

令和6（2024）年度マサバ太平洋系群の 管理基準値等に関する研究機関会議資料

水産研究・教育機構

水産資源研究所 水産資源研究センター（西嶋翔太・由上龍嗣・上村泰洋・
井須小羊子・古市 生・渡部亮介・東口胤成）

参画機関：北海道立総合研究機構釧路水産試験場・函館水産試験場、地方独立行政法人青森
県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術
総合センター、福島県水産海洋研究センター、茨城県水産試験場、千葉県水産総
合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センタ
ー、静岡県水産・海洋技術研究所、愛知県水産試験場漁業生産研究所、三重県水
産研究所、和歌山県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研
究課、高知県水産試験場、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、大分県農林
水産研究指導センター水産研究部、宮崎県水産試験場、漁業情報サービスセンタ
ー、海洋生物環境研究所

要 約

令和6年度の本系群の資源評価データを用いて、1Aルール管理規則に従って再生産関係
に基づく管理基準値案等を検討したが、生物パラメータの不確実性が大きいことから、MS
Y等の管理基準値を頑健に推定することが困難であると判断した。そのため、生物学的管理
基準値に基づく1Bルール管理規則を適用する。2017～2023年漁期の生物パラメータを使
用し、親魚量とは独立に加入量が決まるという仮定のもとで、F50%SPRを適用した場合に
算出される親魚量（62.6万トン）をSBmsy proxyとし、親魚量の目標管理基準値として提案
する。限界管理基準値として0.1SB0（14.2万トン）、禁漁水準は0 トンを提案する。目標管
理基準値案（SBmsy proxy）を達成する漁獲圧（Fmsy proxy）はF50%SPRで、これは現状
（2021～2023年漁期の平均の漁獲係数）の0.30倍である。

親魚量 (万トン)	現状の 親魚量*1 に対する比	初期 親魚量 に対する比	期待できる 平均漁獲量 (万トン)	現状の 漁獲圧 に対する比*2	説 明
目標管理基準値案					
62.6	4.36	0.44	19.4	0.30	F50%SPRをFmsyの代 替値として漁獲を続け 平衡状態となった時に 得られる親魚量 (SBmsy proxy)
限界管理基準値案					
14.2	0.99	0.10	2.6	1.10	漁獲なしのときの10% 親魚量 (0.1SB0)
禁漁水準案					
0	0	0	—	—	0トンの親魚量 (SBban)
2023年漁期					
14.4	1.00	0.100	18.1*3	—	2023年漁期の値

*1 現状の親魚量とは 2023 年漁期の親魚量 (14.4 万トン) である。

*2 現状の漁獲圧とは 2021～2023 年漁期の漁獲圧である。現状の漁獲圧に対する比とは、各管理基準値案および水準案を達成する漁獲圧が現状の漁獲圧に対して何倍に相当するかを示す係数である。なお、年齢別選択率は 2017～2023 年漁期の漁獲圧における年齢別選択率に基づく。

*3 2023 年漁期の漁獲量 (漁期は 7 月～翌年 6 月)。

1. まえがき

マサバ太平洋系群では MSY に基づく資源評価・管理が実施されて以降、ホッケー・ステイック (HS) 型の再生産関係に基づく 1A ルール (水産研究・教育機構 2024a) を適用してきた。本年度、管理基準値を見直すため、令和 6 年度マサバ太平洋系群の資源評価結果を用いて、1A ルールを再び適用することを検討したが、以下に挙げる 2 つの理由で 1A ルールの適用は困難と判断した。

まず、本資源の年齢別体重および年齢別成熟割合は大きな経年変化を示すが (図 1,2)、MSY 管理基準値 (特に F_{msy}) は、同じ再生産関係のもとでも、これらの生物パラメータの設定によって大きく変化する (補足表 1-2)。将来の生物パラメータの変化の予測は困難であり、実際に、前回 2019 年に設定した MSY 管理基準値を使用している間に年齢別成熟割合が低下し、それが当時の将来予測と現状が大きくかい離する一因となった (由上ほか 印刷中、補足資料 10)。

次に、現状の年齢別体重および年齢別成熟割合は歴史的に見て非常に低い値となっており (図 1,2)、この生物パラメータの下では、HS 再生産関係から求められた 1A ルールを適用したときの目標管理基準値 SB_{msy} を達成するまでには長期間を要する。例えば基本の設定である $\beta=0.8$ の漁獲管理規則を適用した場合、 SB_{msy} を達成するのは 2041 年と予測されており、管理開始後 16 年後となる。これだけの長期の間、生物パラメータが一定であるとは考えられず、将来予測における不確実性は大きい。これらの理由から、頑健で適切な MSY 管理基準値を設定することは困難である。

「令和 6 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)」では、1B ルールとして、「再生産関係に基づいた MSY 管理基準値の精度が低い、または頑健でないと考えられる一方で、他の代替となる生物学的管理基準値が計算可能な場合には、特定の %SPR に準ずる F ($F\%SPR$) をもとにした生物学的管理基準値 (F-based biological reference point) を F_{msy} (MSY を与える漁獲の強さ) の代替値として用い、それをもとに目標管理基準値を提案する」とあり、本資源はこの条件に該当すると判断した。1B ルールでは $F\%SPR$ に応じた SB_{msy} proxy 等の管理基準値を求めるが、生物パラメータの変化に応じて目標となる SB_{msy} proxy は変化するが、 $F\%SPR$ の変化が 1A ルールより相対的に小さいため、生物パラメータの変化があっても漁獲圧の管理への影響が相対的に小さいと考えられる。例えば、成熟年齢が早まり成熟割合が上昇した場合には、ある年齢別選択率の下で決められた %SPR を実現する SB_{msy} proxy は増加するが、 $F\%SPR$ の変化は小さいと予測される (補足資料 2 参照)。つまり、1A ルールでは生物パラメータが将来的に変化したときに F_{msy} 等の管理基準値の変化が大きく、漁獲可能量の変化が起きやすいと考えられるが、1B ルールでは生物パラメータの変化に対してより安定的な漁獲管理が可能になると期待される。

本資源では、加入量が親魚量と独立に決まるという仮定のもと (ただし過去最低親魚量以下で親魚量がゼロのとき加入量がゼロとなるように加入量が直線的に減少すると仮定)、生物学的管理基準値 (F-based biological reference point) を用いた 1B ルールを検討した。この再生産関係の下では、親魚量の減少に伴う加入量の減少 (加入乱獲) のリスクを過小に見積もる可能性があるため、簡易的な管理戦略評価 (簡易 MSE) を用いて、再生産関係がある

場合のリスク評価を行った（補足資料 5～7）。

なお、VPA では、資源計算が行われた結果に基づき再生産関係を求めるが、本資源の資源評価で適用した状態空間資源評価モデル (SAM) では、再生産関係のパラメータを資源量と同時に推定する。そのため、適用する再生産関係によって、資源量推定値も僅かながら変化する特性がある。1B ルールでは 1A ルールでのような再生産関係を使わず、親魚量とは独立した加入を仮定していることから、SAM により推定された資源量推定値は両ルールでわずかに異なるが、それぞれの結果の詳細は資源評価報告書に掲載した（由上ら 印刷中, FRA-SA2024-SC16-01）。1A ルールの検討（補足資料 1）の際には HS 型再生産関係を適用した SAM により求められた資源量の結果を使用しており、それ以外のシナリオには、加入量が親魚量と独立に求められる（過去最低親魚量以下では親魚量 0 に向かって直線的に加入が減少する仮定を導入）であることを仮定した 1B ルールによる SAM により求められた資源量の結果を使用した。

2. 再生産関係及び生物パラメータ等の設定

2-1) 使用するデータセット

本資源の再生産関係式の設定は「令和 6（2024）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2024-ABCWG02-01）」（水産研究・教育機構 2024a）に従い、以下のデータセットを使用して実施した。解析には R パッケージ frasyr (v2.4.0.1, <https://github.com/ShotaNishijima/frasyr/releases/tag/v2.4.0.1>) を用いた。

データセット	基礎情報、関係調査等
資源量・親魚量	令和 6 年度マサバ太平洋系群の資源評価（水産機構）

2-2) 再生産関係

1B ルールにおける加入は、今後の加入パターンを代表すると考えられるものを仮定する。本資源では、親子関係をプロットすると、親魚量が増加するにつれて加入量が増えるという関係が見られるものの（補足図 1-1）、HS 型再生産関係を用いた場合と、加入量が親魚量とは関係なく 1 次の自己相関に従う場合 (AR(1)) で AIC にはほとんど差がなかった (AR(1): 1184.22, HS: 1186.475 ; 由上ほか 印刷中、補足資料 11)。これは、統計的な予測精度の観点からは、親魚量を用いた再生産関係と AR(1)の間にほとんど差がないことを意味している。そこで、AIC がわずかに小さい AR(1)の結果に基づいた再生産関係を用いて管理基準値案を推定し、本文に示した。HS 型再生産関係が真の個体群動態だった場合の将来予測および簡易 MSE については、補足資料に掲載した。

SAM では加入量が親魚量によらないことを仮定したが、この仮定の下では将来予測の際には親魚量が 0 に近くなっても同様の加入があることとなり、資源低下時の回復力が過大推定される恐れがある。そのため、SAM で推定された過去最低親魚量 ($\hat{b} = 4.2$ [万]) 以下では、親魚量がゼロのとき加入量がゼロとなるように加入量が直線的に減少することを仮定した。折れ点以上での加入量の幾何平均値は、SAM により推定された全期間の平均値

(49.6 億尾)と一致するように調整した。この結果、原点から過去最低親魚量の間直線関係の傾きは $\hat{a} = 11.8$ [万尾/トン]となった(図 3)。自己相関係数と過程誤差(加入のばらつき)の大きさは SAM で推定された値を用いた(表 1)。

本資源では将来予測および管理基準値の計算を行う際に、資源量推定値の不確実性を考慮するために、SAM で得られた結合精度行列(joint precision matrix)からパラメータのリサンプリングを行った。ただし、データの更新に伴って管理基準値が大きく変動することを避けるため、SAM で R_0 (一定となる加入量)と ϕ (残差の自己相関係数)については、リサンプリングは行わず、点推定値で固定した。過去最低親魚量はリサンプリングされたパラメータセットごとにわずかに異なるため、その値を折れ点 b とし、原点における傾き a も更新した。また、 ω_0 (加入のばらつき)もリサンプリングされた値を使用した。これにより、将来予測に影響する近年の資源量推定値や加入変動の大きさの不確実性を考慮できるため、従来のやり方よりも将来予測の不確実性を適切に評価できると考えられる。

2-3) 生物パラメータ

前述したように、本資源の年齢別体重と年齢別成熟割合は大きく経年変化してきた(図 1,2)。生物パラメータの参照期間を検討するために、各年の SPR_0 (漁獲がない状況下で加入 1 個体がどれくらいの親魚量になるかの値であり、1 個体あたりの繁殖ポテンシャルを測る指標)を目的関数とした変化点解析を実施した。R の changepoint パッケージ(Killick et al. 2022)において、平均と分散の変化に基づいて変化点を検出する関数 `cpt.meanvar` を用いたところ、4 つの時期(ここではフェーズと呼ぶ)に分けられた(図 4): ①1970~1986 年漁期、②1987~2014 年漁期、③2015~2016 年漁期、④2017~2023 年漁期。2013 年漁期の卓越年級発生以降、年齢別体重と年齢別成熟割合は著しく低下しており、2014~2015 年を移行期として、2017 年漁期以降、 SPR_0 は低い水準で推移していた。この結果に基づき、基本的な将来予測の設定には 2017~2023 年漁期の平均の体重と成熟割合を使用した(表 2)。なお、2024 年漁期の体重と成熟割合にも同様の値を使用して資源量推定を行っている。設定した生物パラメータの影響を調べるため、すべての年の平均を使用した場合は、変化点解析で分けられた別の時期の生物パラメータを使用した場合および近年の参照期間を変えた場合についても管理基準値案および将来予測の計算を行った(補足資料 2)。

2-4) 生物的管理基準値の候補

本資源の管理基準値案の算出および将来予測計算に使用する生物学的管理基準値には、YPR 基準として $F_{0.1}$ (YPR 曲線の原点における傾きの 10%の傾きを与えるときの F)を、SPR 基準として $F_{30\%SPR}$ 、 $F_{40\%SPR}$ 、 $F_{50\%SPR}$ (漁獲が無いときの加入 1 尾当たり親魚量の 30%、40%、50%を獲り残す F)を検討した。 F_{max} (加入 1 尾当たりの漁獲量が最大になる F)は無限大に推定されたため、候補から除外した。選択率は、体サイズの影響を反映すると考え、上で示した SPR_0 の変化点検出の結果に基づき、2017~2023 年漁期の年齢別漁獲死亡係数の平均のときの選択率を仮定した。

3.管理基準値案および将来予測

3-1) データセットおよび計算方法

表2に示した各種設定（自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重）のもと、将来予測を実施し、管理基準値案の計算を行った。現状の漁獲圧として2021～2023年漁期の平均としたが、選択率については、成長のフェーズが同じとされた2017～2023年漁期の年齢別漁獲係数の平均から求めたものと一致するとした（図5）。具体的には、2021～2023年漁期の平均の年齢別漁獲死亡係数から得られるSPRと一致する、年齢別漁獲死亡係数を2017～2023年漁期の選択率から求めた。

将来予測と管理基準値案の計算方法は、「令和6（2024）年度漁獲管理規則およびABC算定のための基本指針（FRA-SA2024-ABCWG02-01）」（水産研究・教育機構2024a）の1系資源の管理規則に則ったが、以下の3点で異なる設定を用いた。まず、1歳魚以上の資源尾数の過程誤差を考慮した点である。SAMでは、0歳（加入）だけでなく、1歳魚以上の資源尾数の過程誤差も推定しており、これは、漁獲以外の要因での減少率が年によって変化することを意味している。つまり、推定された漁獲死亡係数と固定した自然死亡係数から予測される資源尾数から、対数正規誤差でばらつく。

次に、将来予測において資源量推定の不確実性を考慮した。SAMで推定された結合精度行列から多変量正規分布を用いて乱数を発生させ、固定効果とランダム効果のリサンプリングを行った。ただし、前述の通り、再生産関係の頑健性を担保するため、加入量の幾何平均値と残差の自己相関については点推定値で固定した。そのため、将来の個体群動態で考慮されている不確実性は将来予測開始年（2024 漁期年）の年齢別資源尾数、年齢別資源尾数の過程誤差（ ω_a ）、HS型再生産関係のパラメータ（ a, b ）である。Fmsyの代替値を使用する場合は表2に示した選択率の下で将来予測を行ったが、現状の漁獲圧での予測の際は、年齢別漁獲死亡係数の不確実性を考慮した。

最後に、管理基準値案を求める際の親魚量や漁獲量には、平均値ではなく中央値を使用した。本資源において親魚量によらず加入量を一定としたときの、加入変動は大きく、対数正規分布の平均が中央値の2.3倍以上になる。平均以上の加入量は25%しか出現することは無いことになり、平均すると4年に1度程度で生じる高い加入が平均値を上を引っ張る状況になり、ひいては目標管理基準値案も稀な高い加入によって上昇することになる。また、パラメータ推定の不確実性を考慮しているため、リサンプリングで外れ値が生成された場合、平均値は影響されやすい。したがって、本資源では、候補となる生物学的管理基準値の下での将来予測を10,000回行い、平衡状態での親魚量の中央値を目標管理基準値の候補とした。

なお、1Bルールの将来予測においては、近年の加入量のリサンプリングを行うことがしばしばであるが（水産研究・教育機構2022a, 2022b）、本系群ではSAMですべての年のデータから推定された平均的な加入量の周りに、自己相関構造をもつ残差から毎年の加入量が生成されるという仮定を用い、加入量のリサンプリングは行わなかった。これは、(1) 近年の加入量は直近2年間（2023～2024 漁期年）を除き、比較的高い値であったことから、リ

サンプリングをすると加入量を高く見積もるリスクがあると考えたことと、(2) 2013 年漁期や 2018 年漁期といった卓越年級を含めるかどうかや、加入量の参照期間によって SBmsy proxy といった管理基準値が大きく変わりうること、(3) 近年に限定したリサンプリングだと加入量変動の不確実性を過小評価する可能性があること、が理由である。将来予測手法の詳細については補足資料 3 に示した。

3-2) 管理基準値案と禁漁水準案

生物学的管理基準値案の候補を比べると、F0.1, F30%SPR, F40%SPR, F50%SPR の順で漁獲圧は低くなり、親魚量の水準は高くなった (表 3)。本資源での Fmsy の代替値としては F50%SPR を採用し、その漁獲圧のときの SBmsy である 62.6 万トン为目标管理基準値案として選択した。F50%SPR を妥当と判断した根拠は次の 2 点である。①マサバ太平洋系群で得られているデータをもとにして、再生産関係を現実的にとりうる steepness の範囲で変化させたときに、その範囲内で最小となる長期的な漁獲量を最大化する F は、F41%SPR であった (Miyagawa and Ichinokawa, 2024)。再生産関係が不確実な状況下でも最小となる漁獲量を最大化させるということは、長期的な漁獲量損失のリスクを最も抑えることに相当し、この時の漁獲量は maximum minimum yield (MMY) と定義される。1B ルールで採用した加入量の仮定は、再生産関係に基づく加入量の仮定より不確実性が高いと考えられるため、少なくとも F41%SPR より低い F を採用するのが妥当と考えられる。②近年 (2017~2023 年) の生物特性値を将来予測に適用し、HS 型再生産曲線で Fmsy を求めた場合の F 値は F48%SPR であり、F50%SPR に近い値であった (補足資料 1)。

限界管理基準値の候補としては、1B ルールでは歴史的最低親魚量や 0.1SB0 (漁獲がないときの親魚量の 10%) が例示されている (水産研究・教育機構, 2024a)。マサバ太平洋系群では歴史的な親魚量の最低値は 4.2 万トンで、目標管理基準値案 62.6 万トンと比べて 1/10 未満の非常に低い値であり、漁獲圧を引き下げる閾値である限界管理基準値としては低すぎると考え、0.1SB0 (14.2 万トン) を本資源の限界管理基準値案として採用した。2023 年の親魚量の推定値は 14.4 万トンであり、限界管理基準値案と近い値となっている。禁漁水準案については、1B ルールを検討した MSE では、0 トンとしてもパフォーマンスに差が出なかったことから (宮川ほか 2022)、0 トンとした。管理基準値と年齢別漁獲尾数の関係を図 6 に示した。

F50%SPR における漁獲割合は、生物パラメータの参照期間を 2017~2023 年漁期としたベースケースでは 8.3%であったのに対し、全年 (1970~2023 年漁期) とした場合は 10.8% であり (補足表 2-1)、1A ルールよりも差は小さかった (補足表 1-2)。したがって、1A ルールよりも 1B ルールの方が頑健な管理基準値案が得られることが明らかになった。

3-3) 神戸プロット

目標管理基準値案である SBmsy proxy と、Fmsy の代替値である F50%SPR を基準にした神戸プロットを図 7 に示す。本系群における漁獲係数 (F 値) はすべての年で F50%SPR を

上回っていた。SBmsy proxy を上回っていたのは 1970～1981 年漁期と、2017～2019 年漁期のみであり、それ以外の年では SBmsy を下まわっていた。現状の親魚量（2023 年漁期の親魚量 14.4 万トン）は目標管理基準値案 SBmsy を下回っており、限界管理基準値（14.2 万トン）を上回っているが、ほぼ同水準である。現状の親魚量に対する目標管理基準値案および限界管理基準値案との比は、それぞれ 4.4、0.99 である。

3-4) 漁獲管理規則案

本資料で提案する漁獲管理規則は、限界管理基準値案および禁漁水準案となる親魚量を閾値として漁獲管理の基礎となる漁獲係数（F 値）を変えるルールであり、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準（0 トン）まで直線的に漁獲圧を下げる。F 値の上限は F50%SPR に調整係数 β を乗じたものである。本資源において 1B ルールを適用した場合の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を図 8a に、期待できる平均的な漁獲量との関係を図 8b に示す。図に例示した漁獲管理規則案の β は 1B ルールの標準値として推奨されている 0.7 を用いた（「令和 6 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)」より）。

3-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

(1) 将来予測の設定

令和 6 年度資源評価で推定された 2024 年漁期の資源量から、コホート解析の前進法に基づく将来予測計算を行った。2024 年漁期の漁獲圧は 2023 年漁期の漁獲圧と等しいと仮定した。現状の漁獲圧は令和 6 年度評価における 2021～2023 年漁期の漁獲圧を、2017～23 年の選択率の下で再計算したものである。2024 年漁期に予測される資源量と現状の漁獲圧から同年の漁獲量を予測した（18.4 万トン）。2025 年漁期以降の漁獲圧は、上述の漁獲管理規則案に従い、各年に予測される親魚量をもとに算出した。資源量の不確実性を考慮した 100 個のパラメータセットに対して 100 回ずつシミュレーションを行い（計 10,000 回）、それらの平均値と予測区間を求めることにより、不確実性の程度を示した（図 9、表 5～8）。将来予測手法の詳細については補足資料 3 に示した。

(2) 管理開始年（2025 年漁期）の予測値

2025 年漁期の平均親魚量は 15.0 万トンで、目標管理基準値案を下回り、限界管理基準値案を上回ると予測された（表 5～7）。漁獲管理規則案に基づき計算された 2025 年漁期の平均漁獲量は β を 0.7 とした場合には 5.0 万トン、 β を 1.0 とした場合には 7.0 万トンと予測された（表 8）。

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

管理開始から 5 年後および 10 年後の将来予測の結果を図 9 および表 9 に示す。現状の漁獲圧（F2021-2023）で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。 β を 0.7 とし

管理規則案に基づく管理を継続した場合、親魚量は 5 年後に 74.1 万トン（90%予測区間は 19.6 万～193.4 万トン）、10 年後に 134.9 万トン（90%予測区間は 13.4 万～452.2 万トン）と予測された（表 7、9）。 β を 1.0 とした場合には、5 年後に 64.2 万トン（90%予測区間は 16.2 万～170.6 万トン）、10 年後に 113.1 万トン（90%予測区間は 11.0 万～379.2 万トン）と予測された。親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は、 β が 0.4 以下で 5 年後に 50%を上回り、 β が 0.8 以下で 10 年後に 50%を上回った。現状の漁獲圧（F2021-2023）を継続した場合、管理開始から 10 年後（2035 年漁期）の親魚量の予測値は 36.0 万トン（90%予測区間は 2.1 万～128.4 万トン）であり、目標管理基準値案を上回る確率は 13%、限界管理基準値案を上回る確率は 55%と予測された。また、限界管理基準値を 10 年のあいだに一度でも下回る確率（リスク、表 9）は F2021-2023 の場合には 90%とされた一方、 β を 0.8 以下にするとその確率は 5-17%程度となった。

3-6) HS 型再生産関係を用いた場合の資源の将来予測

上記の将来予測では、 F_{current} で予測した場合の方が長期的な漁獲量の平均値は漁獲管理規則案による漁獲量を上回る結果となったが、加入量の平均値が親魚量によらずほぼ一定という設定の下では、親魚量の減少に伴う将来の漁獲量減少のリスク（成長乱獲）が生じないからである。本資源の選択率や年齢別体重、自然死亡係数といった設定では、 F_{max} が無限大になるため、加入量一定の下では漁獲圧が高いほど漁獲量が大きくなる（図 6）。しかし現実には、程度の大小はわからないものの、加入 1 尾あたりの親魚量が減るほど、再生産関係によって、期待される加入尾数は減り、その分だけ漁獲量も減ると考えられる（図 6 の灰色の網掛け部分）。

親魚量が低下すると加入量が減少するときの影響を調べるため、真の個体群動態が HS 型の再生産関係に基づくと仮定したときの将来予測も行った（補足資料 4）。その結果、現状の漁獲圧では親魚量や資源量が減少し、長期的な漁獲量が減少する一方で、漁獲管理規則案では親魚量や資源量の回復に伴い、漁獲量が徐々に増加することが予測された（補足図 4-1）。現状の漁獲圧を継続することのリスクおよび漁獲管理規則を適用することの有効性を示すには、このシナリオにおける将来予測の方が適しているかもしれない。なお、このシナリオにおいても、管理開始から 10 年後（2035 年漁期）に目標管理基準値案を達成する確率が 50%以上となるのは、 β を 0.8 以下とした場合であった（補足表 4-1）。

3-7) HS 型再生産関係を用いた場合の簡易 MSE

通常の将来予測は、各年の資源状態を完全に把握しているという想定の下で漁獲管理規則を適用している。しかし、実際は短期的な将来予測に基づいて生物学的許容漁獲量（ABC）を算出するため、実現する漁獲圧は、資源状態を完全に把握していると仮定したもとの漁獲管理規則からずれる。つまり、上記の将来予測では ABC 算定の不確実性を考慮できず、これが将来の持続可能性に関するリスクに影響する（市野川ほか 2022）。そこで、真の個体群動態が HS 型の再生産関係に従い、かつ ABC 算定の不確実性を考慮した簡易 MSE を実施した（補足資料 5）。その結果、将来の親魚量の期待値は ABC 算定の不確実性を無視した将来予測（補足表 4-3）とあまり変わらなかったものの、不確実性は大きくなり、

目標管理基準値案の達成確率は低下した（補足表 5-1）。したがって、10 年後に親魚量が目標管理基準値案以上となる確率が 50%となるのは、 β が 0.7 以下の場合であった（補足表 5-1）。また、資源量推定値が過大評価である場合や、将来の 1 歳魚以上の資源尾数の過程誤差が負になる場合の簡易 MSE では、資源の回復速度はさらに遅くなった（補足資料 6,7）。

3. まとめ

本資源では、年代による生物特性値の変化が顕著であり、1A ルールでは生物パラメータの設定によって将来予測が大きく左右され、かつ目標達成までの長期的な生物パラメータの予測が困難であることから、1A ルールは適用できないと判断した。このため、1B ルールの適用を提案するが、加入量の幾何平均値 49.6 億尾となる対数正規分布に従い、親魚量と独立に求められる（過去最低親魚量以下では親魚量 0 に向かって直線的に加入が減少する）ことを仮定した。F50%SPR を F_{msy} の代替値として使用し、F50%SPR で平衡状態まで将来予測したときの親魚量の中央値である 62.6 万トン为目标管理基準値として提案する。F50%SPR を F_{msy} の代替値として使用したのは、MMY (maximum minimum yield) の計算結果および、近年（2017～2023 年漁期）の生物特性値を将来予測に適用した場合の F_{msy} (F47%SPR) の計算結果に基づいている。限界管理基準値には、0.1%SB0 である 14.2 万トンを、禁漁水準には 0 トンをそれぞれ提案する。

現在（2023 年漁期）の本系群の親魚量（14.4 万トン）は目標管理基準値案以下であり、限界管理基準値案（0.1SB0、14.2 万トン）をわずかに上回る。目標管理基準値案を維持する漁獲割合は 8.3%、漁獲圧は F2021-2023 の 0.30 倍である（表 4）。1B ルールの標準値 $\beta=0.7$ を使用した場合、10 年後、親魚量は目標管理基準値案を 54%の確率で上回り、 β が 0.8 以下であれば、10 年後に 50%以上の確率で MSY 水準に維持されると予測される。しかし、1B ルールの有効性を検証した MSE では、真の F_{msy} と同じ F%SPR を F_{msy} の代替値として用いる際には $\beta=0.7$ を漁獲管理規則として適用した場合に、1A ルールの標準値である $\beta=0.8$ の場合と同等のパフォーマンスを示すことが明らかとなっている（宮川ほか 2022）。また、本資源においても、ABC 算定の不確実性を考慮すると、10 年後に親魚量が目標管理基準値案以上となる確率が 50%となるのは、 β が 0.7 以下の場合であった（補足表 5-1）。これらのことや、様々な不確実性を考慮した MSE の結果（補足資料 5-7）を踏まえると、1B ルールの標準値である $\beta=0.7$ より大きい漁獲管理規則の適用は困難と考えられる。上述の管理基準値（表 4）を使用し、 $\beta=0.7$ 以下とする漁獲管理規則を提案する。

4. 今後の検討事項

資源評価結果も含めた今後検討すべき課題として、令和 6 年度マサバ太平洋系群の資源評価（FRA-SA2024-SC16-01）の補足資料 11 に記載した。

5. 引用文献

Killick R, Haynes K, Eckley IA (2022). `_changepoint: An R package for changepoint analysis_`. R package version 2.2.4, <<https://CRAN.R-project.org/package=changepoint>>.

市野川桃子・西嶋翔太・向 草世香・黒田啓行・大下誠二 (2022) 改正漁業法下での様々な

代替管理規則の検討：マイワシ 2 系群を例に. 日本水産学会誌. DOI: 10.2331/suisan.21-00041.

Miyagawa M. and M. Ichinokawa (2024) What stock-per recruit target can be applied to Japanese fisheries resources under large uncertainties in the stock-recruitment relationship? *Fish. Sci.* **90**, 687–700.

水産研究・教育機構 (2022a) 令和 4 (2022) 年度ヒラメ日本海中西部・東シナ海系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. FRA-SA2022-BRP16-01, 水産研究・教育機構, 横浜, 130pp.

水産研究・教育機構 (2022b) 令和 4 (2022) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. FRA-SA2022-BRP17-01, 水産研究・教育機構, 横浜, 115pp.

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

水産研究・教育機構 (2024b) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート. FRA-SA2024-ABCWG01-05, 水産研究・教育機構, 横浜, XXpp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG01-02.pdf

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

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

宮川光代、市野川桃子、岡村寛 (2022) 我が国水産資源への F%SPR を用いた管理方策適用の有効性の検討(草案). FRA-SA2022-ABCWG01-01, 水産研究・教育機構, 横浜, 35pp

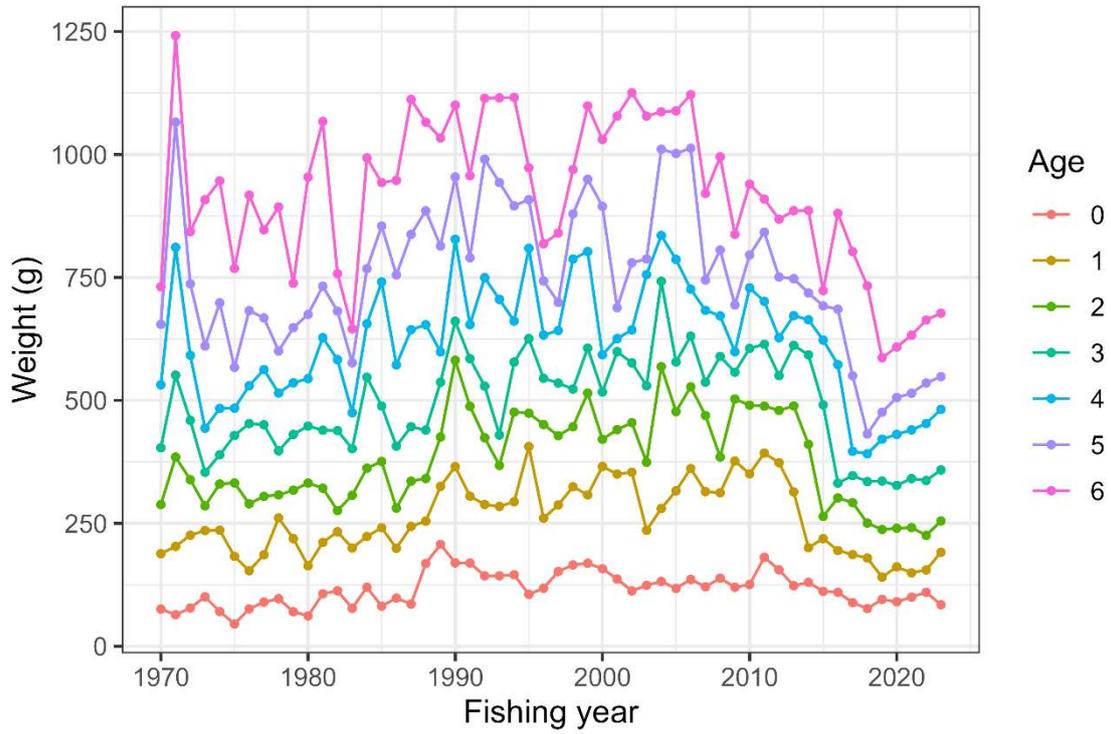


図 1. 年齢別体重の経年変化

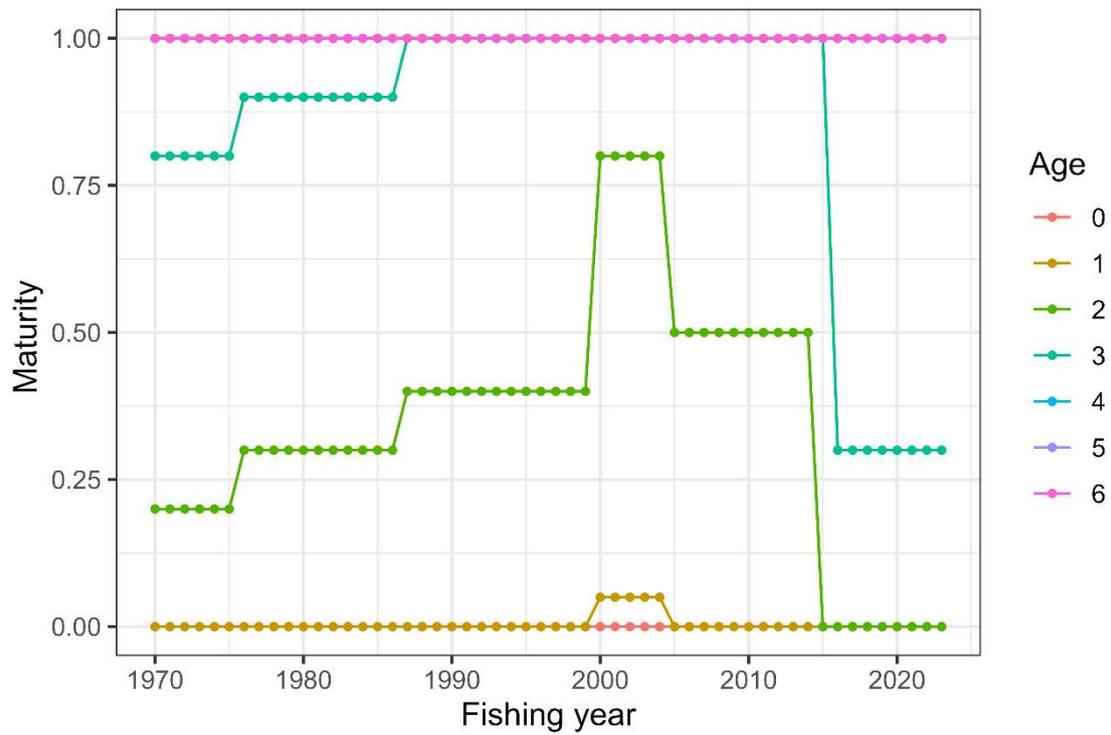


図 2. 年齢別成熟割合の経年変化

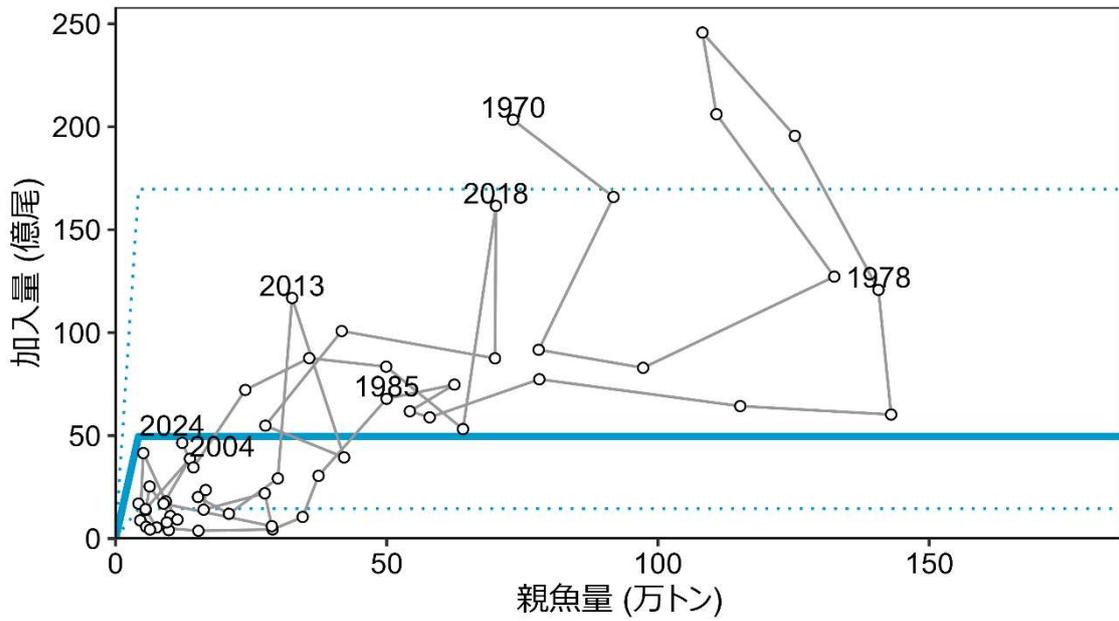


図 3. 1B ルールで適用した型再生産関係

折れ点の位置を過去の親魚量の最小値に固定したホッカー・スティック型再生産関係式を使用した。点線は 90% 予測区間を示す。

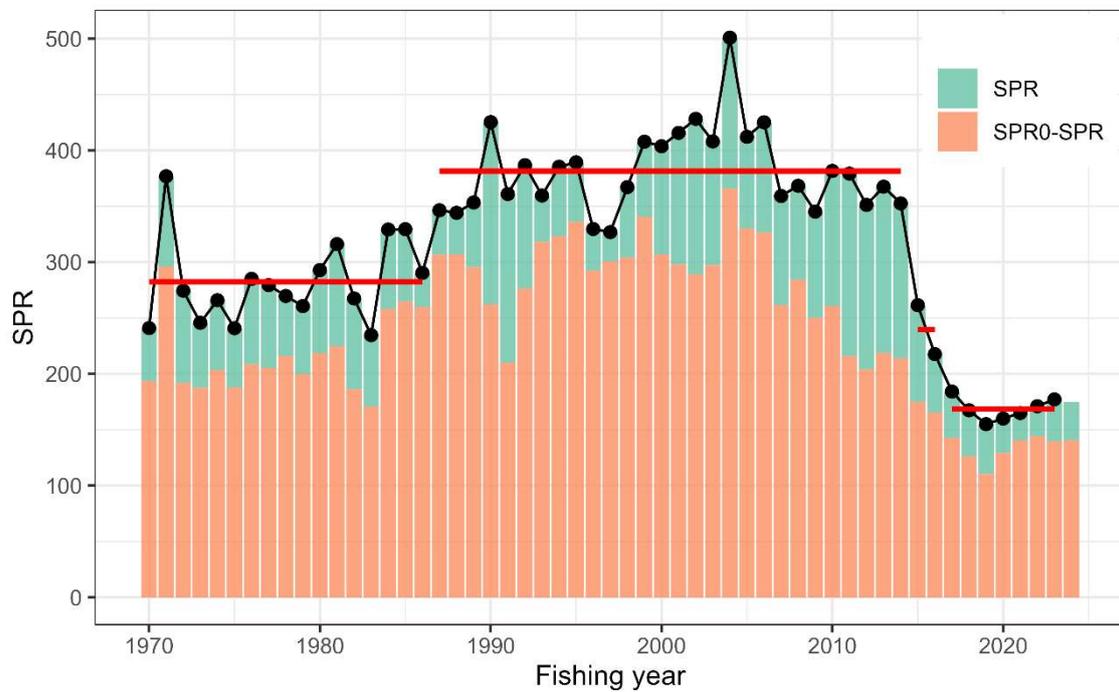


図 4. $SPR_0(g)$ の推移 (黒点) と変化点解析で検出された SPR_0 のフェーズ (赤線)。棒グラフの緑色の部分は SAM で推定された F の下で実現された SPR を表しており、残りの橙色の部分 (SPR_0-SPR) は漁獲によって減少した加入当たりの親魚量を示している。

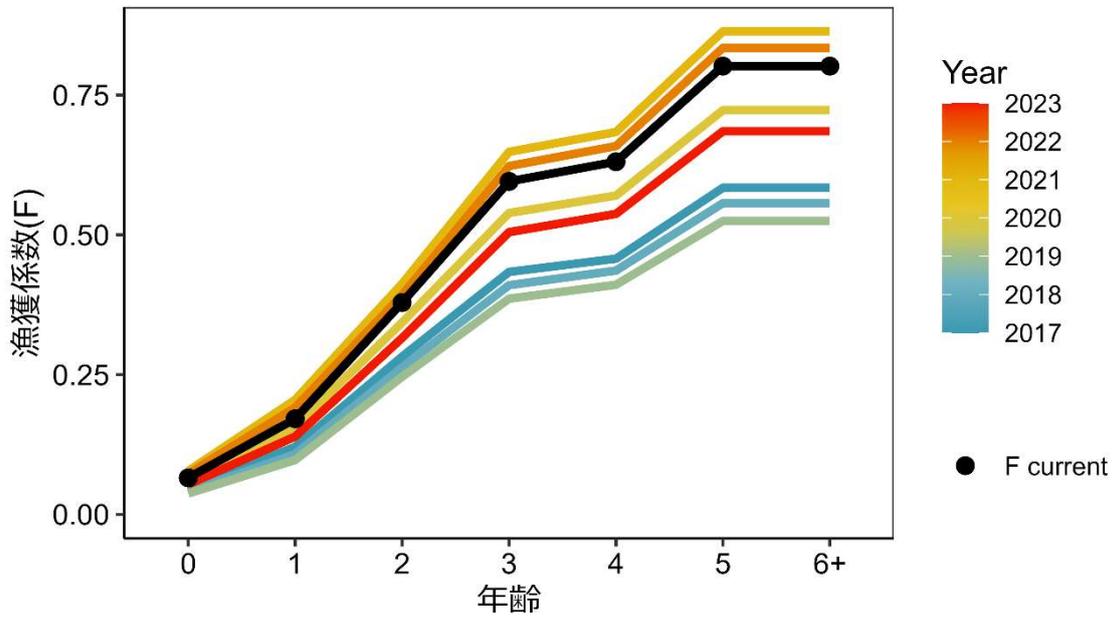


図 5. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

2017 年漁期以降の各年の年齢別 F 値を示す。黒線は現状の漁獲圧 (F2021-2023) であり、選択率は 2017~2023 年漁期の F 値の平均に等しいと仮定している。

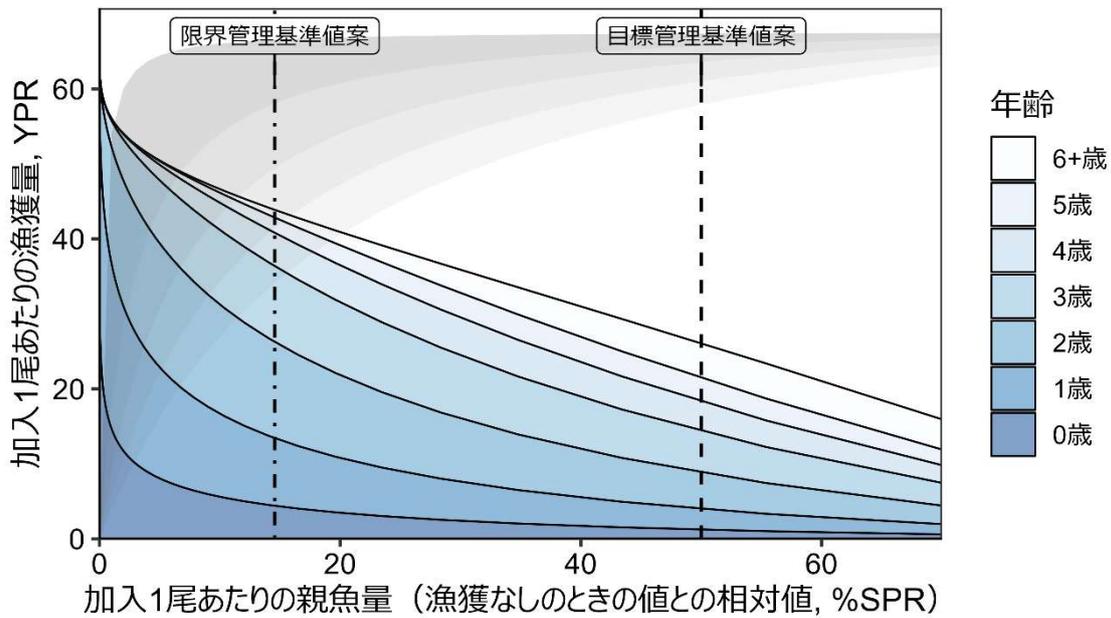


図 6. 管理基準値案と年齢別漁獲量曲線の関係

将来予測シミュレーションにおける平衡状態での%SPRあたりの年齢別YPRの平均値とそれぞれの管理基準値案の位置関係を示す。灰色の網掛け部分は不確実性を示し、灰色が濃い色ほど不確実性が高いことを表す。境界線は、BH再生産関係において $h=0.6, 0.7, \dots, 0.9, 0.99$ としたときの加入の期待値の相対値（軸の最大値を1とした場合）。再生産関係が明らかになったときの平均加入尾数とYPR曲線の積がMSYに相当する。目標管理基準値案（62.6万トン）はF50%SPRで漁獲したときの平衡状態の親魚量に相当し、限界管理基準値案は0.1SB0（14.2万トン）の位置を示す。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量（SB0）は142万トンである。

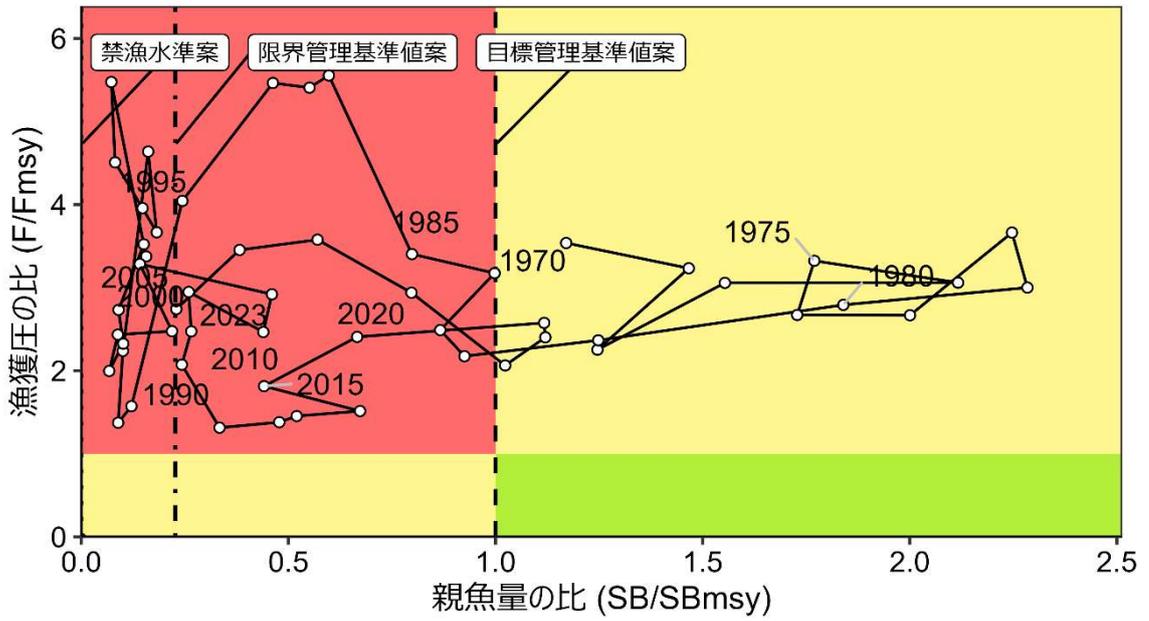
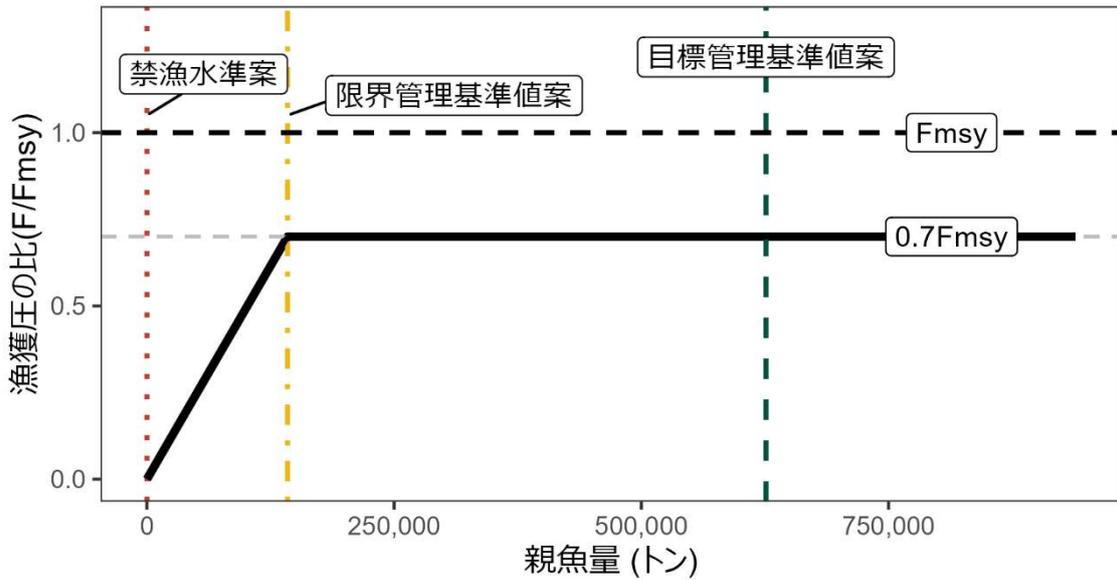


図 7. 神戸プロット

縦軸は各年の漁獲圧 F の F_{msy} proxy = $F_{50\%SPR}$ との比である。図中の目標管理基準値案、限界管理基準値案には、それぞれ、 $F_{50\%SPR}$ で漁獲したときの親魚量水準と $0.1SB_0$ 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

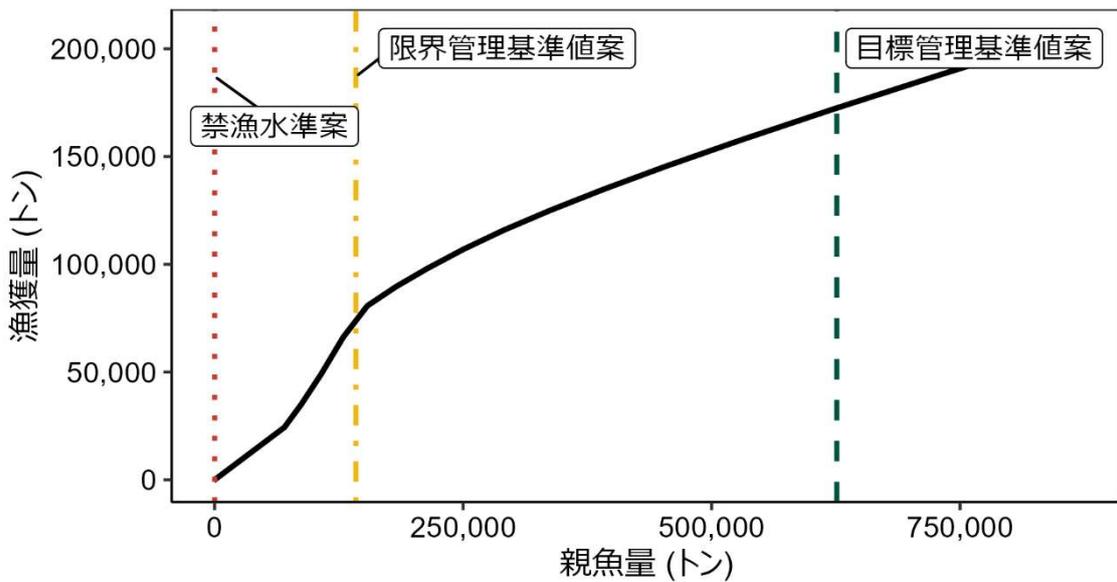


図 8. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は加入量が親魚量と独立という仮定のもと、F50%SPR で漁獲したときの平衡状態の親魚量 SBmsy proxy である。限界管理基準値案 (SBlimit) には 0.1SB0、禁漁水準案 (SBban) は 0 トンとした。調整係数 β には 0.7 を用いた。黒破線は Fmsy、灰色破線は 0.7Fmsy、黒太線は HCR、赤点線は禁漁水準案、黄一点鎖線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、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。

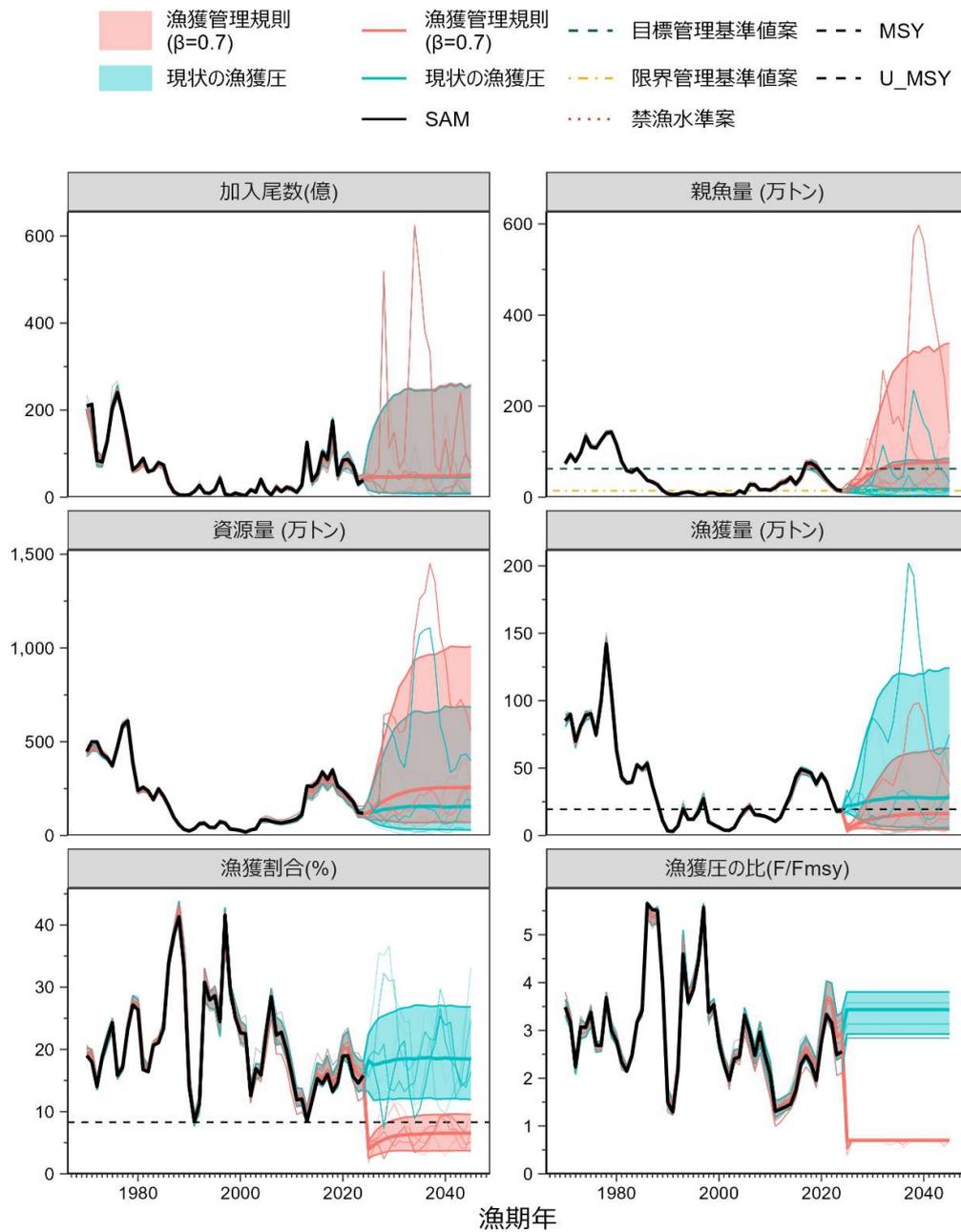


図9. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（青色）の比較

太実線は中央値、網掛けはシミュレーション結果の80%が含まれる80%予測区間、細線は3通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄一点鎖線は限界管理基準値案、赤点線は禁漁水準案を示す。漁獲量の図の黒破線は最大持続生産量MSYを、漁獲割合の図の黒破線は目標管理基準値案を維持する漁獲割合の水準(Umsy)を示す。2024年漁期の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧(F2021-2023)により仮定し、2025年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案(図8)に従うものとした。調整係数 β には0.7を用いた。

表 1. 再生産関係のパラメータ推定値

a は原点から折れ点までの傾き（万尾/トン）、 b は折れ点での親魚量（万トン）、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）、 ϕ は自己相関係数である。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ϕ
HS 型 ¹	SAM の推定パラメータを利用 ²	有	11.7	4.22	0.748	0.808

1: 最低親魚量を折れ点とする HS 型再生産関係

2: SAM で推定された加入量の幾何平均値 (\hat{R}_0) から、 $a = \hat{R}_0/b$ を求めた。S.D.と自己相関係数 ϕ は SAM で推定されたパラメータをそのまま使用した。

表 2. MSY proxy 管理基準値等の算出および将来予測計算に用いた各種設定と Fmsy proxy (F50%SPR)

年齢	選択率	Fmsy proxy (F50%SPR)	F2021-2023	平均体重 (g)	自然死亡係数	成熟割合
0 歳	0.08	0.02	0.06	92	0.80	0
1 歳	0.21	0.05	0.16	166	0.60	0
2 歳	0.47	0.11	0.33	249	0.51	0
3 歳	0.74	0.18	0.53	340	0.46	0.3
4 歳	0.79	0.19	0.55	431	0.43	1.0
5 歳	1.00	0.24	0.70	509	0.41	1.0
6 歳以上	1.00	0.24	0.70	672	0.40	1.0

平均体重と成熟割合は 2017～2023 年漁期の平均を使用した。現状の漁獲圧 (F2021-2023 ; 2021～2023 年の平均漁獲圧) と Fmsy proxy (F50%SPR) の選択率は、生物パラメータの参照期間に合わせて 2017～2023 年漁期の年齢別漁獲死亡係数から求めた。自然死亡係数は各年で使用されている年齢別死亡係数を用いた。

表 3. 各生物学的管理基準値案における平衡状態のときの親魚量の中央値、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する比、漁獲量の中央値、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、および現状の漁獲圧 (F2021-2023) に対する漁獲圧の比

生物学的管理基準値案	親魚量 (万トン)	SB0 に対する比	漁獲量 (万トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	現状の漁獲圧との比	
YPR 基準	F0.1	22.1	0.16	26.5	0.21	0.16	0.84
SPR 基準	F30%SPR	34.8	0.24	24.8	0.30	0.13	0.59
	F40%SPR	48.2	0.34	22.3	0.40	0.10	0.42
	F50%SPR	62.6	0.44	19.4	0.50	0.08	0.30

表 4. 選択した管理基準値案

管理基準値案	説明	親魚量 (万トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (万トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	漁獲圧 の比
目標管理基準値案	SBmsy proxy	62.6	0.44	19.4	50.0	0.08	0.30
限界管理基準値案	0.1B0	14.2	0.10	26.2	14.6	0.18	1.10
禁漁水準案	-	0	0	—	—	—	—
SBmsy proxy を維持 する漁獲圧	F50%SPR	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6+歳) =(0.02, 0.05, 0.11, 0.18, 0.19, 0.24, 0.24)					

表 5. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	0	0	0	1	9	23	33	39	42	45	46	47
0.9			0	2	10	25	35	41	45	47	48	49
0.8			0	2	12	28	38	44	47	50	51	52
0.7			0	2	14	30	41	47	50	52	53	54
0.6			0	3	16	34	44	50	53	55	56	57
0.5			0	3	18	37	47	53	56	58	59	60
0.4			0	4	20	40	51	57	59	61	62	62
0.3			1	4	23	44	54	60	62	64	65	65
0.2			1	5	26	48	58	64	66	67	68	68
0.1			1	6	30	52	62	67	69	70	71	71
0.0			1	7	34	56	66	70	72	73	74	74
現状の漁獲圧			0	0	0	3	6	9	10	12	13	13

β を 0.0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2021-2023) から予測される 18.4 万トンとし、2025 漁期年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2021-2023、 $\beta = 3.33$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 6. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	13	53	93	98	99	99	97	95	93	92	92	91
0.9			94	98	99	99	98	96	94	94	93	92
0.8			94	99	100	99	98	97	95	95	94	93
0.7			95	99	100	99	99	97	96	95	95	94
0.6			95	99	100	100	99	98	97	96	95	95
0.5			95	99	100	100	99	98	97	97	96	96
0.4			96	99	100	100	100	99	98	97	97	96
0.3			96	100	100	100	100	99	99	98	98	97
0.2			96	100	100	100	100	100	99	98	98	98
0.1			97	100	100	100	100	100	99	99	99	98
0.0			97	100	100	100	100	100	100	99	99	99
現状の漁獲圧			54	43	48	51	52	54	54	55	55	55

β を 0.0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2021-2023) から予測される 18.4 万トンとし、2025 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2021-2023、 $\beta = 3.33$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 7. 将来の平均親魚量（万トン）

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	12.1	15.0	23.9	29.6	39.2	51.5	64.2	77.0	87.9	97.9	106.9	113.1
0.9			24.3	30.5	40.7	53.8	67.3	81.0	92.7	103.3	113.1	119.8
0.8			24.7	31.4	42.4	56.2	70.6	85.2	97.7	109.2	119.8	127.0
0.7			25.1	32.4	44.1	58.8	74.1	89.7	103.2	115.5	127.0	134.9
0.6			25.5	33.4	45.9	61.5	77.9	94.6	109.0	122.4	134.8	143.5
0.5			25.9	34.4	47.8	64.4	81.9	99.7	115.4	129.8	143.3	152.9
0.4			26.3	35.5	49.7	67.5	86.1	105.3	122.2	137.8	152.5	163.1
0.3			26.8	36.6	51.8	70.7	90.6	111.2	129.5	146.5	162.6	174.3
0.2			27.2	37.7	53.9	74.1	95.5	117.6	137.5	156.0	173.6	186.6
0.1			27.7	38.9	56.2	77.7	100.6	124.5	146.1	166.3	185.7	200.2
0.0			28.1	40.1	58.6	81.5	106.2	131.9	155.4	177.6	198.9	215.1
現状の漁獲圧					15.8	14.5	16.2	19.7	23.5	27.3	30.1	32.7

β を 0.0～1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧（F2021-2023）から予測される 18.4 万トンとし、2025 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧（F2021-2023、 $\beta = 3.33$ に相当）で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 8. 将来の平均漁獲量（万トン）

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	18.4	7.0	9.8	12.9	16.4	19.7	23.1	26.2	28.6	30.9	32.7	34.0
0.9		6.3	8.9	11.9	15.1	18.3	21.5	24.5	26.8	29.0	30.7	32.0
0.8		5.7	8.1	10.8	13.8	16.8	19.8	22.6	24.8	26.9	28.5	29.8
0.7		5.0	7.2	9.7	12.4	15.2	17.9	20.6	22.6	24.6	26.2	27.3
0.6		4.3	6.2	8.5	11.0	13.4	15.9	18.3	20.2	22.0	23.5	24.6
0.5		3.6	5.3	7.2	9.4	11.6	13.8	15.9	17.6	19.2	20.6	21.6
0.4		2.9	4.3	5.9	7.7	9.6	11.5	13.3	14.8	16.2	17.3	18.2
0.3		2.2	3.3	4.6	6.0	7.4	8.9	10.4	11.6	12.7	13.7	14.5
0.2		1.5	2.2	3.1	4.1	5.1	6.2	7.3	8.1	9.0	9.7	10.2
0.1		0.7	1.1	1.6	2.1	2.7	3.2	3.8	4.3	4.7	5.1	5.4
0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧			22.6	24.4	28.6	33.8	38.8	43.6	47.6	50.2	52.6	54.2

β を 0.0～1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2024 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧（F2021-2023）から予測される 18.4 万トンとし、2025 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧（F2021-2023、 $\beta = 3.33$ に相当）で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 9. 将来予測結果のまとめとリスク評価

β	親魚量が目標管理 基準値案を上回る 確率		平均親魚量 (万トン)		平均漁獲量 (万トン)			リスク (10年 間で一 度でも 起こる 確率)	管理期間 10年間で 予測され る漁獲量 の平均年 変動 (AAV)
	5年後	10年後	5年後	10年後	1年目	5年後	10年後	親魚量 が限界 管理基 準値案 を下回 る	
	2030年 漁期	2035年 漁期	2030年 漁期	2035年 漁期	2025年 漁期	2030年 漁期	2035年 漁期		
1.0	33%	47%	64.2	113.1	7.0	23.1	34.0	22%	27%
0.9	35%	49%	67.3	119.8	6.3	21.5	32.0	20%	28%
0.8	38%	52%	70.6	127.0	5.7	19.8	29.8	17%	28%
0.7	41%	54%	74.1	134.9	5.0	17.9	27.3	15%	28%
0.6	44%	57%	77.9	143.5	4.3	15.9	24.6	13%	28%
0.5	47%	60%	81.9	152.9	3.6	13.8	21.6	12%	28%
0.4	51%	62%	86.1	163.1	2.9	11.5	18.2	10%	28%
0.3	54%	65%	90.6	174.3	2.2	8.9	14.5	9%	29%
0.2	58%	68%	95.5	186.6	1.5	6.2	10.2	7%	29%
0.1	62%	71%	100.6	200.2	0.7	3.2	5.4	6%	29%
0.0	66%	74%	106.2	215.1	0.0	0.0	0.0	5%	-
現状の 漁獲圧	9%	18%	28.6	44.5	19.6	40.9	51.9	90%	26%

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した結果をまとめた。漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度（1年目）の 2025 年漁期の値と、5年間および 10年間管理を行った後の値（2030 年漁期および 2035 年漁期）を示した。比較のため、現状の漁獲圧（F2021-2023、 $\beta = 3.33$ に相当）で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足資料 1 1A ルールの検討

最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量の算出および将来予測計算に使用する再生産関係として、ホッケー・スティック (HS) 型の再生産関係 (Clark et al. 1985) を検討した。本資源では再生産関係における密度依存効果が明瞭ではなく、ベバートン・ホルト型やリッカー型を用いると、SBmsy が歴史的な値よりも大幅に高くなり、その水準における加入量が外挿値となるため、候補には含めなかった。また、隠れマルコフモデルを用いたレジームシフトの検出 (Tang et al. 2021) を試みた際、本系群では ジームシフトは検出されなかったため (西嶋ほか 準備中) 再生産関係における ジームシフトは検討しなかった。

本資源の資源評価には状態空間資源評価モデル (SAM) を使用しており、SAM では資源量推定と同時に再生産関係を推定する。ただし、従来の HS 再生産関係は折れ点で微分できないことから解析することが困難である。そのため、折れ点での曲がり方をなめらかに smooth HS (SHS) 型の再生産関係 (Mesnil and Rochet 2010) を使用した。この SHS 型再生産関係はヨーロッパの資源評価で既に使用されている (Trijoulet et al. 2022)。SHS 型再生産関係は親魚量 B_y の関数として、加入量 R_y を以下の式で表す：

$$R_y = 0.5a \left[B_y + \sqrt{b^2 + \frac{\gamma^2}{4}} - \sqrt{(B_y - b)^2 + \frac{\gamma^2}{4}} \right] \quad (\text{Smooth hockey stick, SHS})$$

a は折れ点までの再生産曲線の傾き (万尾/トン)、 b は折れ点となる親魚量 (万トン) を表す。 γ は折れ点付近での滑らかさを表す定数であり、ここではパラメータが収束した $\gamma=1$ に固定した。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 (補足表 1-1)。残差の自己相関は検討しなかった。推定された SHS 型再生産関係を補足図 1-1 に示す。

推定された再生産関係および資源評価結果 (由上ら (印刷中) の補足資料 12 参照) を使用し、1A ルールにおける MSY 管理基準値を検討した。生物パラメータを平均する期間として、変化点解析で検出された 2017~2023 年の平均ほか (シナリオ名: 1A ベースケース)、すべての年を平均した場合 (全年平均)、近年の参照年を 2021~2023 年 (感度シナリオ 1) と 2015~2023 年 (感度シナリオ 2) にした場合、変化点解析の他のフェーズを使用した場合 (高水準フェーズ: 1970~1986 年、低水準フェーズ: 1987~2014 年、移行期フェーズ: 2015~2016) を検討した。1A ルールにおける管理基準値の計算方法は、水産研究・教育機構 (2024) に従い、親魚量や漁獲量の平均値を管理基準値の候補として使用した。また、ここでは資源量推定値の不確実性を考慮しなかった。

解析の結果、MSY を達成するときの漁獲圧 (Fmsy) や漁獲割合 (Umsy) は生物パラメータによって大きく変化することが明らかになった (補足表 1-2)。2017~2023 年の平均を使用した 1A ベースケースでは、現状の漁獲圧に対する Fmsy の比は 0.36、Umsy は 9.0%であったのに対し、全年平均の場合は現状の漁獲圧に対する Fmsy の比は 0.92、Umsy は 16.6%であった。さらに、資源量が低水準で体重や成熟割合が高かった低水準フェーズでは Fcurrent に対する Fmsy の比は 1.25、Umsy は 19.3%と、1A ベースケースの Fmsy に比べてはるかに高くなった。この結果は、長期的に漁獲量を最大化する漁獲圧が設定する生物パラメータによって大きく変化することを示している。

一方で、目標管理基準値の候補となる SBmsy や、限界管理基準値の候補である

PGY0.6_lowerについては、生物パラメータによってあまり変わらなかった。これは、SBmsyはHS型再生産関係の折れ点より高い水準に現れることになり、生物パラメータよりも再生産関係の影響を強く受けることになる。したがって、体重や成熟割合が低い現在の生物パラメータを設定した場合でも、SBmsyは折れ点より高い153万トンとなり、これは過去の親魚量の最大値を超える水準である。

1A ベースケースのシナリオと全年平均のシナリオの神戸プロットを補足図 1-2, 1-3 に示す。1A ベースケースシナリオでは過去のすべての年でFmsyを上回り、SBmsyを下まわっていた（補足図 1-2）。全年平均シナリオでは、過去にFmsyを下回っていた年も現れる一方で（1990～91、2002、2011～2015）、すべての年でSBmsyを下回った（補足図 1-3）。

得られた管理基準値において、 $\beta=0.8$ を用いたときの将来予測の結果を補足図 1-4 に示す。現状の漁獲圧では資源量が減少する一方で、漁獲管理規則の下では資源量が緩やかに回復するという予測が得られた。しかし、漁獲管理規則の適用直後で漁獲量が大きく減少し、2025年漁期の漁獲量はわずか1.3万トンとなった。漁獲管理規則における β を変化させた場合の管理基準値を上回る確率、親魚量の期待値、漁獲量の期待値を補足表 1-3 から 1-7 に示した。資源量は緩やかに回復するものの、10年後（2035年漁期）の時点で目標管理基準値に達する確率は $\beta=0.8$ だと16%であり、達成確率が50%以上となるためには $\beta=0.1$ 以下とする必要がある。限界管理基準値を5年後（2030年漁期）に50%以上で達成するためには $\beta=0.2$ 以下である必要がある。現状の体重や成熟割合が継続する場合、目標を達成するのは長期間を要し、その間漁獲圧を大きく削減することになることが明らかになった。

全年平均シナリオにおける将来予測結果を補足図 1-5 および補足表 1-7 から 1-10 に示す。2017～2023年漁期の平均の年齢別体重と年齢別成熟割合を使用した場合の現状（2021～2023年漁期）の漁獲圧に対するFmsyの比は0.36だったのに対し（MSY時の漁獲割合9.0%）、すべての年の平均の年齢別体重と年齢別成熟割合を使用した場合は0.92であり（MSY時の漁獲割合16.6%）、生物パラメータによってFmsyが大きく変化することが明らかになった。将来予測において全期間の平均の体重と成熟割合を仮定したことにより、資源量は急速に回復する（補足図 1-5）。また、ベースケースよりも高い体重と成熟割合を仮定したことから、2025年漁期の漁獲量も高くなり、 $\beta=0.8$ で16.9万トンであった（補足表 1-10）。10年後に目標管理基準値案を上回る確率は $\beta=0.7$ 以下で50%を上回った。このシナリオはあくまで、生物パラメータの影響の大きさを把握するために行ったものであり、急速に体重と成熟割合が回復することを想定しているため、楽観的かつ非現実的なシナリオと考えている。

引用文献

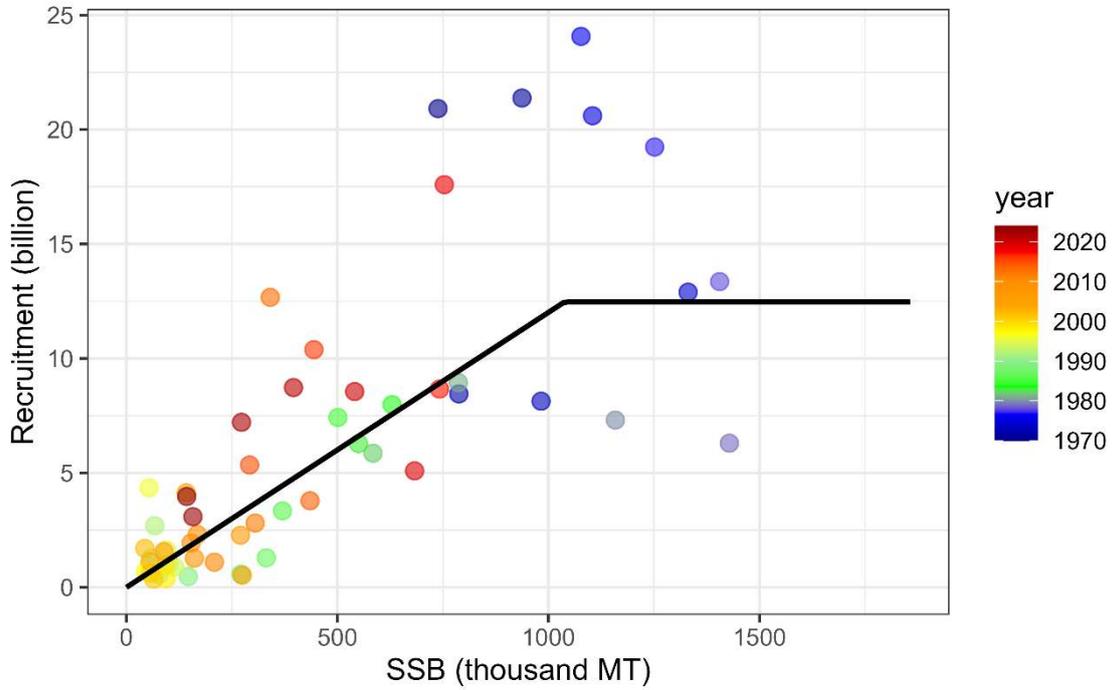
水産研究・教育機構 (2024) 令和 6 (2024) 年度 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート. FRA-SA2024-ABCWG02-04.

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

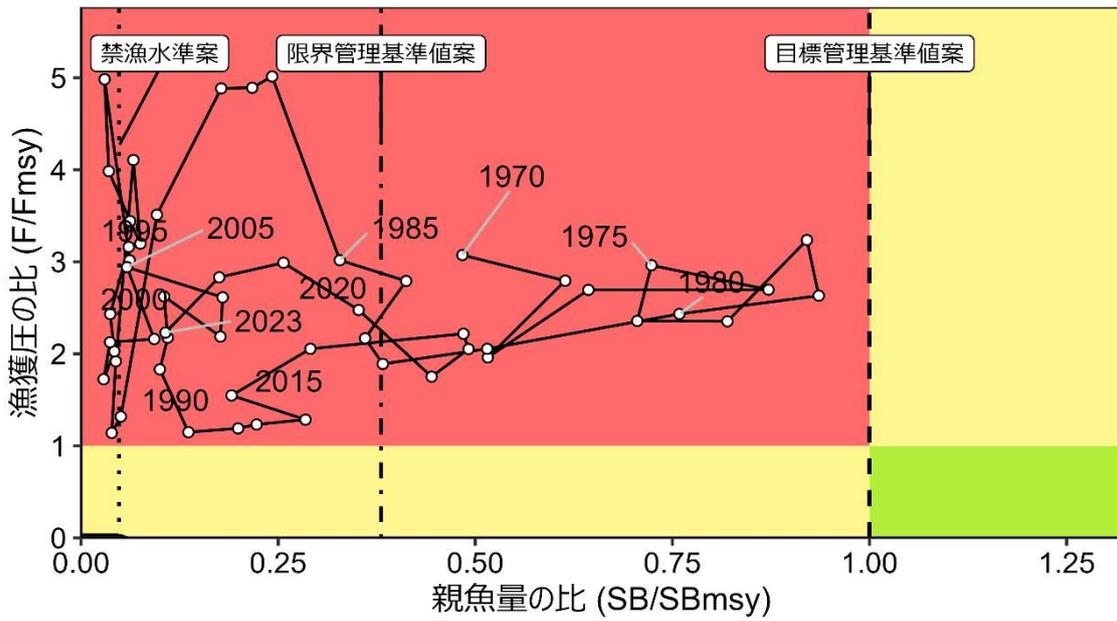
Mesnil B., and M. Rochet (2010) A continuous hockey stick stock-recruit model for estimating MSY reference points. *ICES J. Mar. Sci.* **67**, 1780-1784.

Trijoulet, V., C.W. Berg, D. C. M. Miller, A. Nielsen, A. Rindorf, and C. M. Albertysen (2022) Turning

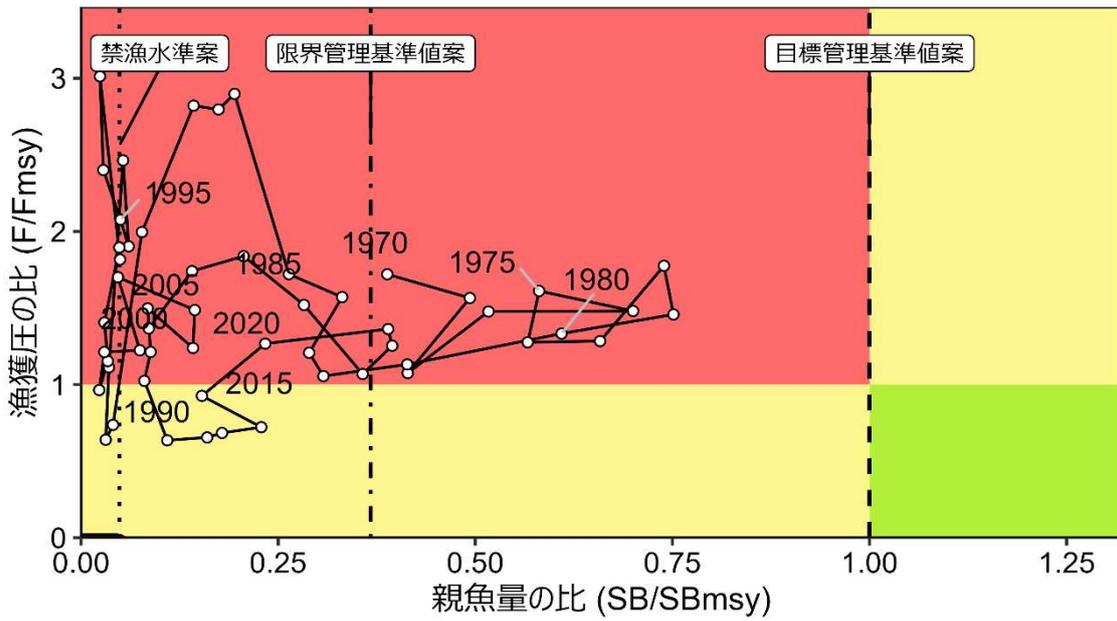
reference points inside out: comparing MSY reference points estimated inside and outside the assessment model. ICES J. Mar. Sci. **79**, 1234-1244.



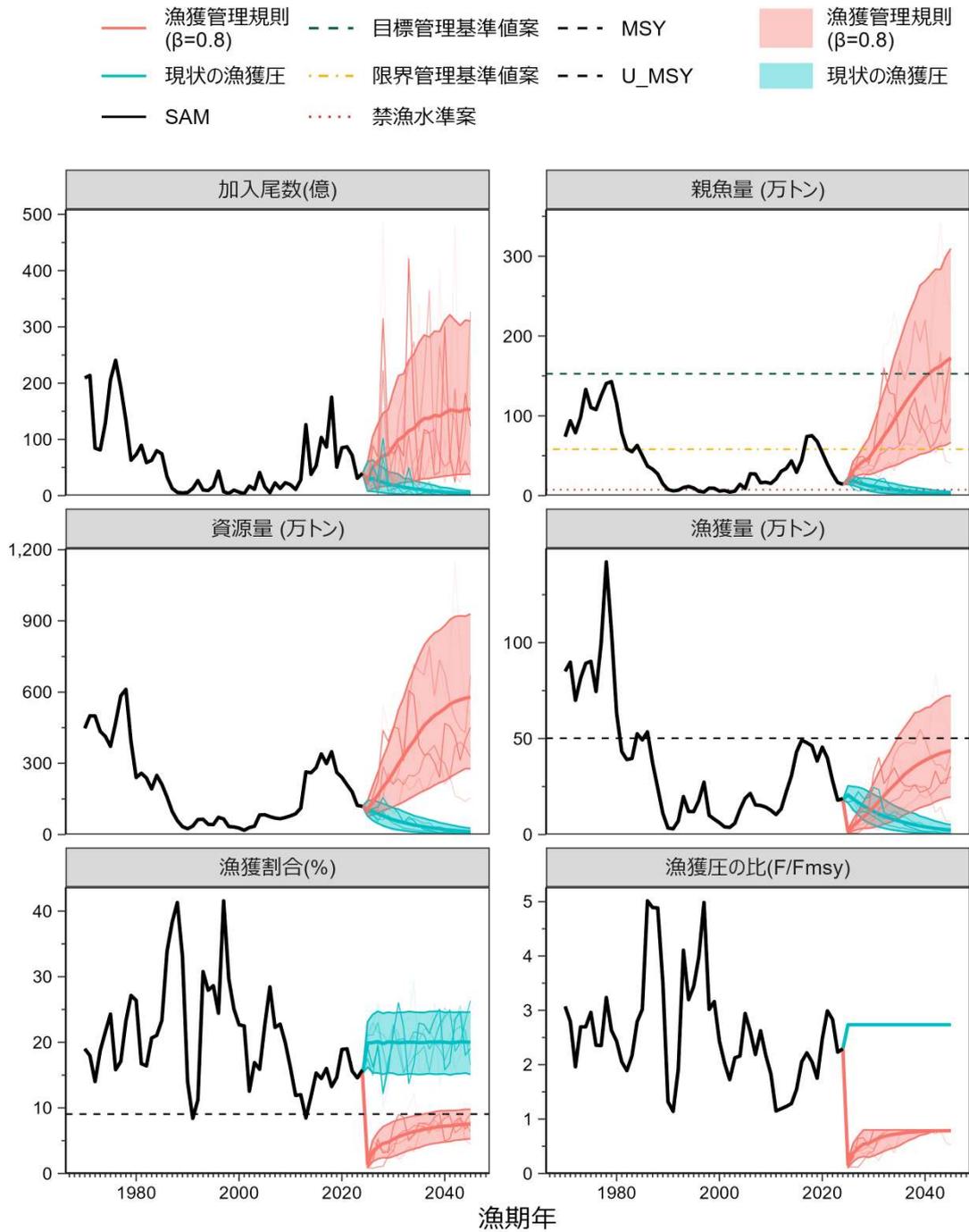
補足図 1-1. 1A ルールに使用した HS 型再生産関係
 詳細は由上ら (2024, FRA-SA2024-SC16-01) の補足資料 12 を参照のこと。



補足図 1-2. 1A ベースケースシナリオにおける神戸プロット



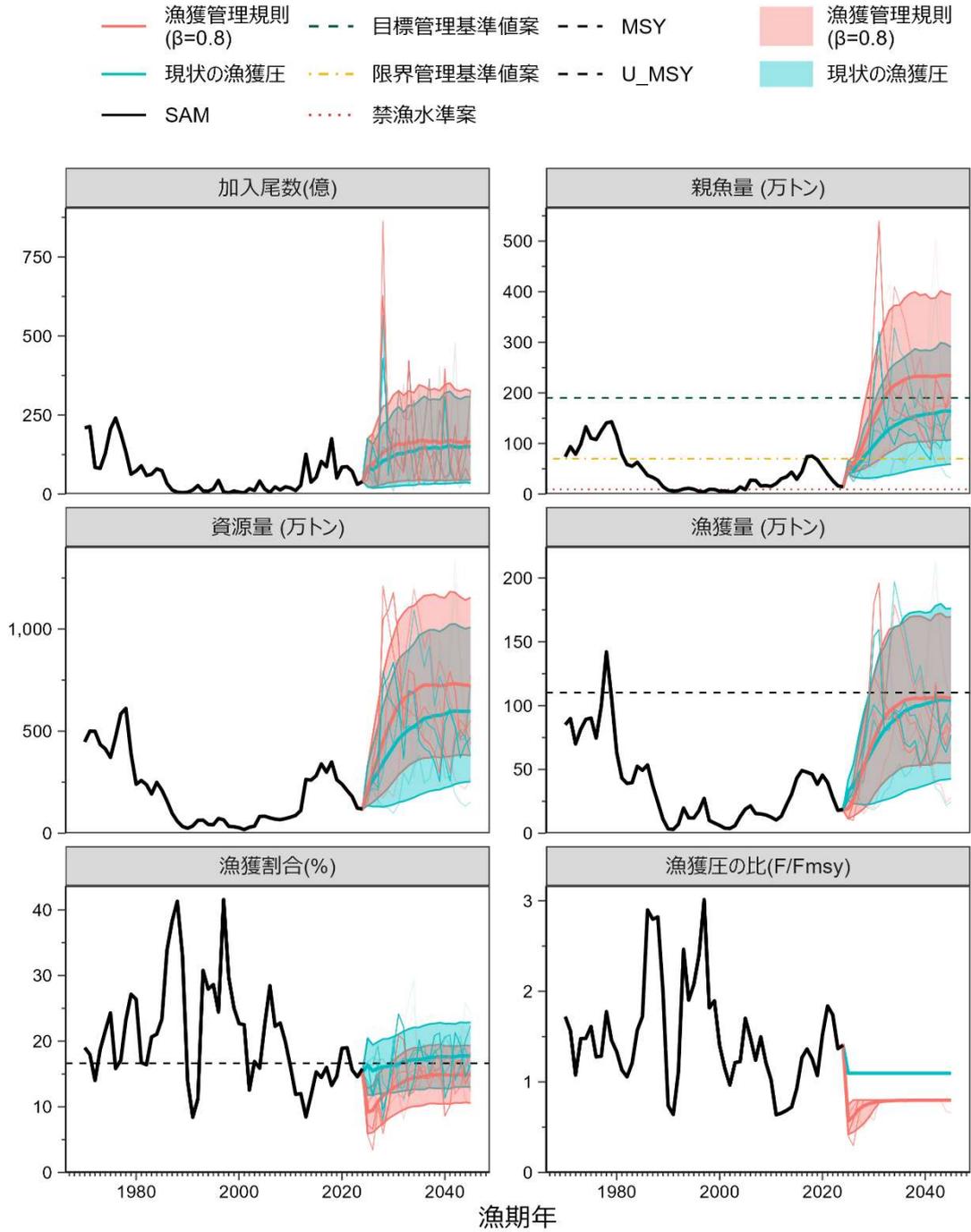
補足図 1-3. 全年平均シナリオにおける神戸プロット



補足図 1-4 1A ルールのベースケースシナリオで算出した管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（青色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 80%が含まれる 80%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄一点鎖線は限界管理基準値案、赤点線は禁漁水準案を示す。漁獲量の図の黒破線は最大持続生産量 MSY を、漁獲割合の図の黒破線は目標管理基準値案を維持する漁獲割合の水

準 (Umsy) を示す。2024 年漁期の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2021-2023) により仮定し、2025 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案 (図 5) に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。



補足図 1-5. 1A ルールの全年平均シナリオで算出した管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（青色）の比較

補足表 1-1. Smooth HS 型再生産関係のパラメータ推定値

a は原点から折れ点までの傾き（万尾/トン）、 b は折れ点での親魚量（万トン）、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）、 ϕ は自己相関係数である。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	B	S.D.	ϕ
Smooth HS 型	SAM による推定	無し	1.20	103.7	0.784	0

補足表 1-2. 生物パラメータの参照期間を変化させたときの管理基準値案

シナリオ名	1A ベースケース	全年平均	感度シナリオ 1	感度シナリオ 2	高水準 フェーズ*	低水準 フェーズ*	移行期 フェーズ*
生物パラメータ 参照期間	2017~2023	1970~2023	2021~2023	2015~2023	1970~1986	1987~2014	2015~2016
SSB _{msy} (B _{target})	153 万トン	190 万トン	153 万トン	157 万トン	172 万トン	206 万トン	174 万トン
F _{msy} /F _{cur}	0.36	0.92	0.38	0.41	0.76	1.25	0.56
U _{msy}	9.0%	16.6%	9.1%	9.9%	15.8%	19.3%	12.2%
%SPR _{msy}	47%	32%	46%	44%	35%	29%	38%
MSY	50 万トン	110 万トン	51 万トン	56 万トン	85 万トン	141 万トン	78 万トン
PGY0.6_low er (Blimit)	58 万トン	70 万トン	58 万トン	60 万トン	65 万トン	73 万トン	65 万トン
PGY0.1_low er (Bban)	7.4 万トン	9.2 万トン	7.4 万トン	7.7 万トン	8.9 万トン	9.6 万トン	8.5 万トン
SSB0	392 万トン	695 万トン	396 万トン	423 万トン	613 万トン	840 万トン	538 万トン

補足表 1-3. 1A ルールのベースケースシナリオにおいて将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	5	8	11
0.9			0	0	0	0	1	3	4	6	10	13
0.8			0	0	0	0	1	3	6	8	12	16
0.7			0	0	0	0	1	4	7	10	14	19
0.6			0	0	0	0	2	4	8	12	17	23
0.5			0	0	0	0	2	5	9	15	21	28
0.4			0	0	0	0	2	6	11	18	25	33
0.3			0	0	0	1	3	7	14	21	30	39
0.2			0	0	0	1	3	9	16	25	36	45
0.1			0	0	0	1	4	10	19	30	41	51
0.0			0	0	0	1	5	12	23	36	48	57
現状の漁獲圧			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足表 1-4. 1A ルールのベースケースシナリオにおいて将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	0	0	1	3	9	14	26	36	44	50	56	61
0.9			1	3	11	16	28	39	48	55	61	66
0.8			1	3	12	17	31	42	53	60	65	71
0.7			1	3	13	19	33	46	57	64	70	75
0.6			1	4	15	22	37	50	61	68	74	79
0.5			1	4	17	24	40	54	65	72	78	82
0.4			1	5	18	27	43	58	69	76	82	86
0.3			1	5	21	30	47	61	72	80	85	89
0.2			1	6	23	33	51	65	76	83	88	91
0.1			1	6	25	36	55	69	79	86	91	94
0.0			1	7	28	40	58	73	82	89	93	95
現状の漁獲圧			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足表 1-5. 1A ルールのベースケースシナリオにおける将来の親魚量の期待値 (万トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	14.3	16.7	28.8	35.0	40.3	42.1	49.6	57.2	64.7	71.3	78.9	85.9
0.9			28.9	35.4	41.2	43.3	51.3	59.7	68.2	75.9	84.6	92.8
0.8			29.0	35.8	42.0	44.5	53.2	62.4	72.0	80.9	91.0	100.6
0.7			29.2	36.2	42.9	45.9	55.2	65.3	76.2	86.6	98.3	109.5
0.6			29.3	36.7	43.8	47.3	57.3	68.5	80.8	92.9	106.4	119.4
0.5			29.4	37.1	44.8	48.8	59.7	72.0	86.0	99.9	115.5	130.7
0.4			29.5	37.6	45.8	50.4	62.2	75.9	91.7	107.8	125.8	143.3
0.3			29.6	38.1	46.9	52.2	64.9	80.1	98.0	116.6	137.3	157.5
0.2			29.7	38.5	48.0	54.0	67.9	84.7	104.9	126.4	150.2	173.4
0.1			29.8	39.0	49.2	56.0	71.2	89.8	112.6	137.2	164.6	191.3
0.0			30.0	39.5	50.4	58.1	74.7	95.3	121.1	149.4	180.7	211.2
現状の漁獲圧					17.5	15.2	13.9	11.9	10.9	9.7	8.8	7.8

補足表 1-6. 1A ルールのベースケースシナリオにおける将来の漁獲量の期待値 (万トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	21.2	1.6	4.7	7.3	9.9	11.8	15.0	18.1	21.1	23.9	26.6	29.1
0.9		1.5	4.3	6.7	9.3	11.2	14.3	17.3	20.3	23.2	25.9	28.5
0.8		1.3	3.9	6.2	8.6	10.5	13.4	16.4	19.3	22.2	25.0	27.5
0.7		1.1	3.4	5.5	7.8	9.7	12.4	15.2	18.1	20.9	23.7	26.2
0.6		1.0	3.0	4.9	7.0	8.7	11.3	13.9	16.6	19.3	22.0	24.4
0.5		0.8	2.5	4.2	6.1	7.7	10.0	12.4	14.9	17.4	19.9	22.1
0.4		0.7	2.0	3.5	5.1	6.5	8.5	10.6	12.8	15.0	17.3	19.3
0.3		0.5	1.5	2.7	4.0	5.1	6.8	8.5	10.3	12.2	14.0	15.7
0.2		0.3	1.0	1.8	2.8	3.6	4.8	6.0	7.4	8.8	10.2	11.4
0.1		0.2	0.5	0.9	1.4	1.9	2.5	3.2	4.0	4.7	5.5	6.2
0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧			19.6	17.6	15.9	14.1	12.7	11.4	10.2	9.1	8.2	7.3

補足表 1-7. 1A ルールの全年平均シナリオにおいて将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	0	0	0	1	5	9	14	19	24	28	31	33
0.9			0	1	5	11	17	24	30	34	38	40
0.8			0	1	6	13	21	29	36	41	45	48
0.7			0	1	7	16	26	35	44	49	54	56
0.6			0	1	9	19	31	43	53	59	63	66
0.5			0	2	10	23	38	51	61	68	72	75
0.4			0	2	12	28	46	60	70	77	80	83
0.3			0	2	15	33	54	68	78	84	87	89
0.2			0	2	18	40	62	77	85	90	93	95
0.1			0	3	21	48	70	84	91	95	96	98
0.0			0	4	26	57	78	90	95	97	99	99
現状の漁獲圧			0	0	3	5	8	11	14	17	20	22

補足表 1-8. 1A ルールの全年平均シナリオにおいて将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	0	3	7	34	54	67	75	81	85	88	89	91
0.9			9	38	59	72	80	85	88	91	93	94
0.8			11	43	64	76	84	89	92	94	96	96
0.7			14	47	69	80	88	92	95	96	97	98
0.6			17	52	74	85	91	95	97	98	99	99
0.5			20	57	78	89	94	97	98	99	99	100
0.4			24	64	83	92	96	98	99	99	100	100
0.3			28	69	87	95	98	99	100	100	100	100
0.2			33	74	90	96	99	99	100	100	100	100
0.1			37	79	93	98	99	100	100	100	100	100
0.0			41	84	96	99	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	2	20	36	44	53	59	64	68	71	74		

補足表 1-9. 1A ルールの全年平均シナリオにおける将来の親魚量の期待値（万トン）

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	14.3	49.3	52.5	68.0	87.3	103.8	121.8	138.4	152.8	163.9	171.6	176.9
0.9			53.8	70.2	91.8	111.2	132.4	151.8	168.7	181.5	190.5	196.5
0.8			55.2	72.8	96.7	119.6	144.4	167.3	186.9	201.7	212.1	218.7
0.7			56.7	75.5	102.2	129.0	158.2	185.0	207.8	224.9	236.8	244.1
0.6			58.2	78.5	108.3	139.7	173.9	205.3	231.8	251.7	265.2	273.4
0.5			59.7	81.8	115.1	151.8	191.8	228.6	259.6	282.6	298.3	307.4
0.4			61.4	85.4	122.7	165.4	212.3	255.5	291.7	318.7	337.0	347.5
0.3			63.0	89.4	131.2	180.8	235.7	286.5	329.0	361.0	382.9	395.5
0.2			64.7	93.7	140.7	198.2	262.4	322.3	372.7	411.2	438.2	454.1
0.1			66.5	98.4	151.3	217.8	292.9	363.7	424.2	471.5	505.8	527.0
0.0			68.3	103.6	163.1	240.0	327.7	411.9	485.4	545.0	590.0	619.4
現状の漁獲圧			45.0	55.4	69.3	79.2	91.4	103.5	114.9	124.4	131.6	137.2

補足表 1-10. 1A ルールの全年平均シナリオにおける将来の漁獲量の期待値（万トン）

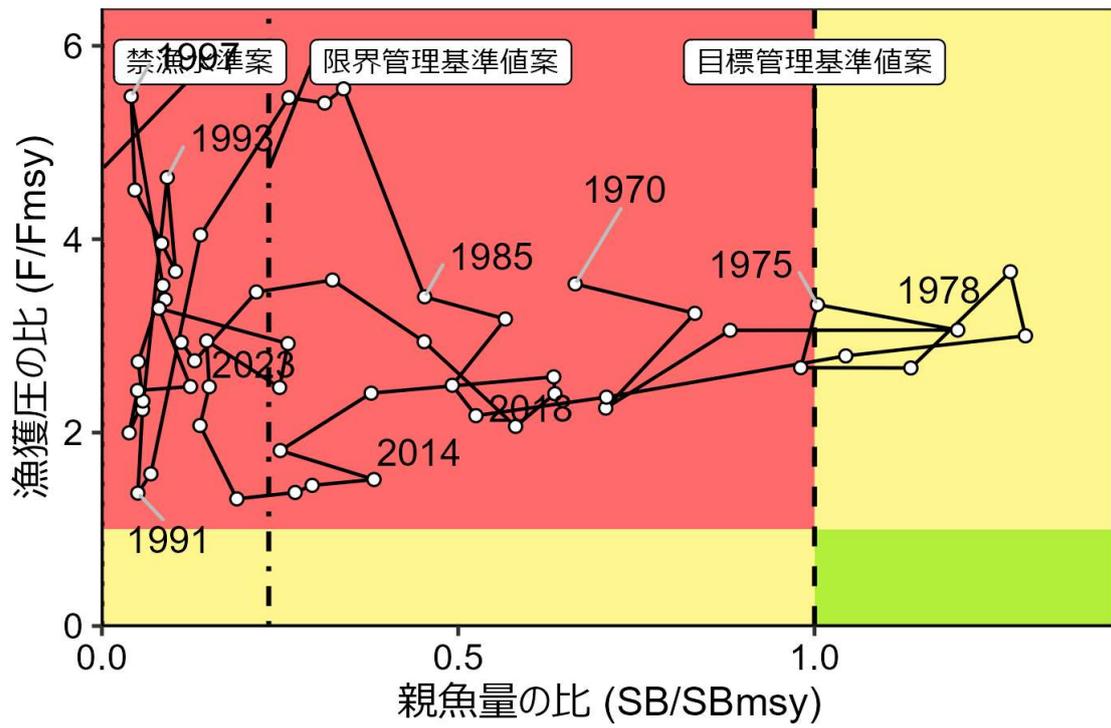
β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	21.2	20.7	27.4	41.6	54.0	64.7	75.4	84.2	91.1	96.4	100.3	102.7
0.9		18.8	26.0	39.8	52.1	63.1	74.1	83.2	90.3	95.8	99.8	102.1
0.8		16.9	24.4	37.5	49.7	60.8	72.1	81.3	88.6	94.1	98.1	100.4
0.7		15.0	22.6	34.9	46.8	57.9	69.1	78.5	85.8	91.3	95.2	97.4
0.6		13.0	20.4	31.9	43.2	54.1	65.1	74.3	81.6	87.1	90.9	93.0
0.5		11.0	17.9	28.3	38.8	49.2	59.8	68.7	75.7	81.0	84.7	86.7
0.4		8.9	15.1	24.1	33.5	43.0	52.8	61.1	67.8	72.8	76.3	78.2
0.3		6.7	12.0	19.3	27.2	35.4	43.9	51.2	57.2	61.8	65.0	66.7
0.2		4.6	8.4	13.7	19.6	25.9	32.5	38.3	43.2	46.9	49.6	51.2
0.1		2.3	4.4	7.3	10.6	14.3	18.1	21.6	24.6	27	29	30
0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧		31.4	35.1	42.7	50.1	57.0	64.9	71.8	77.8	82.8	86.9	89.8

補足資料 2 生物パラメータを変えたときの 1B ルールの管理基準値案および将来予測結果

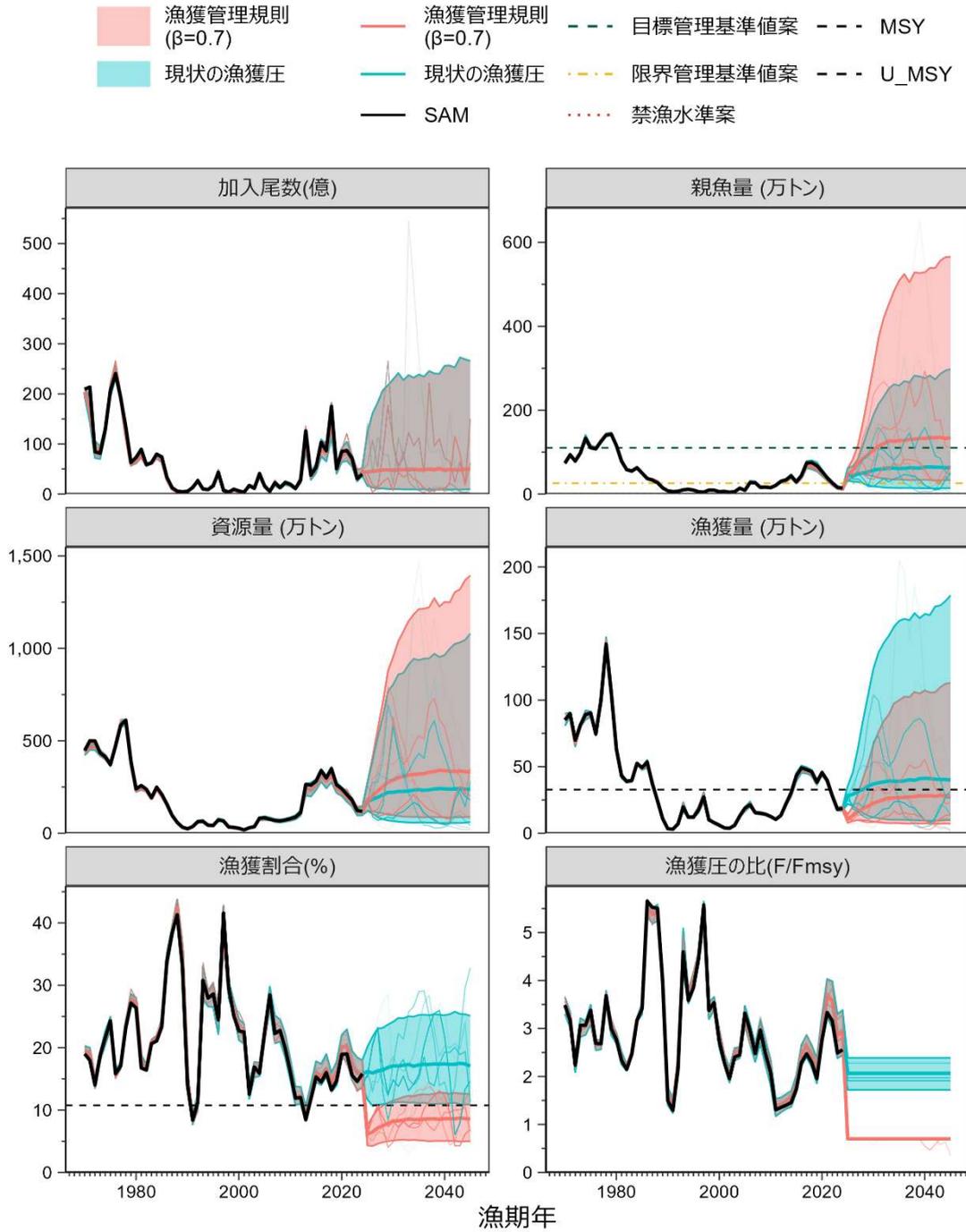
1B ルールにおいて、生物パラメータの参照期間を変化させた場合のシナリオにおいて管理基準値案を求め、将来予測を実施した。生物パラメータの参照期間は 1A ルールと同様のシナリオを用意した（補足資料 1）。生物パラメータ以外の変更は、行っていない。各シナリオにおける管理基準値案の結果を補足表 2-1 に示す。目標管理基準値案の算出に使用した F50%SPR の現状の漁獲圧に対する比および漁獲割合は、1A ルールに比べると、シナリオ間で大きな差がなく頑健であった。一方で、目標管理基準値案は生物パラメータの影響で大きく変化し、全年平均シナリオでは目標管理基準値案は、過去の親魚量の範囲を上回る（補足図 2-1）。

全年平均シナリオにおいて、将来予測を実施した結果を補足図 2-2 および補足表 2-2 から 2-5 に示した。本文に示した 1B ベースケースシナリオに比べ、全年平均シナリオでは資源量の回復が速く、目標管理基準値案の達成確率、親魚量の期待値、漁獲量の期待値は高かった。これらのことから、目標管理基準値案や将来予測において生物パラメータの影響は大きいものの、目標管理基準値案における漁獲圧や漁獲割合については、1A ルールと比べると頑健であり、生物パラメータの不確実性が高 本資源にお てはでは 1B ルールを使用することが望ましいと考えられる。

1A ルールと 1B ルールにおける再生産関係と同時に図示し、さらにはベースケースシナリオにおける replacement line を加えたものを補足図 2-3 に示した。replacement line とは、親魚量を維持する加入量を表した直線である。F50%SPR のもとでの replacement line は、1A ルールの HS 型再生産関係における原点と屈曲点を結ぶ直線の傾きを下回っており、1A ルールの再生産関係のもとで加入が決まる場合でも、親魚量の回復が期待される。しかし、それより漁獲圧が高い F40%SPR のもとでの replacement line は、1A ルールの再生産関係における原点と屈曲点を結ぶ直線の傾きをわずかに下回っているだけであり、親魚量の回復速度は遅くなり、加入量の減少や体重や成熟割合のさらなる低下といったことが起こると親魚量が減少する可能性が高いと予想される。

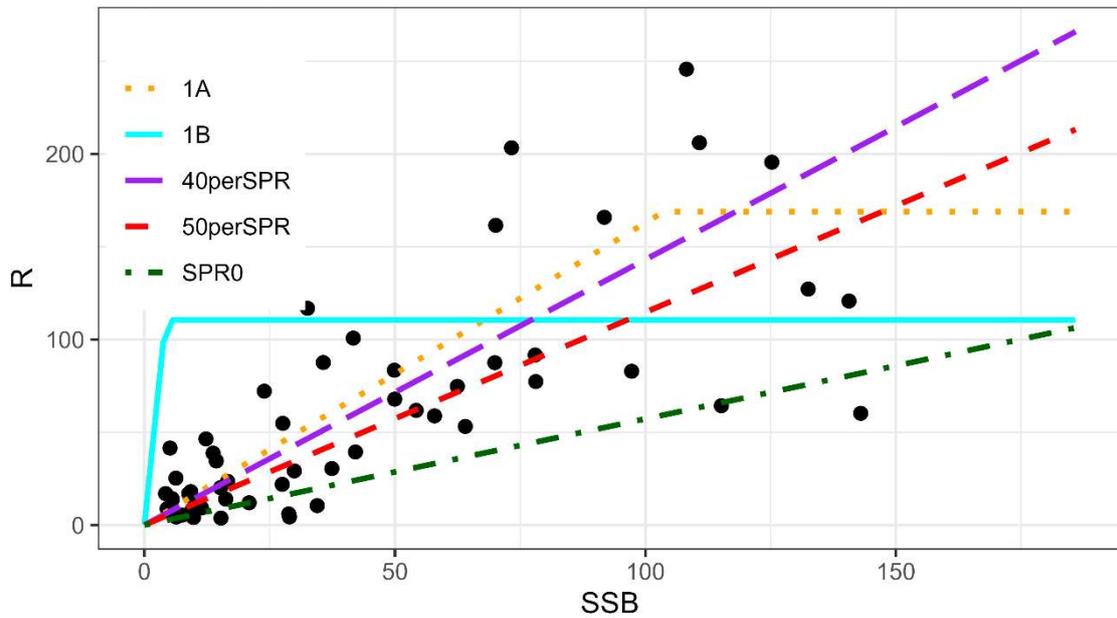


補足図 2-1. 1B ルールで全年平均シナリオにおける神戸プロット



補足図 2-2. 1B ルールで全年平均シナリオにおける将来予測

太実線は中央値、網掛けはシミュレーション結果の 80%が含まれる 80%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。β=0.7 としたときの漁獲管理規則の結果を示した。



補足図 2-3. 再生産関係とベースケースシナリオにおける生物パラメータを使用したときの replacement line

replacement line とは、親魚量を現状の状態に維持するために必要な加入量を表した直線であり、加入量がこの線を上回れば親魚量が増加し、下回れば減少する。これは、原点を通る傾き $1/SPR$ の直線であり、漁獲がないときの $SPR0$ の場合（緑色、1点鎖線）、目標管理基準値の算出に使用した $50\%SPR$ の場合（赤色、破線）、それより高い漁獲圧の一例として $40\%SPR$ の場合（紫色、長鎖線）を示した。生物パラメータはベースケースシナリオである 2017～2023 年漁期の平均を使用した。再生産関係は 1A ルール（オレンジ色、点線）のものと 1B ルール（水色、実線）のものを示した。なお、2つの再生産関係には、replacement line との比較では適切だと考えられる加入量の算術平均値を示したため、幾何平均値を示した図（図 3, 補足図 2-1）よりも高い加入量となっている。

補足表 2-1. 1B ルールにおいて生物パラメータの参照期間を変えた場合の管理基準値案

シナリオ名	1B ベース ケース	全年平均	感度シナリオ1	感度シナリオ2	高水準期 フェーズ ^g	低水準期 フェーズ ^g	移行期 フェーズ ^g
生物パラメータ 参照期間	2017~2023	1970~2023	2021~2023	2015~2023	1970~1986	1987~2014	2015~2016
SSB_F0.1	22.1 万トン	63.8 万トン	23.4 万トン	25.9 万トン	60.7 万トン	81.3 万トン	39.9 万トン
SSB_F30% SPR	34.8 万トン	60.6 万トン	35.0 万トン	37.4 万トン	55.6 万トン	71.3 万トン	46.7 万トン
SSB_F40% SPR	48.2 万トン	84.6 万トン	48.4 万トン	52.1 万トン	77.8 万トン	100.4 万トン	65.6 万トン
SSB_F50% SPR	62.6 万トン	110.3 万トン	62.8 万トン	67.6 万トン	101.1 万トン	130.9 万トン	84.8 万トン
F50%SPR/F cur	0.30	0.43	0.31	0.31	0.40	0.49	0.34
U_F50% SPR	8.3%	10.8%	8.4%	8.5%	10.9%	11.5%	9.2%
Catch_F50 %SPR	19.4 万トン	32.7 万トン	19.9 万トン	20.9 万トン	28.3 万トン	39.7 万トン	25.6 万トン
10%SSB0	14.2 万トン	25.8 万トン	14.3 万トン	15.3 万トン	23.6 万トン	31.2 万トン	19.5 万トン

補足表 2-2. 1B ルールの全年平均シナリオにおいて将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	0	0	1	9	24	34	40	44	46	48	48	49
0.9			1	10	26	36	42	47	49	50	50	50
0.8			1	11	28	38	45	49	51	53	53	53
0.7			1	13	31	40	48	51	53	55	55	55
0.6			1	14	34	43	50	54	56	58	58	58
0.5			1	16	36	47	54	57	60	61	61	60
0.4			2	17	40	50	57	60	62	63	64	63
0.3			2	20	44	54	60	64	64	65	66	66
0.2			2	23	47	59	64	67	68	68	69	70
0.1			3	26	51	62	68	71	71	72	72	73
0.0			3	29	56	67	71	74	75	75	76	77
現状の漁獲圧			0	3	12	18	24	28	29	29	30	30

補足表 2-3. 1B ルールの全年平均シナリオにおいて将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		
1.0	0	98	99	100	99	97	95	93	93	92	91	92		
0.9			100	100	99	98	96	94	94	93	93	92		
0.8			100	100	100	99	97	95	95	94	94	93		
0.7			100	100	100	99	98	96	95	95	95	94		
0.6			100	100	100	99	98	97	96	96	96	95		
0.5			100	100	100	100	99	98	97	97	97	96	96	
0.4			100	100	100	100	100	99	98	97	97	97	97	
0.3			100	100	100	100	100	99	98	98	98	98	97	
0.2			100	100	100	100	100	99	99	99	99	98	98	
0.1			100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99	
0.0			100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	
現状の漁獲圧					95	94	89	84	81	80	79	78	78	79

補足表 2-4. 1B ルールの全年平均シナリオにおける将来の親魚量の期待値 (万トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		
1.0	12.1	46.1	56.4	71.6	93.5	116.6	138.0	159.1	173.0	185.3	196.0	199.8		
0.9			57.5	73.8	97.0	121.4	144.1	166.6	181.7	195.1	206.6	211.0		
0.8			58.6	76.1	100.6	126.5	150.7	174.7	191.2	205.8	218.3	223.4		
0.7			59.7	78.4	104.5	131.9	157.8	183.4	201.4	217.5	231.1	237.1		
0.6			60.8	80.9	108.5	137.7	165.4	192.9	212.7	230.3	245.3	252.3		
0.5			62.0	83.5	112.9	143.9	173.6	203.2	225.0	244.4	260.9	269.2		
0.4			63.2	86.2	117.4	150.5	182.4	214.4	238.5	260.1	278.4	288.1		
0.3			64.4	89.0	122.3	157.7	192.0	226.6	253.3	277.4	297.8	309.3		
0.2			65.7	91.9	127.4	165.3	202.4	240.0	269.7	296.7	319.7	333.3		
0.1			67.0	95.0	132.8	173.5	213.8	254.8	287.9	318.3	344.2	360.4		
0.0			68.3	98.2	138.6	182.4	226.1	270.9	308.1	342.5	372.0	391.4		
現状の漁獲圧					46.7	53.2	66.1	80.2	92.8	105.1	111.6	117.5	123.1	123.4

補足表 2-5. 1B ルールの全年平均シナリオにおける将来の漁獲量の期待値（万トン）

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	18.4	15.0	19.1	24.6	30.7	36.7	42.2	47.4	50.6	53.7	56.0	56.9
0.9		13.6	17.5	22.8	28.6	34.3	39.6	44.6	47.8	50.8	53.2	54.2
0.8		12.2	15.9	20.9	26.3	31.8	36.8	41.6	44.7	47.7	50.0	51.0
0.7		10.8	14.3	18.9	23.9	29.0	33.7	38.2	41.3	44.2	46.4	47.5
0.6		9.3	12.5	16.7	21.3	25.9	30.3	34.5	37.4	40.2	42.3	43.4
0.5		7.8	10.6	14.3	18.4	22.6	26.5	30.3	33.0	35.6	37.6	38.7
0.4		6.3	8.7	11.9	15.3	18.9	22.3	25.7	28.1	30.4	32.2	33.2
0.3		4.8	6.7	9.2	12.0	14.9	17.6	20.4	22.5	24.4	25.9	26.9
0.2		3.2	4.6	6.3	8.3	10.4	12.4	14.4	16.0	17.5	18.6	19.4
0.1		1.6	2.3	3.3	4.4	5.5	6.6	7.7	8.6	9.4	10.1	10.5
0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧		28.4	31.9	38.4	46.0	53.6	60.0	65.9	68.5	71.7	73.9	74.2

補足資料 3 将来予測の方法

SAM の個体群動態では、1B ルールの基本設定である加入量が親魚量によらないという仮定に基づき、加入量が 1 次の自己相関に従うと仮定して、解析を行った（由上ら 印刷中、FRA-SA2024-SC16-01）：

$$\log N_{0,y+1} \sim \text{Normal}(\log R_0 + \phi[\log N_{0,y+1} - \log R_0], \omega_0^2), \quad (1)$$

ここで、 $N_{0,y}$ は y 年の加入量、 R_0 は加入量の幾何平均値、 ϕ は自己相関係数、 ω_0^2 は加入量の過程誤差の分散である。SAM においてパラメータは、 $\hat{R}_0 = 49.6$ [億尾]、 $\hat{\phi} = 0.81$ 、 $\hat{\omega}_0 = 0.75$ と推定され、自己相関が強く、加入変動が大きい傾向にあった。

1B ルールを適用するには当たっては、折れ点を固定した HS 型再生産関係を使用するが、本資源では過去最低親魚量 ($\hat{b} = 4.2$ [万トン]) を折れ点とした。折れ点以上で加入量の幾何平均値が SAM の推定値 \hat{R}_0 (49.6 億尾) と一致するように、原点における傾きは $\hat{a} = 11.8$ [万尾/トン] とした。自己相関係数と過程誤差は SAM で推定された値を用いた (表 1)。

なお、本資源では将来予測および管理基準値計算に資源量推定値の不確実性を考慮するために、SAM で得られた結合精度行列 (joint precision matrix) から固定効果とランダム効果のリサンプリングを行ったが、その際、データの更新に伴って管理基準値が大きく変動することを避けるため、SAM で R_0 と ϕ は点推定値で固定した。過去最低親魚量はリサンプリングされたパラメータセットごとにわずかに異なるため、その値を折れ点 b とし、原点における傾き a も更新した。また、加入変動の標準偏差 ω_0 もリサンプリングされた値を使用した。リサンプリングしたそれぞれの結果について、100 回ずつの将来予測を行い、合計 10,000 回のシミュレーションを行った。

また、SAM の個体群動態に基づき、本資源の将来予測では 1 歳魚以上の資源尾数の過程誤差も考慮した：

$$N_{a+1,y+1} = \begin{cases} N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M_a) \exp(\eta_{a+1,y+1}), & 0 \leq a \leq 4 \\ [N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M_a) + N_{a+1,y} \exp(-F_{a+1,y} - M_{a+1})] \exp(\eta_{a+1,y+1}), & a = 5 \end{cases} \quad (2)$$

$\eta_{a,y}$ は y 年の a 歳における過程誤差で、

$$\eta_{a,y} \sim \text{Normal}(0, \omega_a^2)$$

である。過程誤差の大きさを表す標準偏差は 1 歳魚以上で共通とし、SAM における推定値 $\hat{\omega}_a = 0.31$ を使用した。

さらに、SAM では資源量等の推定値の不確実性を推定しやすいことから、将来予測においても資源量推定の不確実性を考慮した。SAM で推定された固定効果とランダム効果の結合精度行列から多変量正規分布を用いて乱数を発生させ、固定効果とランダム効果のリサンプリングを 100 回繰り返した。ただし、前述の通り、再生産関係の頑健性を担保するため、加入量の幾何平均値と残差の自己相関については点推定値で固定した。そのため、将来の個体群動態で考慮されている不確実性は初期状態 (将来予測開始年：2024 漁期年)、年齢

別資源尾数の過程誤差 (ω_a)、HS 型再生産関係のパラメータ (a, b) である。Fmsy の代替値を使用する場合は表 2 に示した選択率の下で将来予測を行ったが、現状の漁獲圧での予測の際は、年齢別漁獲死亡係数の不確実性を考慮した。

管理基準値を求める際の親魚量や漁獲量には、平均値ではなく中央値を使用した。本資源の加入量変動は大きいため、対数正規分布の平均が中央値の 2.3 倍以上になる。平均以上の加入量は 25%しか出現することは無いことになり、この稀に出る高い加入が平均値を上引っ張る状況になり、ひいては目標管理基準値も稀な高い加入によって上昇することになる。また、パラメータ推定の不確実性を考慮しているため、リサンプリングで外れ値が生成された場合、平均値は影響されやすい。したがって、本資源では、候補となる生物学的管理基準値の下で、平衡状態になるまで将来予測を行ったときの親魚量の中央値を目標管理基準値の候補とした。

将来予測における、そのほかの設定については表 2 の値を用いた。親魚量が限界管理基準値案未満である場合の漁獲圧は、当年の親魚量に応じた係数を乗じて $\gamma(\text{SBt}) \times \beta \text{ Fmsy proxy}$ として求めた。ここで $\gamma(\text{SBt})$ は「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」における 1 系資源の管理規則に基づき、(3) 式により計算した。

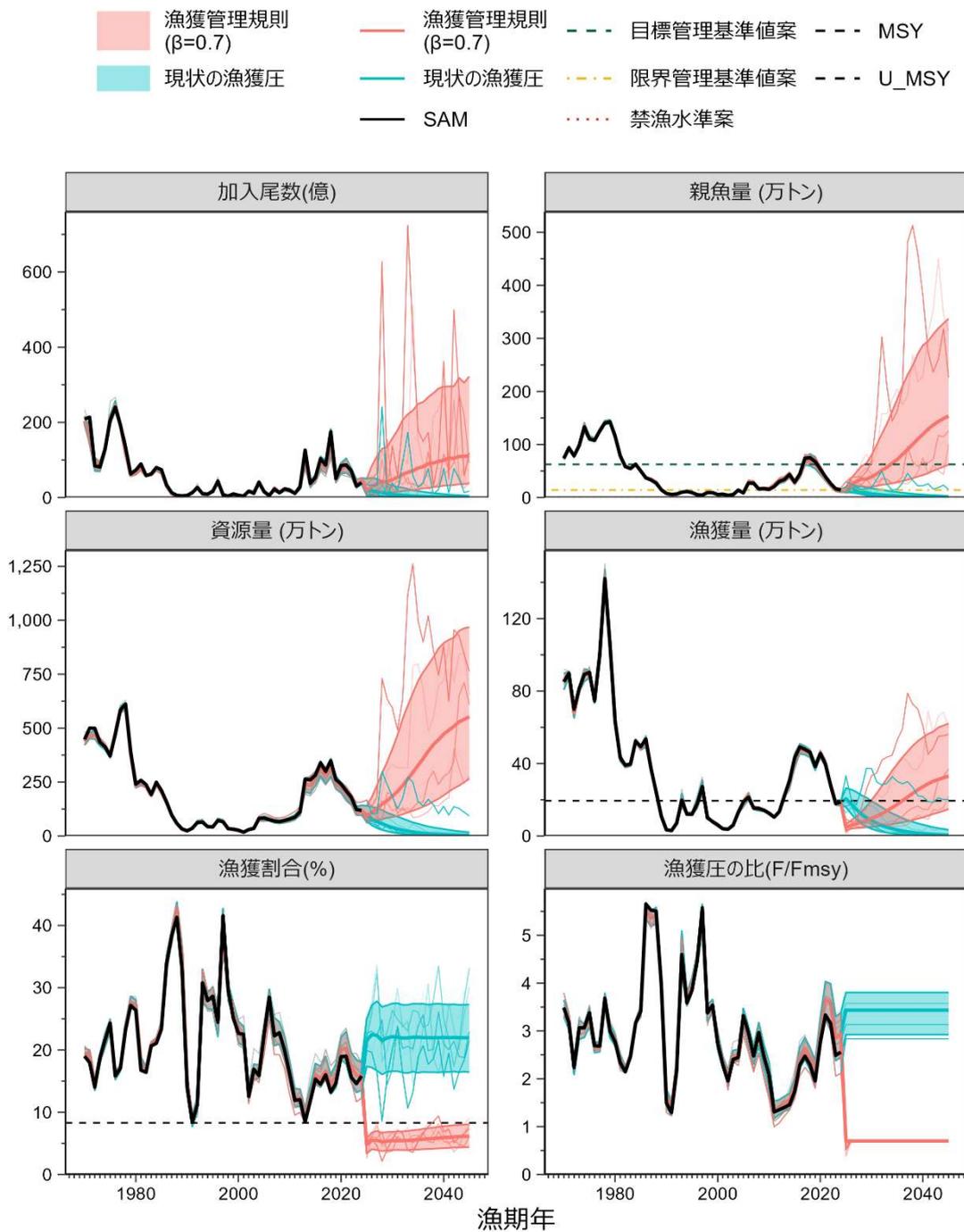
$$\gamma(\text{SBt}) = \frac{\text{SBt} - \text{S}_{\text{ban}}}{\text{SB}_{\text{limit}} - \text{SB}_{\text{ban}}} \quad (3)$$

将来予測および管理基準値の計算には、統計ソフトウェア R (version 4.2.2) 用計算パッケージ frasyr (version 2.4.0.1) を用いた。

補足資料 4 将来予測における再生産関係のみ smooth HS を用いた場合の将来予測結果

1B ルールでは、加入量はほぼ親魚量によらないと仮定するため、将来予測において、親魚量が減少した場合のリスクを評価することができない。設定した選択率や年齢別体重、自然死亡係数から、加入 1 尾当たりの漁獲量を最大にする漁獲圧 (Fmax) は無限大となるため、1B ルールのもとでは漁獲圧が高い方が将来の漁獲量も大きくなる。そのため、現状の漁獲圧の方が漁獲管理規則よりも、親魚量や資源量が低いにもかかわらず、漁獲量が高くなる。この将来予測は楽観的かつ非現実的であると考えられるため、管理基準値案および漁獲管理規則案は 1B ルールを使用するが、将来予測では SHS 型再生産関係 (補足図 1-1、補足表 1-1) を使用した場合について解析を行った。

その結果、現状の漁獲圧のもとでは親魚量や資源量が減少し、長期的な漁獲量も減少した (補足図 4-1)。一方、漁獲管理規則のもとでは、緩やかに親魚量は回復した。漁獲管理規則開始直後の漁獲量は低いですが、資源量の増加とともに徐々に漁獲量も回復した。漁獲管理規則における β を変化させた場合の結果を補足表 4-1 から 4-4 に示す。このシナリオにおいて、10 年後 (2035 年漁期) に目標管理基準値案を上回る確率を 50%以上となるのは、 $\beta=0.8$ 以下であり、1B ベースケースシナリオにおける結果 (表 4) と変わらなかった (補足表 4-1)。 $\beta=0.7$ のときの 2025 年の漁獲量は 4.7 万トンであり (補足表 4-4)、1B ベースケースシナリオにおける 5.0 万トンからやや減少した。これは、2025 年の加入量がやや減少する予測となったためと考えられる。(特に、現状の漁獲圧下において) 親魚量が減少し、長期的な漁獲量が減少するリスクを表す将来予測としては、こちらの方が適切であるかもしれない。



補足図 4-1. 管理基準値案および漁獲管理規則案は 1B ルールに基づくが、SHS 型再生産関係を使用して将来予測を実施した場合の将来予測
 漁獲管理規則案における β は 0.7 とした。

補足表 4-1. 管理基準値案および漁獲管理規則案は 1B ルールに基づくが、SHS 型再生産関係を使用して将来予測を実施した場合の将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	0	0	0	1	5	7	12	18	24	28	34	38
0.9			0	2	6	8	14	21	28	33	39	44
0.8			0	2	7	9	17	25	33	39	46	51
0.7			0	2	8	11	20	29	37	45	52	58
0.6			0	3	9	13	23	33	43	51	58	65
0.5			0	3	11	16	27	38	49	57	64	71
0.4			0	4	13	19	31	43	55	63	71	77
0.3			1	4	16	22	35	49	60	69	76	82
0.2			1	5	18	26	40	54	66	75	81	87
0.1			1	6	21	29	45	60	71	80	86	90
0.0			1	7	24	34	50	65	76	84	90	93
現状の漁獲圧					0	0	0	0	0	0	0	0

補足表 4-2. 管理基準値案および漁獲管理規則案は 1B ルールに基づくが、SHS 型再生産関係を使用して将来予測を実施した場合の将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
1.0	13	53	93	98	98	95	94	95	96	96	96	96	
0.9			94	98	98	96	96	96	96	97	97	97	98
0.8			94	99	99	97	97	98	98	98	98	98	98
0.7			95	99	99	98	98	98	98	99	99	99	99
0.6			95	99	99	99	99	98	99	99	99	99	99
0.5			95	99	99	99	99	99	99	99	99	100	100
0.4			96	99	100	99	99	99	99	100	100	100	100
0.3			96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2			96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1			97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧					54	43	31	19	16	13	10	8	7

補足表 4-3. 管理基準値案および漁獲管理規則案は 1B ルールに基づくが、SHS 型再生産関係を使用して将来予測を実施した場合の将来の親魚量の期待値（万トン）

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	12.1	15.0	23.9	29.6	33.9	33.9	38.6	44.5	50.5	55.6	61.7	68.1
0.9			24.3	30.5	35.4	35.7	41.1	47.9	55.0	61.2	68.6	76.3
0.8			24.7	31.4	36.9	37.7	43.8	51.7	60.0	67.5	76.4	85.6
0.7			25.1	32.4	38.5	39.8	46.8	55.7	65.4	74.4	85.0	95.9
0.6			25.5	33.4	40.2	42.0	49.9	60.1	71.4	82.1	94.6	107.5
0.5			25.9	34.4	42.0	44.4	53.3	64.9	78.0	90.6	105.3	120.3
0.4			26.3	35.5	43.8	46.9	56.9	70.1	85.1	100.0	117.2	134.7
0.3			26.8	36.6	45.8	49.6	60.9	75.7	93.0	110.5	130.5	150.6
0.2			27.2	37.7	47.8	52.4	65.1	81.8	101.7	122.0	145.2	168.4
0.1			27.7	38.9	50.0	55.5	69.6	88.4	111.2	134.7	161.5	188.1
0.0			28.1	40.1	52.2	58.7	74.5	95.7	121.6	148.7	179.5	210.0
現状の漁獲圧			15.8	14.5	12.9	10.3	9.1	8.2	7.2	6.2	5.5	4.9

補足表 4-4. 管理基準値案および漁獲管理規則案は 1B ルールに基づくが、SHS 型再生産関係を使用して将来予測を実施した場合の将来の漁獲量の期待値（万トン）

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	18.4	6.6	8.3	9.5	10.6	12.0	13.4	14.9	16.6	18.4	20.4	22.2
0.9		6.0	7.6	8.8	9.9	11.4	12.9	14.5	16.3	18.2	20.3	22.3
0.8		5.3	6.9	8.1	9.2	10.7	12.3	13.9	15.8	17.8	19.9	22.0
0.7		4.7	6.2	7.3	8.4	9.9	11.5	13.1	15.0	17.1	19.3	21.4
0.6		4.1	5.4	6.5	7.5	9.0	10.5	12.1	14.0	16.1	18.2	20.3
0.5		3.4	4.6	5.6	6.6	7.9	9.3	10.9	12.7	14.7	16.8	18.8
0.4		2.7	3.7	4.6	5.5	6.7	8.0	9.4	11.1	12.9	14.8	16.6
0.3		2.1	2.8	3.6	4.3	5.3	6.4	7.6	9.1	10.6	12.2	13.7
0.2		1.4	1.9	2.4	3.0	3.7	4.6	5.5	6.6	7.7	8.9	10.1
0.1		0.7	1.0	1.3	1.6	2.0	2.4	3.0	3.6	4.2	4.9	5.6
0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
現状の漁獲圧		21.0	18.5	16.1	13.7	12.1	10.5	9.1	7.9	7.0	6.1	5.4

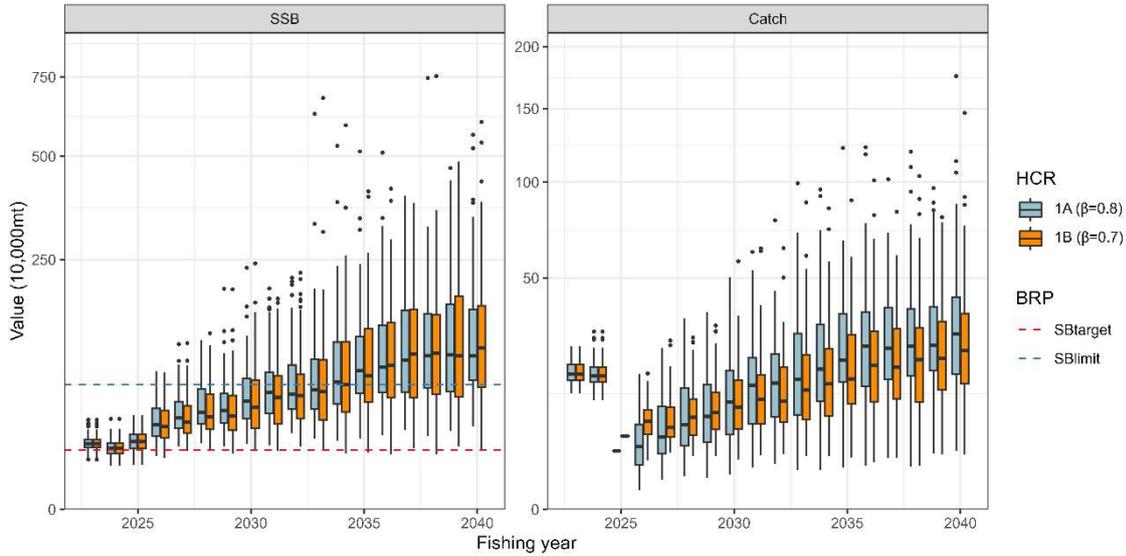
補足資料 5 再生産関係が smooth HS の場合の簡易 MSE

上記で示した将来予測では、各年の資源状態を完全に把握しているという想定の下で漁獲管理規則を適用している。しかし、実際は短期的な将来予測に基づいて生物学的許容漁獲量 (ABC) を算出するため、実際に生じる漁獲圧は、資源状態を完全に把握していると仮定したもとの漁獲管理規則からずれる。つまり、上記の将来予測では ABC 算定の不確実性を考慮できておらず、これが将来の持続可能性に関するリスクに影響する (市野川ほか 2022)。したがって、ABC 算定の不確実性を考慮した簡易 MSE を実施することが推奨されている (水産研究・教育機構 2024)。そこで、補足資料 5-7 では、ABC 算定の不確実性を考慮した簡易 MSE を行った。この際、親魚量減少による漁獲量減少のリスクを評価するため、補足資料 4 と同様の SHS 再生産関係を使用した。シミュレーションの回数は 3,000 回、ABC を計算する際の将来予測の回数は 5 回とした。将来予測に使用した生物パラメータや選択率の設定は表 2 と同じである。1A ルール ($\beta=0.8$) の場合も計算し、1B ルールにおけるパフォーマンスを評価するための比較対象とした。

漁獲管理規則適用直後の漁獲量は、1B ルールに比べて 1A ルールは低かったものの、2030 年以降は漁獲量の中央値は 1A ルールの方が高かった (補足図 5-1)。これは、1A ルールでは、限界管理基準値案が高く、近い将来では漁獲圧を大きく削減するが、親魚量が増加すると 1B ルールよりも高い漁獲圧で漁獲することが可能になるためである。一方で、1A ルールは各年の漁獲量の変動が 1B ルールよりも大きく、1B ルールの方が、漁獲量が安定することが示唆された。1B ルールにおける β を変化させた場合の簡易 MSE の結果を補足表 5-1 から 5-4 に示した。10 年後に目標管理基準値案を上回る確率が 50%以上となるのは、 β を 0.7 以下とした場合であった (補足表 5-1)。簡易 MSE をしなかった場合には β を 0.8 以下であったため (補足表 4-1)、ABC 算定の誤差を考慮すると、 β をやや下げたほうが良いと言える。

引用文献

- 市野川桃子、西嶋翔太、向草世香、黒田啓行、大下 誠二 (2022) 改正漁業法下での様々な代替漁獲管理規則の検討：マイワシ 2 系群を例に。日本水産学会誌 **88**, 239-255.
- 水産研究・教育機構 (2024) 令和 6 (2024) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2024-ABCWG02-01, 水産研究・教育機構, 横浜, XXpp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-01.pdf



補足図 5-1. SHS 型再生産関係を将来予測に使用した場合に簡易 MSE を行ったときの 1A ルール ($\beta=0.8$) と 1B ルール ($\beta=0.7$) における将来の親魚量 (左) と漁獲量 (右) の推移。高値を示す外れ値があるため、縦軸を平方根スケールで表した。管理基準値案 SBtarget および SBlimit は 1B ルールのものである。

補足表 5-1. SHS 型再生産関係を将来予測に使用した場合に 1B ルールを適用し、簡易 MSE を行ったとき親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	0	0	2	3	7	9	15	20	25	29	32	35
0.9			2	4	9	10	18	24	29	34	37	41
0.8			2	4	10	12	21	28	33	36	42	46
0.7			3	5	11	14	24	32	38	43	49	53
0.6			3	6	12	17	27	35	43	50	56	61
0.5			3	7	14	20	31	39	49	55	62	68
0.4			3	9	17	23	35	43	54	61	68	73
0.3			4	10	20	27	39	50	60	67	74	79
0.2			4	11	22	32	43	55	65	73	80	84
0.1			4	12	26	36	48	60	70	77	84	88
0.0			4	14	30	39	53	65	75	83	89	91

補足表 5-2. SHS 型再生産関係を将来予測に使用した場合に 1B ルールを適用し、簡易 MSE を行ったとき親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
1.0	58	77	93	96	96	94	94	94	94	94	95	94	
0.9			94	97	96	95	96	96	96	96	96	96	96
0.8			94	98	98	96	97	97	97	97	97	97	98
0.7			95	98	98	97	98	98	98	98	98	98	98
0.6			95	98	99	98	98	99	98	99	98	99	99
0.5			96	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.4			96	99	99	99	99	99	99	100	100	100	100
0.3			97	99	99	99	99	99	100	100	100	100	100
0.2			97	99	100	99	100	100	100	100	100	100	100
0.1			97	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足表 5-3. SHS 型再生産関係を将来予測に使用した場合に 1B ルールを適用し、簡易 MSE を行ったとき親魚量の期待値 (万トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	15.4	19.6	28.4	31.6	34.9	36.1	40.5	46.3	50.9	56.5	62.2	67.7
0.9			28.9	32.7	36.5	38.1	43.3	50.0	55.6	62.3	69.2	76.0
0.8			29.4	33.8	38.2	40.3	46.2	53.9	60.7	68.7	77.0	85.4
0.7			29.9	34.9	40.0	42.6	49.4	58.3	66.3	75.8	85.8	95.9
0.6			30.4	36.1	41.8	45.0	52.8	63.0	72.5	83.7	95.6	107.5
0.5			30.9	37.3	43.8	47.6	56.4	68.1	79.3	92.4	106.4	120.4
0.4			31.5	38.6	45.8	50.3	60.4	73.7	86.7	102.1	118.4	134.8
0.3			32.0	39.9	48.0	53.3	64.6	79.7	94.9	112.7	131.8	150.6
0.2			32.6	41.3	50.3	56.4	69.2	86.2	103.8	124.5	146.5	168.2
0.1			33.1	42.7	52.6	59.8	74.1	93.4	113.7	137.5	162.9	187.7
0.0			33.7	44.1	55.2	63.3	79.4	101.1	124.4	151.8	181.0	209.2

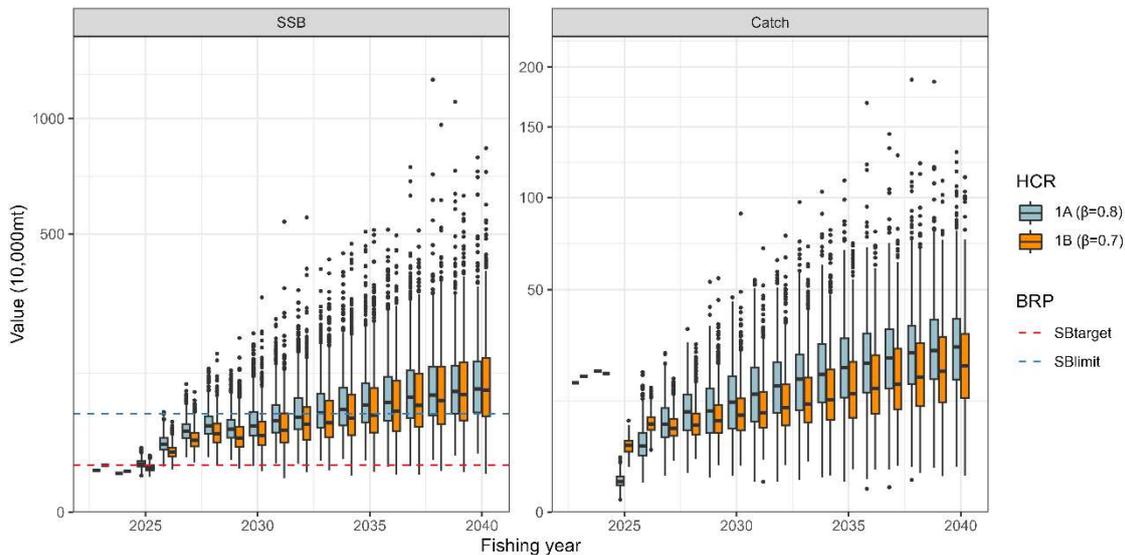
補足表 5-4. SHS 型再生産関係を将来予測に使用した場合に 1B ルールを適用し、簡易 MSE を行ったとき漁獲量の期待値（万トン）

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	17.4	7.8	9.8	10.3	11.2	12.4	13.7	15.2	16.6	18.4	19.5	21.0
0.9		7.1	8.9	9.5	10.6	11.8	13.2	14.8	16.2	18.1	19.5	21.1
0.8		6.3	8.1	8.8	9.8	11.1	12.6	14.2	15.7	17.7	19.2	20.9
0.7		5.6	7.2	7.9	9.0	10.3	11.8	13.4	15.0	17.0	18.6	20.3
0.6		4.8	6.3	7.0	8.0	9.3	10.8	12.4	14.0	16.0	17.6	19.3
0.5		4.0	5.4	6.0	7.0	8.2	9.6	11.1	12.7	14.6	16.2	17.8
0.4		3.3	4.4	5.0	5.9	7.0	8.2	9.6	11.1	12.8	14.2	15.8
0.3		2.5	3.3	3.9	4.6	5.5	6.6	7.8	9.0	10.5	11.8	13.1
0.2		1.6	2.3	2.7	3.2	3.9	4.7	5.6	6.5	7.7	8.6	9.6
0.1		0.8	1.2	1.4	1.7	2.1	2.5	3.0	3.6	4.2	4.7	5.3
0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

補足資料 6 資源量推定値が過大だった場合の簡易 MSE

本補足資料では、資源量推定値が過大評価だった場合のシナリオについて簡易 MSE を行った結果を示す。SAM のレトロスペクティブ解析では資源量の過大推定傾向が生じていた（由上ほか（印刷中）における補足図 2-3）。これは、将来のデータが更新されると資源量が下方修正される可能性が高いことを示唆している。そのため、将来予測に使用した資源量推定値が過大だったシナリオを検討した。具体的には、固定効果とランダム効果の結合精度行列からパラメータをリサンプリングした際、2024 漁期年の親魚量が 90%信頼区間の下限（5 パーセンタイル）に最も近いパラメータセットを使用し、1B ルールおよび 1A ルールを適用した場合の将来予測を実施した。なお、将来予測に用いる再生産関係は補足資料 5 の簡易 MSE を実施した場合と同様の SHS 型を用いた。

シミュレーションの結果、上の簡易 MSE と同様に、漁獲管理初期は 1B ルールの漁獲量の方が低かったが、徐々に 1A ルールの漁獲量の方が高くなった（補足図 6-1）。また、1A ルールの方が、1B ルールよりも平均的な親魚量が高かった。これは、親魚量が低い場合、1A ルールでは初期に急激に漁獲量を減らすため、回復速度が 1B に比べてより速くなるためである。1B ルールにおける β を変化させた場合の簡易 MSE の結果を補足表 6-1 から 6-4 に示した。10 年後に目標管理基準値案を上回る確率が 50%以上となるのは、 β を 0.6 以下となり、現時点での資源量推定値が過大であった場合、将来の回復は遅くなることが明らかになった（補足表 6-1）。



補足図 6-1. SHS 型再生産関係を将来予測に使用し、資源量が推定値よりも低かったシナリオで簡易 MSE を行ったときの 1A ルール ($\beta=0.8$) と 1B ルール ($\beta=0.7$) における将来の親魚量 (左) と漁獲量 (右) の推移
高い値を示す外れ値があるため、縦軸を平方根スケールで表した。管理基準値案 SBtarget および SBlimit は 1B ルールのものである。

補足表 6-1. SHS 型再生産関係を将来予測に使用し、資源量が推定値よりも低かったシナリオで 1B ルールを適用し、簡易 MSE を行ったときの親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	0	0	0	1	6	5	9	13	19	22	25	30
0.9			0	2	7	6	11	17	23	27	32	36
0.8			0	2	9	7	13	21	27	33	38	42
0.7			0	2	11	9	15	25	32	39	45	48
0.6			0	3	12	12	18	30	38	45	52	57
0.5			0	3	16	14	23	35	46	52	60	66
0.4			0	4	18	17	27	40	53	59	69	74
0.3			0	4	22	20	32	46	60	67	75	80
0.2			0	6	26	24	37	54	66	75	81	86
0.1			0	7	30	29	44	60	72	80	86	91
0.0			0	8	34	35	49	67	78	87	90	94

補足表 6-2. SHS 型再生産関係を将来予測に使用し、資源量が推定値よりも低かったシナリオで 1B ルールを適用し、簡易 MSE を行ったときの親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	0	23	98	100	100	99	98	98	98	97	96	97
0.9			99	100	100	99	99	99	98	98	97	98
0.8			99	100	100	100	99	99	99	99	99	99
0.7			99	100	100	100	99	100	100	99	100	99
0.6			99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5			99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4			99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3			99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2			99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1			99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足表 6-3. SHS 型再生産関係を将来予測に使用し、資源量が推定値よりも低かったシナリオで 1B ルールを適用し、簡易 MSE を行ったときの将来の親魚量の期待値(万トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	10.9	12.9	22.8	32.1	37.9	33.6	36.6	41.2	45.5	47.8	51.7	56.2
0.9			23.1	33.1	39.6	35.6	39.1	44.5	49.8	52.8	57.8	63.4
0.8			23.5	34.1	41.3	37.7	41.9	48.1	54.4	58.5	64.7	71.5
0.7			23.8	35.2	43.2	39.9	44.8	52.0	59.5	64.8	72.3	80.7
0.6			24.1	36.3	45.1	42.2	48.0	56.2	65.1	71.7	80.8	90.9
0.5			24.5	37.5	47.2	44.7	51.4	60.8	71.2	79.4	90.4	102.5
0.4			24.8	38.7	49.3	47.4	55.0	65.8	78.0	88.0	101.1	115.4
0.3			25.2	39.9	51.5	50.2	59.0	71.3	85.4	97.6	113.0	129.8
0.2			25.6	41.2	53.8	53.2	63.2	77.2	93.5	108.1	126.3	145.9
0.1			25.9	42.5	56.3	56.5	67.8	83.6	102.5	119.8	140.9	163.8
0.0			26.3	43.8	58.8	59.9	72.7	90.6	112.3	132.7	157.2	183.6

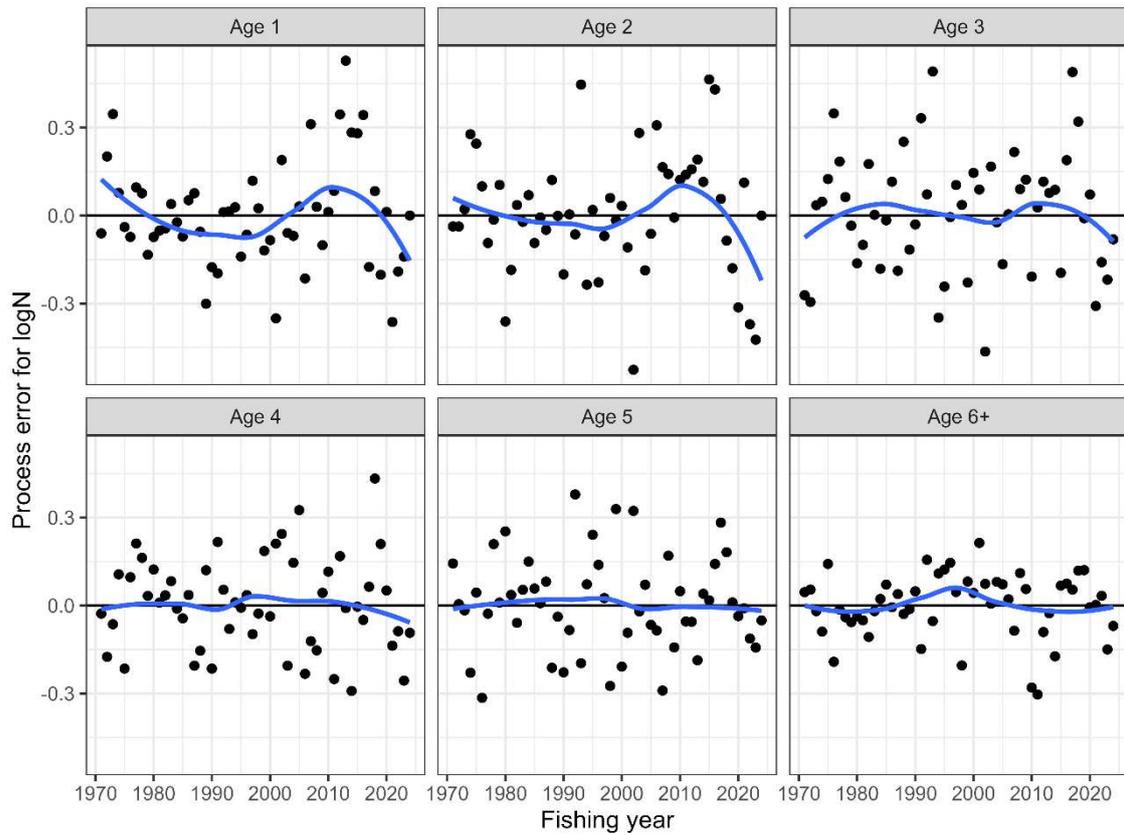
補足表 6-4. SHS 型再生産関係を将来予測に使用し、資源量が推定値よりも低かったシナリオで 1B ルールを適用し、簡易 MSE を行ったときの将来の漁獲量の期待値(万トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	19.4	6.3	11.1	9.8	10.5	11.7	12.7	13.3	14.4	15.5	16.6	17.8
0.9		5.7	10.1	9.1	9.8	11.1	12.2	13.0	14.1	15.4	16.7	18.0
0.8		5.1	9.1	8.3	9.2	10.5	11.6	12.5	13.7	15.1	16.5	18.0
0.7		4.5	8.1	7.5	8.4	9.7	10.9	11.8	13.1	14.6	16.0	17.6
0.6		3.8	7.1	6.7	7.5	8.8	10.0	10.9	12.3	13.8	15.2	16.8
0.5		3.2	6.0	5.8	6.6	7.8	8.9	9.9	11.2	12.6	14.1	15.6
0.4		2.6	4.8	4.8	5.5	6.6	7.6	8.5	9.8	11.1	12.5	13.9
0.3		2.0	3.7	3.7	4.3	5.2	6.1	6.9	8.0	9.2	10.4	11.6
0.2		1.3	2.5	2.5	3.0	3.7	4.4	5.0	5.8	6.7	7.6	8.6
0.1		0.7	1.3	1.3	1.6	2.0	2.3	2.7	3.2	3.7	4.2	4.7
0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

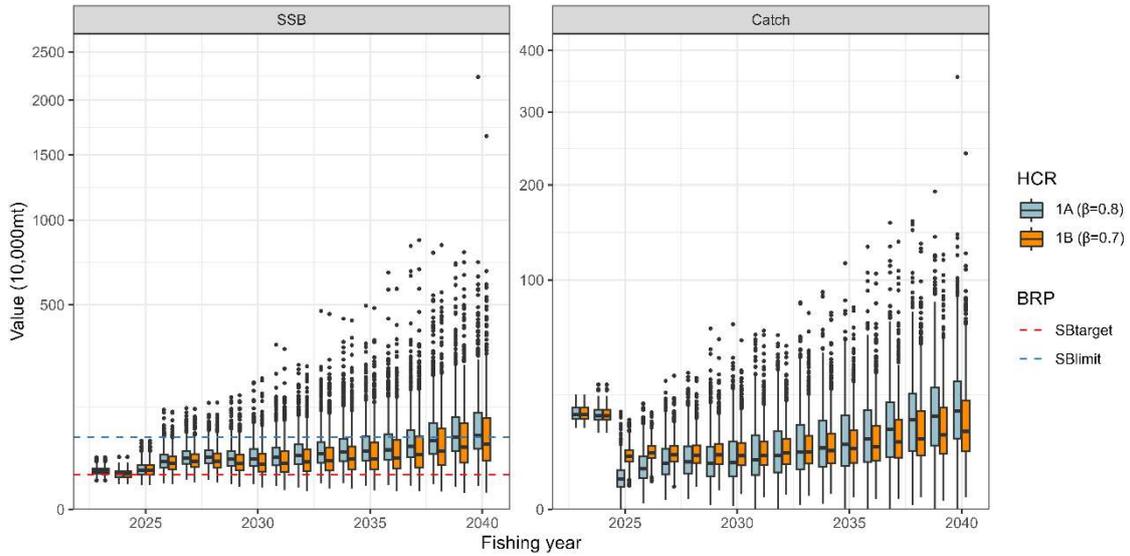
補足資料 7 近い将来の 1 歳魚以上の資源尾数の過程誤差が負にバイアスする場合の簡易 MSE

SAM で推定された結果では、近年 1 歳魚以上の資源尾数の過程誤差が負に出ることが多いことが明らかとなった（由上ほか（印刷中）における補足図 2-9）。近い将来についても、過程誤差が負にバイアスする可能性があるため、ここでは 1 歳魚以上の過程誤差が負にバイアスするシナリオについて検討した。各年齢の年齢別資源尾数の過程誤差を平滑化したところ、最近年の 2024 年の予測値はおよそ 1,2 歳では -0.2、3,4 歳では -0.1、5,6+歳では 0 であった（補足資料 7-1）。これは、1~2 歳魚では約 20%、3~4 歳魚では約 10%の資源尾数が過程誤差によって減少したことを示唆している。本シナリオでは、補足資料 4 のシミュレーションの過程誤差から、将来予測の 1~5 年目（2025~2029 年漁期）は 1,2 歳では 0.2、3,4 歳では 0.1 を引いた値を新たな過程誤差とし、6~10 年目（2026~2030 年漁期）はその半分の値を引いた値を過程誤差とし、それ以降は補足資料 4 と同じ過程誤差を使用した。

シミュレーションの結果、漁獲管理規則が 1A ルールか 1B ルールかに関わらず、資源の回復が非常に遅くなることが予測された（補足図 7-2）。この結果は、1 歳魚以上の過程誤差が将来どうなるかが、本資源が回復するかにとって極めて重要な要因であることを示唆している。1A ルールを適用した場合、漁獲量の変動が極めて大きく、漁獲量が 0 に近い水準まで落ちることもあった。一方で、1B ルールを適用する場合は限界管理基準値案以上に親魚量が維持される確率は高いため、漁獲量はそこまで削減する必要はなく、漁獲量の変動は比較的少なかった。1B ルールにおける β を変化させた場合の簡易 MSE の結果を補足表 7-1 から 7-4 に示した。10 年後に目標管理基準値案を上回る確率が 50%以上となるのは、 β を 0.1 以下となり、このシナリオのような過程誤差のバイアスが生じた場合には目標管理基準値案を達成することは困難であることが示された（補足表 7-1）。



補足図 7-1. 1~6+歳魚の年齢別資源尾数の過程誤差に LOESS 関数を当てはめて平滑化した結果（青線）



補足図 7-2. SHS 型再生産関係を将来予測に使用し、1 歳魚以上の過程誤差が負にバイアスするシナリオで簡易 MSE を行ったときの 1A ルール ($\beta=0.8$) と 1B ルール ($\beta=0.7$) における将来の親魚量 (左) と漁獲量 (右) の推移
 高い値を示す外れ値があるため、縦軸を平方根スケールで表した。管理基準値案 SBtarget および SBlimit は 1B ルールのものである。

補足表 7-1. SHS 型再生産関係を将来予測に使用し、1 歳魚以上の過程誤差が負にバイアスするシナリオで 1B ルールを適用し、簡易 MSE を行ったときの親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	0	0	1	1	3	3	3	5	5	7	9	10
0.9			1	2	3	3	3	6	6	9	11	12
0.8			1	2	4	4	5	7	8	11	15	16
0.7			2	2	4	4	6	8	11	14	17	19
0.6			2	3	5	5	8	10	13	17	20	24
0.5			2	3	6	6	9	12	17	21	24	28
0.4			2	4	8	8	12	16	22	25	30	34
0.3			3	5	9	10	14	19	25	30	35	40
0.2			3	6	10	12	16	24	28	36	42	48
0.1			3	7	12	15	20	27	33	42	50	55
0.0			3	8	14	18	24	31	40	48	57	64

補足表 7-2. SHS 型再生産関係を将来予測に使用し、1 歳魚以上の過程誤差が負にバイアスするシナリオで 1B ルールを適用し、簡易 MSE を行ったときの親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		
1.0	58	77	91	93	88	79	72	72	71	72	73	71		
0.9			91	94	90	83	77	76	76	77	78	77		
0.8			92	95	92	86	81	82	80	82	82	82		
0.7			93	96	93	88	84	86	86	86	86	87	87	
0.6			93	96	95	90	88	88	88	88	89	90	90	
0.5			94	97	96	93	92	91	91	91	92	92	92	
0.4			95	97	96	94	93	93	93	94	94	95	96	
0.3			95	98	97	96	95	96	96	96	96	96	96	97
0.2			95	98	98	96	96	96	97	97	97	97	98	98
0.1			96	99	99	98	98	98	98	98	98	98	98	98
0.0			96	99	99	98	98	98	98	99	98	99	99	99

補足表 7-3. SHS 型再生産関係を将来予測に使用し、1 歳魚以上の過程誤差が負にバイアスするシナリオで 1B ルールを適用し、簡易 MSE を行ったときの将来の親魚量の期待値 (万トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	15.4	19.6	26.5	27.3	26.9	24.6	24.5	25.5	26.3	28.0	29.6	30.8
0.9			26.9	28.3	28.2	26.1	26.2	27.6	28.7	30.9	33.0	34.7
0.8			27.4	29.3	29.6	27.7	28.1	29.8	31.4	34.2	36.9	39.2
0.7			27.9	30.3	31.0	29.3	30.1	32.3	34.4	37.9	41.4	44.4
0.6			28.4	31.3	32.5	31.1	32.3	35.1	37.8	42.0	46.5	50.3
0.5			28.9	32.4	34.1	33.1	34.7	38.1	41.5	46.7	52.2	57.1
0.4			29.4	33.6	35.8	35.1	37.3	41.3	45.6	51.9	58.7	64.9
0.3			29.9	34.7	37.6	37.3	40.1	44.9	50.2	57.8	66.1	73.8
0.2			30.4	35.9	39.5	39.7	43.2	48.9	55.3	64.4	74.4	83.9
0.1			31.0	37.2	41.5	42.2	46.5	53.2	60.9	71.7	83.8	95.5
0.0			31.5	38.5	43.5	44.9	50.0	57.9	67.1	79.9	94.3	108.4

補足表 7-4. SHS 型再生産関係を将来予測に使用し、資源量が推定値よりも低かったシナリオで 1B ルールを適用し、簡易 MSE を行ったときの将来の漁獲量の期待値(万トン)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.0	17.4	7.8	8.7	8.2	8.0	7.9	7.7	8.1	8.4	9.0	9.1	9.5
0.9		7.1	8.0	7.7	7.6	7.6	7.5	7.9	8.3	9.0	9.2	9.7
0.8		6.3	7.2	7.1	7.1	7.2	7.2	7.7	8.1	8.8	9.2	9.8
0.7		5.6	6.4	6.4	6.5	6.7	6.8	7.3	7.8	8.6	9.0	9.7
0.6		4.8	5.6	5.7	5.9	6.1	6.3	6.8	7.4	8.2	8.7	9.4
0.5		4.0	4.8	4.9	5.1	5.4	5.6	6.2	6.8	7.6	8.1	8.8
0.4		3.3	3.9	4.1	4.3	4.6	4.8	5.4	6.0	6.7	7.3	8.0
0.3		2.5	3.0	3.2	3.4	3.7	3.9	4.4	4.9	5.6	6.1	6.8
0.2		1.6	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.2	3.6	4.1	4.6	5.1
0.1		0.8	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9
0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0