青丸印は分析に使用した 1981～1989 年漁期および 2015～2019 年漁期の親魚量と 1982～1990 年漁期および 2016～2020 年漁期の加入量を示す。また、緑丸印は 2020～2021 年漁期の親魚量と 2021～2022 年漁期の加入量を示す。後者については 1-(1)を参照されたい。図中の数字は加入群の年級 (生まれ年) を示す。図中の再生産関係式 (青実線) の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。灰丸印はそれ以外の漁期のプロットだが、図中の再生産関係の推定には使用していない。

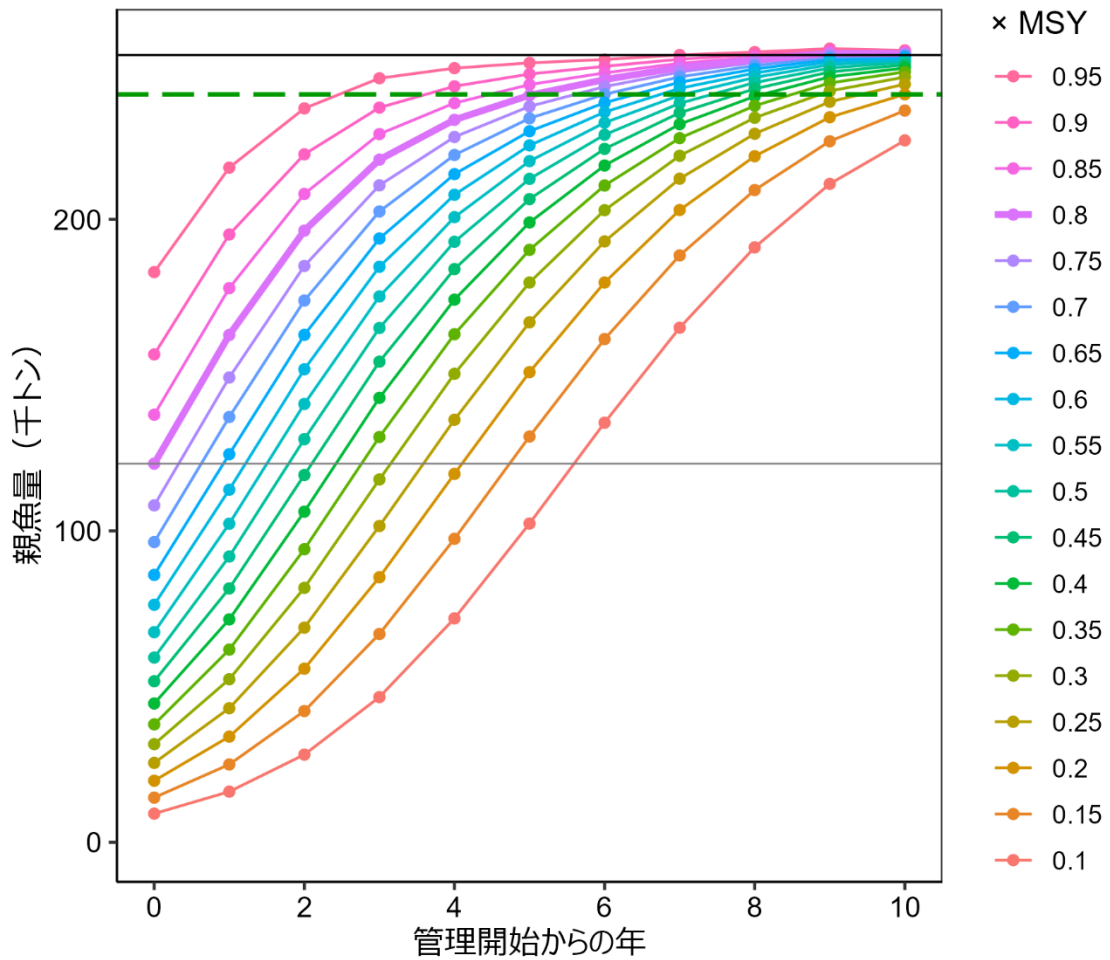


図 5. 全期間のデータを用いて算定された MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として、 F_{msy} で漁獲を継続した場合に得られる平均親魚量の推移
BH 型再生産関係式に従って将来予測を行った。管理開始から 5 年後の平均親魚量が SB_{msy} の概ね 95%となるシナリオ、すなわち管理開始時の親魚量が $SB_{0.8msy}$ であるシナリオにおける平均親魚量の推移を太線とした。黒実線は SB_{msy} 、灰実線は $SB_{0.8msy}$ 、緑破線は SB_{msy} の 95%を示す。

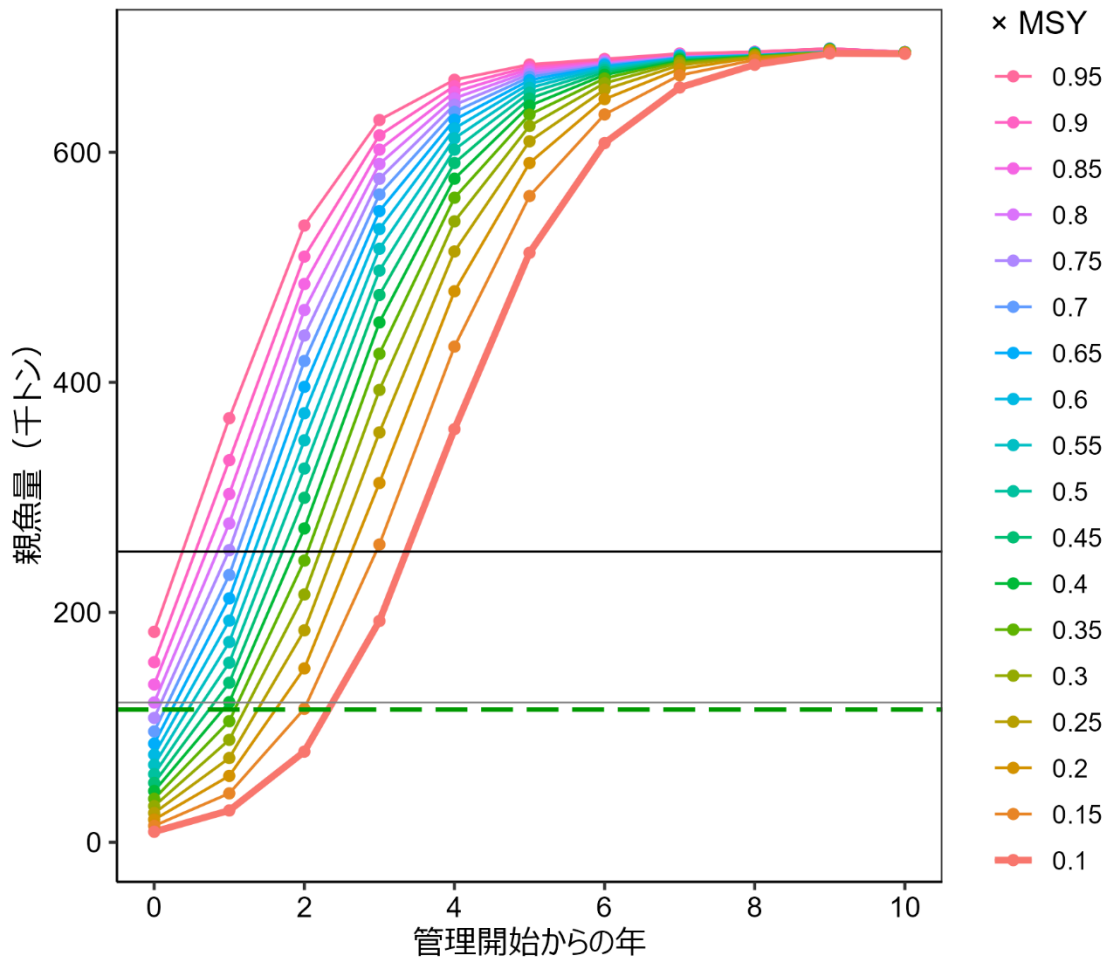


図 6. 全期間のデータを用いて算定された MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として、漁獲が無い場合に得られる平均親魚量の推移
 BH 型再生産関係式に従って将来予測を行った。管理開始から 3 年後の平均親魚量が SB0.80msy の概ね 95%となるシナリオ、すなわち管理開始時の親魚量が SB0.10msy であるシナリオにおける平均親魚量の推移を太線とした。黒実線は SBmsy、灰実線は SB0.80msy、緑破線は SB0.80msy の 95%を示す。

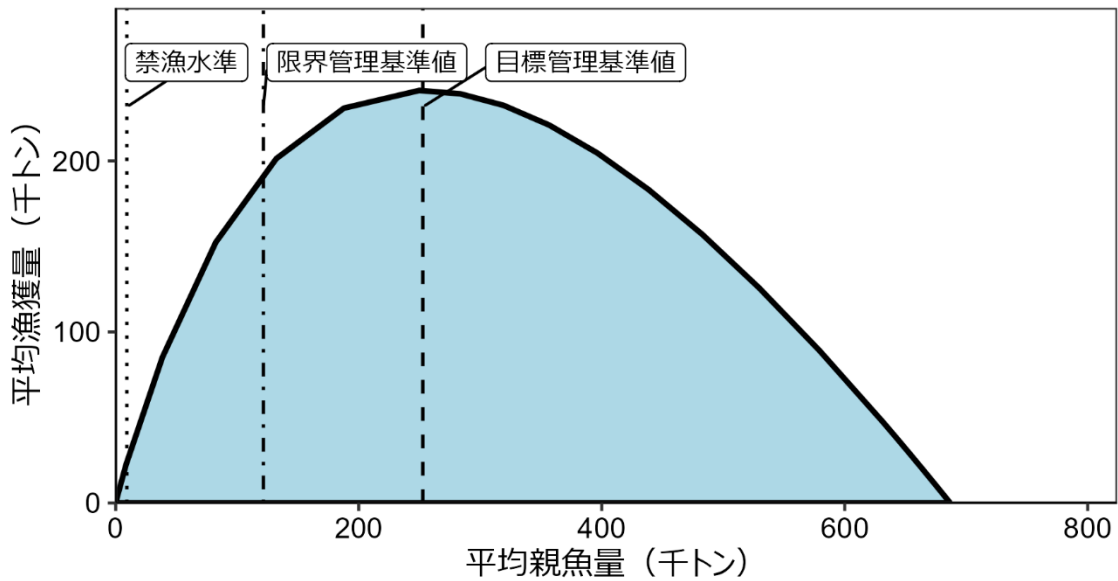


図 7. 全期間のデータを用いて算定された管理基準値および禁漁水準と漁獲量曲線
 将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値と、管理基準値等の位置関係を示す。漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 68.5 万トンである。

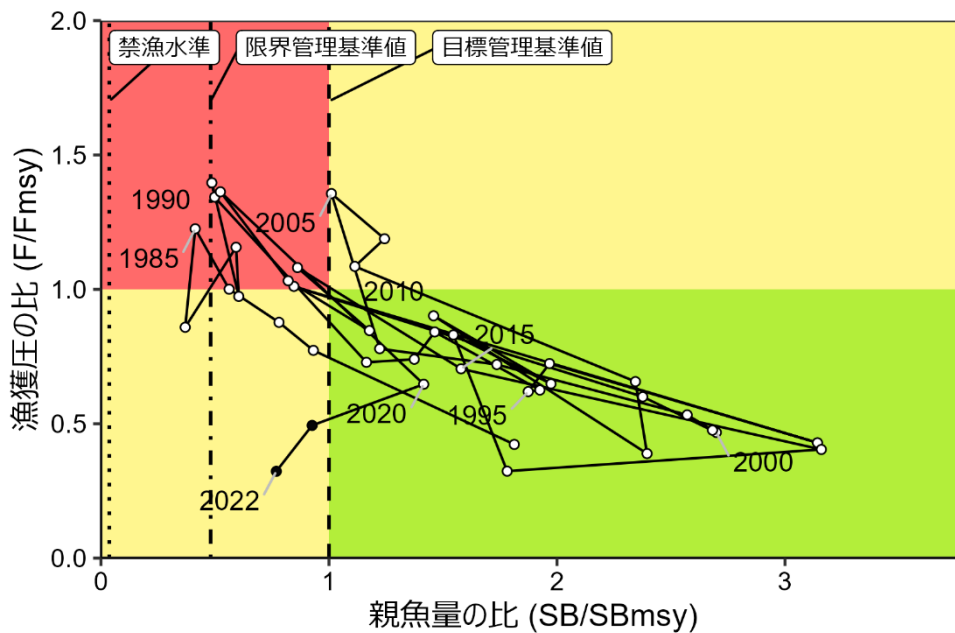


図 8. 全期間のデータを用いて算定された管理基準値と禁漁水準に基づく神戸プロット
 縦軸は各年の漁獲圧 F の F_{msy} との比である。図中の目標管理基準値、限界管理基準値、および禁漁水準には、それぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.80msy}$ 、 $SB_{0.10msy}$ を用いた。白丸印は再生産関係算出に用いた 2020 年漁期までを、黒丸印は 2021 年漁期以降を示す（後者については 1-(1)を参照）。

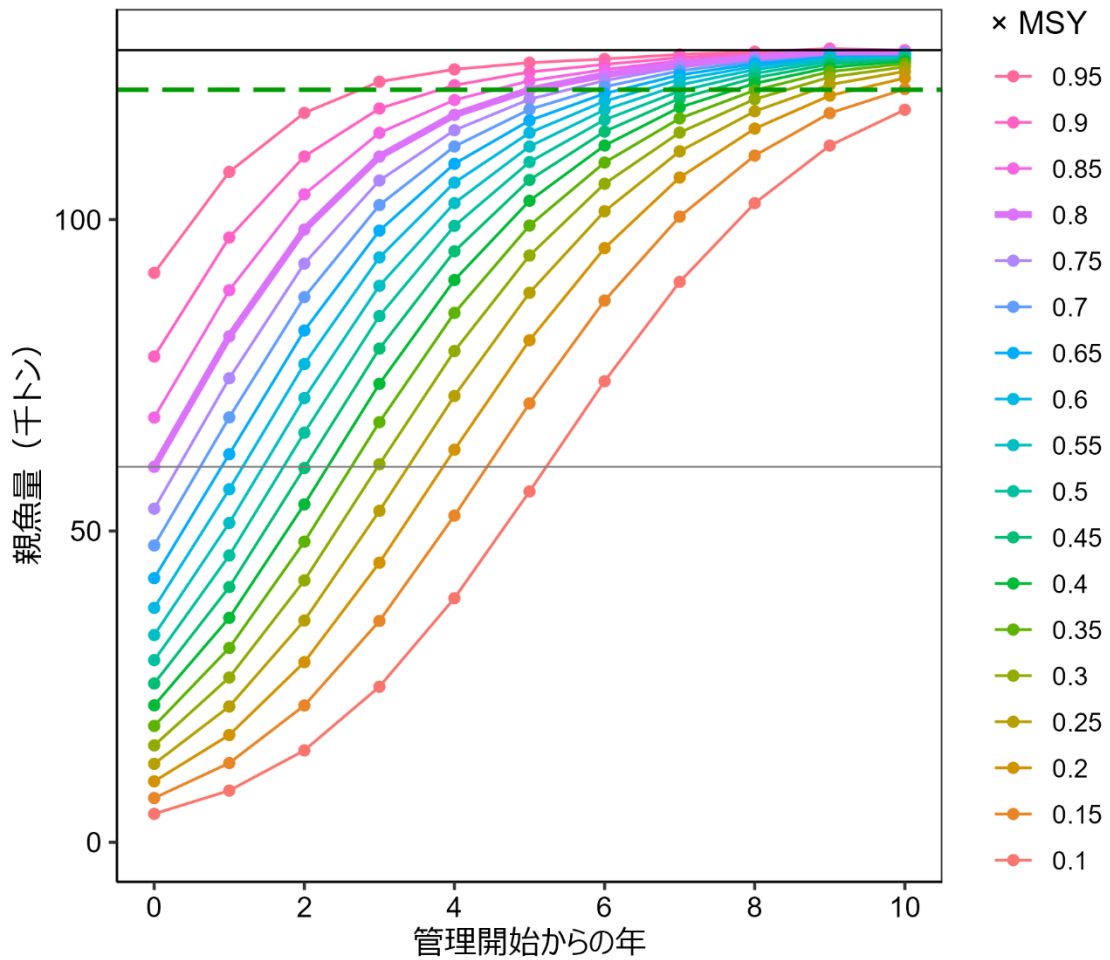


図 9. 低加入期のみのデータを用いて算定された MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として、Fmsy で漁獲を継続した場合に得られる平均親魚量の推移

BH 型再生産関係式に従って将来予測を行った。管理開始から 5 年後の平均親魚量が SBmsy の概ね 95%となるシナリオ、すなわち管理開始時の親魚量が SB0.80msy であるシナリオにおける平均親魚量の推移を太線とした。黒実線は SBmsy、灰実線は SB0.80msy、緑破線は SBmsy の 95%を示す。

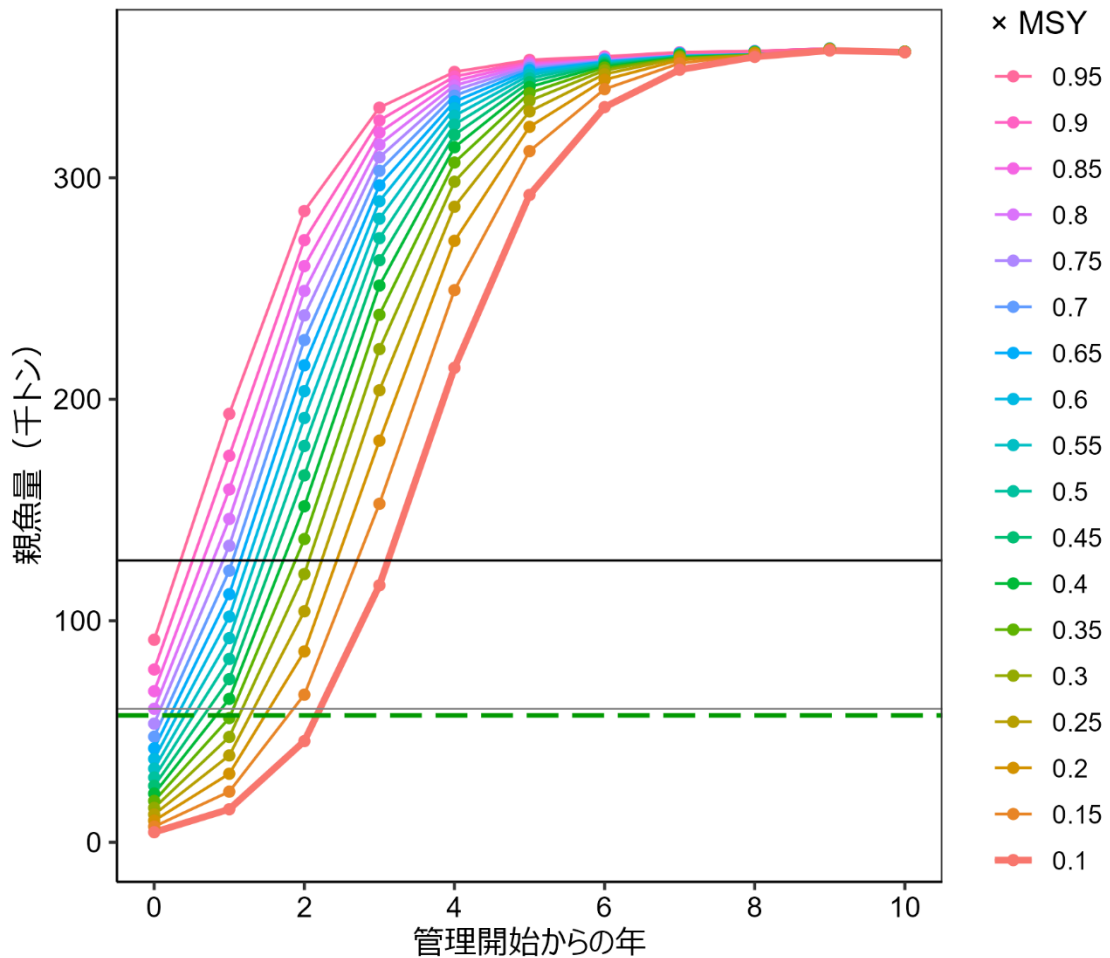


図 10. 低加入期のみのデータを用いて算定された MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として、漁獲が無い場合に得られる平均親魚量の推移
BH 型再生産関係式に従って将来予測を行った。管理開始から 3 年後の平均親魚量が SB0.80msy の概ね 95%となるシナリオ、すなわち管理開始時の親魚量が SB0.10msy であるシナリオにおける平均親魚量の推移を太線とした。黒実線は SBmsy、灰実線は SB0.80msy、緑破線は SB0.80msy の 95%を示す。

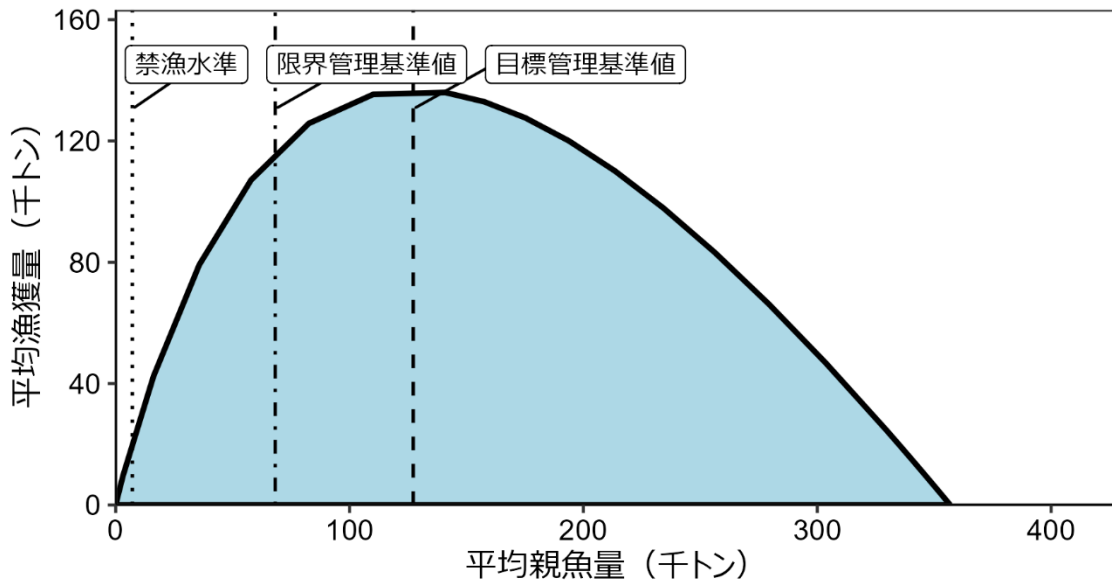


図 11. 低加入期のみのデータを用いて算定された管理基準値および禁漁水準と漁獲量曲線
 将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、親魚量に対する年齢別漁獲量の平均
 値と、管理基準値等の位置関係を示す。漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量
 (SB0) は 35.7 万トンである。

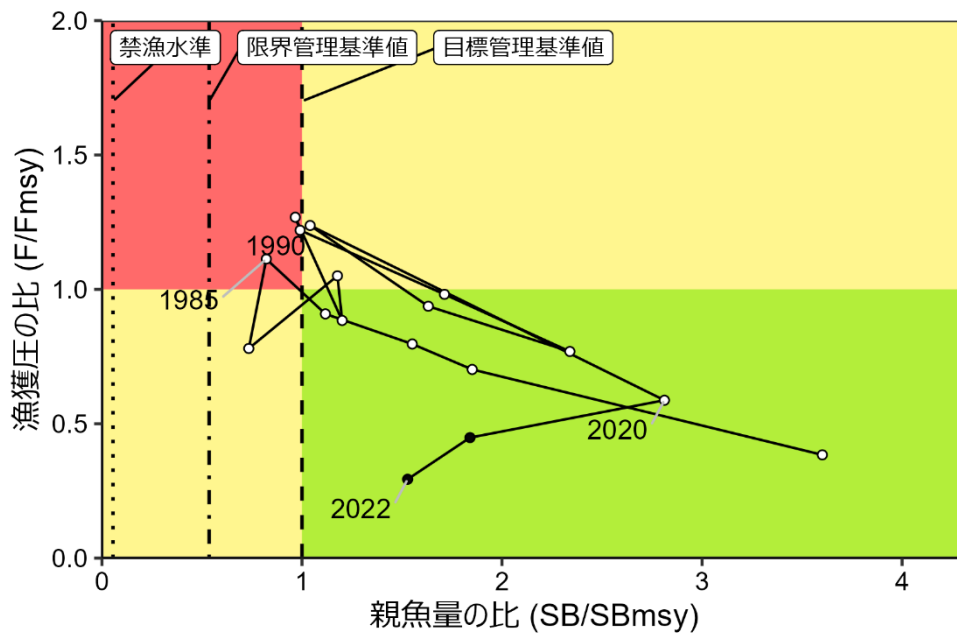
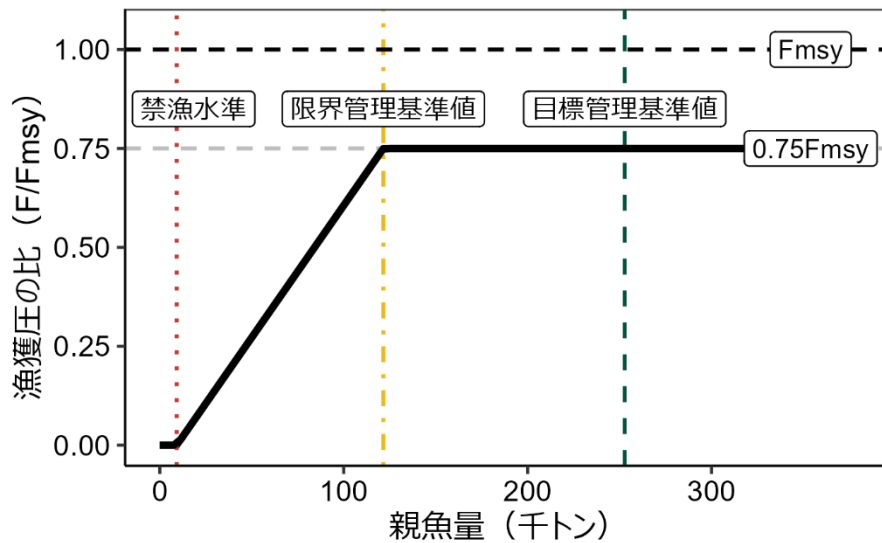


図 12. 低加入期のみのデータを用いて算定された管理基準値と禁漁水準に基づく神戸プロ
 ット 縦軸は各年の漁獲圧 F の Fmsy との比である。図中の目標管理基準値、限界管理
 基準値、および禁漁水準には、それぞれ SBmsy、SB0.80msy、SB0.10msy を用いた。白
 丸印は再生産関係算出に用いた 2020 年漁期までを、黒丸印は 2021 年漁期以降を示す
 (後者については 1-(2)を参照)。

(a) 縦軸を漁獲圧にした場合



(b) 縦軸を漁獲量にした場合

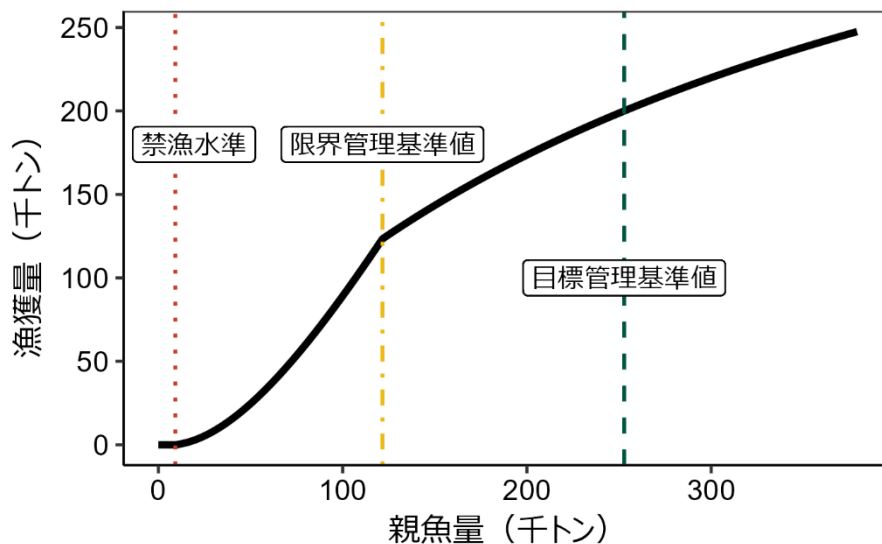
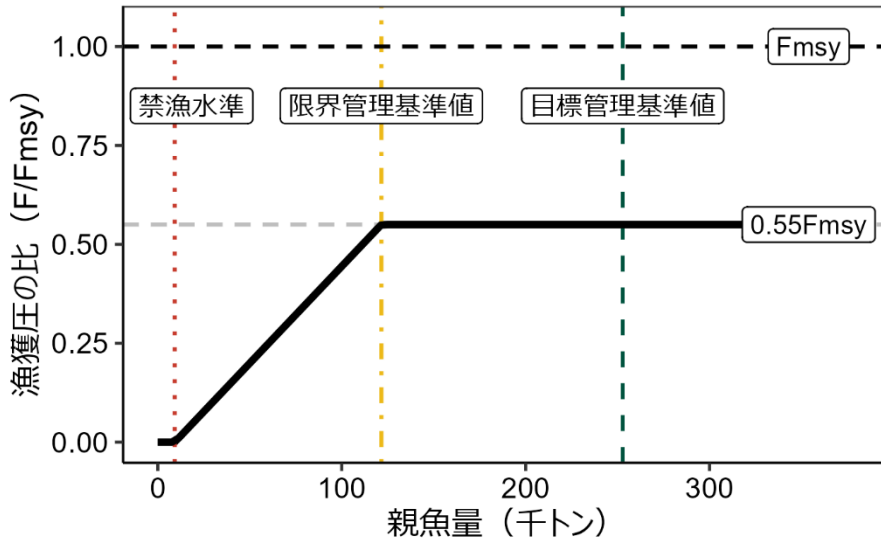


図 13. 全期間のデータを用いて算定された管理基準値等に基づく漁獲管理規則 (β を 0.75 とした場合のものを示す)

目標管理基準値は BH 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値は $SB_{0.80msy}$ 、禁漁水準 $SB_{0.10msy}$ である。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.75F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準、黄一点鎖線は限界管理基準値、緑破線は目標管理基準値を示す。(a) は縦軸を漁獲圧にした場合、(b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。

(b) については、それぞれの親魚量の下で漁獲管理規則により期待される漁獲量 (加入変動は考慮せず、決定論的に計算した漁獲量) を示した。

(a) 縦軸を漁獲圧にした場合



(b) 縦軸を漁獲量にした場合

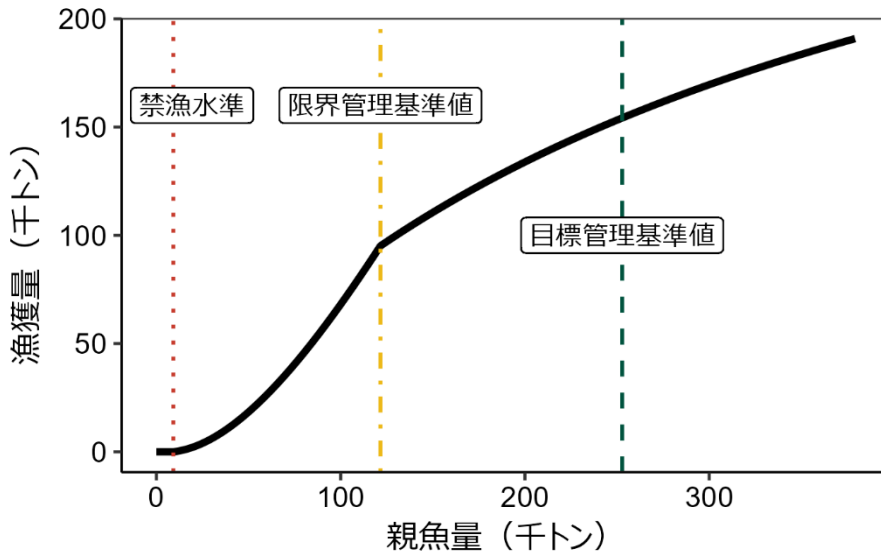
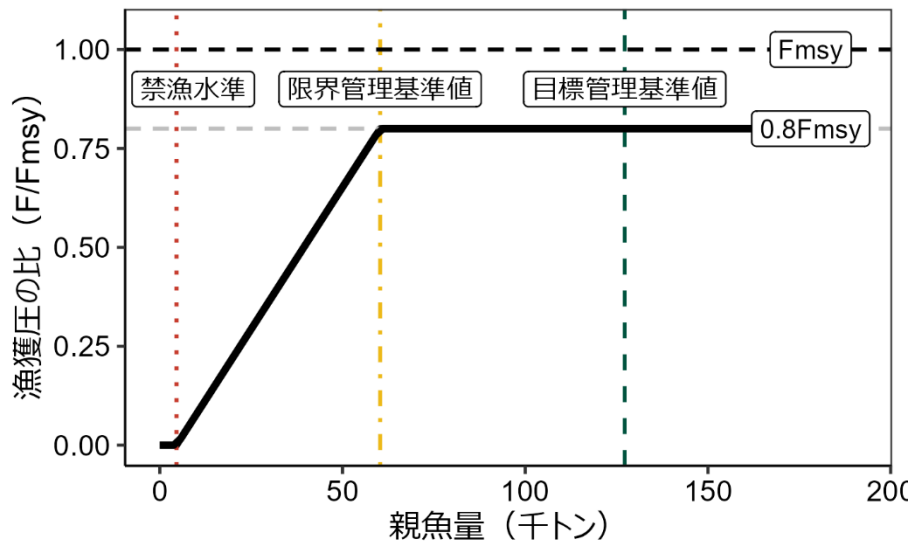


図 14. 全期間のデータを用いて算定された管理基準値等に基づく漁獲管理規則 (β を 0.55 とした場合のものを示す)

目標管理基準値は BH 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値は $SB_{0.80msy}$ 、禁漁水準 $SB_{0.10msy}$ である。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.55F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準、黄一点鎖線は限界管理基準値、緑破線は目標管理基準値を示す。(a) は縦軸を漁獲圧にした場合、(b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。

(b) については、それぞれの親魚量の下で漁獲管理規則により期待される漁獲量 (加入変動は考慮せず、決定論的に計算した漁獲量) を示した。

(a) 縦軸を漁獲圧にした場合



(b) 縦軸を漁獲量にした場合

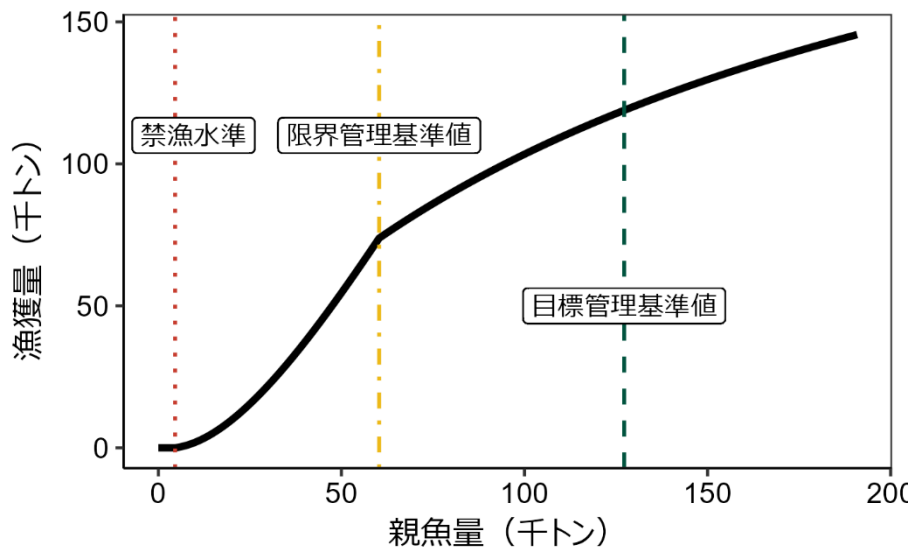


図 15. 低加入期のみデータを用いて算定された管理基準値等に基づく漁獲管理規則 (β を 0.80 とした場合のものを示す)

目標管理基準値は BH 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値は $SB_{0.80msy}$ 、禁漁水準 $SB_{0.10msy}$ である。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.80F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準、黄一点鎖線は限界管理基準値、緑破線は目標管理基準値を示す。(a) は縦軸を漁獲圧にした場合、(b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。

(b) については、それぞれの親魚量の下で漁獲管理規則により期待される漁獲量 (加入変動は考慮せず、決定論的に計算した漁獲量) を示した。

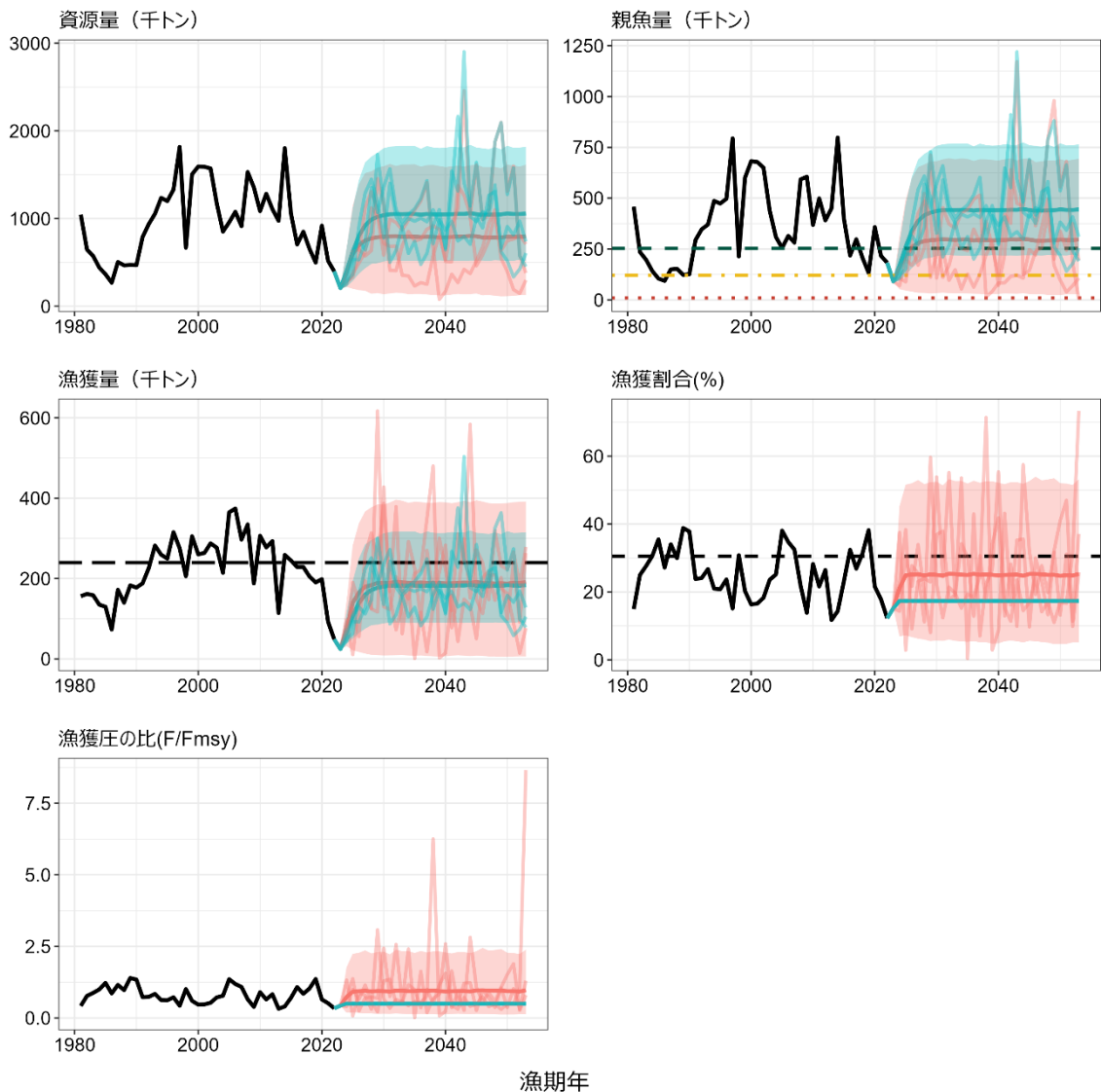


図 16. 各値の将来予測の結果

全期間のデータから推定された再生産関係と管理基準値等に基づいた上で、今後は再生産関係における平均的な加入が発生すると想定した場合の結果。調整係数 β を 0.75とした場合の将来予測（赤色）と現状の漁獲圧（表 6 左）で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の結果を示す。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、黄一点鎖線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準を示す。漁獲量の図の黒破線は最大持続生産量 MSY を、漁獲割合の図の黒破線は目標管理基準値の達成に向けた漁獲割合の水準 (Umsy) を示す。2023 年漁期の漁獲量には表 2 (A) の値を用い、2024 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則 (図 13) に従うものとした。

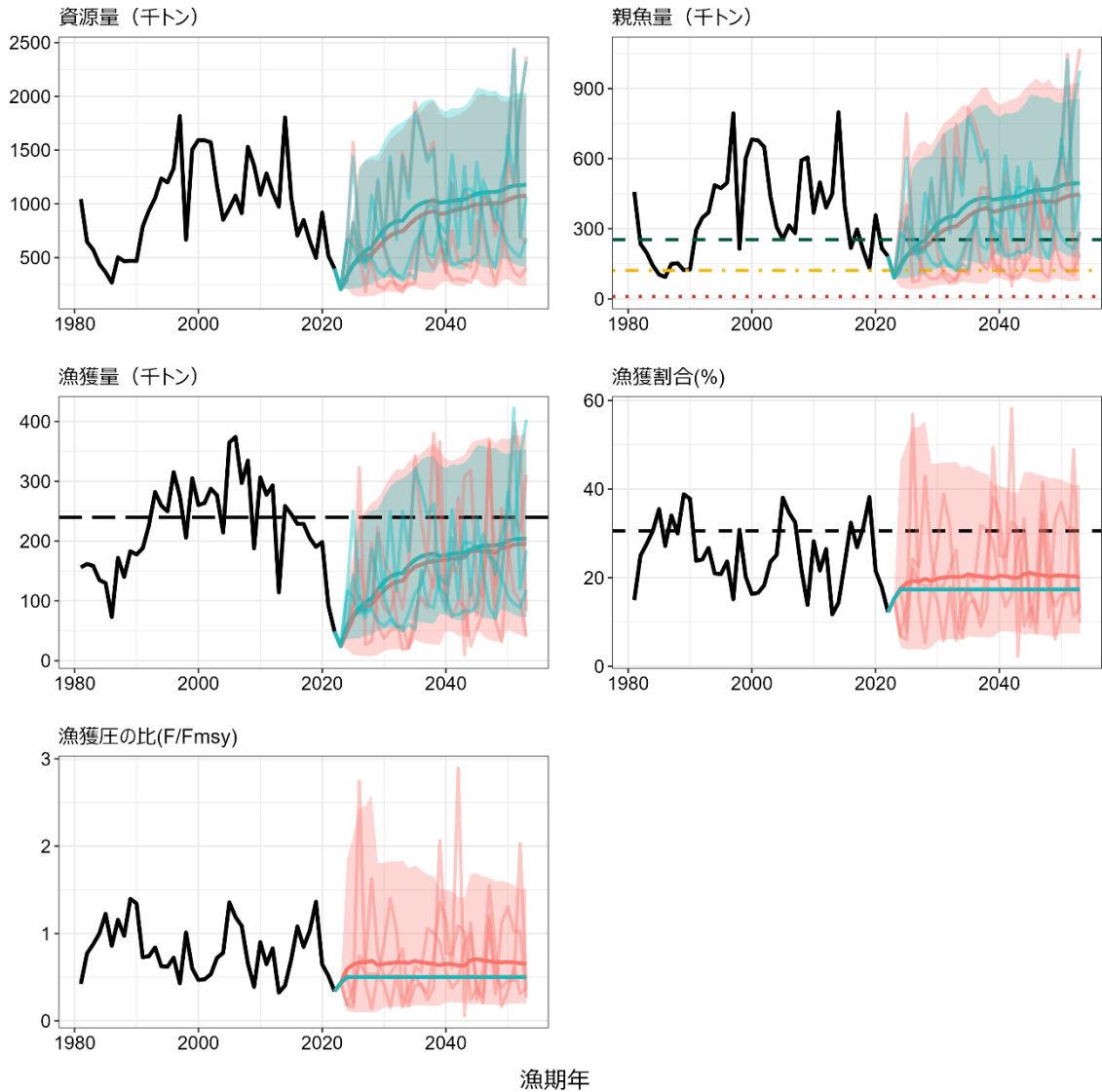


図 17. 各値の将来予測の結果

全期間のデータから推定された再生産関係と管理基準値等に基づいた上で、近い将来まで近年の悪い加入状況が続くことを想定してバックワードリサンプリング法を適用した場合の結果。調整係数 β を 0.55とした場合の将来予測（赤色）と現状の漁獲圧（表 6 左）で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の結果を示す。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、黄一点鎖線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準を示す。漁獲量の図の黒破線は最大持続生産量 MSY を、漁獲割合の図の黒破線は目標管理基準値の達成に向けた漁獲割合の水準 (U_{msy}) を示す。2023 年漁期の漁獲量には表 2 (A) の値を用い、2024 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則 (図 14) に従うものとした。

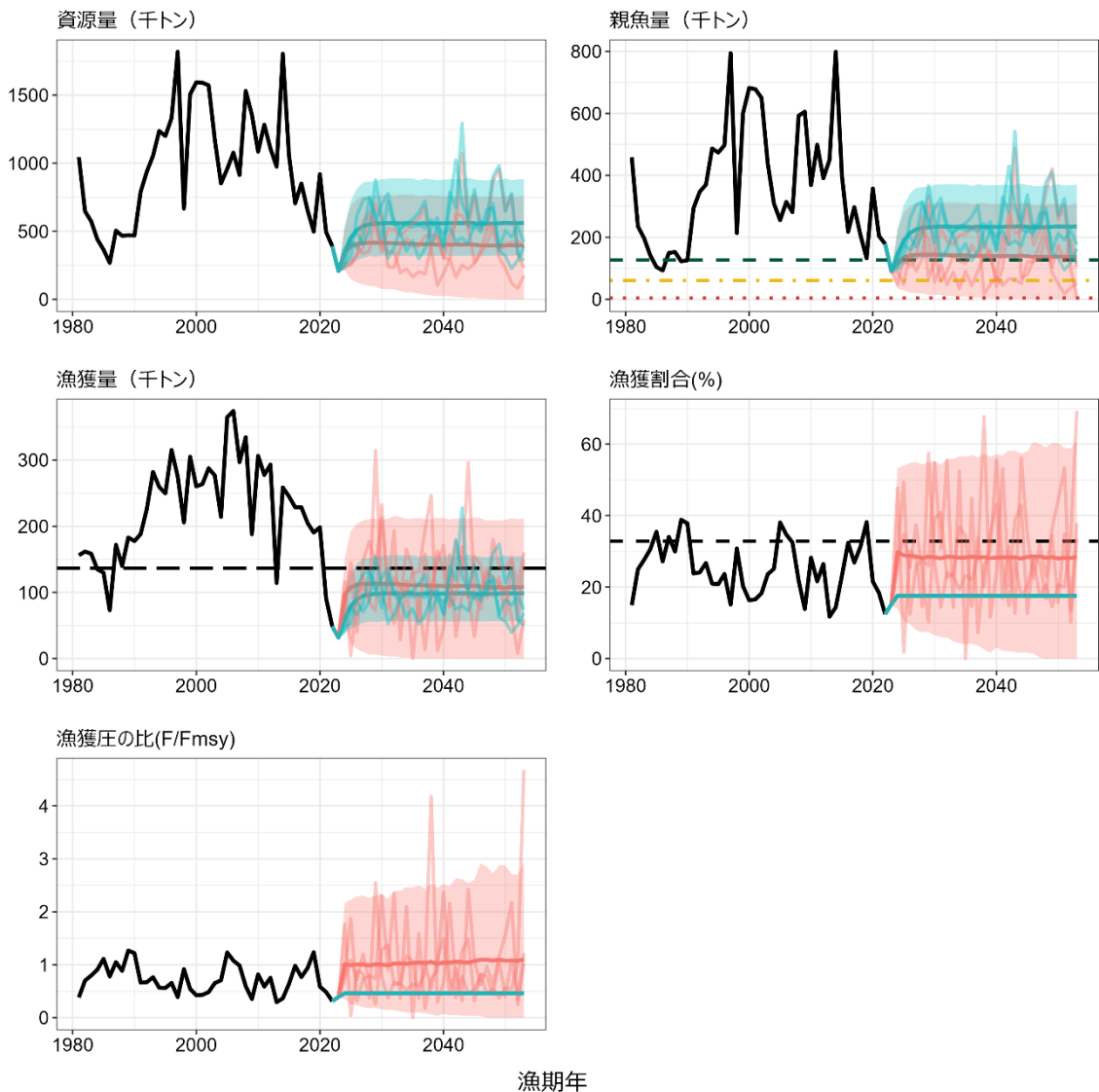


図 18. 各値の将来予測の結果

低加入期のみから推定された再生産関係と管理基準値等に基づいた上で、今後は再生産関係における平均的な加入が発生すると想定した場合の結果。調整係数 β を 0.80とした場合の将来予測（赤色）と現状の漁獲圧（表 6 右）で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の結果を示す。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、黄一点鎖線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準を示す。漁獲量の図の黒破線は最大持続生産量 MSY を、漁獲割合の図の黒破線は目標管理基準値の達成に向けた漁獲割合の水準（ U_{msy} ）を示す。2023 年漁期の漁獲量には表 2 (B) の値を用い、2024 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則（図 15）に従うものとした。

表 1. 全期間のデータを用いた場合の再生産関係式の検討候補と選択した再生産関係のパラメータ推定値

a) 再生産関係式の検討候補

再生産関係式	最適化法	自己相関	AICc	Δ AICc	順位
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	無	33.1	2.3	3
リッカー(RI)	最小二乗法	無	30.8	0	1
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	無	32.3	1.5	2
ホッケー・スティック(HS)	最小絶対値法	無	36.5	5.7	4
リッカー(RI)	最小絶対値法	無	36.5	5.7	4
ベバートン・ホルト(BH)	最小絶対値法	無	37.6	6.8	6

推奨する再生産関係式を太字とした。順位は AICc の値に基づくものであり、最終的に推奨する再生産関係の順位を示したものではない。

b) 選択した再生産関係のパラメータ推定値

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
BH 型	最小二乗法	無	0.2013	0.0029	0.3359	-

a と b (1/億尾) は再生産関係のパラメータであり、S.D. は加入のばらつきの大きさをあらわす指標 (対数残差の標準偏差)、 ρ は自己相関係数である。

表 2. 令和 5 年度資源評価結果および、(A) 全期間データを用い推定された再生産関係を用いて資源解析結果を更新、または (B) 低加入期のみのデータから推定された再生産関係を用いて資源解析結果を更新したときの漁獲量 (千トン)、資源量 (千トン)、および親魚量 (千トン)

漁期年	漁獲量 (千トン)			資源量 (千トン)			親魚量 (千トン)		
	R5 年度 評価	(A)	(B)	R5 年度 評価	(A)	(B)	R5 年度 評価	(A)	(B)
2021	95	93	91	555	519	496	234	216	205
2022	49	49	49	421	398	391	194	182	178
2023	32	32	32	214	207	208	94	90	91

親魚量は漁期終了後の値。また、2023 年漁期漁獲量は日韓漁獲量推定値 (23 千トン) と中国漁獲量仮定値の合計値とし、親魚量算出にはこれを用いた。中国漁獲量仮定値の算出には宮原ほか (2024) の 4-(1) と同様の手法を用いた。

表 3. 低加入期のみのデータを用いた場合の再生産関係式の検討候補と選択した再生産関係のパラメータ推定値

a) 再生産関係式の検討候補

再生産関係式	最適化法	自己相関	AICc	Δ AICc	順位
ホッケー・スティック(HS)	最小二乗法	無	13.2	4.1	6
リックカー(RI)	最小二乗法	無	11.8	2.7	4
ベバートン・ホルト(BH)	最小二乗法	無	11.6	2.5	3
ホッケー・スティック(HS)	最小絶対値法	無	12.8	3.7	5
リックカー(RI)	最小絶対値法	無	9.5	0.4	2
ベバートン・ホルト(BH)	最小絶対値法	無	9.1	0	1

推奨する再生産関係式として、AICc が最小の関係式を太字とした。順位は AICc の値に基づくものであり、最終的に推奨する再生産関係の順位を示したものではない。

b) 選択した再生産関係のパラメータ推定値

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
BH 型	最小絶対値法	無	0.1673	0.0018	0.3420	-

a と b (1/億尾) は再生産関係のパラメータであり、S.D. は加入のばらつきをあらわす指標 (対数残差の標準偏差)、 ρ は自己相関係数である。

表 4. MSY 管理基準値等の算出に用いた各種設定

年齢	自然死亡係数 (漁期中)	成熟率	平均重量 (g)	現状の漁獲圧 (F2018-2020)
1	0.6	1.0	280	0.540

※将来予測に用いた現状の漁獲圧については表 6 に記す。

表 5. 現在の管理基準値等と本資料で提示した管理基準値等との比較

	2019 年度評価結果を使用 (現在)	2023 年度評価結果を使用 (本資料)	
	使用データ：全期間	使用データ： 全期間	使用データ： 低加入期のみ
目標管理 基準値	32.9 万トン (SBmsy)	25.3 万トン (SBmsy)	12.7 万トン (SBmsy)
限界管理 基準値	18.9 万トン (SB0.75msy)	12.2 万トン (SB0.80msy)	6.0 万トン (SB0.80msy)
禁漁水準	3.0 万トン (SB0.15msy)	0.9 万トン (SB0.10msy)	0.5 万トン (SB0.10msy)
Fmsy	0.48	0.53	0.59
Umsy	28.2%	30.5%	32.8%
MSY	27.3 万トン	23.9 万トン	13.7 万トン
SB0	62.7 万トン	68.5 万トン	35.7 万トン

括弧内には各管理基準値等の定義を記す。

MSY: 持続的に獲り続けることが可能な最大の (平均) 漁獲量。

Fmsy: MSY を与える漁獲圧 (漁獲係数)。

Umsy: MSY が得られる場合の漁獲率。

SB0: 漁業が無かった場合を仮定した初期親魚量。

表 6. 将来予測に用いた現状の漁獲圧 (F2020-2022)

全期間のデータを用いた場合	低加入期のみのデータを用いた場合
0.267	0.271

表 7. 将来の親魚量が目標管理基準値 (a)、限界管理基準値 (b)、禁漁水準 (c) を上回る確率の推移、および将来の親魚量 (d) と漁獲量 (e) の平均値の推移

全期間のデータから推定された再生産関係と管理基準値等に基づいた上で、今後は再生産関係における平均的な加入が発生すると想定した場合の結果。調整係数 β を 0.0～1.0 まで 0.05 間隔で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量には表 2 (A) の値を用い、2024 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則 (例: β が 0.75 の場合は図 13) に従うものとした。比較のため現状の漁獲圧 (F2020-2022、 $\beta = 0.501$ に相当、表 6 左) で漁獲を続けた場合の結果も示す。(a) と (b) の表中の太字は、漁獲管理規則による管理開始からそれぞれ 10 年目、5 年目を示す。

(a) 親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	0	11	24	30	31	32	32	32	32	31	31	31	31
0.95	0	11	26	32	34	35	35	35	35	35	34	35	34
0.90	0	12	28	35	37	38	38	39	38	38	37	38	38
0.85	0	12	29	37	40	42	42	42	42	42	41	42	42
0.80	0	13	31	40	43	45	46	46	46	46	45	46	46
0.75	0	13	33	43	47	49	50	50	50	51	50	51	51
0.70	0	14	36	46	51	53	55	55	55	55	55	55	55
0.65	0	14	38	50	55	58	59	59	60	60	59	60	60
0.60	0	15	41	54	59	62	64	64	65	65	64	65	65
0.55	0	16	44	57	64	67	69	69	70	70	69	69	70
0.50	0	16	47	62	68	72	74	74	75	74	74	74	75
0.45	0	17	50	66	72	76	78	79	79	79	78	79	79
0.40	0	18	54	70	77	81	82	83	83	83	82	83	84
0.35	0	19	58	74	81	85	86	87	87	87	87	87	87
0.30	0	20	61	78	85	89	89	90	91	90	90	91	90
0.25	0	21	65	82	89	92	92	93	94	93	93	93	93
0.20	0	22	69	86	92	95	94	95	96	95	95	95	95
0.15	0	24	73	89	94	96	96	97	97	97	97	97	97
0.10	0	25	77	92	96	98	98	98	99	98	98	98	98
0.05	0	27	81	95	98	99	99	99	99	99	99	99	99
0.00	0	28	84	97	99	99	99	100	100	100	99	99	99
F2020-2022	0	9	46	70	80	86	88	89	90	90	89	90	90

表7. つづき

(b) 親魚量が限界管理基準値を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	0	60	64	64	63	63	63	62	62	62	61	61	61
0.95	0	62	66	67	67	67	66	66	66	66	65	65	64
0.90	0	63	68	70	70	70	70	70	69	69	68	69	68
0.85	0	65	71	73	73	74	73	73	73	73	72	72	72
0.80	0	67	73	76	76	77	76	77	77	77	76	76	76
0.75	0	68	76	78	79	81	80	80	81	80	80	80	80
0.70	0	70	78	82	82	84	84	84	84	84	84	84	84
0.65	0	72	81	84	85	87	87	87	87	87	87	87	87
0.60	0	74	83	87	89	90	89	90	90	90	90	90	90
0.55	0	76	86	89	91	92	92	92	93	93	93	93	93
0.50	0	77	88	92	93	94	95	95	95	95	95	95	95
0.45	0	80	90	94	95	96	96	96	97	96	96	96	96
0.40	0	82	92	96	97	98	98	98	98	98	98	98	98
0.35	0	84	94	97	98	99	99	99	99	99	99	99	99
0.30	0	85	95	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.25	0	87	97	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.20	0	89	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.15	0	91	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.10	0	92	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.05	0	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.00	0	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	0	79	95	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(c) 親魚量が禁漁水準を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	100	98	95	93	93	93	93	93	93	92	92	91	90
0.95	100	98	96	94	94	94	94	94	94	94	93	92	92
0.90	100	98	97	95	95	95	95	95	95	95	95	94	94
0.85	100	99	97	96	96	96	96	96	96	96	96	95	95
0.80	100	99	98	97	97	97	97	97	97	97	97	96	96
0.75	100	99	98	98	97	97	98	97	98	98	97	97	97
0.70	100	99	99	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
0.65	100	100	99	99	98	99	99	99	99	99	99	98	98
0.60	100	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.55	100	100	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.45	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.35	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.05	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表7. つづき

(d) 親魚量の平均値 (千トン)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	90	149	185	202	208	210	210	211	211	208	207	205	204
0.95	90	152	191	212	221	224	224	226	226	224	222	221	220
0.90	90	155	199	223	234	239	240	241	242	240	238	238	237
0.85	90	158	206	235	248	254	256	258	259	257	256	256	255
0.80	90	161	214	247	263	271	274	276	278	276	275	275	276
0.75	90	164	223	260	279	289	293	296	298	296	295	296	296
0.70	90	168	232	274	296	308	313	316	319	317	316	317	318
0.65	90	171	241	288	314	328	334	338	341	340	338	340	341
0.60	90	174	251	304	333	349	356	361	364	363	362	364	366
0.55	90	178	261	320	353	371	379	385	388	387	386	389	390
0.50	90	181	271	337	374	394	404	410	413	413	411	414	416
0.45	90	185	282	354	396	419	429	435	439	438	437	440	442
0.40	90	189	294	373	419	444	455	461	465	465	463	466	468
0.35	90	192	306	393	443	470	481	488	492	492	490	493	495
0.30	90	196	318	413	468	496	508	515	519	519	517	519	522
0.25	90	200	331	434	493	523	536	542	547	546	545	547	549
0.20	90	204	345	456	520	551	564	570	575	574	572	574	577
0.15	90	208	359	479	547	580	592	599	603	602	600	602	605
0.10	90	212	373	503	575	609	621	628	631	631	629	631	634
0.05	90	217	389	528	604	639	651	657	661	660	658	660	663
0.00	90	221	404	554	634	669	681	687	690	690	688	689	692
F2020-2022	90	169	262	339	388	416	429	437	441	442	441	443	445

(e) 漁獲量の平均値 (千トン)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	24	97	159	175	183	181	183	181	181	183	181	178	178
0.95	24	93	156	175	183	183	186	184	184	186	184	182	183
0.90	24	89	152	173	183	184	188	187	187	189	187	185	186
0.85	24	85	149	171	183	185	189	188	188	191	189	188	188
0.80	24	81	144	169	182	185	190	189	189	192	190	190	191
0.75	24	76	140	165	180	184	189	189	189	192	191	190	191
0.70	24	72	135	162	177	182	187	188	188	191	190	189	190
0.65	24	68	129	157	173	178	184	185	185	188	187	187	188
0.60	24	63	123	151	168	174	180	181	181	184	183	183	184
0.55	24	58	116	145	161	168	174	175	176	178	178	178	179
0.50	24	54	109	137	154	161	166	168	168	171	170	170	171
0.45	24	49	101	129	145	152	157	159	159	162	161	161	162
0.40	24	44	93	119	135	141	146	148	148	150	150	150	151
0.35	24	39	84	109	123	129	134	135	135	137	137	137	138
0.30	24	33	74	97	110	116	120	121	121	123	122	122	123
0.25	24	28	63	84	96	100	104	104	105	106	106	105	106
0.20	24	23	52	70	79	83	86	87	87	88	87	87	88
0.15	24	17	40	54	62	65	67	67	67	68	68	68	68
0.10	24	12	28	37	43	45	46	46	46	47	47	47	47
0.05	24	6	14	19	22	23	24	24	24	24	24	24	24
0.00	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2020-2022	24	70	108	140	160	172	177	180	182	182	182	183	184

表 8. 将来の親魚量が目標管理基準値 (a)、限界管理基準値 (b)、禁漁水準 (c) を上回る確率の推移、および将来の親魚量 (d) と漁獲量 (e) の平均値の推移

全期間のデータから推定された再生産関係と管理基準値等に基づいた上で、近い将来まで近年の悪い加入状況が続くことを想定してバックワードリサンプリング法を適用した場合の結果を示す。調整係数 β を 0.0~1.0 まで 0.05 間隔で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量には表 2 (A) の値を用い、2024 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則 (例: β が 0.55 の場合は図 14、表 6 左) に従うものとした。比較のため現状の漁獲圧 (F2020-2022、 $\beta = 0.501$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示す。

(a) と (b) の表中の太字は、漁獲管理規則による管理開始からそれぞれ 10 年目、5 年目を示す。

(a) 親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	0	18	15	15	13	13	14	16	18	20	21	34	41
0.95	0	18	16	15	14	14	15	18	20	22	23	38	45
0.90	0	19	16	16	15	15	17	20	22	25	26	42	48
0.85	0	19	17	17	17	16	19	22	24	27	28	46	52
0.80	0	19	18	18	18	18	21	24	27	30	31	50	56
0.75	0	19	19	19	19	19	23	27	30	33	34	54	60
0.70	0	20	21	21	21	20	25	30	34	36	38	59	64
0.65	0	20	21	22	23	22	28	34	39	41	42	64	68
0.60	0	20	22	24	25	25	31	39	43	45	46	68	71
0.55	0	20	24	25	27	27	35	43	48	50	50	72	74
0.50	0	20	24	27	29	30	39	47	52	54	54	74	78
0.45	0	20	25	28	31	32	43	51	56	58	58	78	80
0.40	0	20	25	30	34	36	48	56	60	62	62	80	83
0.35	0	20	26	32	37	40	52	60	64	66	66	83	85
0.30	0	20	26	34	40	44	58	65	68	69	69	85	87
0.25	0	20	28	37	43	48	63	70	73	74	74	87	89
0.20	0	20	31	40	48	53	70	75	77	78	78	89	91
0.15	0	20	33	43	53	60	77	81	82	83	82	91	93
0.10	0	20	34	47	60	68	83	86	87	88	87	94	95
0.05	0	20	36	52	68	77	90	92	92	92	93	96	97
0.00	0	20	36	59	76	86	95	96	97	97	97	99	99
F2020-2022	0	20	24	28	31	34	47	57	62	65	66	84	87

表 8. つづき

(b) 親魚量が限界管理基準値を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	0	25	34	33	33	30	34	37	41	43	44	62	64
0.95	0	26	35	35	35	33	37	40	44	46	47	65	67
0.90	0	27	37	37	37	35	40	43	47	49	50	69	70
0.85	0	29	39	40	40	38	43	47	50	53	54	72	73
0.80	0	30	41	42	43	41	46	50	53	56	57	74	76
0.75	0	32	42	45	46	44	50	54	57	59	61	77	78
0.70	0	34	44	47	49	48	55	58	62	63	64	80	81
0.65	0	36	46	51	53	53	61	65	67	69	69	84	84
0.60	0	38	49	54	57	58	67	70	73	73	73	86	87
0.55	0	41	52	58	62	63	72	75	77	78	77	88	89
0.50	0	44	56	62	67	68	78	80	81	82	81	90	91
0.45	0	46	59	67	72	74	82	85	85	86	85	92	93
0.40	0	49	64	72	78	80	87	89	90	89	89	94	95
0.35	0	51	70	78	84	86	92	93	93	93	93	96	96
0.30	0	53	75	84	90	91	95	97	96	96	96	98	98
0.25	0	55	79	89	94	95	98	99	98	98	98	99	99
0.20	0	57	84	94	97	98	99	100	100	100	100	100	100
0.15	0	59	92	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.10	0	60	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.05	0	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.00	0	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	0	20	52	74	83	89	95	97	98	98	98	100	100

(c) 親魚量が禁漁水準を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	100	93	86	81	80	80	83	85	86	86	86	90	89
0.95	100	94	88	84	82	82	85	87	88	88	88	92	91
0.90	100	95	90	86	84	84	87	89	90	90	90	94	92
0.85	100	95	91	88	86	86	89	91	92	92	92	95	94
0.80	100	96	93	89	88	87	90	92	93	93	93	96	95
0.75	100	97	94	91	89	89	92	93	94	94	94	96	96
0.70	100	98	96	94	93	93	94	96	96	96	96	98	97
0.65	100	99	98	97	97	97	98	98	98	99	98	99	98
0.60	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100	99
0.55	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.45	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.35	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.05	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表 8. つづき

(d) 親魚量の平均値 (千トン)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	90	124	134	132	126	119	125	135	145	154	159	218	248
0.95	90	126	139	138	133	126	133	144	155	165	171	233	266
0.90	90	128	143	144	141	135	143	155	167	178	184	251	286
0.85	90	130	148	151	149	143	153	167	179	191	198	269	307
0.80	90	132	153	158	158	153	164	179	192	205	212	287	328
0.75	90	135	158	166	167	163	176	192	207	219	227	306	348
0.70	90	137	164	174	178	175	191	209	226	239	246	328	372
0.65	90	140	170	184	190	190	209	231	250	262	268	352	397
0.60	90	143	177	194	203	205	228	253	272	284	289	375	422
0.55	90	146	184	205	216	221	247	274	293	306	310	398	448
0.50	90	149	191	216	231	237	266	294	315	327	331	420	473
0.45	90	152	199	227	245	253	285	316	337	349	353	443	499
0.40	90	155	207	240	261	271	306	338	360	372	375	467	526
0.35	90	158	215	253	277	289	328	362	384	396	399	492	553
0.30	90	161	224	266	294	309	351	387	409	421	423	517	580
0.25	90	164	233	281	312	330	376	413	436	447	448	543	608
0.20	90	168	242	296	332	352	401	440	463	473	474	570	637
0.15	90	171	252	312	352	375	428	468	490	500	500	597	667
0.10	90	174	262	329	374	399	455	496	518	528	527	625	697
0.05	90	178	273	347	396	423	483	525	546	555	554	653	727
0.00	90	181	284	366	419	449	512	554	574	583	581	682	758
F2020-2022	90	139	182	215	237	252	289	320	340	352	355	438	496

(e) 漁獲量の平均値 (千トン)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	24	78	96	97	92	88	95	99	108	115	119	176	201
0.95	24	75	94	97	92	90	96	102	111	118	122	179	205
0.90	24	72	93	96	93	92	99	105	114	121	126	182	209
0.85	24	69	91	96	93	93	100	108	117	124	128	184	212
0.80	24	66	89	95	94	94	102	110	118	126	130	185	212
0.75	24	63	87	94	94	95	103	111	120	127	131	184	211
0.70	24	59	84	92	93	96	105	114	123	130	133	184	209
0.65	24	56	81	90	93	96	106	117	127	134	136	183	207
0.60	24	52	77	88	91	96	107	119	128	134	136	179	202
0.55	24	48	74	85	89	95	107	118	127	133	133	173	195
0.50	24	44	69	81	87	93	105	116	124	129	129	165	186
0.45	24	40	65	77	83	89	101	112	119	123	123	155	175
0.40	24	36	60	72	79	85	96	106	112	116	116	145	163
0.35	24	32	54	67	73	79	90	98	104	107	107	132	149
0.30	24	28	48	60	66	72	82	89	94	97	97	118	132
0.25	24	23	42	53	58	63	73	79	83	85	85	102	115
0.20	24	19	35	44	49	54	61	66	69	71	71	85	95
0.15	24	14	27	35	39	42	49	52	55	56	56	66	74
0.10	24	10	19	24	27	30	34	36	38	39	39	45	51
0.05	24	5	10	13	14	15	18	19	20	20	20	23	26
0.00	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2020-2022	24	57	75	89	98	104	119	132	140	145	147	181	205

表 9. 将来の親魚量が目標管理基準値 (a)、限界管理基準値 (b)、禁漁水準 (c) を上回る確率の推移、および将来の親魚量 (d) と漁獲量 (e) の平均値の推移

低加入期のみのデータから推定された再生産関係と管理基準値等に基づいた上で、今後は再生産関係における平均的な加入が発生すると想定した場合の結果。調整係数 β を 0.0~1.0 まで 0.05 間隔で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量には表 2 (B) の値を用い、2024 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則 (例: β が 0.80 の場合は図 15) に従うものとした。比較のため現状の漁獲圧 (F2020-2022、 $\beta = 0.462$ に相当、表 6 右) で漁獲を続けた場合の結果も示す。(a) と (b) の表中の太字は、漁獲管理規則による管理開始からそれぞれ 10 年目、5 年目を示す。

(a) 親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	0	34	36	36	35	35	34	34	34	33	32	31	29
0.95	0	36	39	40	39	39	38	38	38	37	36	35	33
0.90	0	37	41	43	43	43	42	42	42	42	41	39	38
0.85	0	39	45	47	47	47	47	46	46	46	45	45	44
0.80	0	41	48	50	51	52	52	52	51	51	50	50	49
0.75	0	44	52	55	56	57	57	57	57	57	56	56	55
0.70	0	46	56	59	61	62	62	62	62	62	61	61	61
0.65	0	49	60	64	66	67	68	67	68	67	67	67	67
0.60	0	52	64	69	70	72	73	73	73	73	72	72	73
0.55	0	55	68	73	76	78	78	78	78	78	77	78	78
0.50	0	58	72	78	80	82	82	82	83	82	82	83	83
0.45	0	61	76	82	84	87	86	87	87	87	86	87	87
0.40	0	64	81	86	88	90	90	90	91	90	90	90	90
0.35	0	68	85	90	92	93	93	93	94	93	93	93	93
0.30	0	71	88	93	95	96	95	95	96	95	95	95	95
0.25	0	75	91	95	97	97	97	97	98	97	97	97	97
0.20	0	78	94	97	98	98	98	99	99	98	98	98	98
0.15	0	82	96	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.10	0	85	97	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.05	0	89	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.00	0	91	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	0	65	87	93	95	96	96	96	97	97	96	96	96

表9. つづき

(b) 親魚量が限界管理基準値を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	100	79	74	72	70	69	68	68	66	66	65	60	57
0.95	100	81	77	75	73	73	72	71	71	70	69	66	63
0.90	100	83	80	79	77	77	76	76	75	74	74	71	68
0.85	100	84	82	82	81	81	80	79	79	79	78	76	74
0.80	100	86	85	85	84	84	84	83	83	83	82	81	79
0.75	100	88	87	87	87	88	87	87	87	86	86	85	84
0.70	100	90	90	90	90	90	90	90	90	90	89	89	88
0.65	100	92	92	92	92	93	93	93	93	92	92	92	91
0.60	100	93	94	94	95	95	95	95	95	95	95	95	94
0.55	100	94	95	96	96	97	97	97	97	97	97	97	96
0.50	100	96	97	97	98	98	98	98	98	98	98	98	98
0.45	100	97	98	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.40	100	98	99	99	99	99	99	99	100	99	99	99	99
0.35	100	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.30	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.05	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(c) 親魚量が禁漁水準を上回る確率 (%)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	100	97	95	94	94	92	92	91	90	89	89	83	78
0.95	100	98	96	95	95	94	93	92	92	91	91	86	82
0.90	100	98	97	96	96	95	94	94	94	93	93	89	86
0.85	100	99	98	97	97	96	96	95	95	95	95	92	89
0.80	100	99	98	98	97	97	97	97	97	96	96	94	92
0.75	100	99	99	98	98	98	98	98	98	97	97	96	95
0.70	100	100	99	99	99	99	99	99	98	98	98	97	97
0.65	100	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	98	98
0.60	100	100	100	100	100	99	100	99	99	99	99	99	99
0.55	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.45	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.35	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.05	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表9. つづき

(d) 親魚量の平均値 (千トン)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	91	108	112	112	110	109	108	107	106	104	103	96	91
0.95	91	111	118	119	118	117	116	115	115	113	111	106	101
0.90	91	114	123	126	126	126	125	124	124	122	121	116	113
0.85	91	117	129	133	134	135	134	134	134	132	131	128	125
0.80	91	121	136	141	143	144	144	144	144	143	142	140	138
0.75	91	124	142	150	153	155	155	155	155	154	153	152	151
0.70	91	128	149	159	163	165	166	166	167	166	165	164	163
0.65	91	132	156	168	173	176	177	178	179	178	177	177	177
0.60	91	136	164	178	185	188	189	190	191	190	189	190	190
0.55	91	140	172	188	196	200	201	203	203	203	202	203	203
0.50	91	144	180	199	208	213	214	215	216	216	215	216	217
0.45	91	148	189	210	220	225	227	228	229	229	228	229	230
0.40	91	152	198	222	233	239	240	241	243	242	241	242	243
0.35	91	157	207	234	246	252	254	255	256	255	255	255	256
0.30	91	162	217	246	260	266	267	269	270	269	268	269	270
0.25	91	166	227	259	274	280	281	283	284	283	282	283	284
0.20	91	171	237	273	288	294	296	297	298	297	297	297	298
0.15	91	176	248	286	302	309	311	312	313	312	311	312	313
0.10	91	182	259	301	317	324	326	327	328	327	326	327	328
0.05	91	187	271	315	333	340	341	342	343	342	341	342	343
0.00	91	192	283	331	349	356	357	358	359	358	357	358	359
F2020-2022	91	147	190	214	226	231	233	234	235	235	234	234	235

(e) 漁獲量の平均値 (千トン)

β	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.00	32	114	116	114	112	109	109	107	106	105	104	96	91
0.95	32	110	114	114	113	110	111	109	108	108	107	100	97
0.90	32	106	113	114	114	112	112	111	110	110	109	104	101
0.85	32	101	110	113	114	112	113	112	111	112	111	107	105
0.80	32	97	108	112	113	112	114	113	112	113	112	110	109
0.75	32	92	105	110	112	112	113	113	112	114	113	111	111
0.70	32	87	101	108	110	111	112	112	112	113	112	111	111
0.65	32	82	97	105	108	109	110	110	110	111	110	110	110
0.60	32	77	93	101	105	106	107	107	107	108	108	108	108
0.55	32	71	88	97	101	102	104	104	103	105	104	104	105
0.50	32	66	83	92	96	97	99	99	99	100	99	99	100
0.45	32	60	77	86	90	91	93	93	93	94	93	93	94
0.40	32	54	71	79	84	85	86	86	86	87	87	87	87
0.35	32	48	64	72	76	77	78	78	78	79	79	79	79
0.30	32	42	57	64	68	69	70	70	70	70	70	70	70
0.25	32	35	49	56	59	59	60	60	60	61	61	60	61
0.20	32	29	40	46	49	49	50	50	50	50	50	50	50
0.15	32	22	31	36	38	38	39	39	39	39	39	39	39
0.10	32	15	21	25	26	26	27	27	27	27	27	27	27
0.05	32	7	11	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14
0.00	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2020-2022	32	62	80	90	95	97	98	98	99	99	98	98	99

別紙（水産庁からの検討依頼文書）

事務連絡
令和6年9月3日

国立研究開発法人水産研究・教育機構
水産資源研究所 調査・評価部会長 福若雅章 様

水産庁漁場資源課沿岸資源班長

スルメイカ2系群の資源評価上の試算についてお願い

スルメイカ2系群（秋季発生系群、冬季発生系群）の資源評価について、以下の条件での試算および水産庁主催の会合等におけるご説明をお願いいたします。

1. 令和5年度評価をベースに、次の①から③の3パターンについて試算いただきたい。
 - ①資源評価に利用可能な全期間のデータを使用して推定した再生産関係に基づいて管理基準値（目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準）を算定し、この管理基準値に基づく漁獲管理規則により将来予測を行う。なお、将来予測における加入量推定値は、全期間のデータを使用して推定した再生産関係に基づくものとする。
 - ②管理基準値の算定方法は①と同様とした上で、将来予測における加入推定値には、令和5年度評価で用いたバックワードリサンプリングを使用する。
 - ③過去の親魚量と加入量の関係から「低加入期」を推定した上で、当該低加入期のみのデータを用いて推定した再生産関係から管理基準値を算定し、この管理基準値に基づく漁獲管理規則により将来予測を行う。なお、将来予測における加入量推定値は、上記の低加入期の再生産関係に基づくものとする。
2. 1で行うそれぞれの将来予測において、5年後及び10年後にそれぞれ、限界管理基準値及び目標管理基準値を上回る確率（※ β は0.05刻み）を試算いただきたい。

以上