

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

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

要 約

令和 4 年度の資源評価データを用い、1A 系の管理規則にしたがって再生産関係ならびに再生産関係に基づく管理基準値案の検討を行ったが、推定された再生産関係によって管理基準値案が異なり、管理の頑健性を担保することが難しいと考えられた。そのため、現状の加入状況を考慮し、生物学的管理基準値に基づく 1B 系の管理規則を適用する。将来予測には、2016～2020 年の加入量を、 F_{msy} の代替値（ F_{msy} proxy）としては F_{max} に相当する $F_{25\%SPR}$ を適用し、それにより算出された SB_{msy} proxy（4,053 トン）を目標管理基準値として提案する。限界管理基準値として SB_{min} （1,921 トン）、禁漁水準として $0.2SB_{limit}$ （384 トン）を提案する。 F_{msy} proxy は、現状の漁獲圧（2018～2020 年の漁獲係数の平均値）の 0.55 倍である。

親魚量 (トン)	現状の親魚量 (2021年) に対する比	初期親魚量 に対する 比	期待できる 平均漁獲量 (トン)	現状の漁獲圧 (2018～2020年) に対する比*1	説明
目標管理基準値案					
4,053	1.84	0.25	1,091	0.55	Fmsy の代替値とする 25%SPR (Fmax) で漁獲を続け平衡状態となった時に期待される親魚量(SBmsy proxy)
限界管理基準値案					
1,921	0.87	0.12	999	1.02	過去最低親魚量 (SBmin)
禁漁水準案					
384	0.17	0.02	-	-	過去最低親魚量の 20% (0.2SBlimit)
2021 年					
2,205	1.00	0.13	920*2	-	2021 年の値

*1 各管理基準値案を達成する漁獲圧が現状の漁獲圧（2018～2020年の平均）に対して何倍に相当するかを示す係数である。なお、年齢別選択率は現状の漁獲圧における年齢別選択率に基づく。

*2 2021年の実際の漁獲量（暫定値）を示す。なお、資源量計算には0歳魚を除いた値を使用しているが、実際の漁獲量に関しては0歳魚を含む数値として記載する。

1. 検討の経緯

「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」に従い、令和 4（2022）年度ヒラメ日本海中西部・東シナ海系群の資源評価（水産庁・水産機構）で報告された資源量と親魚量のデータセットを使用して、本資源の再生産関係の検討および、候補となった再生産関係による管理基準値案の算出を行った。再生産関係を検討する際に使用するデータ期間も検討項目とし、資源評価結果の全期間である 1986～2020 年（補足資料 4）のほか、全長制限の導入、自然死亡への影響が想定されるネオヘテロボツリウム症の蔓延状況、資源評価データの整備状況を考慮し、1999 年～2020 年のみを対象とした場合（補足資料 5）の検討も行った。

いずれのデータ参照期間でも、再生産関係の最適化手法には最小二乗法を用い、自己相関を同時推定によって考慮した HS 型再生産関係式と RI 型再生産関係が候補となった。いずれの再生産関係式でも、自己相関が 0.97（全期間）、0.94（1999～2020 年）と非常に高く推定された。その結果、将来予測において期待される加入量は現在の加入残差が低い状況を強く反映し、長期に渡り低い水準を維持することが示唆された。

RI 型再生産関係を適用した場合、データ参照期間を問わず親魚量が過去最低親魚量よりも減少したとしても加入量が維持されると予測され、過去最低親魚量を下回るリスクが高いと判断された（補足資料 6）。一方、HS 型再生産関係を適用した場合、目標管理基準値案（SBmsy）の値が、過去最大親魚量の 1.7～1.9 倍と高い値になる。また、全期間のデータを用いた際には、管理開始から 10 年後に期待される親魚量が 50%以上の確率で SBmsy を達成する β は 0.5 以下となり、非常に厳しい管理（ $\beta=0.5$ ）を行ったとしても 10 年後に期待される平均漁獲量は MSY に到達しないと予測された。また、1999 年以降のデータを対象とした場合は β が 0.8 以下であれば、管理開始の 10 年後に 50%以上の確率で目標管理基準値に達するものの、10 年後の平均漁獲量は MSY に到達しないと予測された。

候補となった HS 型、RI 型の再生産関係から得られる管理基準値案は大きく異なるため、どちらか一方の再生産関係を選択した場合、親魚量が現状もしくは過去最低親魚量を下回るリスクの増加や将来の漁獲量が減少することなど想定された（補足資料 6）。そのため、現状では頑健な再生産関係に基づき管理基準値案を定めることが難しい。

本系群では、2003 年以降加入尾数は減少を続け、近年は過去最低の水準にある。そのため、今後 5 年間もしくは、10 年間はより慎重に管理方策を検討すべきである。また、令和 4 年度資源評価から年齢別体重の見直しとチューニング VPA の導入を行い、生物学的管理基準値（F%SPR、YPR など）は、比較的高い精度で計算可能となっている。そのため、今後の調査研究により頑健な再生産関係が得られるまでは、再生産関係を仮定せず、近年の低い加入量が今後も継続することを想定した 1B 系の管理規則（以下、1B ルールと呼ぶ）が望ましいと判断した。

2. Fmsy の代替値と加入量の仮定

2-1) 使用するデータセット

本資源の Fmsy の代替値の設定は「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定の

ための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」に従い、以下のデータセットを使用して実施した。解析には R パッケージ `frasyr` (v2.2.0.3) を用いた。`frasyr` で用いた式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和 4 年度）（FRA-SA2022-ABCWG02-04）」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
資源量・加入尾数・年齢別体重・成熟率・自然死亡係数	令和 4 年度ヒラメ日本海中西部・東シナ海系群の資源評価（水産庁・水産機構）

1B ルールでは、限界管理基準値の代替値、 F_{msy} の代替値、 SB_{msy} （または B_{msy} ）の代替値の順に管理基準値案を決定する。 F_{msy} は生物学的管理基準値から予防的な管理が実現できるものを選択する。 SB_{msy} の代替値については、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し、先に定めた F_{msy} の代替値で確率的な将来予測シミュレーションを実施したときの平衡状態における平均親魚量等を用いる。

2-2) 加入量の仮定

MSY およびそれを達成する資源水準は、中長期的に頑健な条件（再生産関係等）に基づき推定するが、1B ルールにおいては、今後の加入状況を代表すると考えられる加入量を仮定することで、より現状に則した管理基準値等の提案が可能である。

本資源の加入量は減少傾向が続いており、現状は低い水準で推移している（図 1）。この加入動向は、日本海西部海域で観察されている地先の新規加入量調査推移の結果と一致している。また、本系群ではこれまでに卓越年級の出現は観察されておらず、突発的な高加入は見込めない状況にある。

本案では不確実性の高い直近年（2021 年）を除いた 2016 年以降の天然 1 歳魚の加入尾数（2016～2020 年）に対して対数正規分布をあてはめ、その分布に基づいて加入が期待されるという仮定のもとで将来予測を行った。

2-3) 生物学的管理基準値の検討

本資源の生物学的管理基準値案として、YPR 基準である F_{max} （加入量あたりの漁獲量 YPR を最大にする F ）、 $F_{0.1}$ （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 ）に相当する $F\%SPR$ と、SPR 基準である $F_{25\%SPR}$ 、 $F_{30\%SPR}$ 、 $F_{40\%SPR}$ （漁獲が無いときの親魚量の 25%、30%、40%を獲り残す F ）を検討した。

1B ルールに基づき 2-2) の加入尾数の仮定と生活史パラメータから、各生物学的管理基準値を、またそれぞれの基準値における平衡状態での平均親魚量を算出した（表 1、2）。平衡状態での平均親魚量は、 F_{max} では 4,053 トン、 $F_{25\%SPR}$ では 4,122 トン、 $F_{30\%SPR}$ では 4,946 トン、 $F_{40\%SPR}$ では 6,593 トン、 $F_{0.1}$ では 6,410 トンであり、 F_{max} が最も低かった。なお、 SB_0 は 16,480 トンと推定された。

現状の漁獲圧（ $F_{2018-2020}$ ）と $\%SPR$ および YPR の関係を図 3 に示す。現状の漁獲圧（2018-2020）は、いずれの生物学的管理基準値よりも高い水準にある。

2-4) Fmsy の代替値の候補

本系群の Fmsy の代替値の候補は、「令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2022-ABCWG02-01)」の IV「管理基準値と漁獲管理規則 (1B 資源)」に基づき検討した。

Fmsy の代替値は、各管理基準値の特性や、現状の漁獲圧を考慮して選択することが不可欠である。平衡状態における平均親魚量は、いずれの生物学的管理基準値でも過去最高親魚量を大きく上回っていた (表 2)。また、現状の漁獲圧 (F2018-2020) は、いずれの生物学的管理基準値よりも高い水準にあった (図 3)。現状の漁獲圧と各管理基準値の相対的な関係を考慮し、加入当たりの最大漁獲量を目指す Fmax に相当する F25%SPR を Fmsy の代替値の候補と考えた。一般的に、Fmax は大きい密度効果がない限りは再生産関係に基づく Fmsy と同等もしくは Fmsy よりも大きな値となる懸念がある (Deriso 1982)。そのため、少なくとも資源が崩壊することがないように水準で親魚量が確保できるかを確認することが重要である。

本系群のヒラメは漁獲物の全長規制が行われており、1 歳魚の漁獲圧は低下傾向にある (図 2、参照：令和 4 年度ヒラメ日本海中西部・東シナ海系群の資源評価)。加えて、ヒラメは他の底魚類あるいは異体類と比較して成長が早いため、現状より小さい漁獲圧であれば親魚量は増加に転じると想定される。F25%SPR (Fmax 相当) を Fmsy の代替値とした場合であっても、10 年間で一回でも限界管理基準値案 (SBmin) を下回る確率は、調整係数 β に寄らず 0%であった。

これらのことから、YPR 基準である Fmax から算出される F25%SPR でも少なくとも資源を崩壊させるような漁獲圧ではないと判断し、本資源の Fmsy の代替値 (Fmsy proxy) として提案する。

3. 管理基準値案

3-1) 計算方法

最大持続生産量 (MSY) に対応する管理基準値案等の算出および将来予測は、「令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2022-ABCWG02-01)」の IV「管理基準値と漁獲管理規則 (1B 資源)」の管理規則に従い、2-3) で提案した Fmax について、補足表 5-2 に示した令和 4 年度の資源評価に基づく各種設定 (自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重) を使用して実施した。自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重については、すべての年で同じ値を仮定している。ただし、現状の漁獲圧としては、直近年の値の不確実性を考慮し、2018~2020 年の漁獲係数の平均 (F2018-2020) を用いることとした (表 2)。管理基準値案の算出と将来予測における選択率もこの現状の漁獲圧 (F2018-2020) の値を用いた。なお本系群では平衡状態を、平均世代時間 (6.6 年) の 20 倍を基準に将来予測開始から 132 年後と仮定し、その際の平均漁獲量が最大化される F 値 (Fmax) に相当する F25%SPR を Fmsy の代替値 (Fmsy proxy)、その Fmsy の代替値で漁獲した場合の平衡状態での平均親魚量を SBmsy の代替値 (SBmsy proxy) とした。

3-2) 管理基準値案と禁漁水準案

直近年の 2021 年を除いた 5 年平均の加入を仮定し、管理基準値に F25%SPR (Fmax) を用いて算出される親魚量 (SBmsy proxy : 4,053 トン) を目標管理基準値 (SBtarget) とした。また、限界管理基準値 (SBlimit) として過去最低親魚量 (SBmin : 1,921 トン)、禁漁水準 (SBban) として 0.2SBlimit である 384 トンをそれぞれ用いることを提案する。これらの基準値案について、漁業がなかったと仮定した場合の初期親魚量 (SB0=16,480 トン) に対する比、対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量、対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比などを表 3 に示す。目標管理基準値として提案する SBmsy proxy は SB0 の 25%に相当し、その親魚量において期待できる漁獲量の平均値 (MSY) は 1,091 トンである。また、管理基準値とした F25%SPR (Fmsy proxy) の、現状の漁獲圧に対する比 (Fmsy proxy/Fcurrent) は 0.55 で、その時の漁獲割合 (Umsy) は 22%である。限界管理基準値として提案する SBmin は SB0 の 12%である。

様々な加入 1 尾あたりの親魚量の値 (%SPR) のときの平衡状態における加入 1 尾あたりの漁獲量 (YPR)、および年齢別 YPR の平均値を図 4 に示す。YPR は、25%SPR のときに最大となる。%SPR が更に増加するにしたがって、高齢魚の割合が高くなる傾向が見られる。

3-3) 神戸プロット

目標管理基準値案である SBmsy proxy と、管理基準値とした漁獲圧 Fmsy proxy を基準にした神戸プロットを図 5 に示す。本系群における漁獲係数 (F 値) は、近年は減少傾向にあるものの、すべての年で F25%SPR (Fmax) を上回っている。親魚量はすべての年で目標管理基準値を下回っており、現状の親魚量 (2021 年の親魚量 : 2,205 トン) に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案に対する比はそれぞれ 1.84、0.87、0.17 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案まで直線的に漁獲係数を下げることが定めている。F 値の上限は Fmsy proxy に調整係数 β を乗じたものである。漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を図 6a に示す。また、これらの漁獲管理規則案で漁獲した場合に期待できる平均的な漁獲量との関係を図 6b に示す。図に例示した漁獲管理規則案は、いずれも β に 1B ルールの標準値である 0.7 を用いた。

3-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

(1) 調整係数 β に標準値を用いた場合

限界管理基準値案と禁漁水準案に標準値を用い、調整係数の β を標準値の 0.7 とした漁獲管理規則案 (図 6a) で将来予測した場合の、資源量、親魚量、漁獲量、加入量、漁獲割合および漁獲圧の比の推移を図 7 に示す。将来予測では、2022 年の漁獲量は予測される資

源量と現状の漁獲圧（F2018-2020）により算出し、2023年から漁獲管理規則案による漁獲制御を開始するとした。

2023年の親魚量は限界管理基準値案を上回っているため、漁獲管理規則案に従い、まず $\beta F_{msy proxy}$ での漁獲が行われる。中長期的にも親魚量は限界管理基準値案を上回ると予測されるため、 $\beta F_{msy proxy}$ での漁獲となる。 $\beta F_{msy proxy}$ による漁獲の継続により、漁獲量はMSY付近で推移し、親魚量は $SB_{msy proxy}$ より高めに推移していくと予測される。

（2）調整係数 β を変えた場合

F25%SPR（ F_{max} ）に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測について、調整係数 β を0.0～1.0の間で、0.1間隔で変えた場合、および現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲を継続した場合に親魚量が目標管理基準値案および限界管理基準値案を上回る確率、および平均親魚量と平均漁獲量の推移をそれぞれ表4～8に示す。

本資源の親魚量は2021年時点で限界管理基準値案を超えており、 β が0.9の場合、漁獲管理規則案での漁獲開始から10年後の2033年にも93%の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された（表4）。同様に、 β が1.0の場合に目標管理基準値を上回る確率は44%であった。なお、F25%SPR（ F_{max} ）による漁獲において、 β が1.0以下のいずれの値であっても親魚量が限界管理基準値、禁漁水準案を下回らないと予測された（表5、6）。F25%SPR（ F_{max} ）による漁獲では、2024年以降の親魚量は β が低い程多くなり、2033年における目標達成確率は高くなると予測された（表6、7）。 β を0.5～1.0の間で変化させた場合の平均漁獲量はいずれも2033年には2021年（920トン）より高い値となった（表8）。また、表9には上述の結果を要約したものととも、親魚量や漁獲量に係るリスクについて評価した結果を示した。いずれの漁獲管理規則案を用いた将来予測でも、10年間に1度でも親魚量が過去最低親魚量を下回る確率、親魚量が限界管理基準値を下回る確率、前年より漁獲量が半減する確率は0%と予測された。

一方で、現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲を続けた場合、2033年の漁獲量は2021年の漁獲量（920トン）より多い1,004トンであり、親魚量は2021年の親魚量（2,205トン）より少なく、過去最低親魚量（1,921トン）と同程度の1,976トンと推定された（表7、8）。また、2033年の親魚量が目標管理基準値を上回る確率は0%である（表5）。

（3）変動緩和措置の検討

1B系の管理規則における標準値 $\beta=0.7$ の場合に、変動緩和措置（上限下限ルール）を適用した結果を補足資料3に示した。漁獲量の変動幅（CV）については、前年比±5%以内、±10%以内、±20%以内の3通りを検討した。CVの上限下限制限の期間は2023年から10年間を設定し、それ以降は通常の漁獲管理規則に従うものとした。

その結果、変動幅が±10%以上であれば10年間で1度でも過去最低親魚量（ SB_{min} ）を下回る確率が1%未満と低く、適用が可能と考えられる。

4. まとめ

既存のデータにより推定された再生産関係のパラメータには不確実性が大きく、再生産

関係に基づいた頑健な MSY 管理基準値を得ることが困難であることから、1B 系の管理規則を適用し、Fmsy の代替値 (Fmsy proxy) に基づく管理基準値を提案する。本系群の Fmsy の代替値として用いる生物学的管理基準としては、YPR 基準である Fmax に相当する F25%SPR を適用した。MSY 等管理基準値の推定には、令和 4 (2022) 年度の本系群の資源評価でチューニング VPA により推定された 2016~2020 年の加入量を用いた。将来予測には 2016~2020 年の天然由来の加入尾数に対して当てはめられた対数正規分布に基づく加入を想定した。目標管理基準値 (SBtarget) として提案する親魚量 (SBmsy proxy) により期待される漁獲量 (MSY) は 1,091 トンである。

本資源については、再生産関係に強い自己相関関係が認められることから、親魚量の増減によらず、加入量の増加が見込めないと予測された。1A 系の管理規則では、目標となる親魚量が過去に経験したことがない高い値を示す (HS 型再生産関係)、あるいは密度補償効果が高く、過去に経験したことがない低い親魚量においても加入量が維持される (RI 型再生産関係) 結果となった。したがって、現状の資源状態に照らし、1A 系の管理規則によって管理基準値としての頑健性を担保が困難であり、採用するには至らなかった。また、簡易 MSE の結果から、現状と同程度の F を維持する RI 型の管理は、過去最低親魚量を下回る確率が高いことが明らかとなり、漁獲圧を現状よりも下げることで親魚量の増加を促すことが、現時点では適切な管理につながると考えられた。一方で、変動緩和措置の検討結果から、基本管理規則では $\beta=0.7$ で 40%以上の F を削減する管理規則となるが、ヒラメは成長が早いいため漁獲量 10%以内の削減でも 10 年後に 100%の確率で目標管理基準値案に達すると予測された。

5. 今後の検討事項

本提案では親魚量推定の不確実性を鑑み、現状の低い加入水準を考慮する 1B ルールを適用したが、引き続き資源評価精度向上に努めるとともに、観測されている加入量の低下の原因について解明する努力を行う必要がある。また、本系群の資源評価で使用している成長や成熟等の生物情報は平成 7 年度の資源評価以降更新されていないが、これらは海洋環境や資源量の影響を受けて変化する可能性があるため、数年単位での更新が推奨されている。上記の改善を図られ、本系群の資源動態を反映していると判断できる再生産関係が推定される、もしくは管理方策の基礎情報や動向が大幅に変更されるなど、管理基準値や管理シナリオを見直したほうが良いと判断される場合には、次回の見直しを想定される 5 年後を待たずとも、再度、管理基準値案を更新する必要がある。

6. 引用文献

ABCWG (2022) 令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2022-ABCWG02-01.

ABCWG (2022) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 4 年度). FRA-SA-2022-ABCWG01-02.

ABCWG (2022) 再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 4 年度). FRA-SA2022-ABCWG01-03.

Deriso, R. B (1982) Relationship of fishing mortality to natural mortality and growth at the level of

maximum sustainable yield. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(7), 1054-1058.

増渕隆仁・下瀬 環・井関智明 (2022) 令和4(2022)年度ヒラメ日本海中西部・東シナ海系群の資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構、1-36.

(執筆者：増渕隆仁、下瀬 環、井関智明)

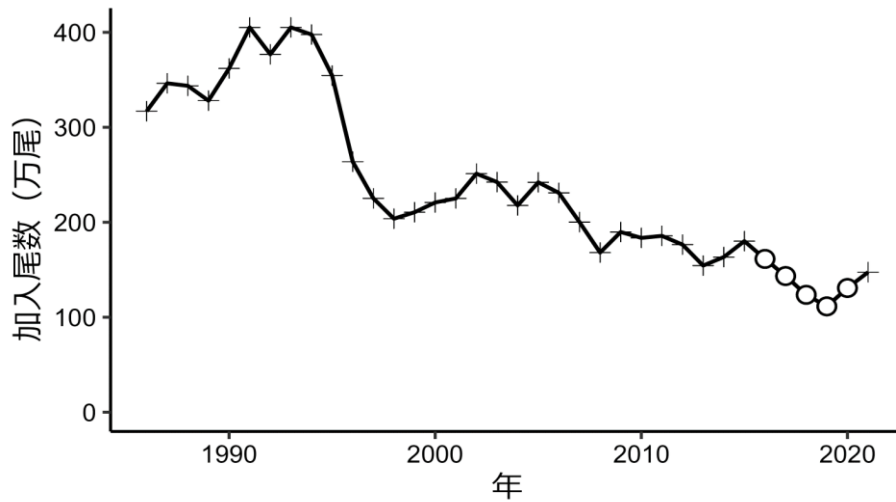


図1. 加入尾数の推移

白丸（2016～2020年）は加入尾数の参照に用いたデータ、バツ（+）は加入尾数の参照に用いないデータを示す。

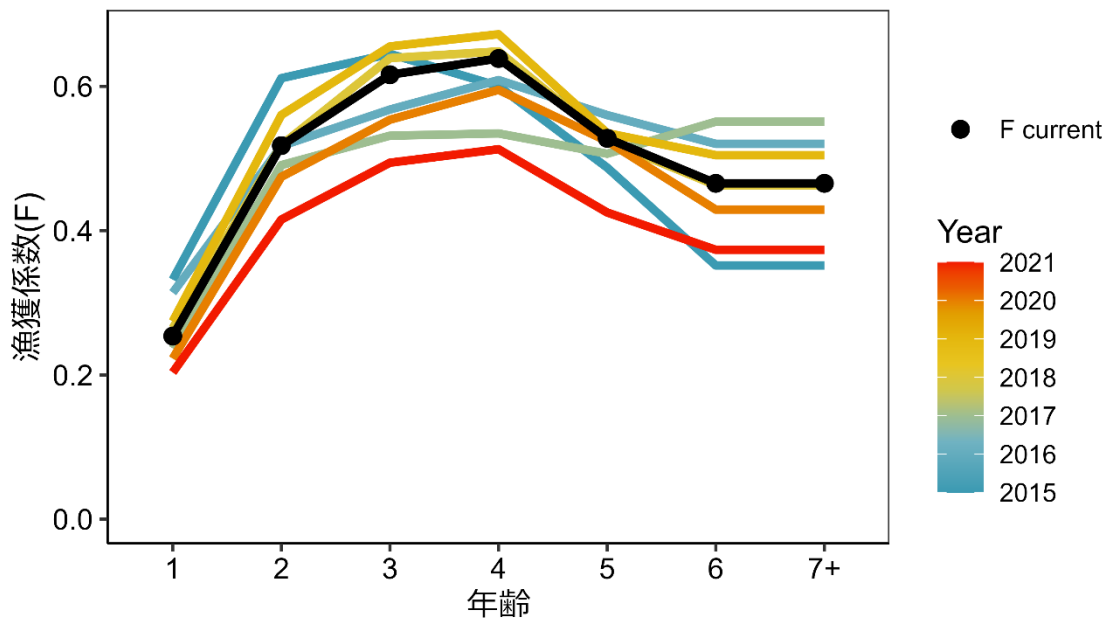


図2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

2015年以降の各年の年齢別F値を示す。黒線は現状の漁獲圧 (F₂₀₁₈₋₂₀₂₀: 2018～2020年の平均値) である。

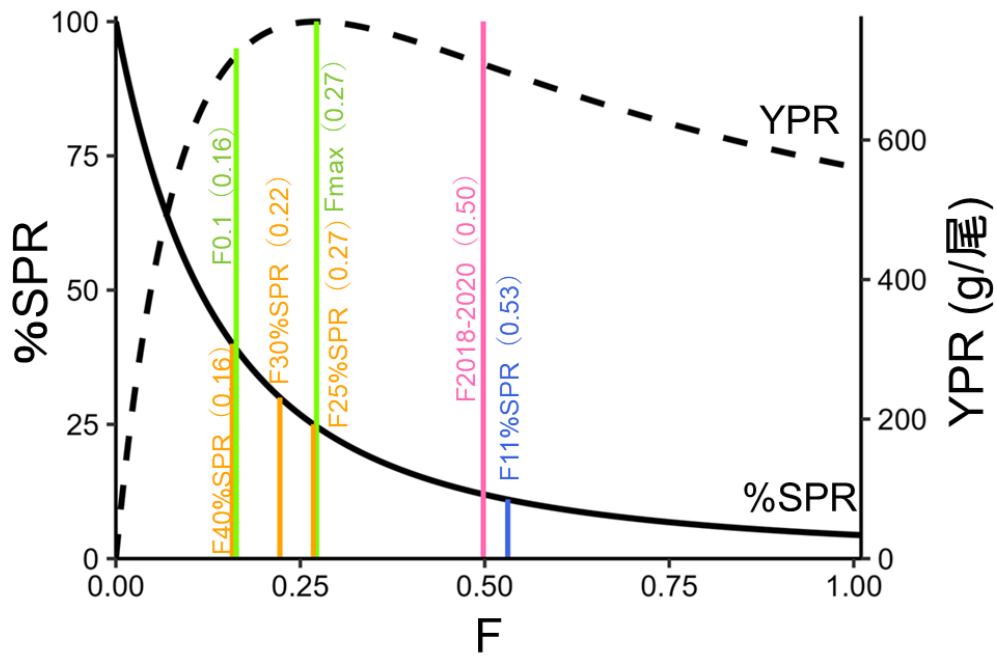


図 3. %SPR、YPR および F

図中の縦線は、F25%、F30%、F40%SPR (橙)、F11%SPR (青)、F0.1、Fmax (緑)、現状漁獲である F2018-2020 (桃) を示す。

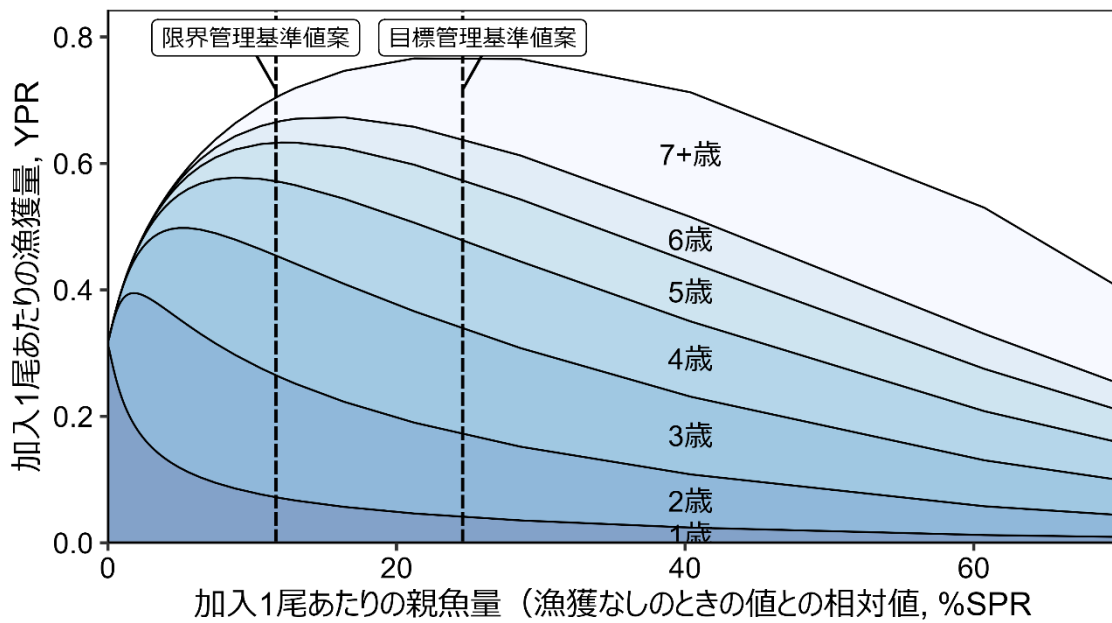


図4. 管理基準値案と年齢別漁獲量曲線の関係

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。目標管理基準値案は 25%SPR (Fmax) である。限界管理基準値案は SBmin (1,921 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 16,480 トンである。

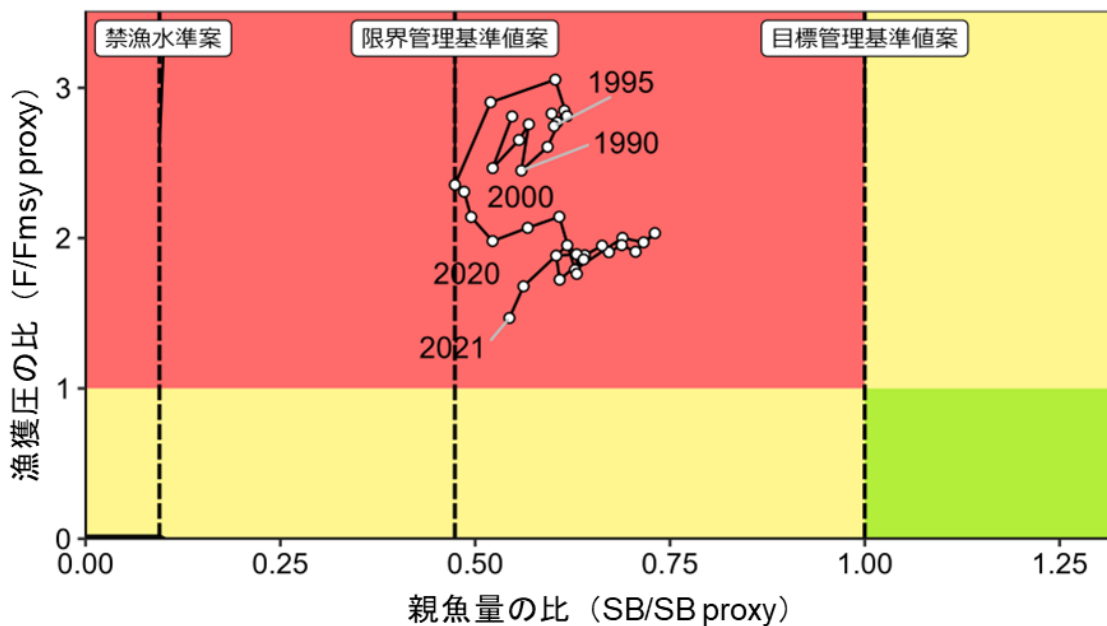
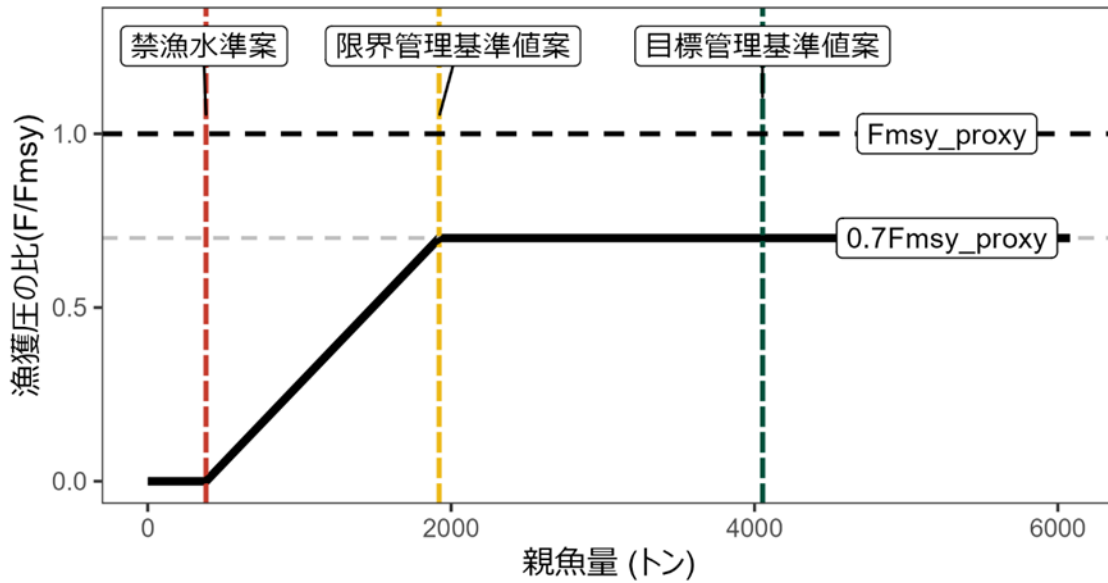


図5. 神戸プロット

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案には Fmax に相当する F25%SPR を達成する親魚量を、限界管理基準値案には過去最低親魚量 SBmin を用いた。また、禁漁水準案は 0.2SBlimit である 384 トンとした。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

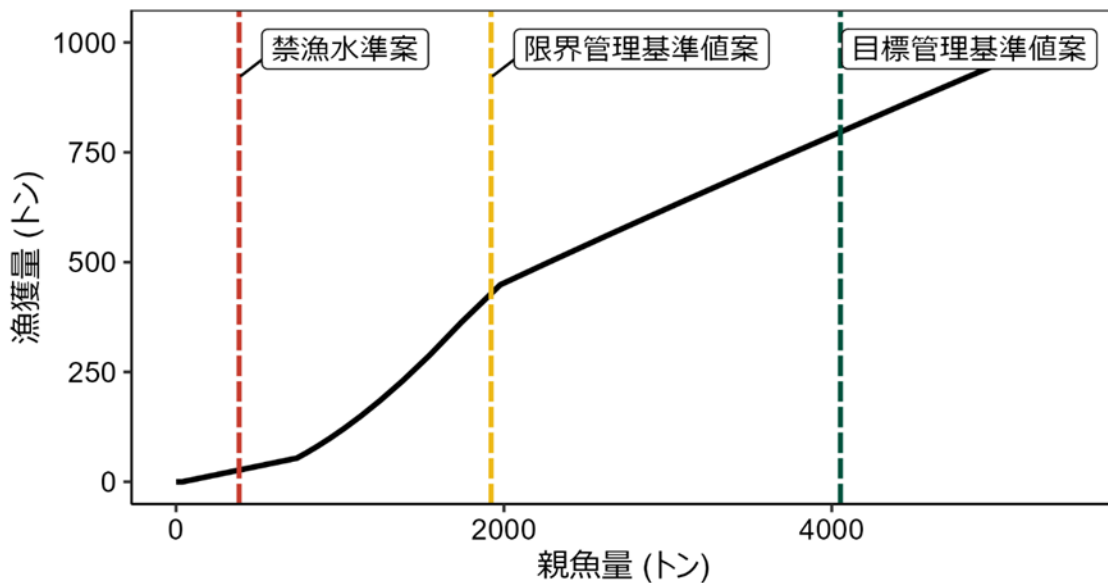
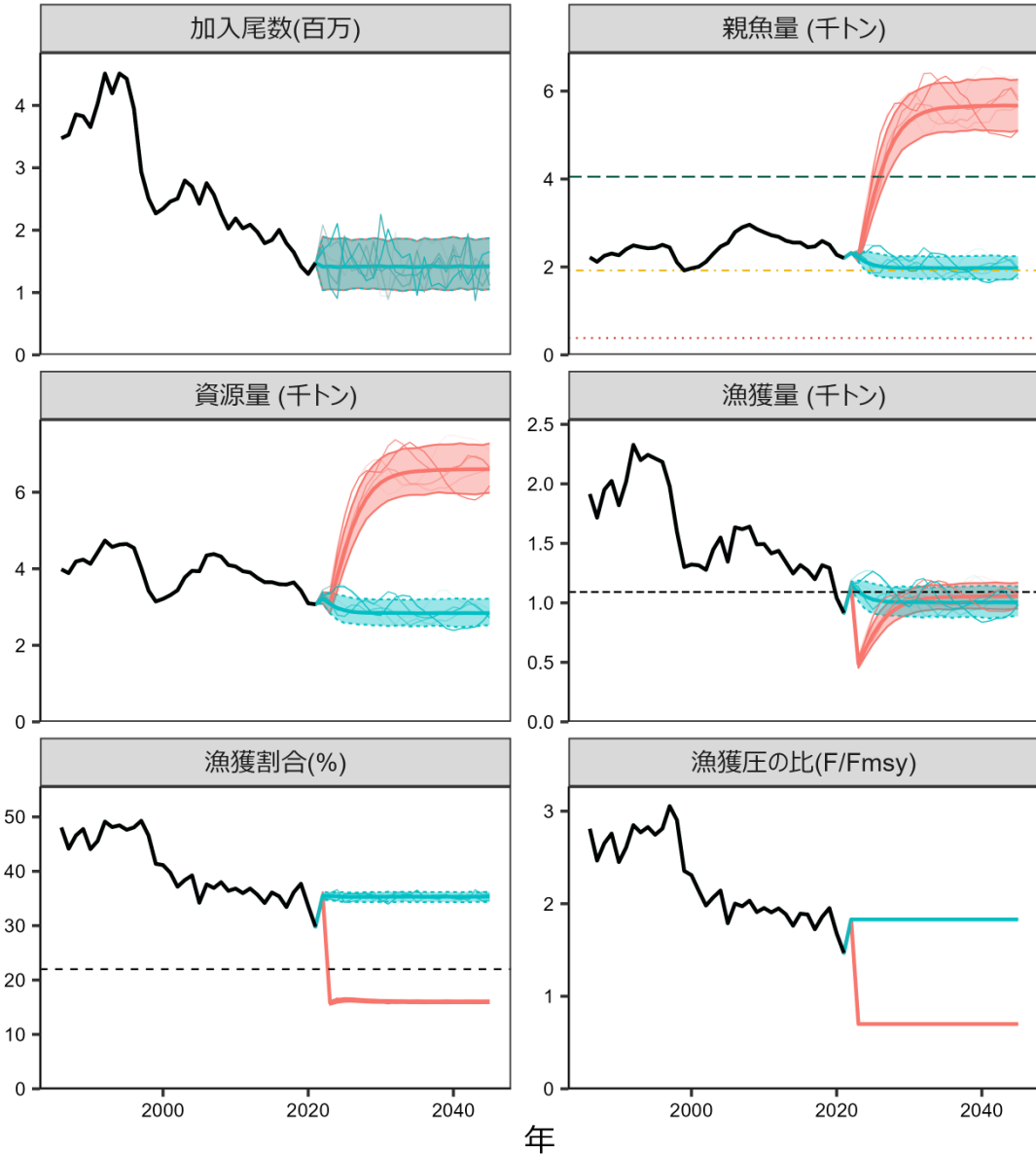
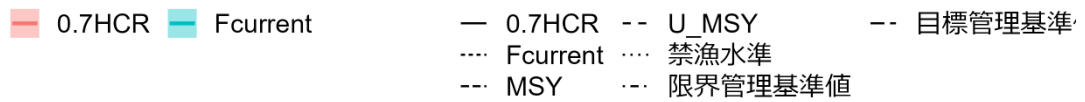


図6. Fmsy proxy による漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は $F_{25\%SPR}$ で漁獲を続けた場合に期待される親魚量 (SBmsy proxy) であり、限界管理基準値案 (SBlimit) には過去最低親魚量 (SBmin=1,921 トン) を、禁漁水準案 (SBban) には $0.2SBlimit$ である 384 トンを用いている。調整係数 β には 1B ルールにおける標準値である 0.7 を用いた。黒破線は Fmsy proxy、灰色破線は $0.7Fmsy proxy$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。



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

図 7. Fmsy proxy による管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較
 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、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は Umsy を示す。2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧（F2018-2020）により仮定し、2023 年以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 5-4a）に従うものとした。調整係数 β には 0.7 を用いた。

表 1. 生物学的管理基準値の算出および将来予測に用いた年齢別の生活史パラメータ

年齢	平均重量 (g)	成熟率	自然死亡 係数	現状の漁獲圧 (F2018-2020)	選択率
1	350	0.00	0.208	0.23	0.54
2	831	0.50	0.208	0.48	1.11
3	1,500	1.00	0.208	0.57	1.30
4	2,100	1.00	0.208	0.59	1.36
5	2,953	1.00	0.208	0.49	1.14
6	3,685	1.00	0.208	0.44	1.00
7+	4,310	1.00	0.208	0.44	1.00

現状の漁獲圧は 2018～2020 年の F 値の年齢別平均値である。

表 2. 各生物学的管理基準値における平衡状態のときの平均親魚量、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する比、平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、および現状の漁獲圧 (F2018-2020) に対する努力量の比の関係

	生物学的 管理基準値	親魚量 (トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲 割合	努力量 との比
YPR 基準	Fmax	4,053	0.25	1,091	24.6	0.22	0.55
	F0.1	6,410	0.39	1,023	38.9	0.14	0.33
	F25%SPR	4,122	0.25	1,091	25.0	0.22	0.54
SPR 基準	F30%SPR	4,946	0.30	1,080	30.0	0.18	0.45
	F40%SPR	6,593	0.40	1,013	40.0	0.13	0.32

表 3. F25%SPR を Fmsy の代替値とした場合の各種管理基準値案における平衡状態での平均親魚量、漁業がなかったと仮定した場合の初期親魚量 (SB0=16,480 トン) に対する比、平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、現状の漁獲圧 (F2018-2020) に対する努力量の比の関係、および MSY を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数 (Fmsy proxy)

管理基準値案	説明	親魚量 (トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲 割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBmsy proxy	4,053	0.25	1,091	0.25	0.22	0.55
限界管理基準値案	SBmin	1,921	0.12	999	0.12	0.39	1.02
禁漁水準案	SBban	384	0.02	-	-	-	-
MSY proxy を実現 する漁獲圧	Fmsy proxy	(1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳以上) = (0.14 0.28 0.34 0.35 0.29 0.25, 0.25)					

表 4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	1	5	13	23	31	37	43	44	50	48
0.9	0	0	0	0	0	5	26	53	73	84	89	92	93	93	94
0.8	0	0	0	0	1	22	68	92	99	100	100	100	100	100	100
0.7	0	0	0	0	4	56	96	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	0	0	12	88	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	0	0	32	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	0	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	0	0	84	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	0	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 5. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	93	80	71	65	64	62	64	63	64	63	62	61

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 6. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 7. 将来の平均親魚量の推移 (トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,214	2,655	3,060	3,368	3,598	3,757	3,865	3,934	3,980	4,008	4,023	4,053	4,041
0.9	2,205	2,318	2,214	2,729	3,216	3,598	3,890	4,098	4,241	4,335	4,399	4,439	4,462	4,508	4,496
0.8	2,205	2,318	2,214	2,806	3,381	3,846	4,212	4,479	4,667	4,793	4,880	4,936	4,971	5,042	5,031
0.7	2,205	2,318	2,214	2,886	3,556	4,115	4,566	4,905	5,149	5,317	5,435	5,513	5,564	5,673	5,663
0.6	2,205	2,318	2,214	2,968	3,740	4,405	4,958	5,384	5,698	5,918	6,076	6,185	6,257	6,425	6,417
0.5	2,205	2,318	2,214	3,052	3,936	4,720	5,391	5,921	6,322	6,610	6,820	6,970	7,073	7,328	7,325
0.4	2,205	2,318	2,214	3,138	4,142	5,061	5,869	6,525	7,033	7,408	7,687	7,890	8,036	8,424	8,430
0.3	2,205	2,318	2,214	3,228	4,361	5,431	6,398	7,206	7,846	8,329	8,698	8,974	9,179	9,768	9,791
0.2	2,205	2,318	2,214	3,320	4,592	5,832	6,984	7,973	8,775	9,397	9,881	10,255	10,540	11,434	11,490
0.1	2,205	2,318	2,214	3,414	4,837	6,267	7,634	8,838	9,841	10,636	11,271	11,774	12,169	13,525	13,647
0.0	2,205	2,318	2,214	3,512	5,096	6,739	8,355	9,816	11,063	12,078	12,908	13,582	14,126	16,184	16,434
Fcurrent	2,205	2,318	2,214	2,112	2,049	2,012	1,993	1,982	1,979	1,978	1,979	1,978	1,976	1,977	1,969

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 8. 将来の平均漁獲量の推移 (トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,143	668	785	881	950	998	1,031	1,053	1,068	1,077	1,082	1,085	1,091	1,088
0.9	915	1,143	609	734	840	918	973	1,012	1,039	1,057	1,068	1,075	1,080	1,088	1,085
0.8	915	1,143	549	679	791	876	939	984	1,015	1,037	1,051	1,060	1,066	1,077	1,075
0.7	915	1,143	487	617	733	825	893	943	980	1,005	1,022	1,033	1,041	1,056	1,055
0.6	915	1,143	424	550	667	761	834	889	929	957	977	991	1,000	1,022	1,020
0.5	915	1,143	358	477	590	684	758	816	859	890	913	929	940	967	967
0.4	915	1,143	291	397	501	590	663	721	765	798	822	840	853	886	887
0.3	915	1,143	221	310	399	478	545	598	641	673	697	716	729	768	769
0.2	915	1,143	150	215	283	345	398	442	478	506	528	545	557	597	600
0.1	915	1,143	76	112	150	187	219	246	269	287	301	313	322	352	355
0.0	915	1,143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,143	1,092	1,053	1,028	1,016	1,009	1,006	1,005	1,006	1,006	1,005	1,004	1,004	1,002

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。なお、2021 年の漁獲量は 915 トンであるが、0 歳魚の漁獲を除いた計算値となっている。

表9. Fmsy proxy による管理において予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

β	10年後の 目標達成 確率	予測平均親魚量 (トン)		予測平均漁獲量 (トン)			リスク (10年間に1度 でも起きる確率)		
	親魚資源 量が目標 管理基準 値案を上 回る	5年後	10年 後	0年後	5年後	10年 後	親魚量 が現在 の水準 を下回 る	親魚量 が限界 管理基 準値を 下回る	漁獲量 が半減 する
		2028 年	2033 年	2023 年	2028 年	2033 年			
1	43%	3,757	4,023	668	1,031	1,085	0%	0%	0%
0.9	92%	4,098	4,462	609	1,012	1,080	0%	0%	0%
0.8	100%	4,479	4,971	549	984	1,066	0%	0%	0%
0.7	100%	4,905	5,564	487	943	1,041	0%	0%	0%
0.6	100%	5,384	6,257	424	889	1,000	0%	0%	0%
0.5	100%	5,921	7,073	358	816	940	0%	0%	0%
0.4	100%	6,525	8,036	291	721	853	0%	0%	0%
0.3	100%	7,206	9,179	221	598	729	0%	0%	0%
0.2	100%	7,973	10,540	150	442	557	0%	0%	0%
0.1	100%	8,838	12,169	76	246	322	0%	0%	0%
0	100%	9,816	14,126	0	0	0	0%	0%	0%

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した結果をまとめた。漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度 (0 年後) の 2023 年の値と、5 年および 10 年間の管理を行った後の値 (2028 年および 2033 年) を示した。

補足資料 1 1B ルールにおける加入の参照年の感度分析

MSY およびそれを達成する資源水準は、中長期的に頑健な条件（再生産関係等）に基づき推定させる。1B ルールにおいては、将来予測における加入量の仮定を検討することでより現状に則した管理基準値およびMSYの提案が可能である。ここでは、F25%SPR (Fmax) を Fmsy の代替値とした時に、目標管理基準値案 (SBmsy proxy) および目標管理基準値案における漁獲量 (MSY) が加入の参照開始年を変えた場合にどのように変化するかを確認する。

参照終了年は、資源量推定値の不確実性を考慮して直近年を除く 2020 年とし、平均的な加入として参照する範囲（以降、参照年）を 1 年ずつ追加し、平均加入尾数の推移を確認した（補足図 1-1、補足表 1-1）。平均加入尾数は、1997 年から緩やかな減少傾向を示し、平均参照年を客観的に判断することが難しい。そこで、本案では、加入の残差トレンドに基づき参照開始年を便宜的に区分した。本資料で試算した加入の参照年を以下に示す。初めに、STARS（補足資料 7）によって、加入の平均値傾向の抽出を行い、1997 年と 2009 年に残差トレンドが有意に変化していると推定された。そこで、加入の平均値のトレンドが変化した 1997 年と 2009 年から 2020 年を加入参照年の候補とした。加えて、ごく最近の加入状況を反映していると考えられる過去 5 年平均を加入参照年として、SBmsy の代替値等の試算を行った。なお、各加入の参照年に対して対数正規分布をあてはめ、その分布に基づいて加入が行われると仮定した。なお、F25%SPR (Fmax) の推定に関する他のパラメータ（現状の漁獲圧および選択率、年齢別平均体重、成熟率）には表 1 の値を用いた。

補足表 1-1 に加入の参照開始年別の SBmsy proxy を示す。資源評価開始年である 1997 年以降の加入を参照した結果では SBmsy proxy は 5,442 トンとなり、2021 年の親魚量 (2,205 トン) の 2.47 倍と推定された。また、加入量の参照開始年を 2009 年からとすると、SBmsy proxy は 4,567 トンと減少していく傾向にあり、本案で提案した加入 5 年平均は 4,053 トンと最小であった（補足表 1-2）。また、最も高い値であった加入量の参照開始年を 1997 年（24 年平均）とした結果は、加入量の参照開始年を 2016 年（5 年平均）とした結果の 1.4 倍の値を示し、2009～2011 年ごろの加入量に相当していた。SB0 についても同様の傾向であり、加入参照年が長いほど大きな値を示した。

補足表 1-1 に、加入の参照開始年別の Fmax で漁獲した場合の平均漁獲量 (MSY) を示す。漁獲量は SBmsy proxy と同様に開始年を 1997 年とした場合が最も高く 1,465 トンであり、以降は減少し、2009 年とした場合では 1,229 トン、2016 年とした場合では 1,091 トンと推定された。MSY は、すべての参照年開始年で 2021 年の漁獲量 (920 トン) を上回った。

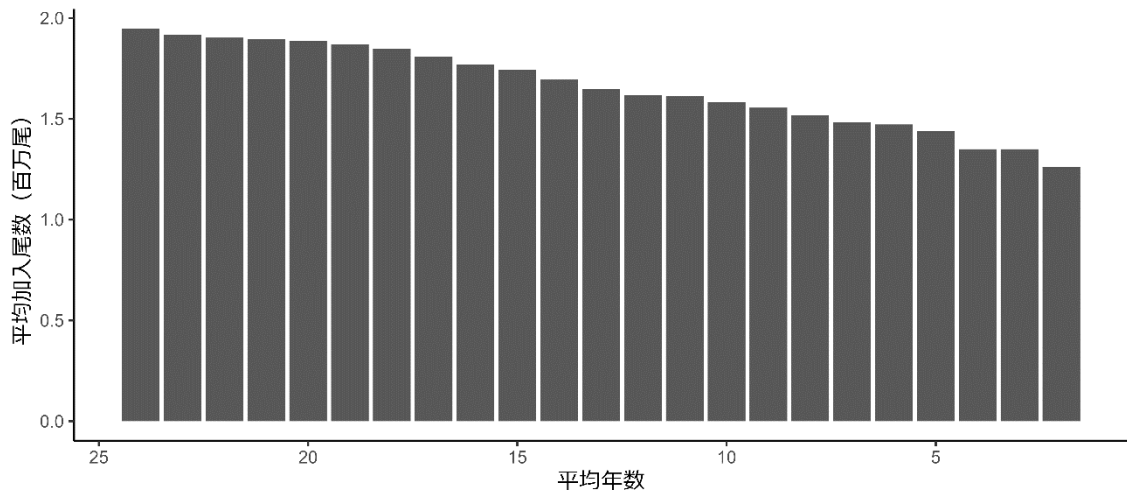
これらの結果から、1B ルールにおける加入の参照開始年を異なる値とすることによって、現状の資源において予測される目標管理基準値案 (SBmsy proxy) や Fmsy の代替値による漁獲によって得られる漁獲量 (MSY) は減少傾向を示す結果となった。

各参照開始年の Fmax に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測について、調整係数 β を 0.0～1.0 の間で、0.1 間隔で変えた場合の、親魚量が目標管理基準値案および限界管理基準値案を上回る確率、および親魚量平均値と漁獲量平均値の推移をそれぞれ補足表 1-3～1-7 に示す。補足表 1-3～1-7 には、現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を継続した場合の結

果も比較のため示した。

いずれの加入参照年であっても、 β が 0.7 の場合、10 年後の 2033 年に目標管理基準値案を上回る確率は 100%と予測された（補足表 1-3）。 β が 1.0 の場合に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 44%以下であった。なお、 β が 1.0 以下のいずれの値であっても、100%の確率で限界管理基準値案となる親魚量を上回り（補足表 1-4）、禁漁水準案を下回らないと予測された（補足表 1-5）。2024 年以降の親魚量は β が低い程多くなった（補足表 1-6）。 β を 0.8~1.0 の間で変化させた場合の 2033 年の平均漁獲量は参照年が短いほど低く、1,000~1,400 トンとなった（補足表 1-7）。

本資源の加入量は減少傾向が続いており、加入は低い水準で推移している（図 1）。この加入動向は、鳥取県で実施されている新規加入量調査の結果と一致している。また、本系群ではこれまでに卓越年級の出現は観察されておらず、突発的な高加入も見込めない状況にある。そのため、本資源にみられる一貫した加入量の減少は、予防的な観点でも熟慮することが不可欠である。現時点では、現状よりも高加入を補足できるような情報（調査等）もない。STARS では加入の平均値が大きく変化した年を推定することができたが、減少傾向が続く本資源では現状よりも高い水準の加入を期待している状況にあり、F25%SPR（Fmax）で管理した場合に期待される親魚量も漁獲量も過大推定になっている恐れがある。そのため、10 年以上前の高い加入状況を仮定するよりも、近年の低水準の加入尾数を想定すべきと判断し、加入尾数は 2021 年を除いた 2016 年以降の天然 1 歳魚の加入尾数（2016~2020 年）を仮定することが妥当であろうと判断した。



補足図 1-1. 平均加入参照年を1年ずつ追加した時の平均加入尾数の推移平均加入尾数の推移

補足表 1-1. 平均加入尾数の推移

平均加入の参照年	平均加入尾数 (百万尾)	備考
1997-2020	1.948	24年平均*、STARSによる推定
1998-2020	1.918	23年平均
1999-2020	1.903	22年平均
2000-2020	1.896	21年平均
2001-2020	1.886	20年平均
2002-2020	1.869	19年平均
2003-2020	1.848	18年平均
2004-2020	1.809	17年平均
2005-2020	1.770	16年平均
2006-2020	1.743	15年平均
2007-2020	1.695	14年平均
2008-2020	1.647	13年平均
2009-2020	1.618	12年平均*、STARSによる推定
2010-2020	1.612	11年平均
2011-2020	1.583	10年平均
2012-2020	1.555	9年平均
2013-2020	1.518	8年平均
2014-2020	1.483	7年平均
2015-2020	1.472	6年平均
2016-2020	1.440	5年平均、提示案*
2017-2020	1.350	4年平均
2018-2020	1.350	3年平均
2019-2020	1.262	2年平均

*管理基準値等の比較に使用した参照年

補足表 1-2. 加入参照開始年を変えた場合に推定される基準値等

加入の 参照年	SBmsy (トン)	SB0	SB0に 対する 比	漁獲量 (トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲 割合	努力量 の比
1997-2020	5,442	22,126	0.25	1,465	0.25	0.22	0.55
2009-2020	4,567	18,569	0.25	1,229	0.25	0.22	0.55
2016-2020	4,053	16,800	0.25	1,091	0.25	0.22	0.55

補足表 1-3. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

(a)1997-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	1	4	13	22	31	37	42	44	50	47
0.9	0	0	0	0	0	4	18	42	61	75	82	84	88	89	89
0.8	0	0	0	0	1	10	46	78	94	97	99	99	99	100	100
0.7	0	0	0	0	1	28	78	98	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	0	0	4	55	96	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	0	0	9	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	0	19	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	0	0	35	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	0	56	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	0	76	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	0	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(b)2009-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	0	3	8	19	28	36	42	44	50	48
0.9	0	0	0	0	0	2	18	48	71	85	90	93	95	95	96
0.8	0	0	0	0	0	11	60	92	99	100	100	100	100	100	100
0.7	0	0	0	0	1	40	94	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	0	0	4	79	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	0	0	14	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	0	35	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	0	0	65	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	0	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	0	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(c)2016-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	1	5	13	23	31	37	43	44	50	48
0.9	0	0	0	0	0	5	26	53	73	84	89	92	93	93	94
0.8	0	0	0	0	1	22	68	92	99	100	100	100	100	100	100
0.7	0	0	0	0	4	56	96	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	0	0	12	88	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	0	0	32	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	0	60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	0	0	84	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	0	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。(a) 1997-2020 年の加入に基づいた場合、(b) 2009-2020 年の加入に基づいた場合、(c) 2016-2020 年の加入に基づいた場合の結果をそれぞれ示す。(c)に関しては、表 4 と同じ結果を示す

補足表 1-4. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

(a)1997-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(b) 2009-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	98	98	98	98	98	98	97	98	98	97	97

(c)2016-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	93	80	71	65	64	62	64	63	64	63	62	61

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。(a) 1997-2020 年の加入に基づいた場合、(b) 2009-2020 年の加入に基づいた場合、(c) 2016-2020 年の加入に基づいた場合の結果をそれぞれ示す。(c)に関しては、表 5 と同じ結果を示す

補足表 1-5. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

(a)1997-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(b) 2009-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(c)2016-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。(a) 1997-2020 年の加入に基づいた場合、(b) 2009-2020 年の加入に基づいた場合、(c) 2016-2020 年の加入に基づいた場合の結果をそれぞれ示す。(c)に関しては、表 6 と同じ結果を示す

補足表 1-6. 将来の平均親魚量の推移 (トン)

(a)1997-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,341	3,078	3,744	4,262	4,653	4,931	5,117	5,237	5,317	5,364	5,390	5,442	5,423
0.9	2,205	2,318	2,341	3,163	3,931	4,545	5,023	5,371	5,609	5,766	5,872	5,938	5,976	6,054	6,034
0.8	2,205	2,318	2,341	3,250	4,127	4,852	5,430	5,863	6,165	6,369	6,509	6,600	6,655	6,770	6,751
0.7	2,205	2,318	2,341	3,340	4,335	5,183	5,879	6,413	6,796	7,059	7,243	7,366	7,445	7,618	7,600
0.6	2,205	2,318	2,341	3,432	4,555	5,542	6,374	7,030	7,510	7,849	8,091	8,258	8,369	8,627	8,612
0.5	2,205	2,318	2,341	3,528	4,787	5,929	6,921	7,721	8,323	8,757	9,074	9,299	9,454	9,839	9,831
0.4	2,205	2,318	2,341	3,626	5,032	6,349	7,524	8,498	9,249	9,803	10,217	10,518	10,734	11,310	11,315
0.3	2,205	2,318	2,341	3,727	5,291	6,803	8,191	9,372	10,305	11,010	11,549	11,952	12,251	13,112	13,142
0.2	2,205	2,318	2,341	3,830	5,566	7,296	8,929	10,356	11,511	12,407	13,107	13,645	14,056	15,346	15,424
0.1	2,205	2,318	2,341	3,938	5,855	7,829	9,746	11,465	12,893	14,027	14,934	15,651	16,213	18,148	18,319
0.0	2,205	2,318	2,341	4,048	6,162	8,407	10,651	12,717	14,477	15,909	17,082	18,034	18,803	21,710	22,059
Fcurrent	2,205	2,318	2,341	2,461	2,534	2,577	2,607	2,626	2,638	2,646	2,654	2,654	2,651	2,656	2,641

(b) 2009-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,261	2,811	3,314	3,700	3,990	4,193	4,329	4,417	4,475	4,510	4,529	4,566	4,554
0.9	2,205	2,318	2,261	2,890	3,481	3,950	4,311	4,571	4,749	4,865	4,944	4,993	5,022	5,079	5,067
0.8	2,205	2,318	2,261	2,971	3,658	4,219	4,664	4,993	5,223	5,377	5,483	5,551	5,594	5,680	5,669
0.7	2,205	2,318	2,261	3,054	3,845	4,511	5,054	5,465	5,760	5,963	6,104	6,199	6,260	6,391	6,382
0.6	2,205	2,318	2,261	3,140	4,042	4,827	5,484	5,995	6,371	6,634	6,822	6,952	7,039	7,238	7,231
0.5	2,205	2,318	2,261	3,228	4,251	5,169	5,958	6,590	7,065	7,406	7,655	7,831	7,954	8,256	8,254
0.4	2,205	2,318	2,261	3,319	4,472	5,539	6,483	7,258	7,856	8,296	8,623	8,863	9,035	9,491	9,499
0.3	2,205	2,318	2,261	3,412	4,705	5,940	7,064	8,010	8,758	9,324	9,754	10,076	10,316	11,004	11,033
0.2	2,205	2,318	2,261	3,509	4,953	6,375	7,706	8,857	9,791	10,513	11,076	11,510	11,842	12,880	12,948
0.1	2,205	2,318	2,261	3,608	5,214	6,847	8,418	9,813	10,973	11,894	12,628	13,209	13,666	15,235	15,377
0.0	2,205	2,318	2,261	3,710	5,491	7,358	9,207	10,893	12,330	13,499	14,455	15,231	15,858	18,228	18,517
Fcurrent	2,205	2,318	2,261	2,241	2,229	2,222	2,221	2,221	2,223	2,225	2,228	2,228	2,226	2,228	2,219

(c)2016-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,214	2,655	3,060	3,368	3,598	3,757	3,865	3,934	3,980	4,008	4,023	4,053	4,041
0.9	2,205	2,318	2,214	2,729	3,216	3,598	3,890	4,098	4,241	4,335	4,399	4,439	4,462	4,508	4,496
0.8	2,205	2,318	2,214	2,806	3,381	3,846	4,212	4,479	4,667	4,793	4,880	4,936	4,971	5,042	5,031
0.7	2,205	2,318	2,214	2,886	3,556	4,115	4,566	4,905	5,149	5,317	5,435	5,513	5,564	5,673	5,663
0.6	2,205	2,318	2,214	2,968	3,740	4,405	4,958	5,384	5,698	5,918	6,076	6,185	6,257	6,425	6,417
0.5	2,205	2,318	2,214	3,052	3,936	4,720	5,391	5,921	6,322	6,610	6,820	6,970	7,073	7,328	7,325
0.4	2,205	2,318	2,214	3,138	4,142	5,061	5,869	6,525	7,033	7,408	7,687	7,890	8,036	8,424	8,430
0.3	2,205	2,318	2,214	3,228	4,361	5,431	6,398	7,206	7,846	8,329	8,698	8,974	9,179	9,768	9,791
0.2	2,205	2,318	2,214	3,320	4,592	5,832	6,984	7,973	8,775	9,397	9,881	10,255	10,540	11,434	11,490
0.1	2,205	2,318	2,214	3,414	4,837	6,267	7,634	8,838	9,841	10,636	11,271	11,774	12,169	13,525	13,647
0.0	2,205	2,318	2,214	3,512	5,096	6,739	8,355	9,816	11,063	12,078	12,908	13,582	14,126	16,184	16,434
Fcurrent	2,205	2,318	2,214	2,112	2,049	2,012	1,993	1,982	1,979	1,978	1,978	1,978	1,976	1,977	1,969

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。(a) 1997-2020 年の加入に基づいた場合、(b) 2009-2020 年の加入に基づいた場合、(c) 2016-2020 年の加入に基づいた場合の結果をそれぞれ示す。(c)に関しては、表 7 と同じ結果を示す

補足表 1-7. 将来の平均漁獲量の推移 (トン)

(a)1997-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,178	744	940	1,105	1,223	1,304	1,361	1,399	1,424	1,440	1,449	1,455	1,465	1,460
0.9	915	1,178	679	879	1,052	1,179	1,270	1,335	1,379	1,409	1,428	1,440	1,447	1,461	1,457
0.8	915	1,178	612	811	989	1,125	1,223	1,296	1,346	1,381	1,404	1,418	1,428	1,446	1,443
0.7	915	1,178	543	737	916	1,057	1,162	1,241	1,298	1,337	1,364	1,382	1,394	1,418	1,415
0.6	915	1,178	472	657	832	974	1,083	1,168	1,229	1,273	1,304	1,325	1,339	1,372	1,369
0.5	915	1,178	399	569	735	874	984	1,070	1,136	1,183	1,217	1,241	1,258	1,299	1,297
0.4	915	1,178	323	473	624	754	859	944	1,010	1,059	1,095	1,121	1,140	1,190	1,190
0.3	915	1,178	246	369	496	610	705	783	845	892	928	954	974	1,031	1,033
0.2	915	1,178	166	256	351	439	514	578	630	671	702	726	744	802	805
0.1	915	1,178	84	133	187	237	282	321	354	379	400	416	429	473	476
0.0	915	1,178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,178	1,218	1,272	1,304	1,321	1,331	1,339	1,343	1,347	1,349	1,348	1,348	1,348	1,344

(b)2009-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,156	696	843	964	1,052	1,112	1,153	1,181	1,200	1,211	1,218	1,222	1,229	1,227
0.9	915	1,156	635	788	918	1,015	1,083	1,132	1,165	1,187	1,201	1,210	1,216	1,226	1,223
0.8	915	1,156	572	728	864	969	1,045	1,099	1,138	1,164	1,181	1,193	1,200	1,214	1,212
0.7	915	1,156	508	662	801	911	993	1,054	1,098	1,128	1,148	1,162	1,171	1,190	1,189
0.6	915	1,156	442	590	728	840	927	992	1,040	1,074	1,098	1,115	1,126	1,151	1,150
0.5	915	1,156	373	511	644	754	842	910	962	999	1,025	1,044	1,058	1,090	1,089
0.4	915	1,156	303	425	546	651	736	804	856	895	923	944	959	998	999
0.3	915	1,156	230	332	435	527	604	667	716	754	783	804	820	865	867
0.2	915	1,156	156	230	308	380	441	493	535	567	592	612	627	673	676
0.1	915	1,156	79	120	164	206	242	274	300	321	338	351	361	397	400
0.0	915	1,156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,156	1,139	1,134	1,131	1,129	1,129	1,130	1,131	1,132	1,133	1,132	1,132	1,131	1,129

(c)2016-2020 年の加入に基づいた場合

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,143	668	785	881	950	998	1,031	1,053	1,068	1,077	1,082	1,085	1,091	1,088
0.9	915	1,143	609	734	840	918	973	1,012	1,039	1,057	1,068	1,075	1,080	1,088	1,085
0.8	915	1,143	549	679	791	876	939	984	1,015	1,037	1,051	1,060	1,066	1,077	1,075
0.7	915	1,143	487	617	733	825	893	943	980	1,005	1,022	1,033	1,041	1,056	1,055
0.6	915	1,143	424	550	667	761	834	889	929	957	977	991	1,000	1,022	1,020
0.5	915	1,143	358	477	590	684	758	816	859	890	913	929	940	967	967
0.4	915	1,143	291	397	501	590	663	721	765	798	822	840	853	886	887
0.3	915	1,143	221	310	399	478	545	598	641	673	697	716	729	768	769
0.2	915	1,143	150	215	283	345	398	442	478	506	528	545	557	597	600
0.1	915	1,143	76	112	150	187	219	246	269	287	301	313	322	352	355
0.0	915	1,143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,143	1,092	1,053	1,028	1,016	1,009	1,006	1,005	1,006	1,006	1,005	1,004	1,004	1,002

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。(a) 1997-2020 年の加入に基づいた場合、(b) 2009-2020 年の加入に基づいた場合、(c) 2016-2020 年の加入に基づいた場合の結果をそれぞれ示す。(c)に関しては、表 8 と同じ結果を示す。なお、2021 年の漁獲量は 915 トンであるが、0 歳魚の漁獲を除いた計算値となっている。

補足資料 2 1B ルールにおける現状の放流を想定した場合の将来予測

本案で提案した F_{msy} の代替値 (F_{msy} proxy: $F_{25\%SPR}$ 相当の F_{max}) に基づいた管理基準値案および漁獲管理規則 (HCR) によって漁獲を行った場合の将来予測において、現状の放流を想定し、参照年の平均的な加入尾数に人工種苗由来の加入尾数を加算して各年の加入量とした場合の結果をここで示す。人工種苗由来の加入尾数 (19.4 万尾) は、2018～2020 年における平均放流尾数 (389.4 万尾) と 2019～2021 年の添加効率 (放流個体が資源に加入する比率) の平均値 (0.05) の積として求めた。

現状の放流を想定した場合において、予測される親魚量が各管理基準値案を上回る確率を補足表 2-1～2-3 に、将来の平均親魚量、平均漁獲量を補足表 2-4～2-5 に示す。また、現状の放流を想定した場合に予測される親魚量と、漁獲量および親魚量が管理基準値案を上回る確率を補足表 2-6 に示す。将来予測において、天然の加入のみを想定した場合に比べ、現状の放流を想定した場合では平均親魚量および漁獲量は多くなると予測される (補足表 2-7)。 $\beta=0.8$ とした場合、2033 年に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は、天然の加入のみを想定した場合、現状の放流を想定した場合のいずれにおいても 100% と推定される。一方、 $\beta=1.0$ とした場合では、2033 年の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は、天然の加入のみを想定した場合では 43%、現状の放流を想定した場合では 98% と推定される。

ここでは、現状の添加効率として直近 3 年間の平均値を用いたが、添加効率の設定によって、人工種苗由来の加入尾数は変化するため、種苗放流が将来の親魚量や漁獲量に与える影響をより精度高く検討するためには、天然の加入尾数ならびに添加効率の推定精度を向上させる必要がある。添加効率の推定には、放流種苗への標識装着率 (黒化率) や混入率に関するデータが必須であるが、近年、これらのデータの入手が困難になりつつあるため、データの量と質の維持・向上について検討する必要がある。また、今後の種苗放流の体制が大きく変化することがあれば、管理方策についても再検討が必要となる。

補足表 2-1. 現状の放流を想定した場合における将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	9	43	74	90	95	97	98	98	98	98
0.9	0	0	0	0	2	35	86	99	100	100	100	100	100	100	100
0.8	0	0	0	0	7	75	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	0	0	0	0	22	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	0	0	49	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	0	0	79	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	0	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 2-2. 現状の放流を想定した場合における将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	99	99	99	99	99	99	98	99	99	98	99

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 2-3. 現状の放流を想定した場合における将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 2-4. 現状の放流を想定した場合における将来の平均親魚量の推移 (トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,265	2,824	3,335	3,728	4,023	4,230	4,368	4,457	4,516	4,551	4,571	4,609	4,598
0.9	2,205	2,318	2,265	2,903	3,503	3,979	4,346	4,611	4,791	4,910	4,990	5,039	5,069	5,127	5,115
0.8	2,205	2,318	2,265	2,984	3,681	4,251	4,702	5,036	5,270	5,426	5,533	5,603	5,646	5,734	5,723
0.7	2,205	2,318	2,265	3,068	3,869	4,545	5,095	5,513	5,812	6,017	6,160	6,256	6,318	6,452	6,442
0.6	2,205	2,318	2,265	3,154	4,068	4,863	5,528	6,047	6,427	6,695	6,885	7,016	7,104	7,307	7,300
0.5	2,205	2,318	2,265	3,243	4,278	5,207	6,007	6,646	7,127	7,473	7,725	7,903	8,028	8,334	8,333
0.4	2,205	2,318	2,265	3,334	4,500	5,580	6,535	7,320	7,925	8,371	8,702	8,944	9,118	9,580	9,589
0.3	2,205	2,318	2,265	3,428	4,735	5,984	7,120	8,078	8,835	9,407	9,842	10,169	10,411	11,108	11,137
0.2	2,205	2,318	2,265	3,525	4,983	6,421	7,767	8,932	9,877	10,607	11,177	11,615	11,951	13,002	13,070
0.1	2,205	2,318	2,265	3,624	5,246	6,896	8,484	9,896	11,069	12,000	12,742	13,330	13,792	15,378	15,523
0.0	2,205	2,318	2,265	3,727	5,524	7,410	9,279	10,984	12,437	13,619	14,585	15,369	16,003	18,400	18,692
Fcurrent	2,205	2,318	2,265	2,252	2,244	2,240	2,240	2,242	2,244	2,246	2,249	2,249	2,247	2,249	2,240

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 2-5. 現状の放流を想定した場合における将来の平均漁獲量の推移（トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,157	698	848	971	1,060	1,121	1,164	1,192	1,211	1,222	1,229	1,233	1,241	1,238
0.9	915	1,157	637	792	925	1,023	1,093	1,142	1,176	1,198	1,212	1,221	1,227	1,237	1,235
0.8	915	1,157	574	732	871	976	1,053	1,109	1,148	1,175	1,192	1,204	1,211	1,225	1,223
0.7	915	1,157	510	665	807	918	1,002	1,063	1,108	1,138	1,159	1,173	1,182	1,201	1,200
0.6	915	1,157	443	593	733	847	934	1,001	1,050	1,084	1,108	1,125	1,136	1,162	1,161
0.5	915	1,157	374	514	648	760	849	918	970	1,008	1,035	1,054	1,067	1,100	1,100
0.4	915	1,157	304	427	550	656	742	811	864	903	932	953	968	1,008	1,008
0.3	915	1,157	231	333	438	531	609	673	723	761	790	811	827	873	875
0.2	915	1,157	156	231	310	383	445	497	539	572	598	617	632	679	682
0.1	915	1,157	79	120	165	207	244	276	303	324	341	354	365	400	404
0.0	915	1,157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,157	1,142	1,141	1,140	1,139	1,139	1,140	1,141	1,143	1,143	1,142	1,142	1,142	1,140

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧（Fcurrent）で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。なお、2021 年の漁獲量は 915 トンであるが、0 歳魚の漁獲を除いた計算値となっている。

補足表 2-6. 現状の放流を想定した場合に予測される親魚量と漁獲量および親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

β	10年後の 目標達成 確率	予測平均親魚量 (トン)		予測平均漁獲量 (トン)			リスク(10年間に1度でも 起きる確率)		
	親魚資源 量が目標 管理基準 値案を上 回る	5年後	10年 後	0年後	5年後	10年 後	親魚量 が現在 の水準 を下回 る	親魚量 が限界 管理基 準値を 下回る	漁獲量 が半減 する
		2028 年	2033 年	2023 年	2028 年	2033 年			
1	98%	4,230	4,571	698	1,164	1,233	0%	0%	0%
0.9	100%	4,611	5,069	637	1,142	1,227	0%	0%	0%
0.8	100%	5,036	5,646	574	1,109	1,211	0%	0%	0%
0.7	100%	5,513	6,318	510	1,063	1,182	0%	0%	0%
0.6	100%	6,047	7,104	443	1,001	1,136	0%	0%	0%
0.5	100%	6,646	8,028	374	918	1,067	0%	0%	0%
0.4	100%	7,320	9,118	304	811	968	0%	0%	0%
0.3	100%	8,078	10,411	231	673	827	0%	0%	0%
0.2	100%	8,932	11,951	156	497	632	0%	0%	0%
0.1	100%	9,896	13,792	79	276	365	0%	0%	0%
0	100%	10,984	16,003	0	0	0	0%	0%	0%

漁獲管理規則案での調整係数 β を0.0～1.0にて0.1刻みで変更した結果をまとめた。

漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度(0年後)の2023年の値と、5年および10年管理を行った後の値(2028年および2033年)を示した。

補足表 2-7. 天然の加入のみと人工種苗由来の加入を考慮した場合に予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

将来の加入の想定	β	10年後の目標達成確率(%)	予測平均親魚量(トン)		予測平均漁獲量(トン)		
		親魚資源量が目標管理基準値案を上回る	5年後	10年後	0年後	5年後	10年後
			2028年	2033年	2023年	2028年	2033年
2016～2020年の天然由来加入にあてはめられた対数正規分布に基づく加入のみ	1	43	3,757	4,023	668	1,031	1,085
	0.9	92	4,098	4,462	609	1,012	1,080
	0.8	100	4,479	4,971	549	984	1,066
	0.7	100	4,905	5,564	487	943	1,041
	0.6	100	5,384	6,257	424	889	1,000
	0.5	100	5,921	7,073	358	816	940
	F2018-2020	0	3,757	4,023	668	1,031	1,085
上記に種苗放流*を計算(389.4万尾放流、添加効率0.05)	1	98	4,230	4,571	698	1,164	1,233
	0.9	100	4,611	5,069	637	1,142	1,227
	0.8	100	5,036	5,646	574	1,109	1,211
	0.7	100	5,513	6,318	510	1,063	1,182
	0.6	100	6,047	7,104	443	1,001	1,136
	0.5	100	6,646	8,028	374	918	1,067
	F2018-2020	0	4,230	4,571	698	1,164	1,233

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.5～1.0 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（0年後）の2023年の値と、5年および10年管理を行った後の値（2028年および2033年）を示した。

*人工種苗由来の加入尾数は、現状の放流尾数（2018～2020年平均：389.4万尾）と2019～2021年の平均添加効率（0.05）の積である。

補足資料 3 1B ルールにおける代替漁獲管理規則（上限下限ルール）の検討

漁獲管理規則（Harvest Control Rule, HCR）とは、資源量の水準や状態に応じて、とるべき漁獲の強さや漁獲量を自動的に計算するためのルールである（Deroba and Bense 2008）。資源管理においては、漁獲管理規則をあらかじめ合意しておくことにより、毎年、資源状態を見ながら漁獲枠を議論する際の透明性が確保できる。我が国資源で検討・導入されている漁獲管理規則、または、ステークホルダーによって合意された漁獲シナリオについても、基本的に管理期間内で一貫したものをを用いることが想定されており、管理期間内の漁獲圧を一定とする方策が基本になっている。

令和 2 年度の漁獲管理方針に関する検討会において、漁獲量の変動を緩和するルールの検討が求められ、直近数年のみ漁獲量を一定にしたり、例外措置を適用したりするような代替ルールが考案された。代替ルールの検討を行う際には、その必要性と目的に沿うものであるとともに、代替ルールを用いたとしても管理期間 10 年にわたって目標が達成されるように設計する必要がある。

本案では、1B ルール下での推定結果から、漁獲管理規則案は、まず β に標準値である 0.7 による提案したが、Fmsy proxy/F2018-2020 は 0.55 と推定され、大幅に漁獲量を減らすような提案になっている。一方、この提案で管理をした場合に、50%以上の確率で目標管理基準値（SBmsy proxy）に到達する年数は 3 年と非常に早く、漁獲量の削減を緩やかに行ったとしても、管理を開始して 10 年以内には目標を達成することが想定される。そこで、管理を開始する年の漁獲量の削減率およびその後の年々の漁獲量の前年からの変動割合（以降、CV と呼ぶ）を一定範囲以内とする代替漁獲管理規則（上限下限ルール）の適用の可否を検討した。なお、代替漁獲管理規則に関するガイドラインは FRA-SA2022-ABCWG02-06 にまとめられている。

C_t を t 年の漁獲量、 L を下制限係数、 U を上制限係数として、 C_t の制限は前年の漁獲量 C_{t-1} に制限係数を掛ける形で次のように表される。

$$C_{t-1} \cdot L \leq C_t \leq C_{t-1} \cdot U$$

C_t の制限期間は 2023 年から 10 年間（10y）を設定し、それ以降は通常の漁獲管理規則に従う管理を検討した。漁獲量の変動幅（CV）については、前年比±5%以内（CV5: $U=1.05$, $L=0.95$ ）、±10%以内（CV10: $U=1.10$, $L=0.90$ ）、±20%以内（CV20: $U=1.20$, $L=0.80$ ）の 3 通りを検討した。標準値である $\beta=0.7$ および 10 年後に目標管理基準値案を 50%以上の確率で達成する $\beta=0.9$ をベースとして将来予測のシミュレーションを行い、基本的漁獲管理規則等の結果を比較した。

それぞれの漁獲管理規則における将来予測の結果を補足図 3-1、3-2 に示した。管理規則導入期間を通じた漁獲量の指標として、管理開始当初（2023 年）、管理中盤（2024～2027 年）、および管理終盤（2028～2032 年）の漁獲量の期間中の平均値を、基本的漁獲管理規則と変動幅の異なる 3 つの代替漁獲管理規則（10y_CV5、10y_CV10、10y_CV20）の三者で比較した（補足表 3-1、3-2）。10y_CV5、10y_CV10、10y_CV20 とともに、管理開始当初の

平均漁獲量は基本とされている漁獲管理規則 ($\beta=0.7$ もしくは $\beta=0.9$ で一定) を適用した漁獲管理規則を適用した場合より高く、管理中盤以降では同等か低くなった。

資源の持続性を示す指標として、管理開始から 5 年後 (2028 年) と 10 年後 (2033 年) の平均親魚量を比較した (補足表 3-1、3-2)。いずれの代替漁獲管理規則を適用した場合でも 2028 年と 2033 年の平均親魚量は基本的漁獲管理規則を適用した場合の値を下回った。

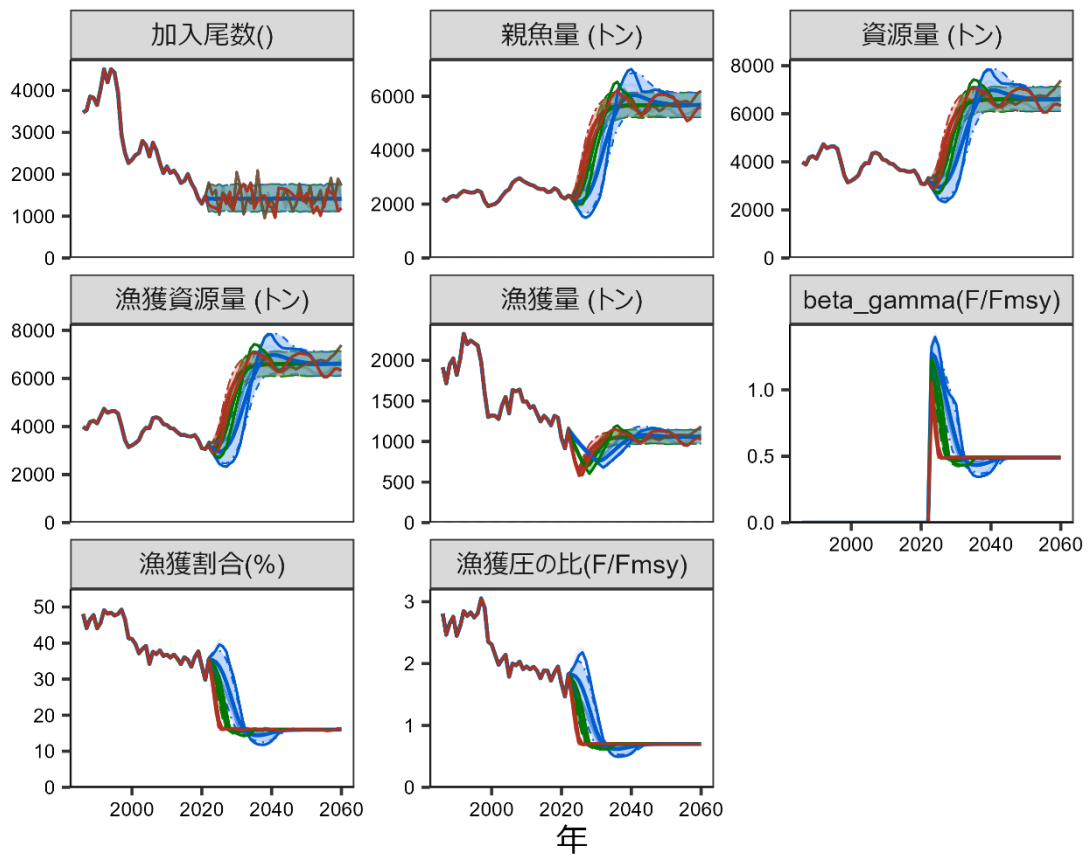
10 年後の平均親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は、いずれの管理規則を用いた場合でも 50%を上回った (補足表 3-1、3-2)。また、資源が望ましくない状態に陥るリスクの指標として、管理開始後の 10 年間で 1 度でも限界管理基準値案、禁漁水準案を下回る確率を、 $\beta=0.7$ もしくは 0.9 のいずれの場合でも、10y_CV10 および 10y_CV20 で親魚量が限界管理基準値案を下回る確率は 0.9%および 0.5%であった。同時に 10y_CV5 では、 $\beta=0.7$ もしくは 0.9 のいずれの場合であっても、10 年間で 1 度でも限界管理基準値案を下回る確率が 38.8%と非常に高い推定となった。なお、親魚量が限界管理基準値案を下回る確率、漁獲量が半減する確率は、いずれの漁獲管理方策でも 0%であった。

管理期間 10 年間で予測される漁獲量の変動の指標として、平均年変動 (AAV: annual average variation)、最低漁獲量 (MinC: minimum catch) を各漁獲管理規則の間で比較したところ、 $\beta=0.7$ では、AAV は基本的漁獲管理規則を適用した場合では 0.09 であるのに対し、代替漁獲管理規則を適用すると 10y_CV5 が 0.05、10y_CV10 が 0.09、10y_CV20 が 0.10 であった。さらに MinC は基本的漁獲管理規則で 487 トンであるのに対し、代替漁獲管理規則では 608~736 トンと多くなった。加えて、将来予測の結果から、代替漁獲管理規則を適用した場合でも資源量や親魚量が現状より大きく増加することが示唆された (補足図 3-1)。 $\beta=0.9$ では、AAV は基本的漁獲管理規則を適用した場合では 0.07 であるのに対し、代替漁獲管理規則を適用すると 10y_CV5 では 0.05、10y_CV10 および 10y_CV20 では 0.08 であった。さらに MinC は、基本的漁獲管理規則で 609 トンであるのに対し、代替漁獲管理規則では 707~786 トンと多くなった。加えて、将来予測の結果から、代替漁獲管理規則を適用した場合でも資源量や親魚量が現状より大きく増加することが示唆された (補足図 3-2)。

以上の結果をもとに、代替漁獲管理規則に関するガイドライン (FRA-SA2022-ABCWG02-06) にもとづき代替漁獲管理規則のカテゴリ分けを行なった (補足表 3-1)。 $\beta=0.7$ の場合、前年比 $\pm 5\%$ 以内を 10 年間行う規則 (10y_CV5) はカテゴリ 2 (目標達成確率が 50%以上かつリスクが $\beta=1.0$ の値以下)、前年比 $\pm 10\%$ 以内を 10 年間行う規則 (10y_CV10) と、前年比 $\pm 20\%$ 以内を 5 年間行う規則 (10y_CV20) はカテゴリ 3 (目標達成確率が 50%以上かつリスクが $\beta=0.7$ の値以下) と判断された。 $\beta=0.9$ の場合はいずれの代替管理方策でも、カテゴリ 2 (目標達成確率が 50%以上かつリスクが $\beta=1.0$ の値以下) と判断された。

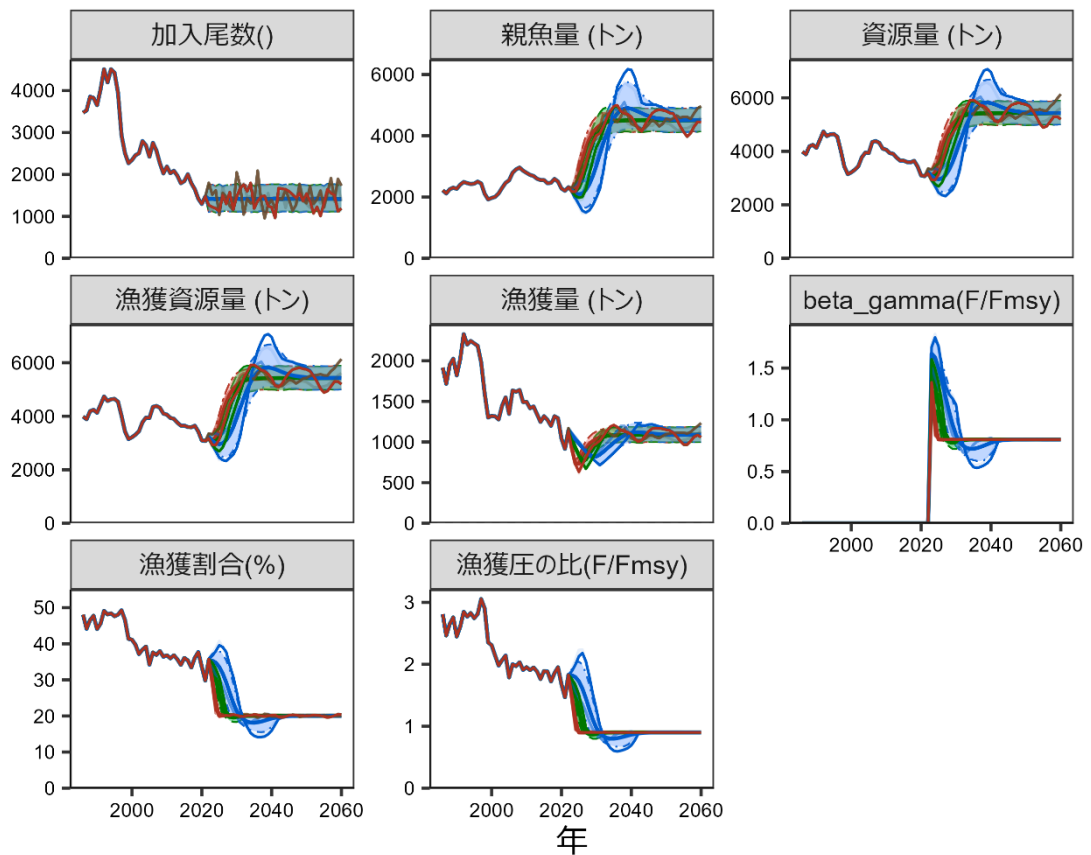
引用文献

- 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(4)**, 239-255.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisan/88/4/88_21-00041/_pdf/-char/ja
- Deroba, J. & Bence, J. (2008) A Review of Harvest Policies: Understanding Relative Performance of Control Rules. Fisheries Research. 94. 210-223. 10.1016/j.fishres.2008.01.003



(塗り:10-90%予測区間, 太い実線: 平均値, 細い実線: シミュレーションの1例)

補足図 3-1. CV5, CV10, CV20 を 10 年間固定した場合(10y)の将来予測結果 ($\beta=0.7$)
 太線は平均値、網かけはシミュレーション結果の 80%が含まれる 80%予測区間を示す。
 青色は CV5、緑色は CV10、赤色は CV20 の結果を示す。



(塗り:10-90%予測区間, 太い実線: 平均値, 細い実線: シミュレーションの1例)

補足図 3-2. CV5, CV10, CV20 を 10 年間固定した場合(10y)の将来予測結果 ($\beta=0.9$)
 太線は平均値、網かけはシミュレーション結果の 80%が含まれる 80%予測区間を示す。
 青色は CV5、緑色は CV10、赤色は CV20 の結果を示す。

補足表 3-1. 代替漁獲管理規則（上限下限ルール）のパフォーマンス評価（ $\beta=0.7$ ）

カ テ ゴ リ	漁獲管理 方策案	β	予測平均漁獲量 (トン)		予測平均親魚量 (トン)		管理 目標	リスク (10年間に1度でも 起きる確率)			管理期間 10年間(2023-2032年) で予測される漁獲量の変動					
			1年目	2-5 年目 平均	6~10 年平均	5年後		10年 後	10年後 に目標 管理基 準値案 を上回 る確率	親魚 量が 限界 管理 基準 値案 を下 回る	親魚 量が 禁漁 水準 値案 を下 回る	漁獲 量が 半減 する	平均年 変動 AAV※	平均減 少率 ADR※	最大減 少率 MDR ※	最低漁 獲量 (トン) MinC ※
			2023 年	2024- 2027 年	2028- 2032 年	2028 年		2033 年								
3	Base	0.7	487	767	997	4,905	5,564	100%	0.0%	0.0%	0.0%	0.09	-0.01	-0.01	487	
2	10y_CV5	0.7	1,086	957	791	2,420	4,437	71%	38.8%	0.0%	0.0%	0.05	-0.05	-0.05	736	
3	10y_CV10	0.7	1,029	801	850	3,546	5,448	100%	0.9%	0.0%	0.0%	0.09	-0.09	-0.10	676	
3	10y_CV20	0.7	915	709	959	4,446	5,492	100%	0.5%	0.0%	0.0%	0.10	-0.16	-0.20	608	

※AAV (annual average variation) は漁獲量の増減を考慮した変動の大きさを表す指標。ADR (average depletion ratio) と MDR (maximum depletion ratio) は前年と比べて漁獲量が減少した場合のみに注目した指標であり、管理期間中に漁獲量が減少した場合、その減少率の平均をとったものが ADR、最大値をとったものが MDR である。MinC (minimum catch) は期間中の最低漁獲量である。

補足表 3-2. 代替漁獲管理規則（上限下限ルール）のパフォーマンス評価（ $\beta=0.9$ ）

カ テ ゴ リ	漁獲管理 方策案	β	予測平均漁獲量 (トン)		予測平均親魚量 (トン)		管理 目標	リスク (10年間に1度でも 起きる確率)			管理期間 10年間(2023-2032年) で予測される漁獲量の変動					
			1年目	2-5 年目 平均	6~10 年平均	5年後		10年 後	10年後 に目標 管理基 準値案 を上回 る確率	親魚 量が 限界 管理 基準 値案 を下 回る	親魚 量が 禁漁 水準 値案 を下 回る	漁獲 量が 半減 する	平均年 変動 AAV※	平均減 少率 ADR※	最大減 少率 MDR ※	最低漁 獲量 (トン) MinC ※
			2023 年	2024- 2027 年	2028- 2032 年	2028 年		2033 年								
3	Base	0.9	609	866	1,050	4,098	4,462	93%	0.0%	0.0%	0.0%	0.07	-0.01	-0.01	609	
2	10y_CV5	0.9	1,086	957	843	2,419	4,080	55%	38.8%	0.0%	0.0%	0.05	-0.05	-0.05	786	
2	10y_CV10	0.9	1,029	827	967	3,407	4,459	89%	0.9%	0.0%	0.0%	0.08	-0.09	-0.10	743	
2	10y_CV20	0.9	915	805	1,030	3,887	4,436	92%	0.5%	0.0%	0.0%	0.08	-0.12	-0.20	707	

※AAV (annual average variation) は漁獲量の増減を考慮した変動の大きさを表す指標。ADR (average depletion ratio) と MDR (maximum depletion ratio) は前年と比べて漁獲量が減少した場合のみに注目した指標であり、管理期間中に漁獲量が減少した場合、その減少率の平均をとったものが ADR、最大値をとったものが MDR である。MinC (minimum catch) は期間中の最低漁獲量である。

補足資料 4 1986-2020 年の再生産関係での試算結果

ヒラメ日本海中西部・東シナ海系群では MSY 等管理基準値の推定に当たり、「令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2022-ABCWG02-01)」の 1 系資源の 1A ルールの適用を検討し、再生産関係の検討を行った。再生産関係の検討に際しては「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (FRA-SA2022-ABCWG02-04)」および「再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 4 年度) (FRA-SA2022-ABCWG02-05)」に基づいてモデルの診断および妥当性の検討を行った。

本補足資料では、再生産関係を用いた 1A ルールでは 2 種類の再生産関係式が候補とされ、様々な検討を行ったが、現状の情報から推定されたそれぞれの再生産関係には課題や問題が残されており、今後、資源量推定等に関する情報の更新および推定精度の向上の必要性が高いと考え、選択および提案には至らなかった。本補足資料ではその検討内容について記載する。

1. 再生産関係

1-1) 使用するデータセット

本資源の再生産関係式の設定は「令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2022-ABCWG02-01)」に従い、以下のデータセットを使用して実施した。解析には R パッケージ frasyr (v2.2.0.3) を用いた。frasyr で用いた式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 4 年度) (FRA-SA-2022-ABCWG01-02)」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
資源量・親魚量	令和 4 年度ヒラメ日本海中西部・東シナ海系群の資源評価(水産庁・水産機構)

1-2) 再生産関係の検討

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 ; Clark et al. 1985) 型、ベバートン・ホルト (BH ; Beverton and Holt 1957) 型、およびリッカー (RI ; Ricker 1954) 型の再生産関係式を検討候補とした。 R_y を y 年の加入量、 B_y を y 年当初の親魚量、 A_{min} を加入年齢 (本資源の場合は $A_{min}=1$) としたときのそれぞれの再生産関係式の数式は以下の通りである ;

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

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

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

いずれの再生産関係式でも、推定するパラメータは a および b の 2 つである。HS 型の場合、 a は折れ点までの再生産曲線の傾き（尾/トン）、 b は折れ点となる親魚量（トン）を示す。再生産関係の検討の際には、推定された再生産曲線からの加入量の残差標準偏差（S.D.）も併せて算出した。

本資源の管理基準値案の算出および将来予測計算に使用する再生産関係として、ホッカー・スティック（HS）型再生産関係、リッカー（RI）型再生産関係、およびベバートン・ホルト（BH）型再生産関係を仮定した場合について検討した。再生産関係の検討は、資源評価で推定された 1987～2020 年の加入量および 1986～2019 年親魚量に基づき行った。再生産関係式のパラメータ推定のための最適化方法には、最小二乗法および最小絶対値法を検討した。また、残差に自己相関を考慮したモデルと考慮しないモデルを検討し、自己相関を考慮したモデルでは、再生産関係のパラメータと自己相関係数を同時に推定する手法（同時推定法）を用いた。

候補とした再生産関係を補足図 4-1、補足表 4-1 に示した。各再生産関係モデルについて Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定により残差の正規性を調べたところ、正規性からの有意な逸脱は検出されなかったことから、最適化法には最小二乗法を用いた（補足図 4-2）。次に加入の時系列トレンドを調べるため、最小二乗法を当てはめた場合の再生産関係との逸脱度（deviance）および自己相関を考慮した場合の残差（residual）について、トレンドと自己相関プロットを求めた（補足図 4-3a、4-3b）。その結果、いずれの再生産関係を仮定した場合でも、自己相関は有意であると示されたことから、本資源については自己相関を考慮することとした（補足図 4-3a、4-3b）。残差の自己相関（AR）については、自己相関パラメータ ρ もモデルに組み込み、再生産関係式のパラメータと同時に推定する“同時推定法”を用いた（詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（FRA-SA2022-ABCWG01-02）を参照）。ここで、モデルに自己相関を考慮することにより自己相関構造は解消される。AICc は自己相関を同時推定した最小二乗法の場合で低く、RI 型、HS 型、BH 型の順となり、自己相関を考慮しない最小二乗法と、自己相関を考慮しない最小絶対値法の場合の場合には RI 型、HS 型、BH 型の順であった（補足表 4-2）。

ジャックナイフ法により、個々のデータを取り除いた際の推定パラメータへの影響を調べた。その結果、いずれの再生産関係式においても影響は小さく、とくに HS 型と RI 型で頑健であることが示された（補足図 4-4、4-5a、4-5b）。また、パラメータ推定の信頼区間は残差ブートストラップにより検討した結果、パラメータ a および b について、いずれの再生産関係式においても推定値の中央値と点推定値はほぼ一致した（補足図 4-6、4-7a、4-7b）。各再生産関係モデルのプロファイル尤度を補足図 4-8 に示す。この結果、BH ではパラメータ a 、 b に高い相関が見られ、解が一意に定まらなかったが、HS および RI の再生産関係式ではパラメータが収束することが示された。

加入量の残差の 1 年前との自己相関は、HS 型、RI 型および BH 型を用いて最小二乗法および最小絶対値法により最適化したいずれの場合も有意であった（補足表 4-1）。従って、本資源においては再生産関係のモデルに加入量の自己相関を考慮する必要があると判断した。

補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると、最小二乗法で自己相関パラメータを同時推

定した場合が最も AICc が小さくなり、RI 型を当てはめた場合で最も低く、次いで HS 型、BH 型の順となった（補足表 4-2）。しかし、再生産係式間での AICc の差は 2 以下であり、モデル間の差は小さいものであった。HS 型は、加入量の減少が生じる親魚量についてパラメータ推定に与える情報が無いため、「再生産関係の決定に関するガイドライン（令和 4 年度）（FRA-SA2022-ABCWG02-05）」の b の便宜的仮定に従い親魚量の最小値を折れ点（パラメータ b）とした（補足図 4-9a）。RI 型は、親が減っても加入が減らないような予測値が得られている（補足図 4-9b）。過去に経験したことがない低い親魚量下において、加入尾数が保守的でない高い外挿値になる場合にはリスクが高いため、予防的な観点から、このような再生産関係の使用は避けることが推奨されている。

以上の検討から、本資源の再生産関係の候補としては、自己相関を考慮した最小二乗法で最適化した HS 型再生産関係式を用いたが、比較検討のため RI 型再生産関係式の結果を併記した。

1-3) 再生産関係の候補

「再生産関係の決定に関するガイドライン（FRA-SA2022-ABCWG01-03）」の 3.a（予測力）、3.b（生物学的妥当性）、3.e（観察された最小親魚量以下で加入尾数が保守的でない外挿値になるような場合の回避）および 3.h（自己相関）基準に従い、本資源の再生産関係の候補として、最適化法を最二乗法とし、自己相関を考慮した HS 型再生産関係を提案する（補足図 4-9a）。また、比較検討のため RI 型再生産関係式の結果を併記した（補足図 4-9b）。

2. 管理基準値

2-1) データセットおよび計算方法

最大持続生産量（MSY）に対応する管理基準値案等の算出、および将来予測は、「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」の 1 系資源の管理規則に従い、1-3) で候補とした再生産関係と、表 1 に示した令和 4 年度の資源評価に基づく各種設定（自然死亡係数、成熟率、現状の漁獲圧）を使用して実施した。また、本資源においては現状の漁獲圧としてチューニングによる直近年の F の減少を考慮し、2018～2020 年の平均漁獲係数を用いており（図 2）、管理基準値の算出と将来予測における選択率には 2018～2020 年の平均値を用いた。平均世代時間（6.6 年）の 60 倍の年数のシミュレーション期間後を平衡状態と仮定し、平衡状態における平均漁獲量の最大値を最大持続生産量（MSY）、MSY が達成される際の親魚量を SB_{msy} 、MSY が得られる F 値を F_{msy} とした。なお、本資源は人工種苗放流を行っているが MSY 計算については考慮しない（放流なし）で推定した。

2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

本資源の HS 型再生産関係に基づく目標管理基準値（ SB_{target} ）として MSY 水準における親魚量（ SB_{msy} : 5,883 トン）、限界管理基準値（ SB_{limit} ）として MSY の 60%の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.6msy}$: 1,703 トン）、禁漁水準（ SB_{ban} ）として MSY の 10%の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.1msy}$: 202 トン）と推定された。これらの基準値案について、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量（ SB_0 ）に対する比、基準値案に対応する漁獲圧の

下での平衡状態における平均漁獲量および現状の漁獲圧に対する比などを補足表 4-3a に示す。目標管理基準値として提案する SBmsy は SB0 の 25%に相当し、その親魚量において期待できる漁獲量の平均値 (MSY) は 1,531 トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧 (MSY を実現する漁獲圧: Fmsy) の、現状の漁獲圧に対する比 (Fmsy/Fcurrent) は 0.53 で、その時の漁獲割合 (Umsy) は 0.21 である。限界管理基準値として提案する SB0.6msy は SB0 の 7%、禁漁水準として提案する SB0.1msy は SB0 の 1%である。

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年齢別漁獲量の平均値を補足図 4-10a に示す。親魚量が SBlimit 以下では 2 歳魚が最も高い割合を占めるが、親魚量がさらに増加するにつれて高齢魚の比率が高くなる傾向がみられ、SBmsy 達成時においては 2~4 歳魚の漁獲が主体となると推測された。RI 型の結果については補足表 4-3b、補足図 4-10b に示す。

2-3) 神戸プロット

HS 型再生産関係に基づく目標管理基準値案である SBmsy と、その時の漁獲圧 Fmsy を基準にした神戸プロットを補足図 4-11a に示す。本資源における漁獲係数 (F 値) はすべての年で MSY を実現する水準を上回っており、親魚量は、資源評価以降 2021 年まで一貫して目標管理基準値案 SBmsy を下回り、現状の親魚量 (2021 年の親魚量: 2,205 トン) に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案の比は、それぞれ 2.67、0.77 および 0.09 である。RI 型の結果については補足図 4-11b に示す。

2-4) 漁獲管理規則案

本資料で提案する漁獲管理規則は、限界管理基準値案および禁漁水準案となる親魚量を閾値として漁獲管理の基礎となる漁獲係数 (F 値) を変えるルールであり、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げることを定めている。F 値の上限は Fmsy に調整係数 β を乗じたものである。HS 型再生産関係に基づく限界管理基準値案および禁漁水準案に標準値を用いた場合 (すなわち、SBlimit は SB0.6msy、SBban は SB0.1msy の場合) の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を補足図 4-12a に、この漁獲管理規則案で漁獲した場合に期待できる平均的な漁獲量との関係を補足図 4-12b に示す。これらの図に例示した漁獲管理規則案は、いずれも β に標準値である 0.8 を用いた。RI 型の結果については補足図 4-13a、4-13b に示す。

2-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

(1) 調整係数 β に標準値を用いた場合

HS 型再生産関係に基づく限界管理基準値案と禁漁水準案に標準値を用い、調整係数の β も標準値の 0.8 とした漁獲管理規則案 (補足図 4-12a) で将来予測した資源量、親魚量、漁獲量、加入量、および努力量の増減率の推移を補足図 4-14a に示す。将来予測では、2022 年の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2018-2020) により仮定し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲制御を開始する。

予測される 2023 年の親魚量は限界管理基準値案を上回っているため、漁獲管理規則案に従い、まず βF_{msy} での漁獲が行われる。中長期的にも、親魚量は限界管理基準値案を上

回ると予測されるため、 βF_{msy} での漁獲となる。 βF_{msy} 漁獲の継続により漁獲量は MSY 水準よりやや少なく、親魚量は SB_{msy} に近づくように推移していくと予測される。RI 型の結果については補足図 4-14b に示す。

(2) 調整係数 β を変えた場合

漁獲管理規則案を用いた将来予測について、調整係数 β を 0.0~1.0 の間で、0.1 間隔で変えた場合の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、禁漁水準案を上回る確率、平均親魚量の推移、および漁獲量平均値の推移を補足表 4-4~4-9 に示す。補足表 4-3~4-8 には、現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。

HS 型再生産関係にも続く将来予測においては、本資源の親魚量は 2021 年時点では限界管理基準値案を上回っており、漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2033 年では、 β が 0.5 の場合、目標管理基準値案を上回る確率が 50%以上 (68%) と予測された (補足表 4-4a)。 β が 1.0 の場合には親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 4%以下であった。なお、 β が 1.0 以下いずれの値であっても、100%の確率で限界管理基準値案となる親魚量を維持し (補足表 4-5a)、禁漁水準案を下回らないと予測された (補足表 4-6a)。2024 年以降の親魚量は β が低い程多くなった (補足表 4-7a)。 β を 0.8~1.0 の間で変化させた場合の平均漁獲量は、2033 年にはいずれも 1 千トンとなった (補足表 4-8)。 β が 0.8 では 10 年後に親魚量が現在の水準を上回る確率が 16%と非常に低いが、10 年後に親魚量が現在の水準を下回る確率、親魚量が限界管理基準値を下回る確率は 0%であった (補足表 4-9)。RI 型の結果については補足表 4-4b、4-5b、4-6b、4-7b、4-8b、4-9 に示す。

3. まとめ

本資源では、資源評価で推定された 1986~2020 年における親魚量と翌年 (1987~2021 年) の 1 歳魚の加入尾数に基づき、再生産関係モデルに自己相関を考慮した HS 型再生産関係式を適用し、そのパラメータを最二乗法により推定することを提案する。

目標管理基準値案は MSY を実現する資源水準と定められていることから、上記の再生産関係から推定される SB_{msy} (5,883 トン) とすることを提案する。限界管理基準値案、禁漁水準案については、標準値である $SB_{0.6msy}$ (1,703 トン)、 $SB_{0.1msy}$ (202 トン) をそれぞれ提案する。

現在の本資源の親魚量は目標管理基準値案を下回るが、限界管理基準値案を上回っていると推定される。MSY を実現する漁獲割合は 21%、漁獲圧は F2018-2020 の 0.53 倍である (補足表 4-3a)。

4. 引用文献

ABCWG (2022) 令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2022-ABCWG02-01.

ABCWG (2022) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 4 年度). FRA-SA-2022-ABCWG01-02.

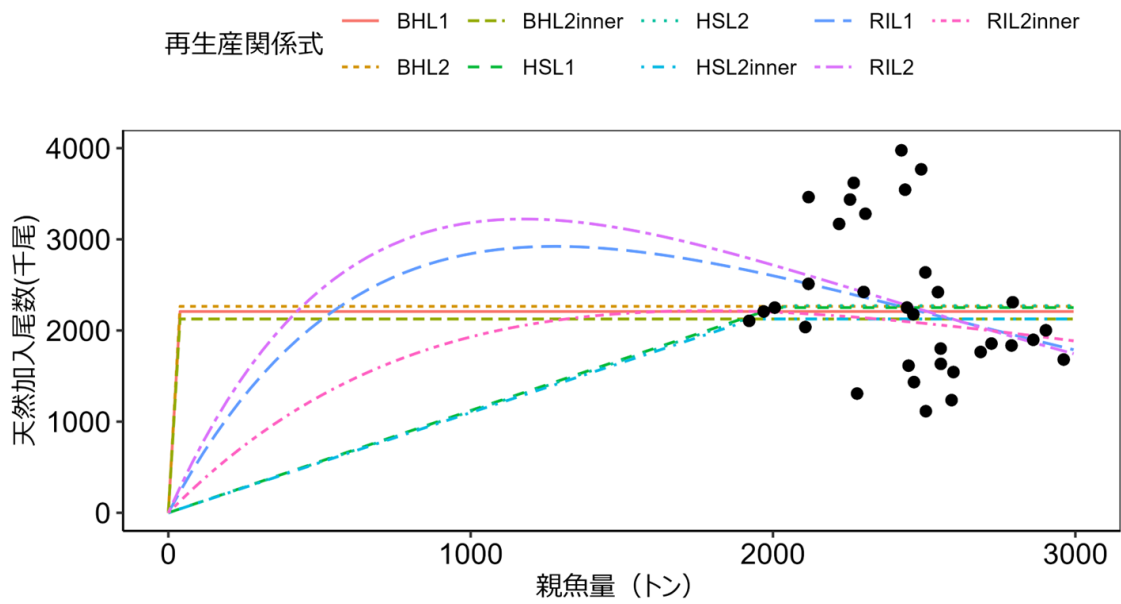
ABCWG (2022) 再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 4 年度). FRA-SA2022-

ABCWG01-03.

Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957) On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.

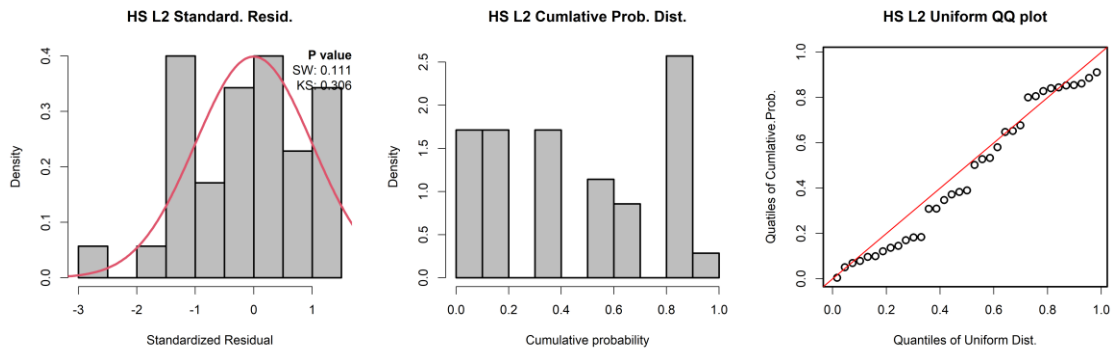
Clark C. W., A. T. Charles, J. R. Beddington, and M. Mangel (1985) Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Mar. Resour. Econ.*, **2**, 25-53.

Ricker W. E. (1954) Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Board Can.*, **11**, 559-623.

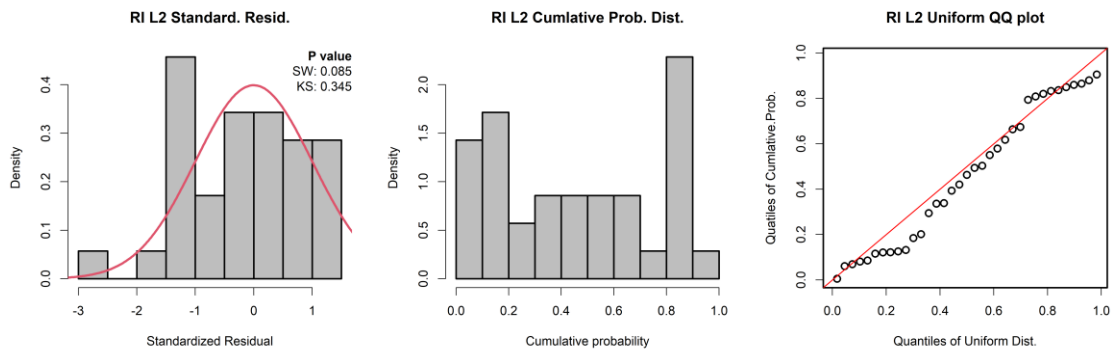


補足図 4-1. ホッケー・スティック (HS) 型、リッカー (RI) 型、ベバートン・ホルト型 (BH) の再生産関係式を、自己相関を同時推定した最小二乗法 (L2inner)、自己相関を考慮しない最小二乗法 (L2)、自己相関を考慮しない最小絶対値法 (L1) により当てはめた。図中の黒丸は分析に使用した 1986～2019 年における親魚資源量と翌年 (1987～2020 年) の 1 歳魚の加入尾数の推定値である。

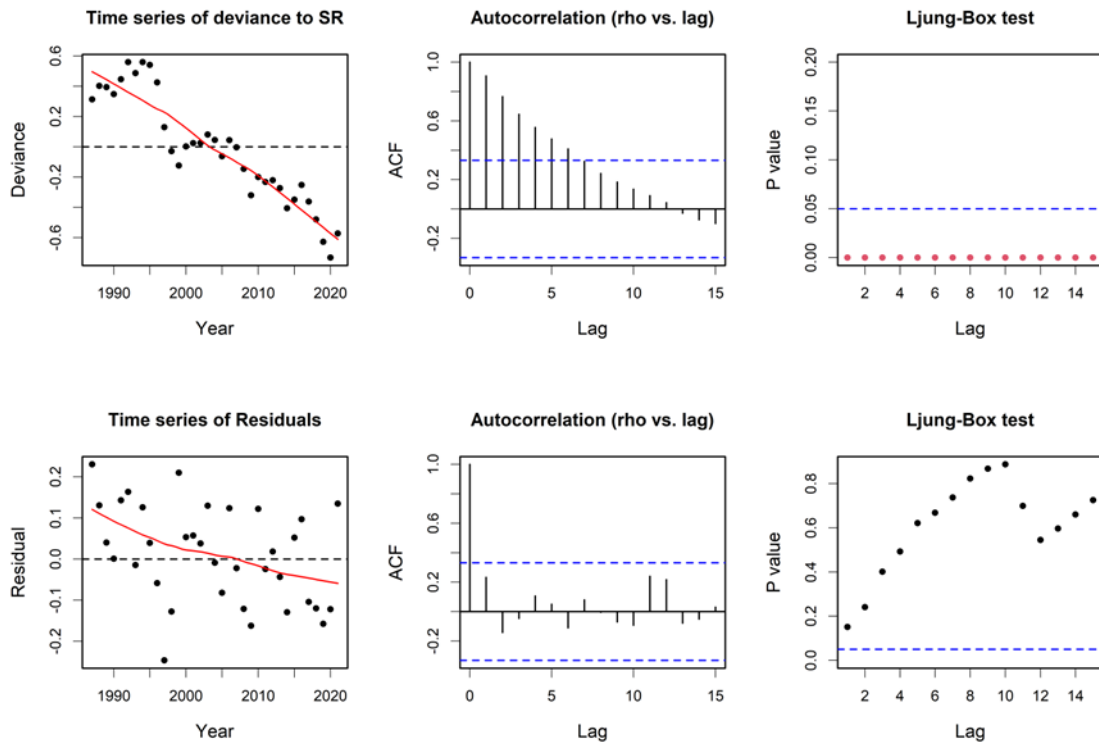
(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係



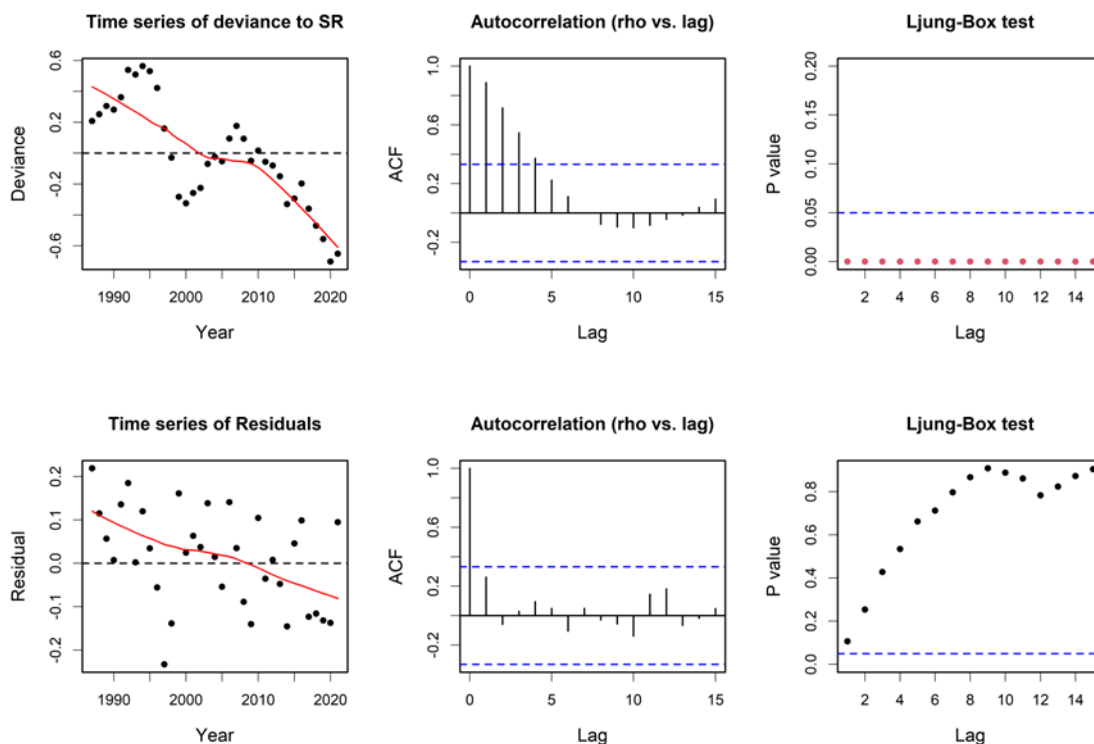
(b) リッカー (RI) 型再生産関係



補足図 4-2. (a) ホッケー・スティック型、(b) リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果 (左図)、残差の累積確率密度のヒストグラム (中央図)、および一様分布を仮定した QQ プロット (右図) 残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している

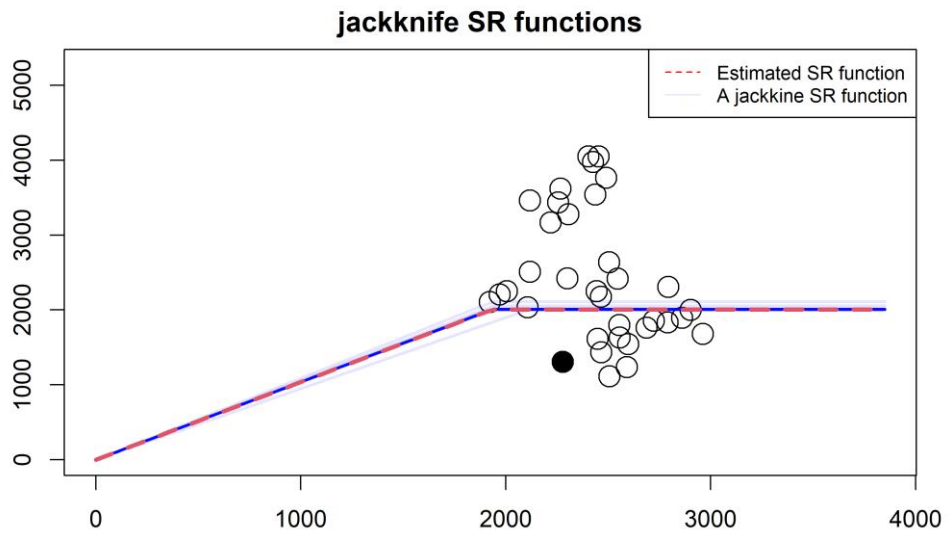


補足図 4-3a. ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。上段は自己相関を考慮する前、下段は自己相関を考慮した場合を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。

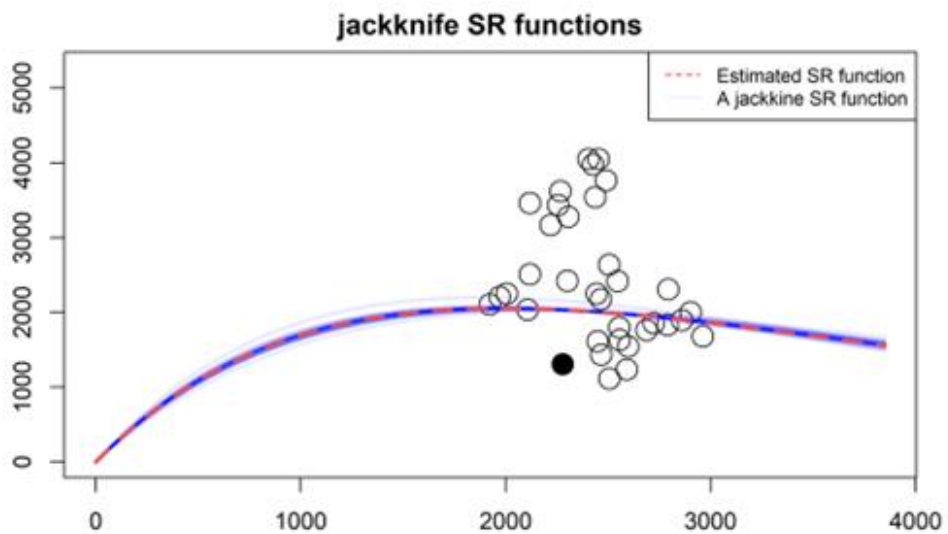


補足図 4-3b. リッカー (RI) 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。上段は自己相関を考慮する前、下段は自己相関を考慮した場合を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。

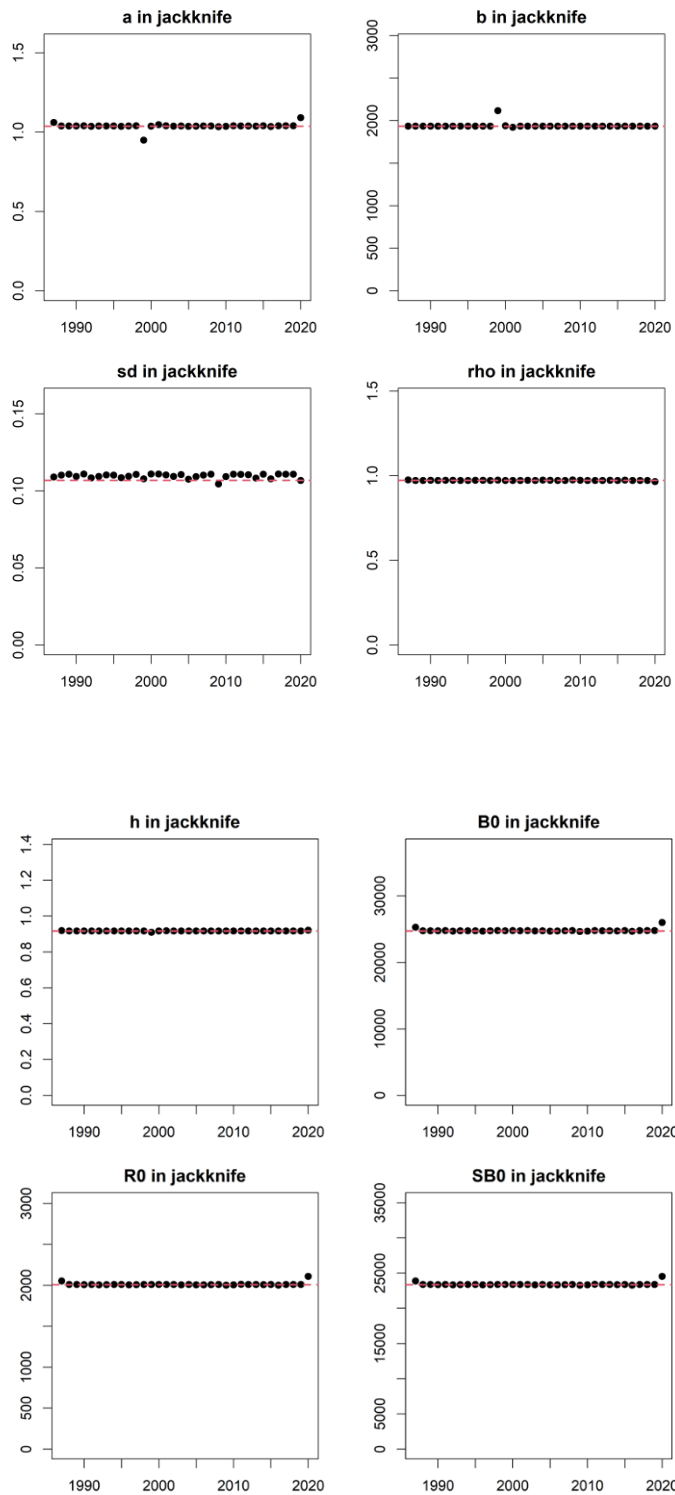
(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係



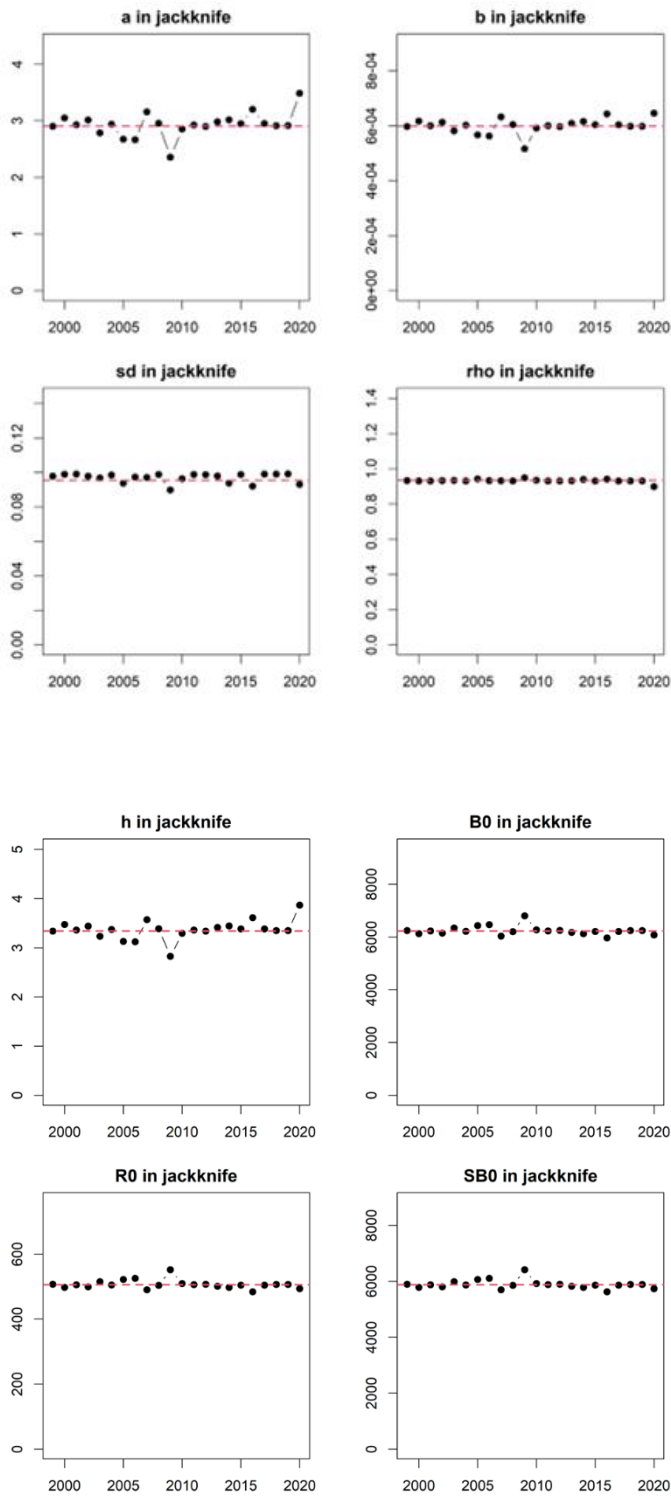
(b) リッカー (RI) 型再生産関係



補足図 4-4. (a) ホッケー・スティック型、(b) リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果
 赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量 (トン)、縦軸は加入尾数 (尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用していないデータ期間の最終年 (2021 年) を示す。

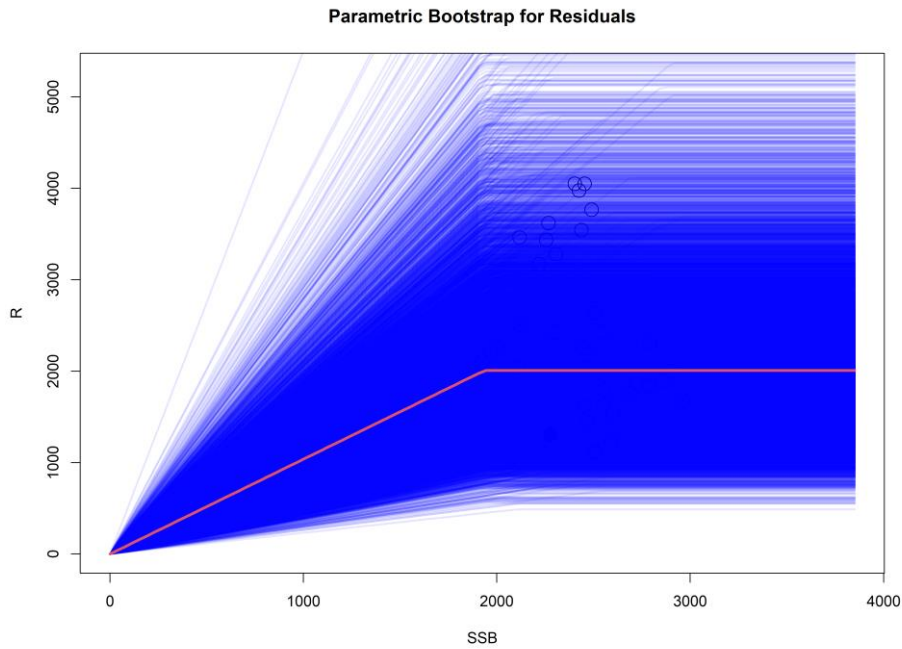


補足図 4-5a. 自己相関を考慮したホッカー・スティック (HS) 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

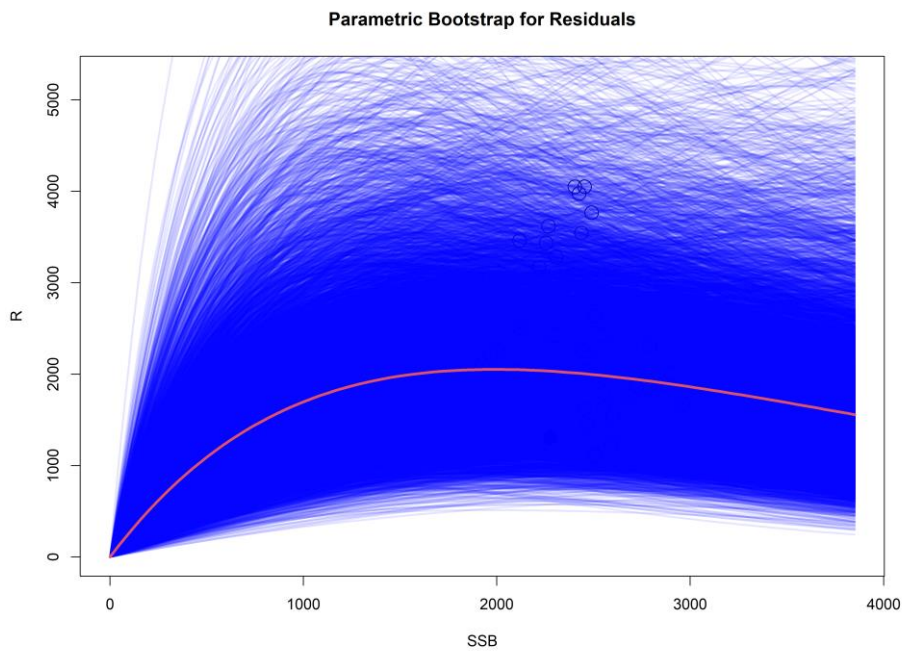


補足図 4-5b. 自己相関を考慮したリッカー（RI）型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

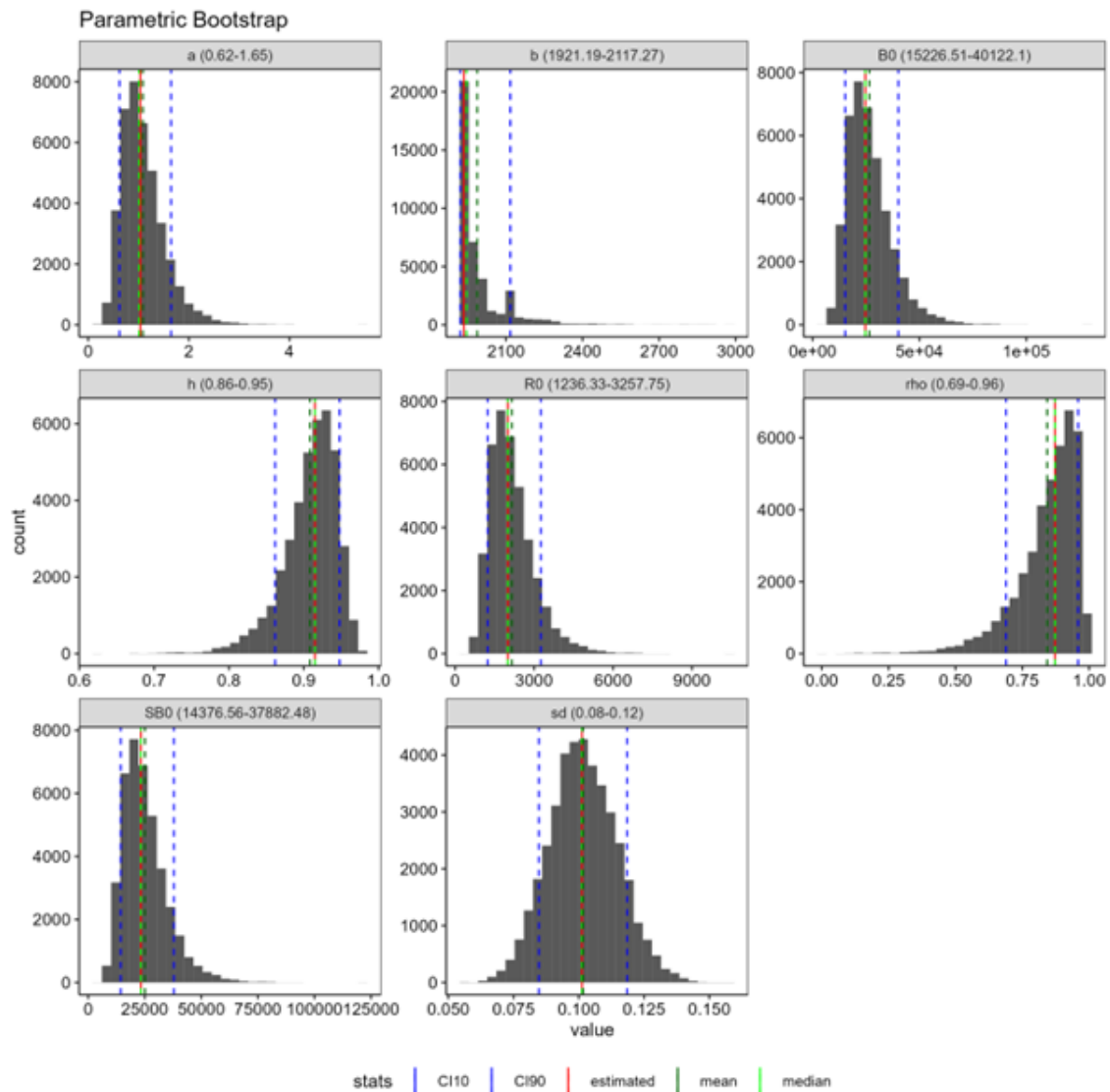
(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係



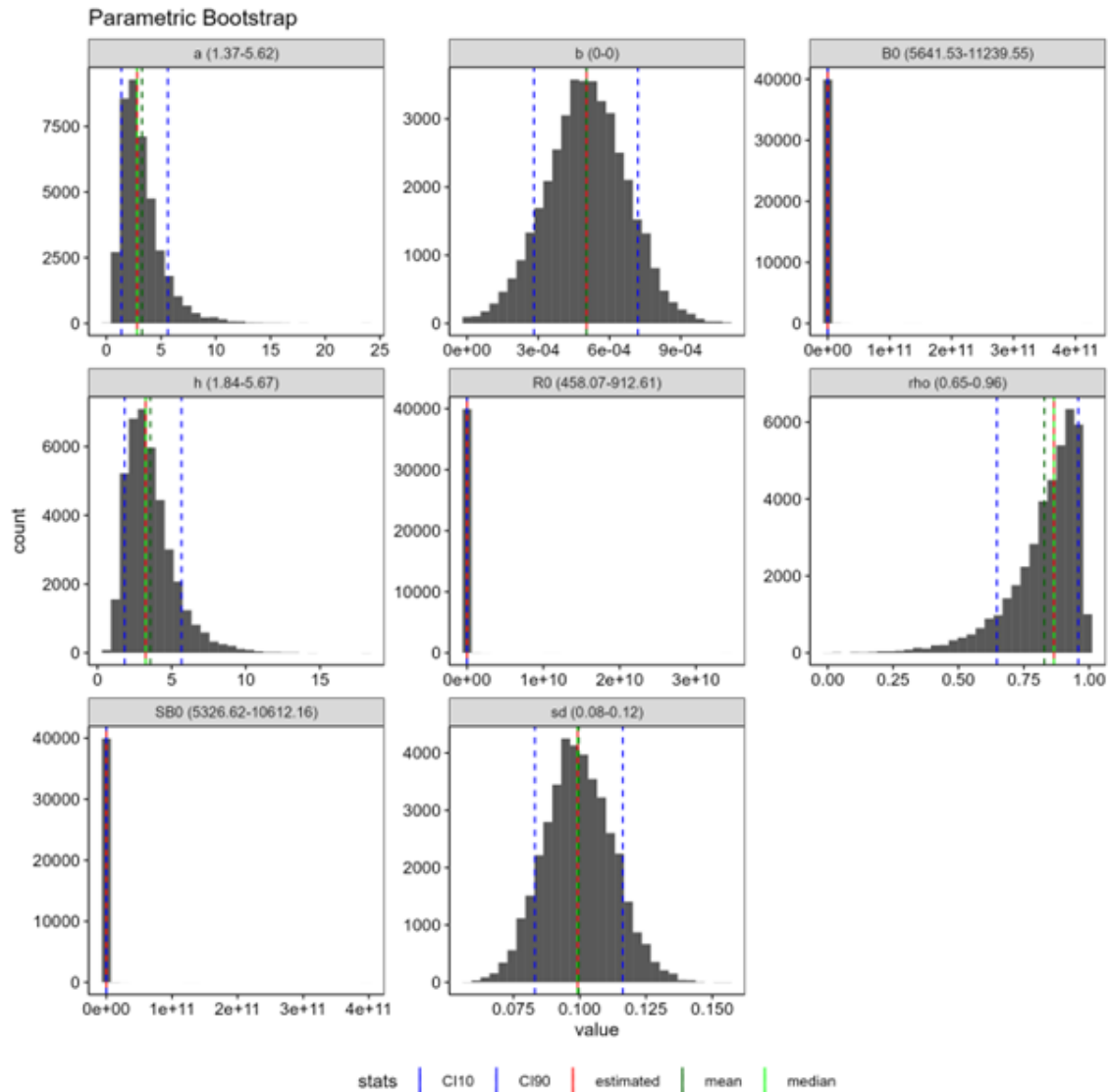
(b) リッカー (RI) 型再生産関係



補足図 4-6. (a) ホッケー・スティック型、(b) リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果
赤線は元データでの推定値、青線はノンパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量 (トン)、縦軸は加入尾数 (尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用していないデータ期間の最終年 (2021 年) を示す。

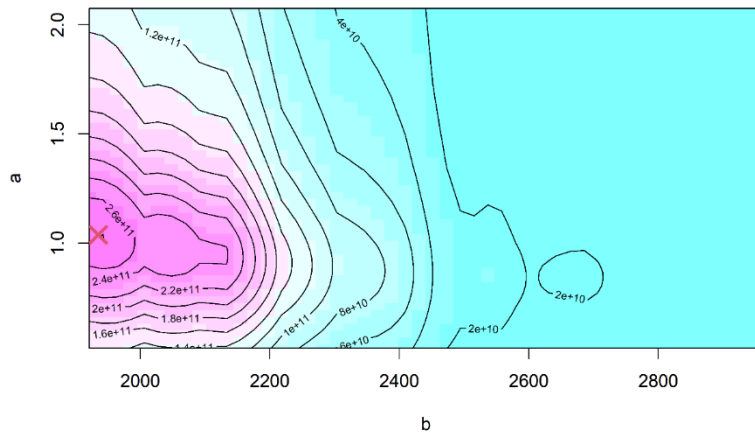


補足図 4-7a. 自己相関を考慮したホッカー・スティック (HS) 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での平均値 (緑点線)、中央値 (黄緑点線) と 90%信頼区間 (青線) 赤線はパラメータの点推定値である。

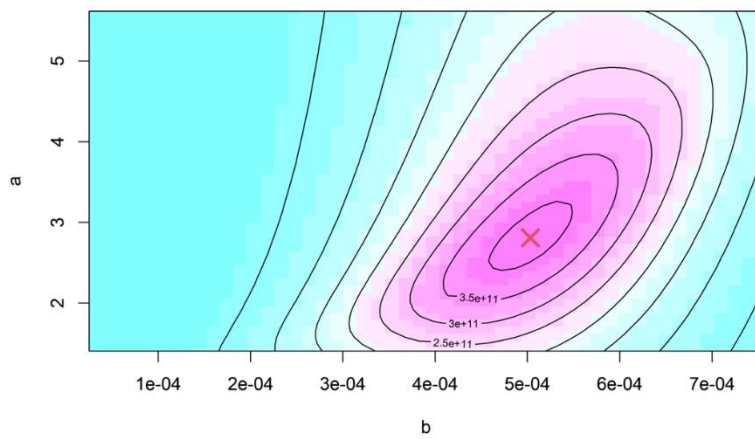


補足図 4-7b. 自己相関を考慮したリッカー (RI) 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での平均値 (緑点線)、中央値 (黄緑点線) と 90% 信頼区間 (青線) 赤線はパラメータの点推定値である。

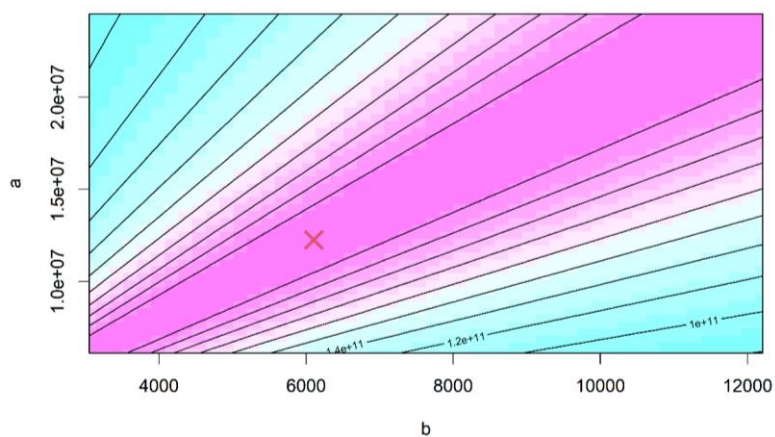
(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式



(b) リッカー (RI) 型再生産関係

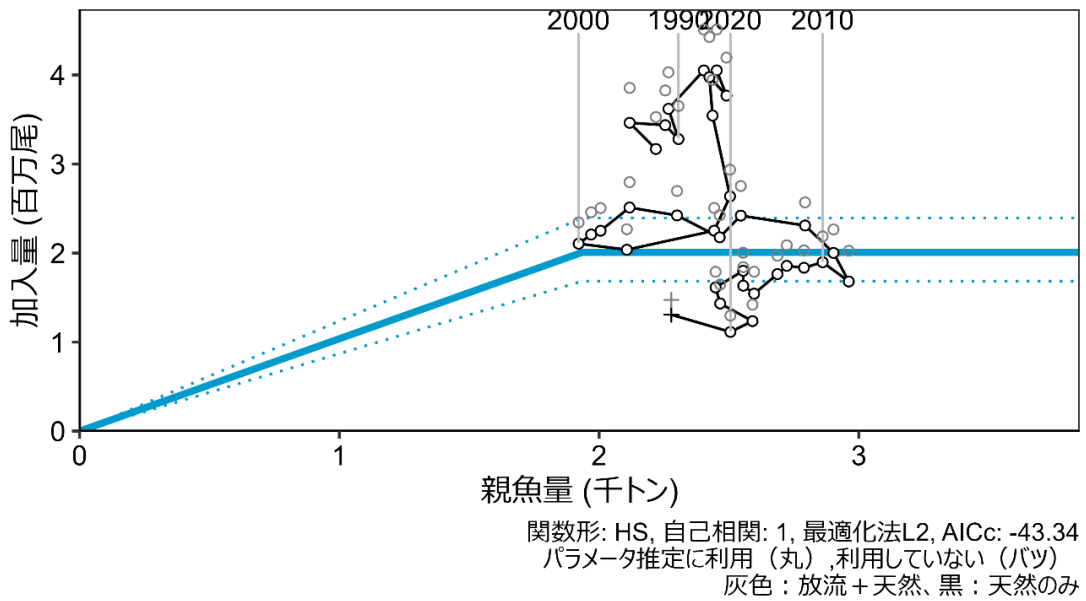


(c) ベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係式

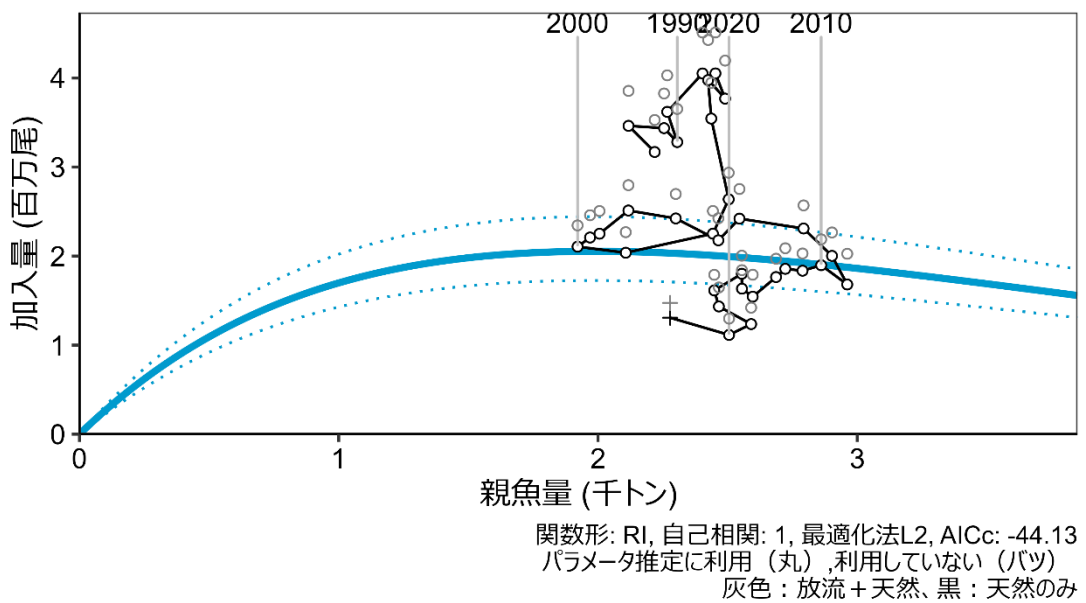


補足図 4-8. (a) ホッケー・スティック型、(b) リッカー型、(c) ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の推定パラメータのプロファイル尤度、×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。

(a) ホッケー・スティック型再生産関係



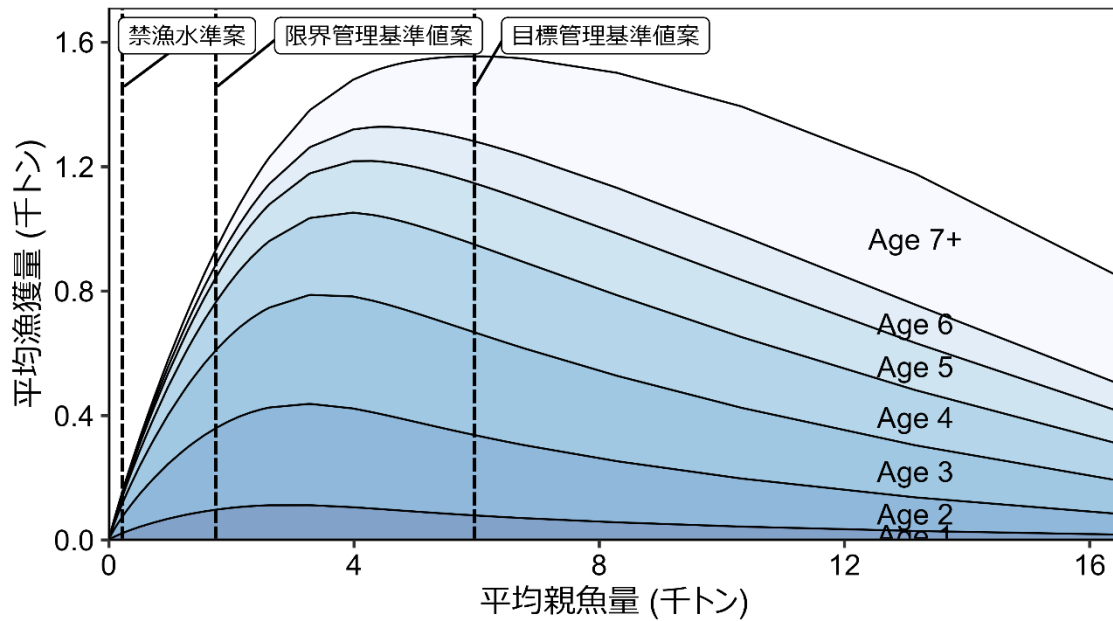
(b) リッカー型再生産関係



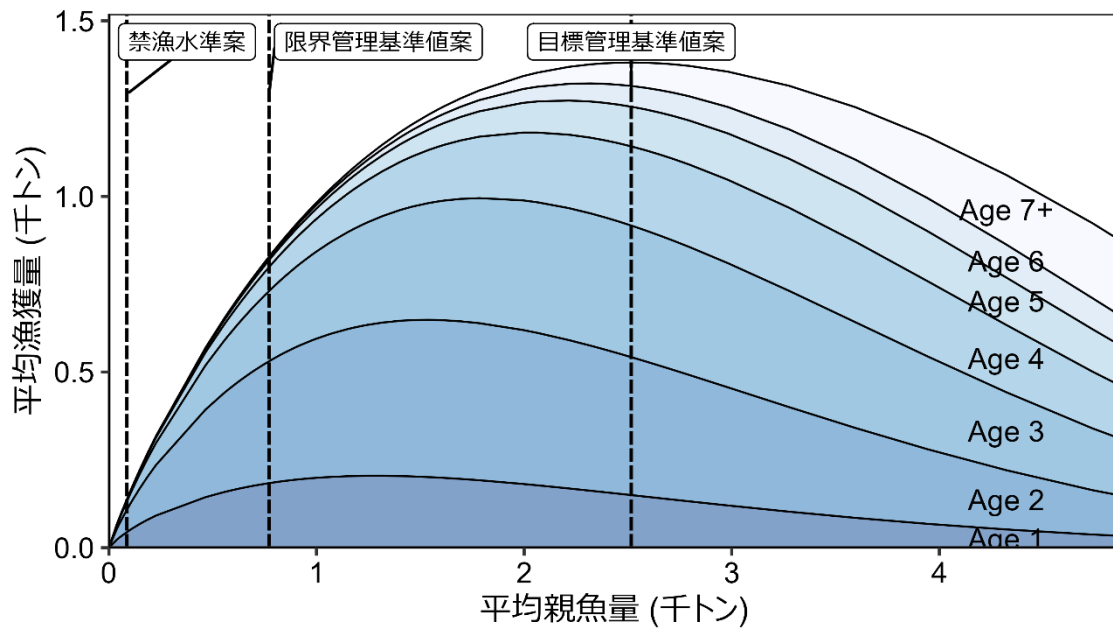
補足図 4-9. 再生産関係

1986～2019年における親魚資源量と翌年（1987～2020年）の1歳魚の加入尾数から求めた再生産関係。プロットは最新の資源評価結果から求めたものである。図中の数字は1歳魚が加入した年を示す。再生産関係には (a) 自己相関を考慮したホッケー・スティック (HS) 型再生産式、(b) 自己相関を考慮したリッカー (RI) 型再生産式を用い、最小絶対値法によりパラメータを推定した。図中の再生産関係式（青実線）の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの90%が含まれると推定される範囲である。白色の丸は天然のみ、灰色は種苗放流を加味した加入量である。

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係



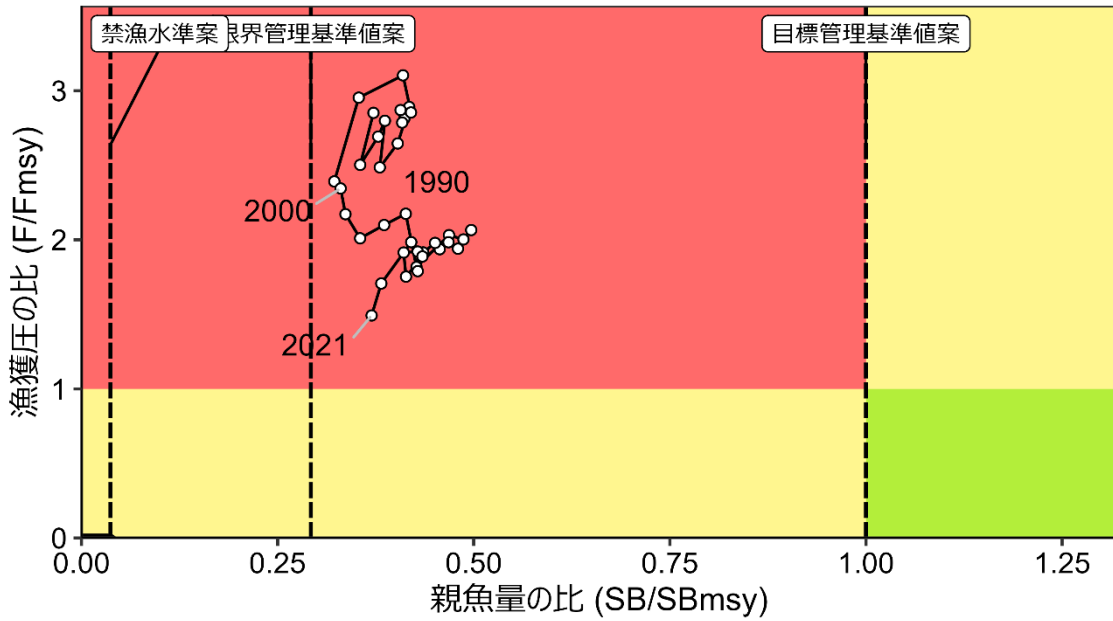
(b) リッカー (RI) 型再生産関係



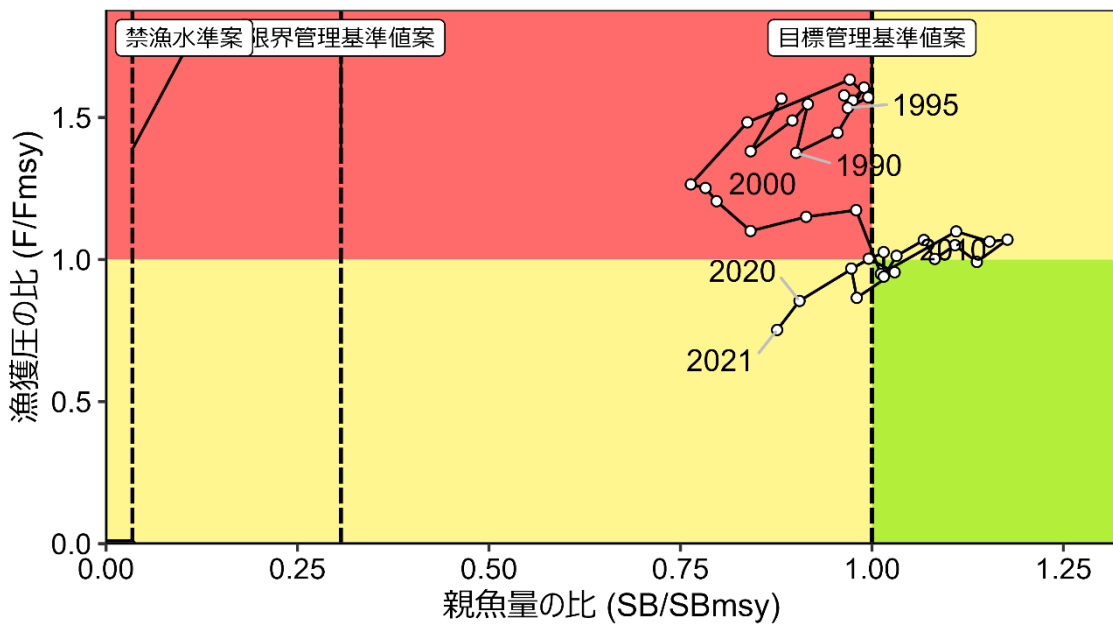
補足図 4-10. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

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、それぞれの管理基準値案の位置関係を示す。再生産関係には (a) 自己相関を考慮したホッケー・スティック (HS) 型再生産式、(b) 自己相関を考慮したリッカー (RI) 型再生産式を用いた。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は HS 型で 23,113 トン、RI 型で 6,951 トンである。

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係



(b) リッカー (RI) 型再生産関係

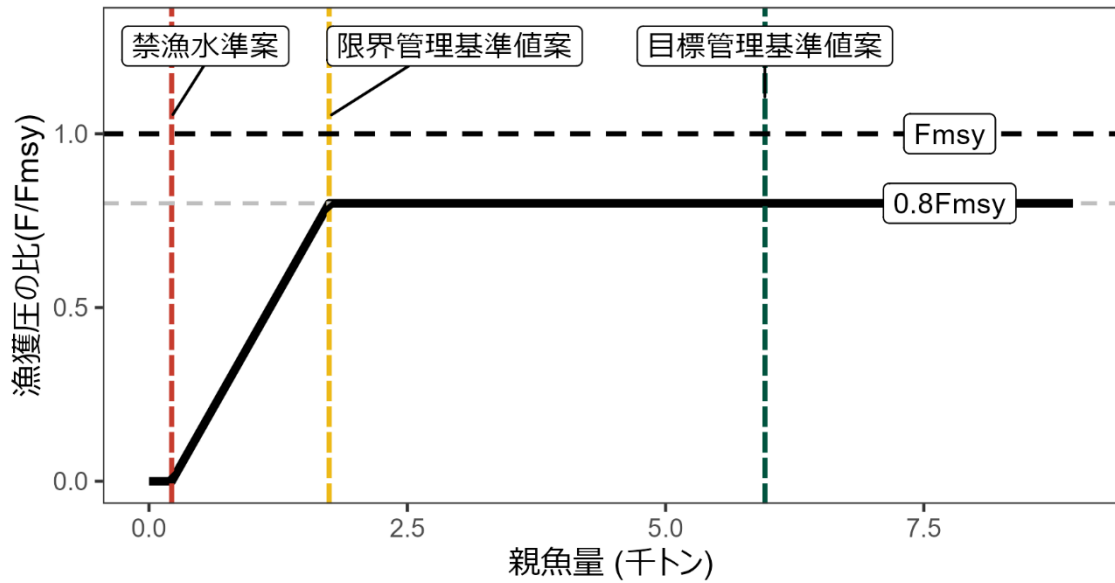


補足図 4-11. 神戸プロット

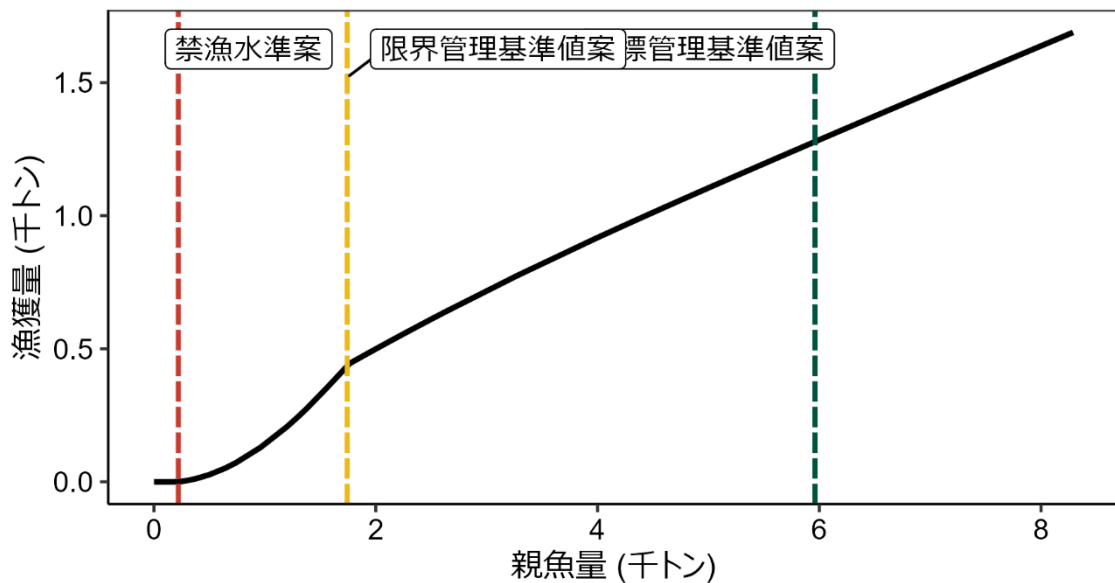
縦軸は各年の漁獲圧 F の F_{msy} との比である。図中の目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案には、それぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。

(a) ホッケー・スティック型再生産関係、(b) リッカー型再生産関係それぞれの結果を示す。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



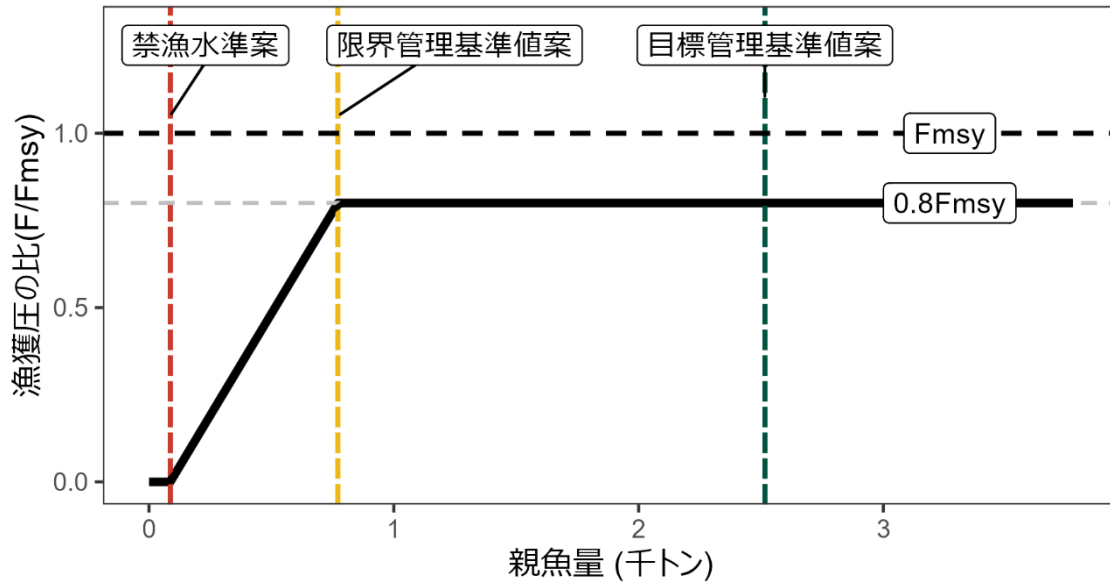
b) 縦軸を漁獲量にした場合



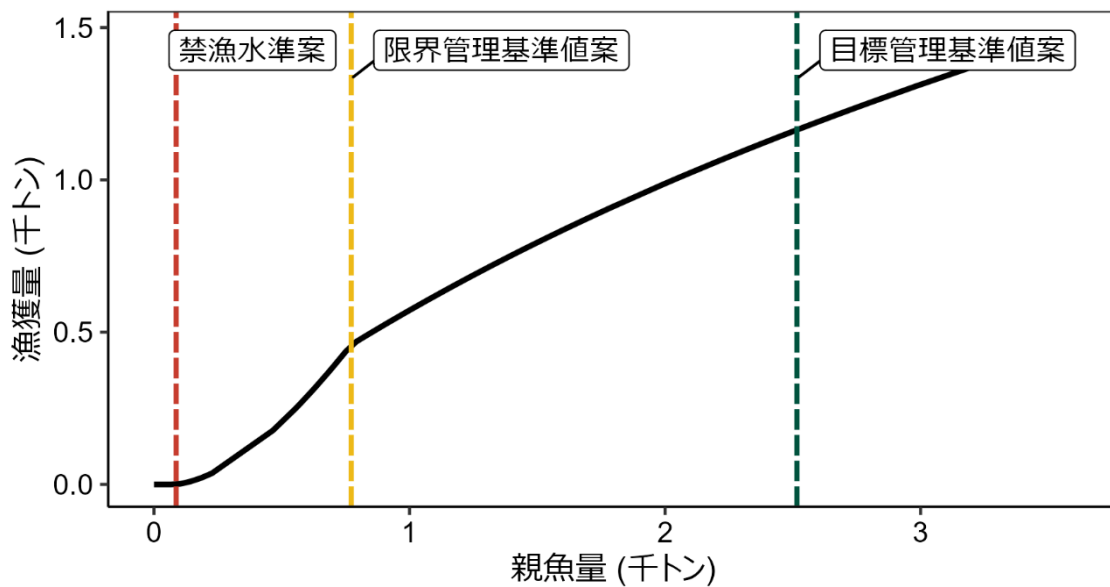
補足図 4-12. HS 型再生産関係に基づく漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は HS 再生産関係に基づき算出した SBmsy である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) には、それぞれ標準値を用いている。調整係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は Fmsy、灰色破線は 0.8Fmsy、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合

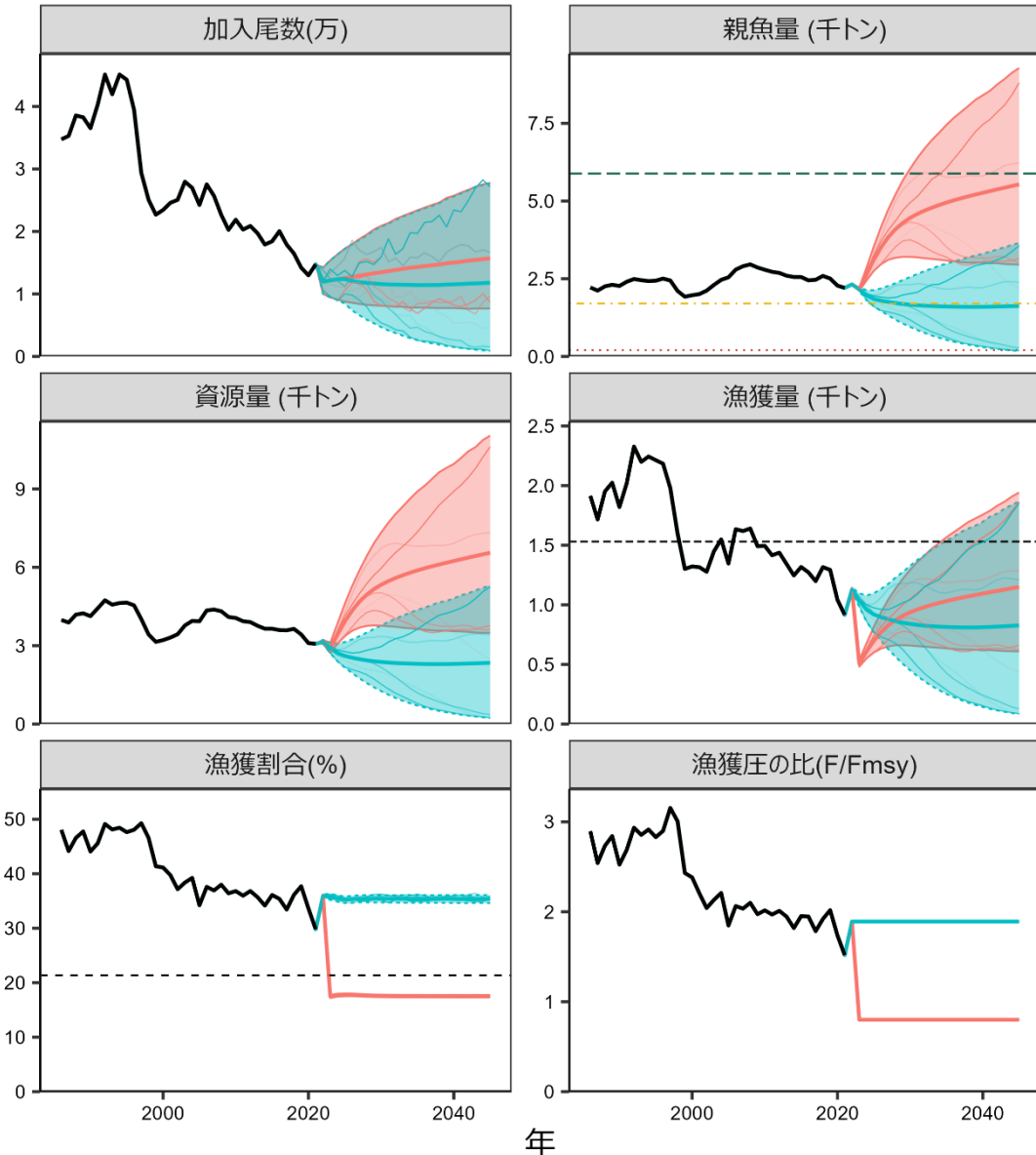
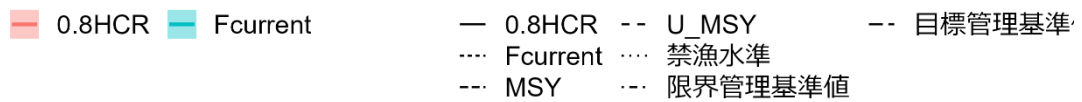


b) 縦軸を漁獲量にした場合



補足図 4-13. RI 型再生産関係に基づく漁獲管理規則案

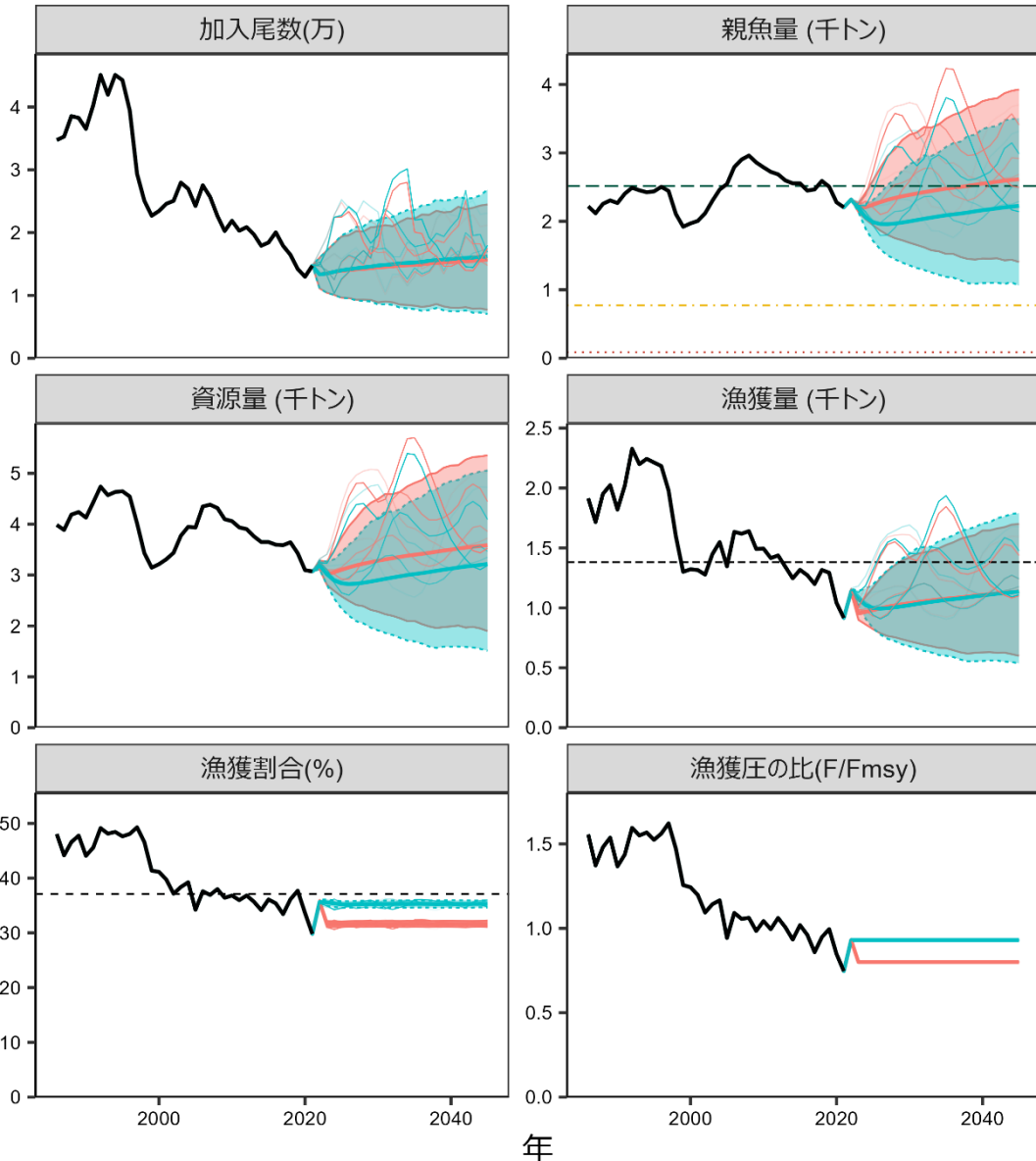
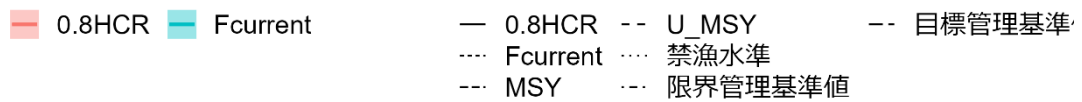
目標管理基準値 (SBtarget) 案は RI 再生産関係に基づき算出した SBmsy である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) には、それぞれ標準値を用いている。調整係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。



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

補足図 4-14a. HS 型再生産関係の管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 ($F_{current}$) により仮定し、2023 年以降の漁獲は漁獲管理規則案 (図 4-5) に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。



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

補足図 4-14b. RI 型再生産関係の管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測 (赤色) と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測 (緑色) の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90% が含まれる 90% 予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (Fcurrent) により仮定し、2023 年以降の漁獲は漁獲管理規則案 (図 4-5) に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。

補足表 4-1. MSY 管理基準値算出に使用した再生産関係式における各パラメータ推定値

再生産関係式	最適化 法	自己 相関	推定 法	a	b	S.D.	ρ	h	デ ー タ 数
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	有	同時	1.037	1935	0.107	0.972	0.917	35
リッカー (RI)	最小 二乗法	有	同時	2.809	0.001	0.106	0.972	3.253	35
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	有	同時	-*	-*	0.107	0.972	1.000	35
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	無	-	1.094	2117	0.347	0	0.921	35
リッカー (RI)	最小 二乗法	無	-	8.502	0.001	0.323	0	7.890	35
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	無	-	-*	-*	0.348	0	1.000	35
ホッケー・ スティック (HS)	最小 絶対値 法	無	-	1.121	2008	0.348	0	0.923	35
リッカー (RI)	最小 絶対値 法	無	-	6.214	0.001	0.326	0	6.140	35
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 絶対値 法	無	-	-*	-*	0.349	0	1.000	35

推奨する再生産関係式を太字とした。加入残差の自己相関を考慮した場合は、自己相関パラメータ ρ についても示した。S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標で、対数残差の標準偏差（Standard Deviation、平均二乗誤差の平方根）である。

*BH 型ではパラメータ a、b に高い相関があり、解が一意に求められないため“-”と表記した。

補足表 4-2. 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	順位
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	同時	-43.3	2
リッカー (RI)	最小二乗法	同時	-44.1	1
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	同時	-43.3	3
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	無	31.4	6
リッカー (RI)	最小二乗法	無	26.4	4
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	無	31.5	7
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	無	35.8	8
リッカー (RI)	最小絶対値法	無	30.6	5
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	無	36.3	9

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。自己相関パラメータの推定には、再生産関係式のパラメータと同時に推定する同時推定法を用いた。この場合、残差の正規性を仮定した方が妥当と考え、最適化法には最小二乗法を用いた。

補足表 4-3. HS 型再生産関係の各種管理基準値案における平衡状態のときの平均親魚量、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する比、平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、現状の漁獲圧 (F2018-2020) に対する努力量の比の関係、および MSY を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数 (Fmsy)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

管理基準値案	説明	親魚量 (トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBmsy	5,883	0.25	1,531	25.0	0.21	0.53
限界管理基準値案	SB0.6msy	1,703	0.07	918	11.1	0.37	1.06
禁漁水準案	SB0.1msy	202	0.01	153	7.2	0.45	1.44
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳以上) = (0.13, 0.27, 0.33, 0.34, 0.28, 0.25, 0.25)					

(b) リッカー (RI) 型再生産関係

管理基準値案	説明	親魚量 (トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBmsy	2,516	0.36	1,381	10.9	0.37	1.07
限界管理基準値案	SB0.6msy	772	0.11	829	4.5	0.52	1.99
禁漁水準案	SB0.1msy	87	0.01	138	2.7	0.60	2.78
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳以上) = (0.27, 0.56, 0.66, 0.69, 0.57, 0.50, 0.50)					

補足表 4-4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	16	23
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	6	9	24	32
0.8	0	0	0	0	0	0	0	1	3	6	10	13	16	34	42
0.7	0	0	0	0	0	0	0	3	9	15	21	26	29	47	54
0.6	0	0	0	0	0	0	2	10	20	31	38	43	47	61	67
0.5	0	0	0	0	0	0	6	23	41	53	60	65	68	75	78
0.4	0	0	0	0	0	1	18	47	67	76	81	83	85	86	88
0.3	0	0	0	0	0	3	40	74	87	92	93	94	95	95	94
0.2	0	0	0	0	0	12	69	92	97	98	99	99	99	98	98
0.1	0	0	0	0	0	31	90	99	100	100	100	100	100	100	99
0.0	0	0	0	0	0	60	99	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

(b) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	1	2	4	5	6	9	10	11	24	30
0.9	0	0	0	0	1	4	8	12	14	17	20	23	25	38	43
0.8	0	0	0	1	11	19	25	29	33	36	38	40	43	52	59
0.7	0	0	0	8	37	54	59	62	63	63	64	65	65	69	73
0.6	0	0	0	31	80	89	90	90	89	88	87	87	86	83	85
0.5	0	0	0	72	98	100	99	99	99	99	98	97	96	94	94
0.4	0	0	0	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98
0.3	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	0	0	0	0	1	3	6	8	11	14	16	18	20	32	39

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 4-5. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	83	64	54	48	44	43	42	41	41	44	47

(b) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	97
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 4-6. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	87

(b) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 4-7. 将来の平均親魚量の推移 (トン)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,157	2,493	2,823	3,087	3,296	3,454	3,581	3,683	3,767	3,840	3,906	4,397	4,778
0.9	2,205	2,318	2,157	2,562	2,964	3,292	3,556	3,758	3,919	4,046	4,149	4,237	4,315	4,874	5,300
0.8	2,205	2,318	2,157	2,632	3,113	3,514	3,842	4,097	4,299	4,458	4,586	4,693	4,787	5,429	5,908
0.7	2,205	2,318	2,157	2,705	3,270	3,753	4,157	4,476	4,729	4,927	5,087	5,220	5,334	6,082	6,623
0.6	2,205	2,318	2,157	2,780	3,436	4,012	4,503	4,898	5,215	5,464	5,664	5,829	5,970	6,853	7,470
0.5	2,205	2,318	2,157	2,857	3,611	4,292	4,885	5,371	5,766	6,078	6,330	6,537	6,714	7,773	8,482
0.4	2,205	2,318	2,157	2,936	3,796	4,594	5,306	5,902	6,391	6,783	7,101	7,363	7,586	8,879	9,704
0.3	2,205	2,318	2,157	3,018	3,992	4,921	5,770	6,496	7,103	7,593	7,995	8,330	8,614	10,222	11,194
0.2	2,205	2,318	2,157	3,102	4,199	5,274	6,283	7,164	7,913	8,527	9,037	9,465	9,830	11,870	13,036
0.1	2,205	2,318	2,157	3,189	4,418	5,657	6,849	7,914	8,837	9,606	10,253	10,803	11,275	13,913	15,343
0.0	2,205	2,318	2,157	3,278	4,649	6,071	7,475	8,759	9,892	10,854	11,676	12,384	12,999	16,478	18,282
Fcurrent	2,205	2,318	2,157	1,960	1,851	1,794	1,753	1,715	1,687	1,664	1,646	1,631	1,619	1,610	1,683

(b) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,193	1,981	1,863	1,811	1,795	1,794	1,803	1,815	1,832	1,849	1,865	2,015	2,124
0.9	2,205	2,318	2,193	2,091	2,043	2,030	2,035	2,048	2,065	2,084	2,104	2,124	2,141	2,292	2,399
0.8	2,205	2,318	2,193	2,207	2,243	2,281	2,314	2,341	2,365	2,386	2,406	2,426	2,443	2,593	2,699
0.7	2,205	2,318	2,193	2,331	2,467	2,571	2,642	2,685	2,710	2,727	2,741	2,756	2,771	2,921	3,027
0.6	2,205	2,318	2,193	2,462	2,715	2,906	3,028	3,089	3,111	3,112	3,110	3,113	3,123	3,279	3,386
0.5	2,205	2,318	2,193	2,600	2,992	3,295	3,488	3,573	3,584	3,555	3,520	3,499	3,496	3,670	3,779
0.4	2,205	2,318	2,193	2,747	3,302	3,748	4,038	4,160	4,155	4,078	3,986	3,916	3,885	4,099	4,212
0.3	2,205	2,318	2,193	2,902	3,647	4,276	4,701	4,882	4,863	4,720	4,538	4,382	4,291	4,577	4,695
0.2	2,205	2,318	2,193	3,067	4,033	4,893	5,505	5,784	5,769	5,549	5,241	4,946	4,739	5,140	5,251
0.1	2,205	2,318	2,193	3,242	4,464	5,616	6,487	6,928	6,958	6,673	6,214	5,724	5,324	5,881	5,920
0.0	2,205	2,318	2,193	3,427	4,946	6,465	7,690	8,393	8,554	8,254	7,655	6,939	6,275	6,901	6,647
Fcurrent	2,205	2,318	2,193	2,057	1,987	1,960	1,958	1,967	1,982	1,999	2,018	2,038	2,055	2,204	2,310

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 4-8. 将来の平均漁獲量の推移 (トン)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,128	616	705	780	839	885	920	948	972	992	1,010	1,026	1,150	1,247
0.9	915	1,128	562	659	742	809	861	901	933	959	981	1,000	1,017	1,144	1,241
0.8	915	1,128	507	608	698	771	829	873	909	938	961	981	1,000	1,128	1,225
0.7	915	1,128	449	553	647	724	787	835	874	905	931	953	972	1,101	1,197
0.6	915	1,128	391	492	587	667	733	784	826	859	887	910	930	1,060	1,153
0.5	915	1,128	330	426	518	598	665	718	761	796	825	848	869	998	1,087
0.4	915	1,128	268	355	440	516	580	632	675	710	739	763	784	909	991
0.3	915	1,128	204	277	350	417	475	523	563	596	624	647	666	782	854
0.2	915	1,128	138	192	248	300	346	385	419	447	470	489	506	603	661
0.1	915	1,128	70	100	132	162	190	213	234	252	266	279	290	353	388
0.0	915	1,128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,128	1,036	961	919	897	879	863	850	840	832	825	820	820	858

(b) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,138	1,131	1,045	1,001	986	984	987	994	1,002	1,011	1,020	1,029	1,109	1,169
0.9	915	1,138	1,045	1,011	996	996	1,002	1,010	1,019	1,029	1,038	1,047	1,056	1,128	1,180
0.8	915	1,138	954	966	981	996	1,010	1,021	1,030	1,039	1,047	1,055	1,063	1,126	1,172
0.7	915	1,138	857	910	953	985	1,005	1,017	1,024	1,029	1,034	1,040	1,046	1,102	1,141
0.6	915	1,138	755	840	910	958	984	995	996	995	995	998	1,002	1,052	1,085
0.5	915	1,138	646	755	846	909	942	950	944	934	927	924	927	973	1,001
0.4	915	1,138	531	652	757	832	870	877	863	843	826	817	816	862	886
0.3	915	1,138	410	528	637	717	759	765	747	718	691	674	668	715	734
0.2	915	1,138	281	381	477	552	594	600	582	552	520	496	483	529	542
0.1	915	1,138	145	206	269	320	351	358	347	326	301	279	265	298	304
0.0	915	1,138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,138	1,071	1,022	999	994	997	1,004	1,013	1,022	1,032	1,041	1,050	1,124	1,178

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。なお、2021 年の漁獲量は 915 トンであるが、0 歳魚の漁獲を除いた計算値となっている。

補足表 4-9. 予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

再生産関係	β	10年後の目標達成確率	予測平均親魚量 (トン)		予測平均漁獲量 (トン)			リスク (10年間に1度でも起きる確率)		
		親魚資源量が目標管理基準値案を上回る	2028年	2033年	2023年	2028年	2033年	親魚量が現在の水準を下回る	親魚量が限界管理基準値を下回る	漁獲量が半減する
HS	1	4%	3,454	3,906	616	920	1,026	0%	0%	0%
	0.9	9%	3,758	4,315	562	901	1,017	0%	0%	0%
	0.8	16%	4,097	4,787	507	873	1,000	0%	0%	0%
	0.7	29%	4,476	5,334	449	835	972	0%	0%	0%
	0.6	47%	4,898	5,970	391	784	930	0%	0%	0%
	0.5	68%	5,371	6,714	330	718	869	0%	0%	0%
	0.4	85%	5,902	7,586	268	632	784	0%	0%	0%
	0.3	95%	6,496	8,614	204	523	666	0%	0%	0%
	0.2	99%	7,164	9,830	138	385	506	0%	0%	0%
	0.1	100%	7,914	11,275	70	213	290	0%	0%	0%
RI	0	100%	8,759	12,999	0	0	0	0%	0%	0%
	1	11%	1,794	1,865	1,131	1,004	1,003	1%	0%	0%
	0.9	25%	2,048	2,141	1,045	1,001	1,029	0%	0%	0%
	0.8	43%	2,341	2,443	954	988	1,038	0%	0%	0%
	0.7	65%	2,685	2,771	857	963	1,029	0%	0%	0%
	0.6	86%	3,089	3,123	755	923	996	0%	0%	0%
	0.5	96%	3,573	3,496	646	863	936	0%	0%	0%
	0.4	100%	4,160	3,885	531	778	845	0%	0%	0%
	0.3	100%	4,882	4,291	410	660	719	0%	0%	0%
	0.2	100%	5,784	4,739	281	501	550	0%	0%	0%
0.1	100%	6,928	5,324	145	286	322	0%	0%	0%	
0	100%	8,393	6,275	0	0	0	0%	0%	0%	

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した結果をまとめた。漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度 (0 年後) の 2023 年の値と、5 年および 10 年管理を行った後の値 (2028 年および 2033 年) を示した。

補足資料5 1999-2020年の再生産関係での試算結果

ヒラメ日本海中西部・東シナ海系群では MSY 等管理基準値の推定に当たり、「令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2022-ABCWG02-01)」の 1 系資源の 1A ルールの適用を検討し、再生産関係の検討を行った。再生産関係の検討に際しては「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (FRA-SA2022-ABCWG02-04)」および「再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 4 年度) (FRA-SA2022-ABCWG02-05)」に基づいてモデルの診断および妥当性の検討を行った。再生産関係を検討する際に使用するデータ期間も再検討項目とし、全長制限の導入、自然死亡への影響が想定されるネオヘテロボツリウム症の蔓延状況、資源評価データの整備状況を考慮し、1999 年～2020 年のみを対象とした場合の検討を行った。

本補足資料では、再生産関係を用いた 1A ルールでは 2 種類の再生産関係式が候補とされ、様々な再検討を行ったが、現状の情報から推定されたそれぞれの再生産関係には課題や問題が残されており、今後、資源量推定等に関する情報の更新および推定精度の向上の必要性が高いと考え、選択および提案には至らなかった。本補足資料ではその検討内容について記載する。

1. 再生産関係

1-1) 使用するデータセット

本資源の再生産関係式の設定は「令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2022-ABCWG02-01)」に従い、以下のデータセットを使用して実施した。解析には R パッケージ frasyr (v2.2.0.3) を用いた。frasyr で用いた式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 4 年度) (FRA-SA-2022-ABCWG01-02)」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
資源量・親魚量	令和 4 年度ヒラメ日本海中西部・東シナ海系群の資源評価 (水産庁・水産機構)

1-2) 再生産関係の検討

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 ; Clark et al. 1985) 型、ベバートン・ホルト (BH ; Beverton and Holt 1957) 型、およびリッカー (RI ; Ricker 1954) 型の再生産関係式を検討候補とした。 R_y を y 年の加入量、 B_y を y 年当初の親魚量、 A_{min} を加入年齢 (本資源の場合は $A_{min}=1$) としたときのそれぞれの再生産関係式の数式は以下の通りである ;

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

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

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

いずれの再生産関係式でも、推定するパラメータは a および b の 2 つである。HS 型の場合、 a は折れ点までの再生産曲線の傾き（尾/トン）、 b は折れ点となる親魚量（トン）を示す。再生産関係の検討の際には、推定された再生産曲線からの加入量の残差標準偏差（S.D.）も併せて算出した。

本資源の管理基準値案の算出および将来予測計算に使用する再生産関係として、ホッカー・スティック（HS）型再生産関係、リッカー（RI）型再生産関係、およびベバートン・ホルト（BH）型再生産関係を仮定した場合について検討した。再生産関係の検討は、資源評価で推定された 2000～2020 年の加入量および 1999～2019 年親魚量に基づき行った。再生産関係式のパラメータ推定のための最適化方法には、最小二乗法および最小絶対値法を検討した。また、残差に自己相関を考慮したモデルと考慮しないモデルを検討し、自己相関を考慮したモデルでは、再生産関係のパラメータと自己相関係数を同時に推定する手法（同時推定法）を用いた候補とした再生産関係を補足図 5-1、補足表 5-1 に示した。各再生産関係モデルについて Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定により残差の正規性を調べたところ、正規性からの有意な逸脱は検出されなかったことから、最適化法には最小二乗法を用いた（補足図 5-2）。次に加入の時系列トレンドを調べるため、最小二乗法を当てはめた場合の再生産関係との逸脱度（deviance）および自己相関を考慮した場合の残差（residual）について、トレンドと自己相関プロットを求めた（補足図 5-3a、5-3b）。その結果、いずれの再生産関係を仮定した場合でも、自己相関は有意であると示されたことから、本資源については自己相関を考慮することとした（補足図 5-3a、5-3b）。残差の自己相関（AR）については、自己相関パラメータ ρ もモデルに組み込み、再生産関係式のパラメータと同時に推定する“同時推定法”を用いた（詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（FRA-SA2022-ABCWG01-02）」を参照）。ここで、モデルに自己相関を考慮することにより自己相関構造は解消される。AICc は自己相関を同時推定した最小二乗法の場合で低く、RI 型、HS 型、BH 型の順となり、自己相関を考慮しない最小二乗法と、自己相関を考慮しない最小絶対値法の場合の場合には RI 型、HS 型、BH 型の順であった（補足表 5-2）。

ジャックナイフ法により、個々のデータを取り除いた際の推定パラメータへの影響を調べた。その結果、いずれの再生産関係式においても影響は小さく、とくに HS 型と RI 型で頑健であることが示された（補足図 5-4、5-5a、5-5b）。また、パラメータ推定の信頼区間は残差ブートストラップにより検討した結果、パラメータ a および b について、いずれの再生産関係式においても推定値の中央値と点推定値はほぼ一致した（補足図 5-6、5-7a、5-7b）。各再生産関係モデルのプロファイル尤度を補足図 5-8 に示す。この結果、BH ではパラメータ a 、 b に高い相関が見られ、解が一意に定まらなかったが、HS および RI の再生産関係式ではパラメータが収束することが示された。

加入量の残差の 1 年前との自己相関は、HS 型、RI 型および BH 型を用いて最小二乗法および最小絶対値法により最適化したいずれの場合も有意であった（補足表 5-1）。従って、本資源においては再生産関係のモデルに加入量の自己相関を考慮する必要があると判断した。

補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると、最小二乗法で自己相関パラメータを同時推定した場合が最も AICc が小さくなり、RI 型を当てはめた場合で最も低く、次いで HS 型、

BH 型の順となった（補足表 5-2）。しかし、再生産係式間での AICc の差は 2 以下であり、モデル間の差は小さいものであった。HS 型は、加入量の減少が生じる親魚量についてパラメータ推定に与える情報が無いため、「再生産関係の決定に関するガイドライン（令和 4 年度）（FRA-SA2022-ABCWG02-05）」の b の便宜的仮定に従い親魚量の最小値を折れ点（パラメータ b）とした（補足図 5-9a）。RI 型は、親が減っても加入が減らないような予測値が得られている（補足図 5-9b）。過去に経験したことがない低い親魚量下において、加入尾数が保守的でない高い外挿値になる場合にはリスクが高いため、予防的な観点から、このような再生産関係の使用は避けることが推奨されている。

以上の検討から、本資源の再生産関係の候補としては、自己相関を考慮した最小二乗法で最適化した HS 型再生産係式を用いたが、比較検討のため RI 型再生産係式の結果を併記した。

1-3) 再生産関係の候補

「再生産関係の決定に関するガイドライン（FRA-SA2022-ABCWG01-03）」の 3.a（予測力）、3.b（生物学的妥当性）、3.e（観察された最小親魚量以下で加入尾数が保守的でない外挿値になるような場合の回避）および 3.h（自己相関）基準に従い、本資源の再生産関係の候補として、最適化法を最二乗法とし、自己相関を考慮した HS 型再生産関係を提案する（補足図 5-9a）。また、比較検討のため RI 型再生産係式の結果を併記した（補足図 5-9b）。

2. 管理基準値

2-1) データセットおよび計算方法

最大持続生産量（MSY）に対応する管理基準値案等の算出、および将来予測は、「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」の 1 系資源の管理規則に従い、1-3) で候補とした再生産関係と、表 1 に示した令和 4 年度の資源評価に基づく各種設定（自然死亡係数、成熟率、現状の漁獲圧）を使用して実施した。また、本資源においては現状の漁獲圧としてチューニングによる直近年の F の減少を考慮し、2018～2020 年の平均漁獲係数を用いており（図 2）、管理基準値の算出と将来予測における選択率には 2018～2020 年の平均値を用いた。平均世代時間（6.6 年）の 60 倍の年数のシミュレーション期間後を平衡状態と仮定し、平衡状態における平均漁獲量の最大値を最大持続生産量（MSY）、MSY が達成される際の親魚量を SB_{msy} 、MSY が得られる F 値を F_{msy} とした。なお、本資源は人工種苗放流を行っているが MSY 計算については考慮しない（放流なし）で推定した。

2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

本資源の HS 型再生産関係に基づく目標管理基準値（ SB_{target} ）として MSY 水準における親魚量（ SB_{msy} : 4,923 トン）、限界管理基準値（ SB_{limit} ）として MSY の 60% の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.6msy}$: 1,322 トン）、禁漁水準（ SB_{ban} ）として MSY の 10% の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.1msy}$: 214 トン）と推定された。これらの基準値案について、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量（ SB_0 ）に対する比、基準値案に対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量および現状の漁獲圧に対する比などを補足表 5-3a に

示す。目標管理基準値として提案する SBmsy は SB0 の 25%に相当し、その親魚量において期待できる漁獲量の平均値 (MSY) は 1,322 トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧 (MSY を実現する漁獲圧:Fmsy) の、現状の漁獲圧に対する比 (Fmsy/Fcurrent) は 0.55 で、その時の漁獲割合 (Umsy) は 0.22 である。限界管理基準値として提案する SB0.6msy は SB0 の 7%、禁漁水準として提案する SB0.1msy は SB0 の 1%である。

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年齢別漁獲量の平均値を補足図 5-10a に示す。親魚量が SBlimit 以下では 2 歳魚が最も高い割合を占めるが、親魚量がさらに増加するにつれて高齢魚の比率が高くなる傾向がみられ、SBmsy 達成時においては 2~4 歳魚の漁獲が主体となると推測された。RI 型の結果については補足表 5-3b、補足図 5-10b に示す。

2-3) 神戸プロット

HS 型再生産関係に基づく目標管理基準値案である SBmsy と、その時の漁獲圧 Fmsy を基準にした神戸プロットを補足図 5-11a に示す。本資源における漁獲係数 (F 値) はすべての年で MSY を実現する水準を上回っており、親魚量は、資源評価以降 2021 年まで一貫して目標管理基準値案 SBmsy を下回り、現状の親魚量 (2021 年の親魚量: 2,205 トン) に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案の比は、それぞれ 2.23、0.67 および 0.10 である。RI 型の結果については補足図 5-11b に示す。

2-4) 漁獲管理規則案

本資料で提案する漁獲管理規則は、限界管理基準値案および禁漁水準案となる親魚量を閾値として漁獲管理の基礎となる漁獲係数 (F 値) を変えるルールであり、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げることを定めている。F 値の上限は Fmsy に調整係数 β を乗じたものである。HS 型再生産関係に基づく限界管理基準値案および禁漁水準案に標準値を用いた場合 (すなわち、SBlimit は SB0.6msy、SBban は SB0.1msy の場合) の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を補足図 5-12a に、この漁獲管理規則案で漁獲した場合に期待できる平均的な漁獲量との関係を補足図 5-12b に示す。これらの図に例示した漁獲管理規則案は、いずれも β に標準値である 0.8 を用いた。RI 型の結果については補足図 5-13a、5-13b に示す。

2-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

(1) 調整係数 β に標準値を用いた場合

HS 型再生産関係に基づく限界管理基準値案と禁漁水準案に標準値を用い、調整係数の β も標準値の 0.8 とした漁獲管理規則案 (補足図 5-12a) で将来予測した資源量、親魚量、漁獲量、加入量、および努力量の増減率の推移を補足図 5-14a に示す。将来予測では、2022 年の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2018-2020) により仮定し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲制御を開始する。

予測される 2023 年の親魚量は限界管理基準値案を上回っているため、漁獲管理規則案に従い、まず βF_{msy} での漁獲が行われる。中長期的にも、親魚量は限界管理基準値案を上

回ると予測されるため、 βF_{msy} での漁獲となる。 βF_{msy} 漁獲の継続により漁獲量は MSY 水準よりやや少なく、親魚量は SB_{msy} に近づくように推移していくと予測される。RI 型の結果については補足図 5-14b に示す。

(2) 調整係数 β を変えた場合

漁獲管理規則案を用いた将来予測について、調整係数 β を 0.0～1.0 の間で、0.1 間隔で変えた場合の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、禁漁水準案を上回る確率、平均親魚量の推移、および漁獲量平均値の推移を補足表 5-4～5-9 に示す。補足表 5-3～5-8 には、現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。

HS 型再生産関係にも続く将来予測においては、本資源の親魚量は 2021 年時点では限界管理基準値案を上回っており、漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2033 年では、 β が 0.8 の場合、目標管理基準値案を上回る確率が 50%以上 (53%) と予測された (補足表 5-4a)。 β が 1.0 の場合には親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 18%以下であった。なお、 β が 1.0 以下いずれの値であっても、100%の確率で限界管理基準値案となる親魚量を維持し (補足表 5-5a)、禁漁水準案を下回らないと予測された (補足表 5-6a)。2024 年以降の親魚量は β が低い程多くなった (補足表 5-7a)。 β を 0.8～1.0 の間で変化させた場合の平均漁獲量は、2033 年にはいずれも 1 千トンとなった (補足表 5-8)。 β が 0.8 では 10 年後に親魚量が現在の水準を上回る確率が 16%と非常に低いが、10 年後に親魚量が現在の水準を下回る確率、親魚量が限界管理基準値を下回る確率は 0%であった (補足表 5-9)。RI 型の結果については補足表 5-4b、5-5b、5-6b、5-7b、5-8b、5-9 に示す。

3. まとめ

本資源では、資源評価で推定された 1999～2019 年における親魚量と翌年 (2000～2020 年) の 1 歳魚の加入尾数に基づき、再生産関係モデルに自己相関を考慮した HS 型再生産関係式を適用し、そのパラメータを最二乗法により推定することを提案する。

目標管理基準値案は MSY を実現する資源水準と定められていることから、上記の再生産関係から推定される SB_{msy} (4,923 トン) とすることを提案する。限界管理基準値案、禁漁水準案については、標準値である $SB_{0.6msy}$ (1,481 トン)、 $SB_{0.1msy}$ (214 トン) をそれぞれ提示する。

現在の本資源の親魚量は目標管理基準値案を下回るが、限界管理基準値案を上回っていると推定される。MSY を実現する漁獲割合は 22%、漁獲圧は F2018-2020 の 0.55 倍である (補足表 5-3a)。

4. 引用文献

ABCWG (2022) 令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2022-ABCWG02-01.

ABCWG (2022) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 4 年度). FRA-SA-2022-ABCWG01-02.

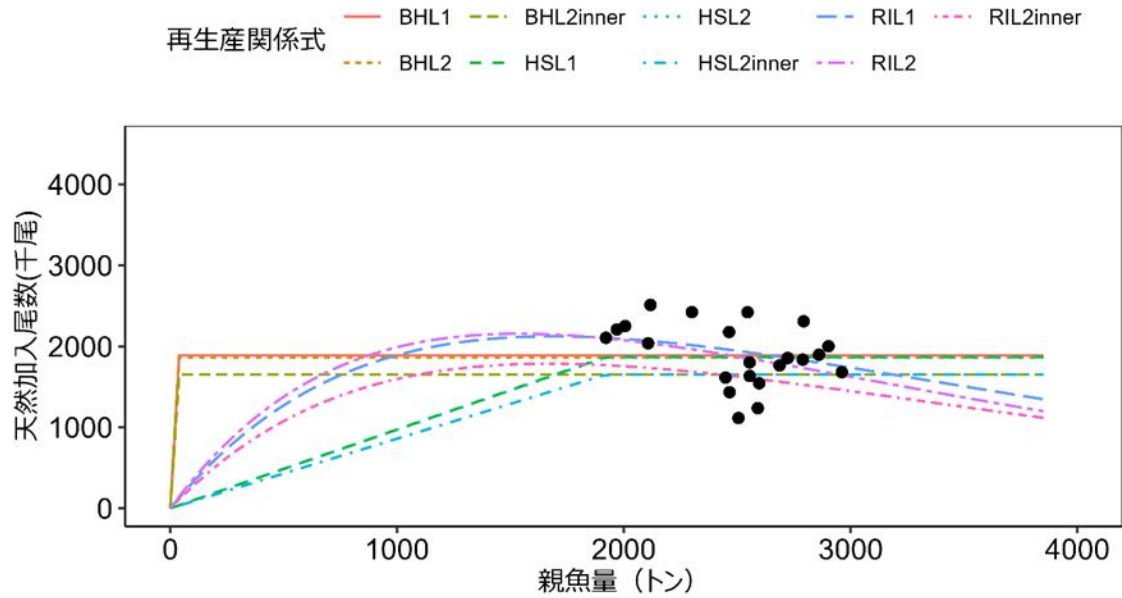
ABCWG (2022) 再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 4 年度). FRA-SA2022-

ABCWG01-03.

Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957) On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.

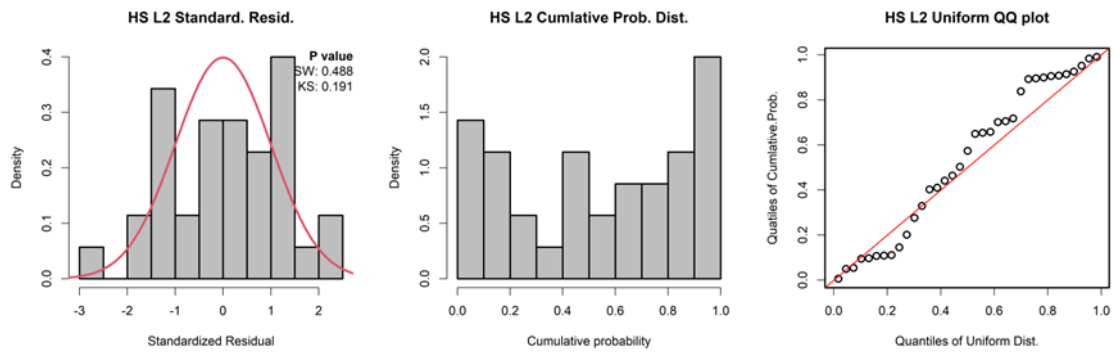
Clark C. W., A. T. Charles, J. R. Beddington, and M. Mangel (1985) Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Mar. Resour. Econ.*, **2**, 25-53.

Ricker W. E. (1954) Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Board Can.*, **11**, 559-623.

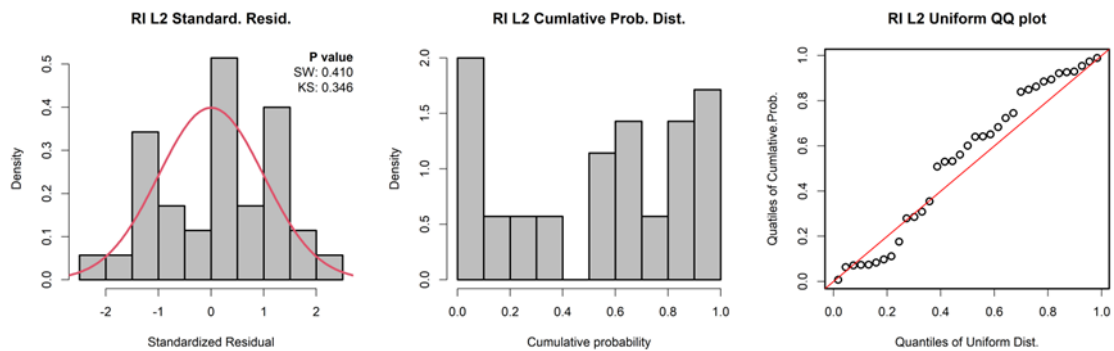


補足図 5-1. ホッケー・スティック (HS) 型、リッカー (RI) 型、ベバートン・ホルト型 (BH) の再生産関係式を、自己相関を同時推定した最小二乗法 (L2inner)、自己相関を考慮しない最小二乗法 (L2)、自己相関を考慮しない最小絶対値法 (L1) により当てはめた。図中の黒丸は分析に使用した 1999～2019 年における親魚資源量と翌年 (2020～2020 年) の 1 歳魚の加入尾数の推定値である。

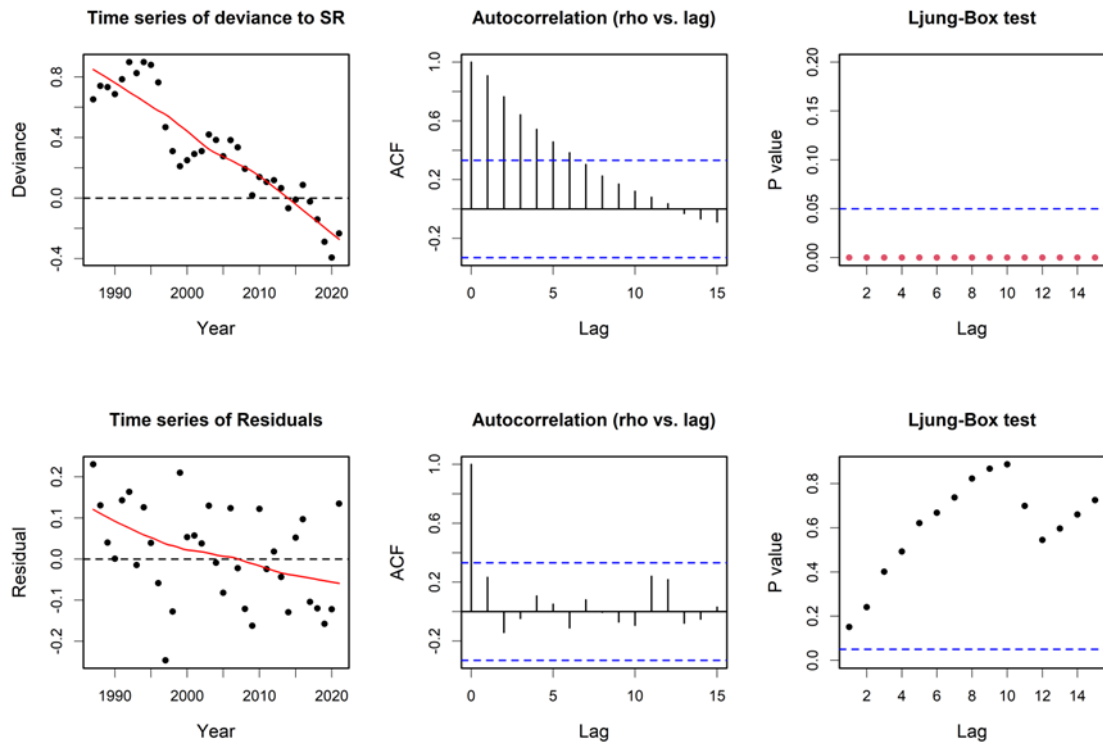
(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係



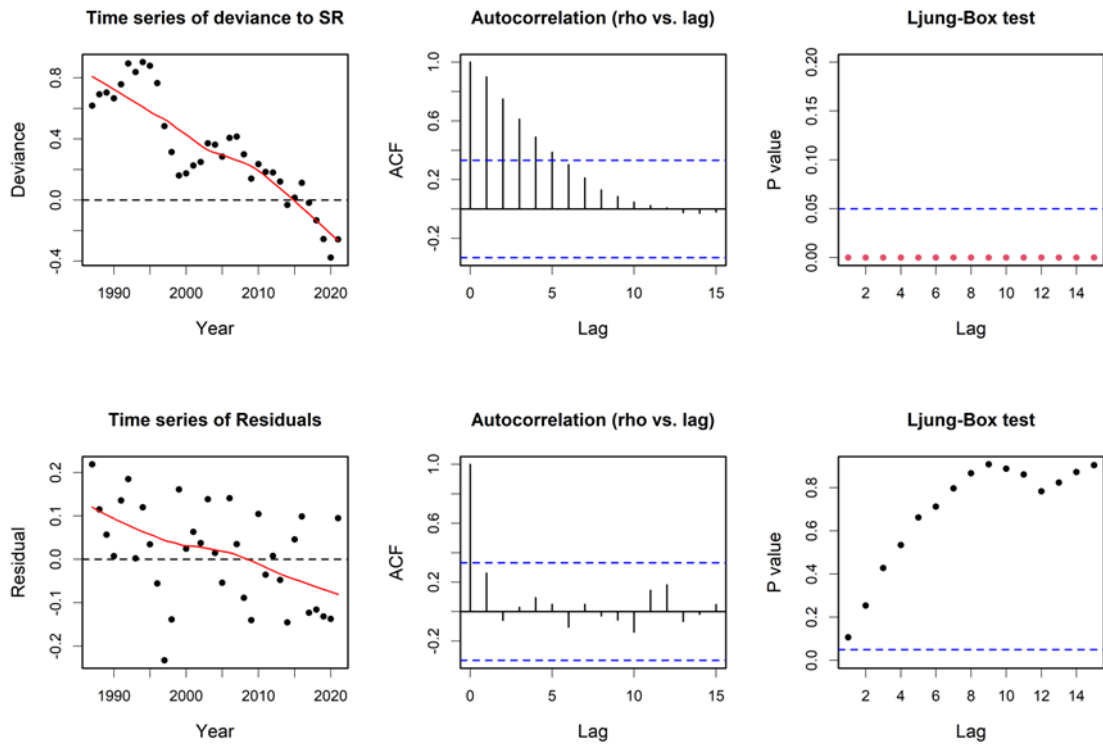
(b) リッカー (RI) 型再生産関係



補足図 5-2. (a) ホッケー・スティック型、(b) リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している

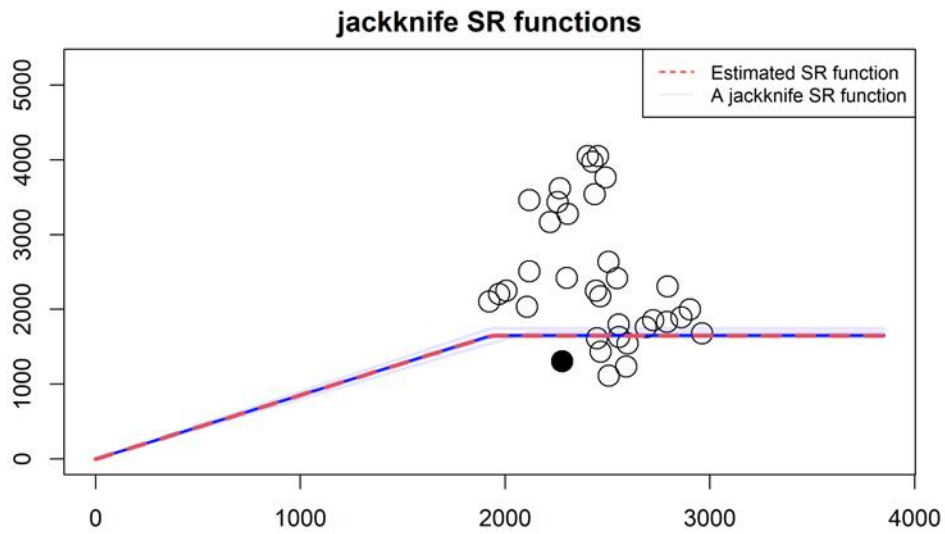


補足図 5-3a. ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。上段は自己相関を考慮する前、下段は自己相関を考慮した場合を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。

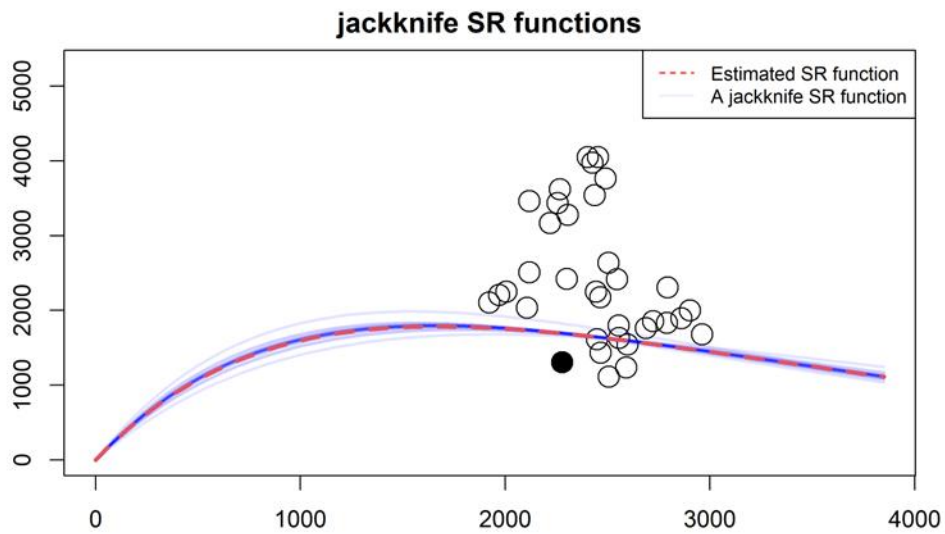


補足図 5-3b. リッカー (RI) 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。上段は自己相関を考慮する前、下段は自己相関を考慮した場合を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。

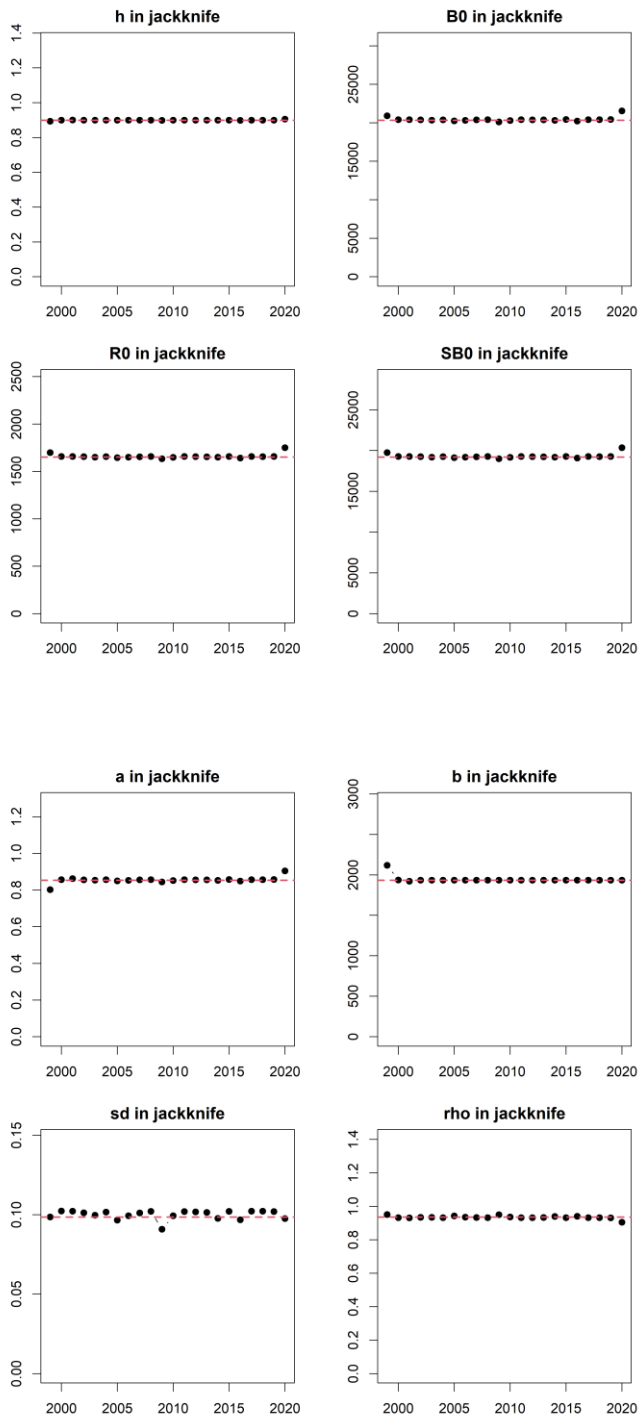
(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係



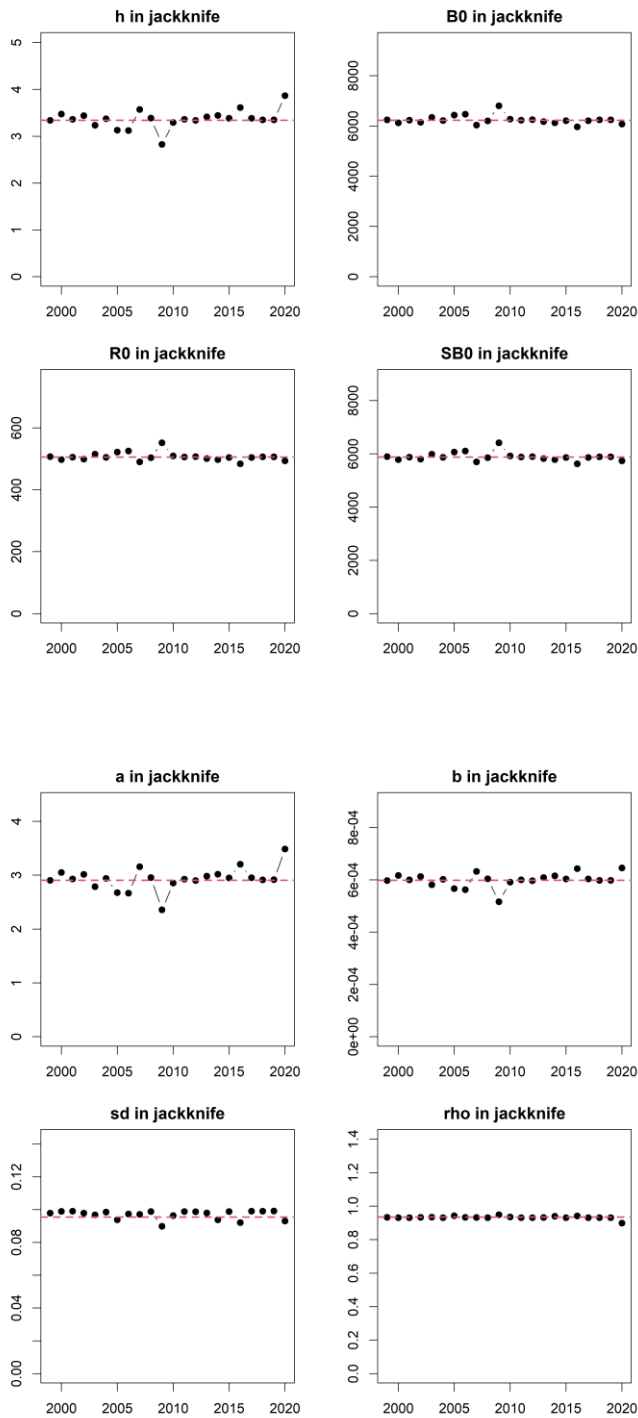
(b) リッカー (RI) 型再生産関係



補足図 5-4. (a) ホッケー・スティック型、(b) リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果
 赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量 (トン)、縦軸は加入尾数 (尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用していないデータ期間の最終年 (2021 年) を示す。

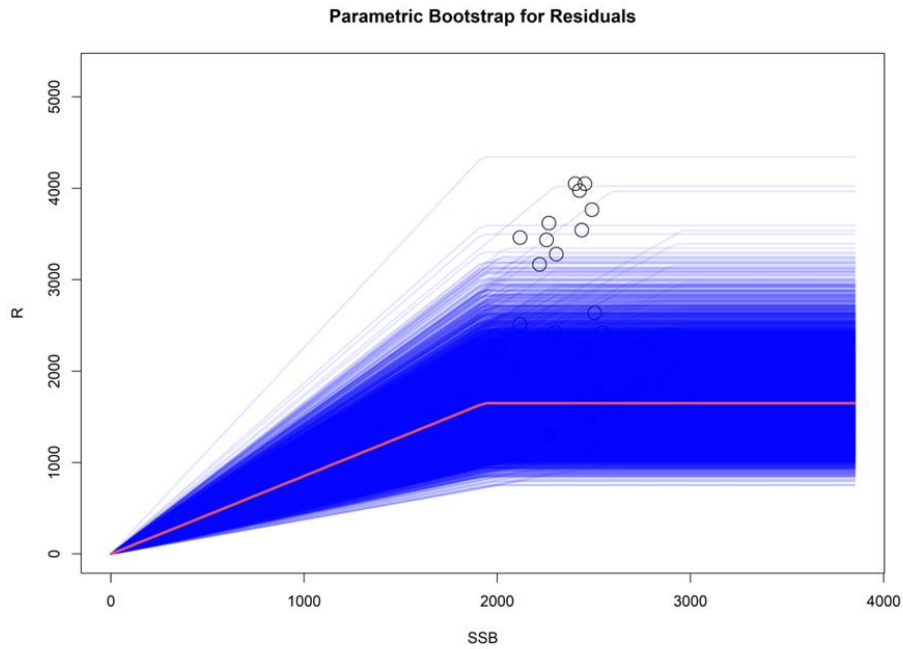


補足図 5-5a. 自己相関を考慮したホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

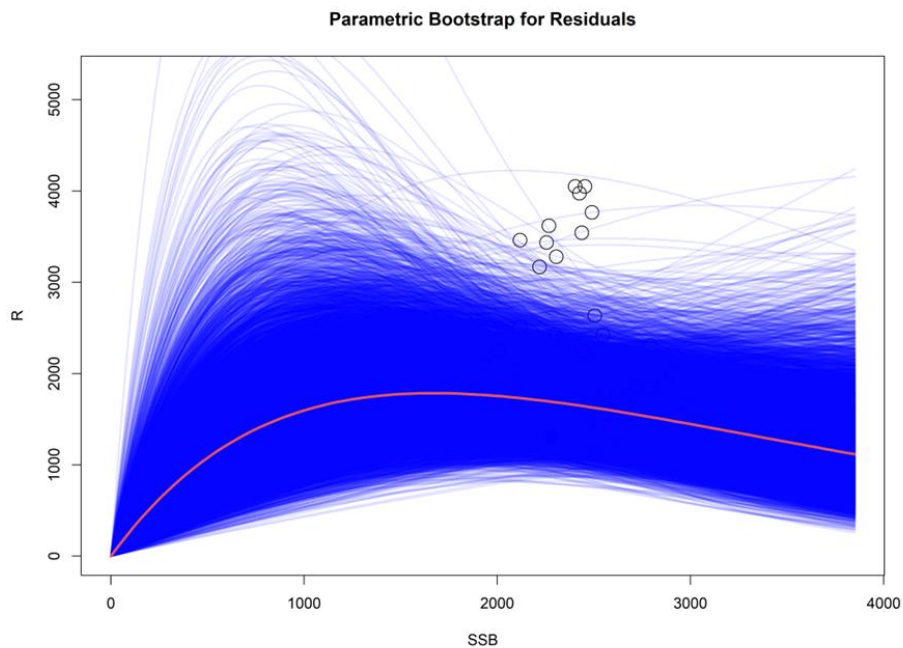


補足図 5-5b. 自己相関を考慮したリッカー (RI) 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

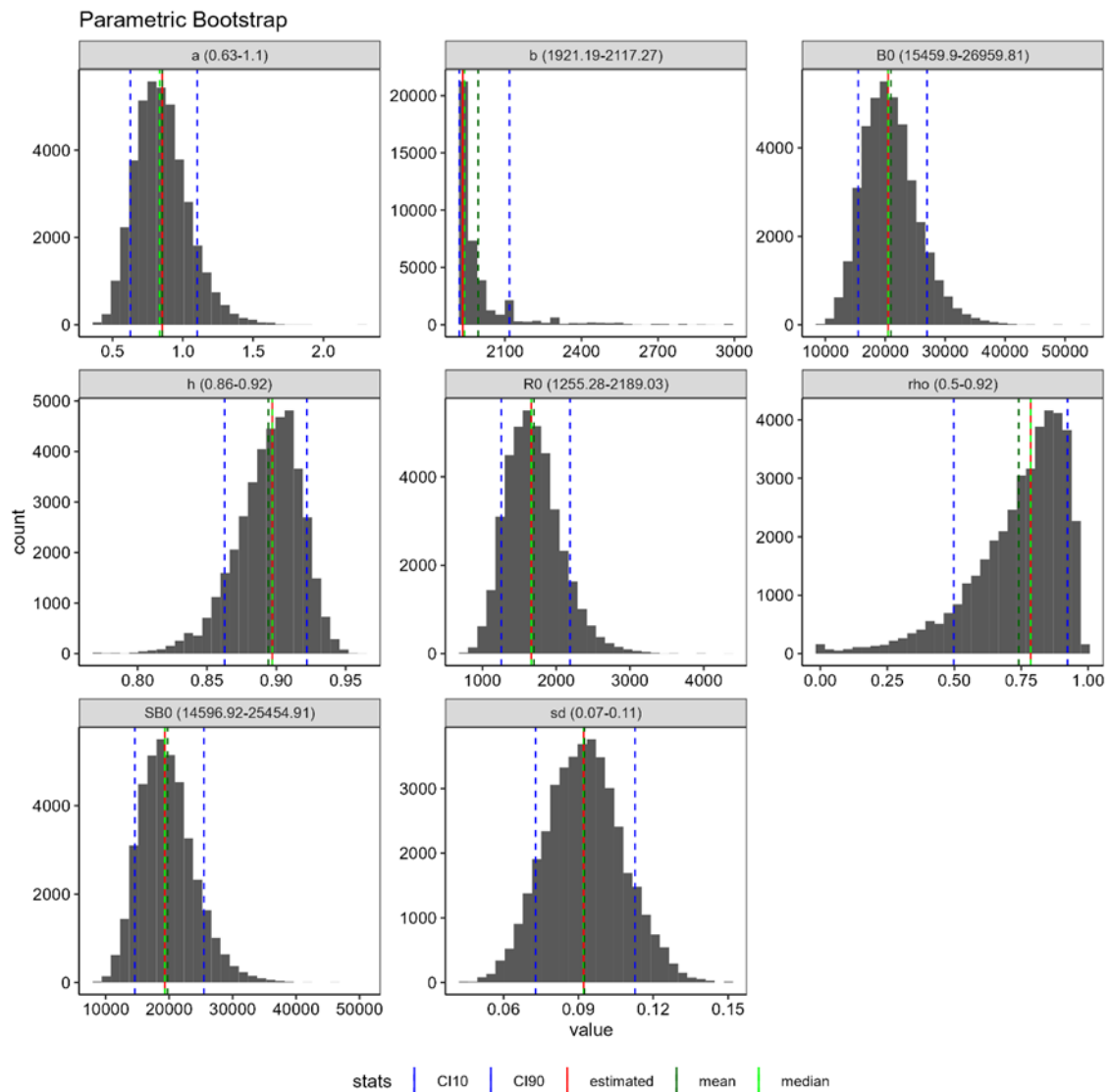
(b) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係



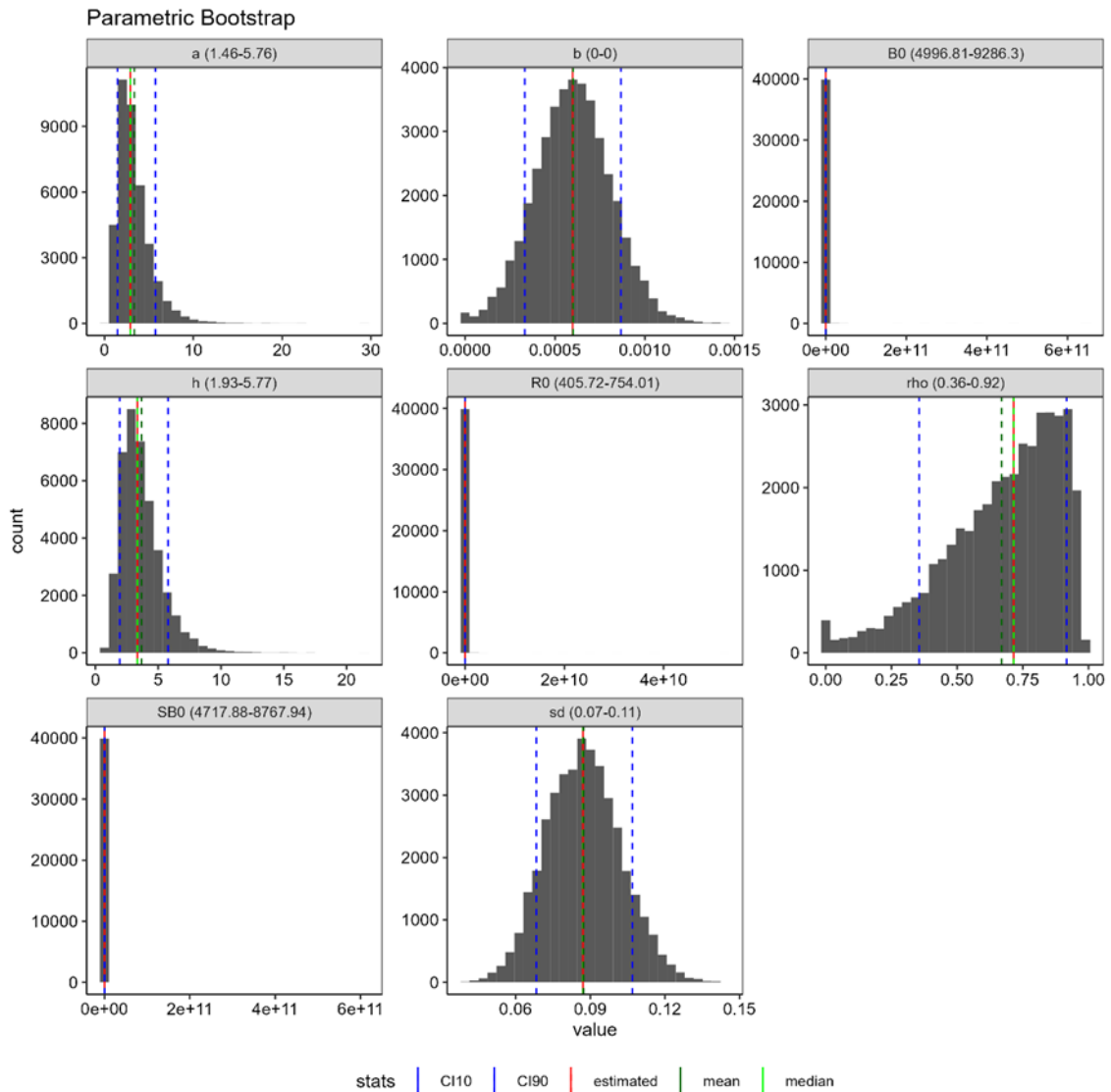
(b) リッカー (RI) 型再生産関係



補足図 5-6. (a) ホッケー・スティック型、(b) リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果
赤線は元データでの推定値、青線はノンパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量 (トン)、縦軸は加入尾数 (尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用していないデータ期間の最終年 (2021 年) を示す。

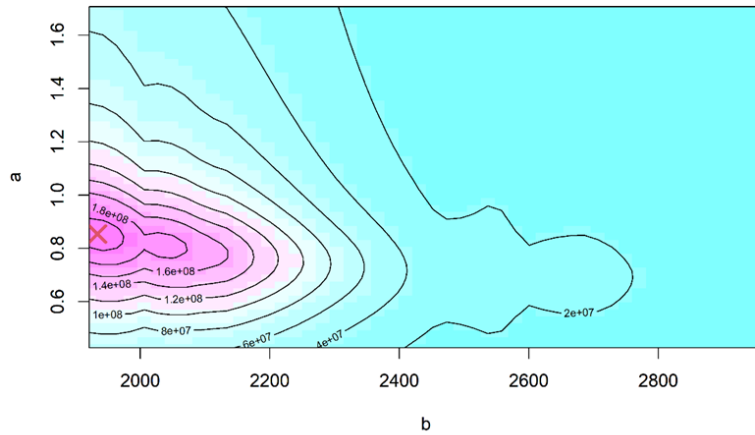


補足図 5-7a. 自己相関を考慮したホッカー・スティック (HS) 型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での平均値 (緑点線)、中央値 (黄緑点線) と 90%信頼区間 (青線) 赤線はパラメータの点推定値である。

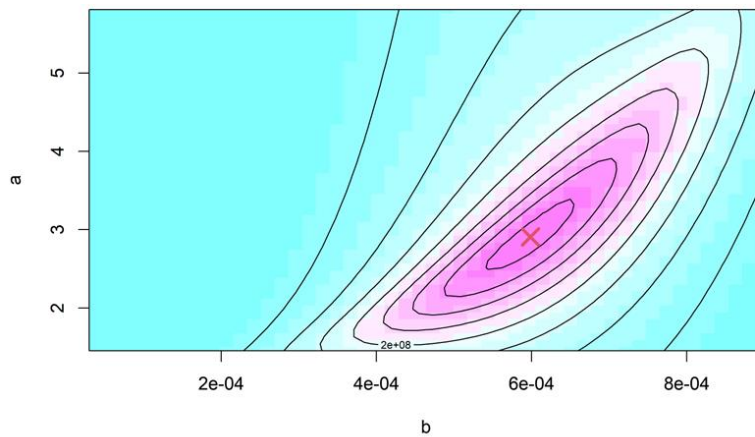


補足図 5-7b. 自己相関を考慮したリッカー（RI）型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での平均値（緑点線）、中央値（黄緑点線）と 90% 信頼区間（青線） 赤線はパラメータの点推定値である。

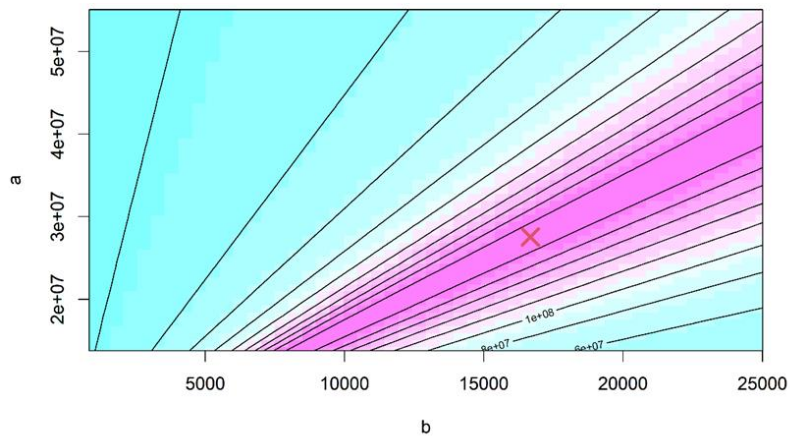
(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式



(b) リッカー (RI) 型再生産関係

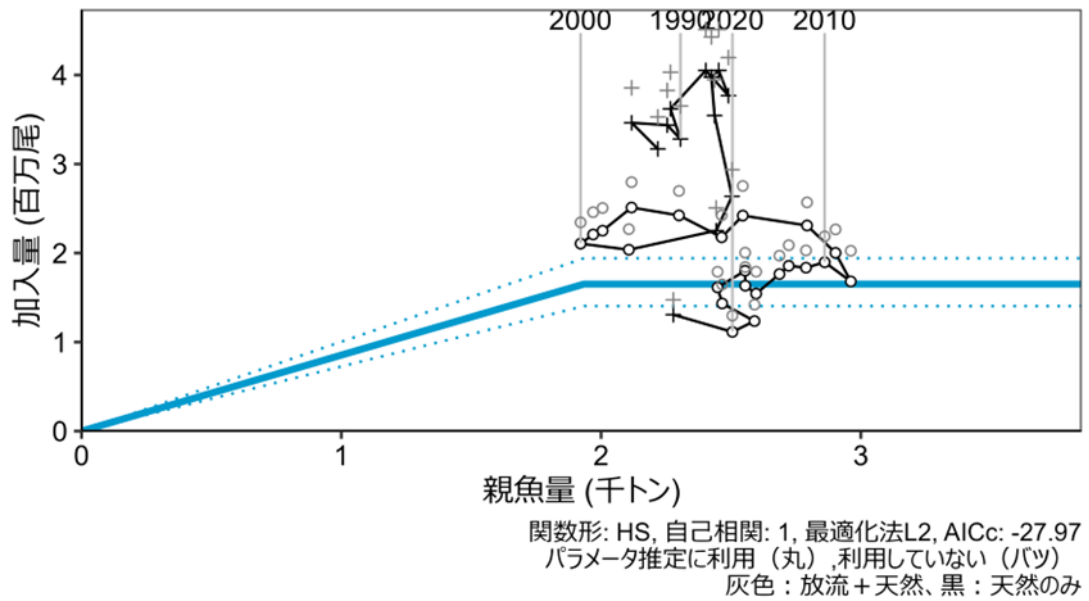


(c) ベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係式

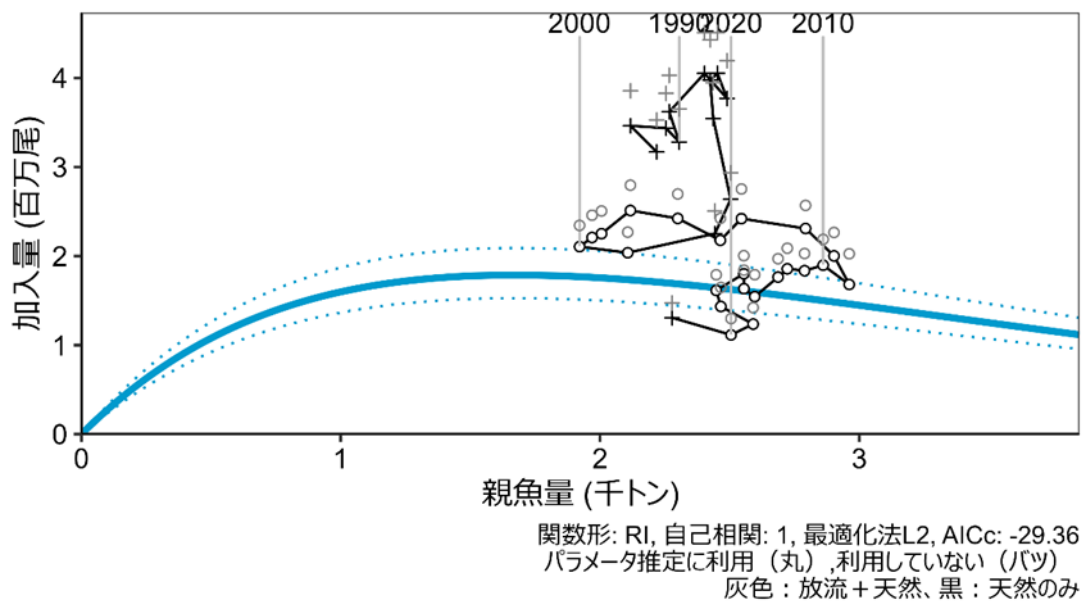


補足図 5-8. (a) ホッケー・スティック型、(b) リッカー型、(c) ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の推定パラメータのプロファイル尤度、×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。

(a) ホッケー・スティック型再生産関係



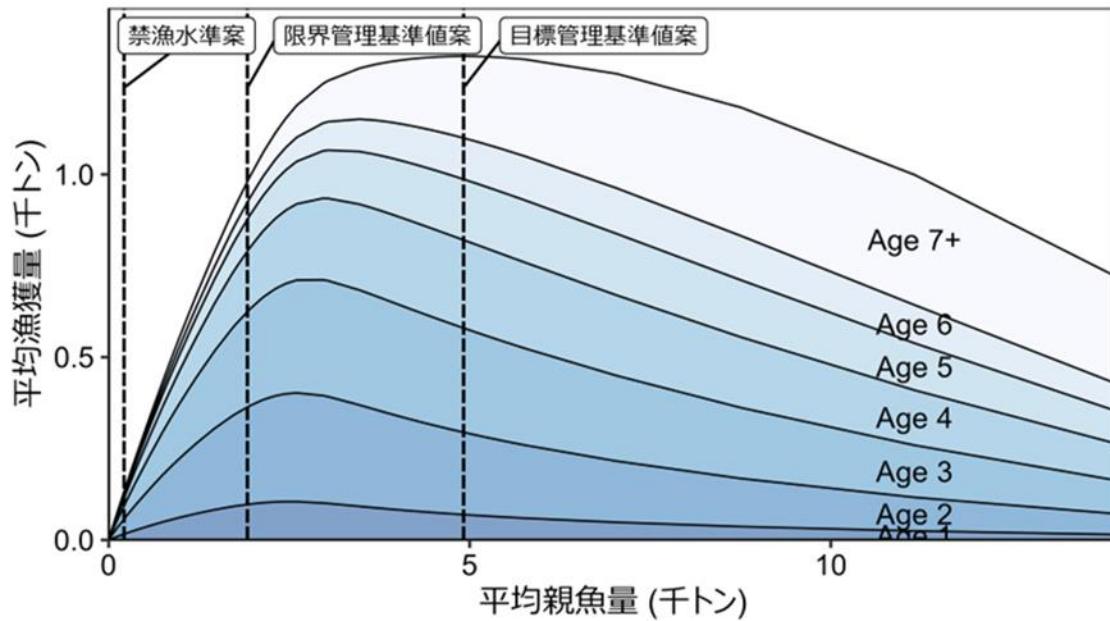
(b) リッカー型再生産関係



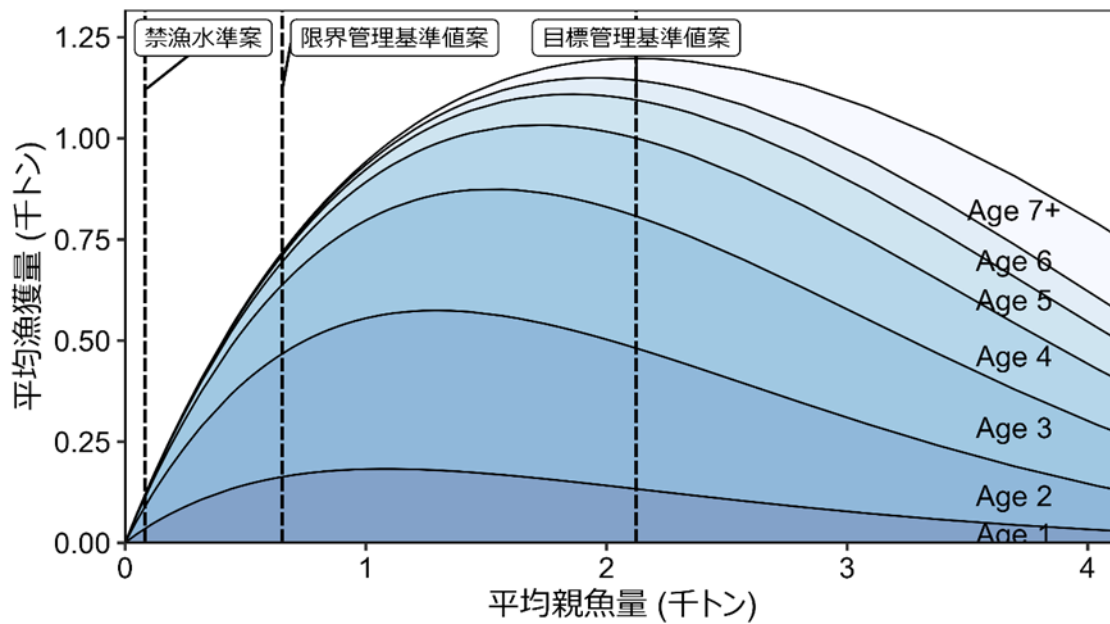
補足図 5-9. 再生産関係

1999～2019年における親魚資源量と翌年（2020～2020年）の1歳魚の加入尾数から求めた再生産関係。プロットは最新の資源評価結果から求めたものである。図中の数字は1歳魚が加入した年を示す。再生産関係には (a) 自己相関を考慮したホッケー・スティック (HS) 型再生産式、(b) 自己相関を考慮したリッカー (RI) 型再生産式を用い、最小絶対値法によりパラメータを推定した。図中の再生産関係式（青実線）の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの90%が含まれると推定される範囲である。白色の丸は天然のみ、灰色は種苗放流を加味した加入量である。

(a) ホッカー・スティック (HS) 型再生産関係



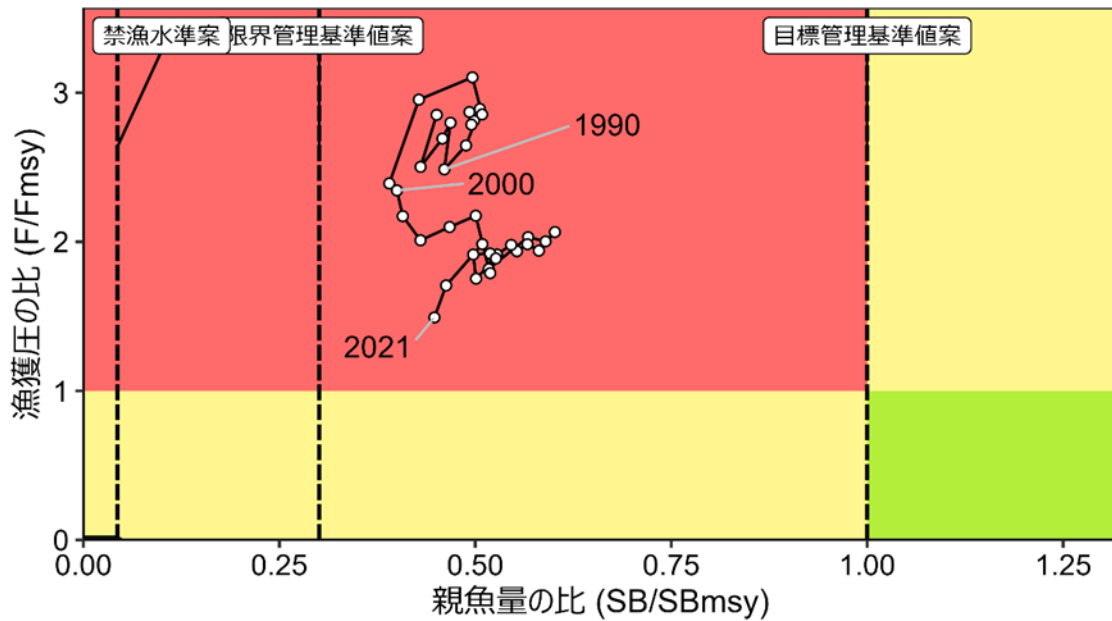
(b) リッカー (RI) 型再生産関係



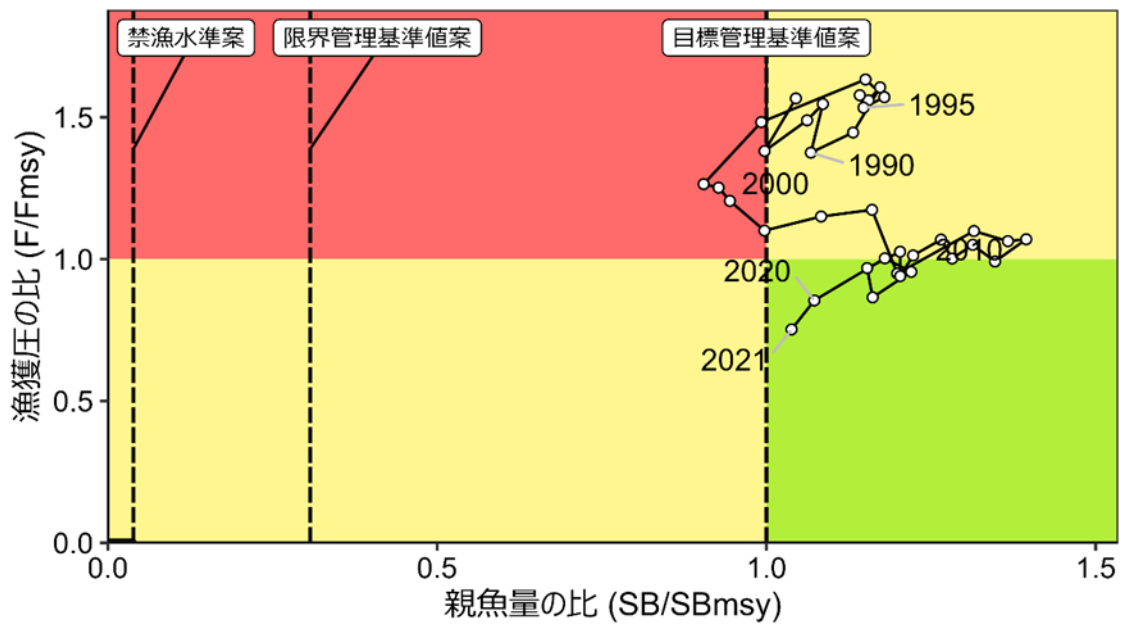
補足図 5-10. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

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、それぞれの管理基準値案の位置関係を示す。再生産関係には (a) 自己相関を考慮したホッカー・スティック (HS) 型再生産式、(b) 自己相関を考慮したリッカー (RI) 型再生産式を用いた。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は HS 型で 20,026 トン、RI 型で 5,900 トンである。

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係



(b) リッカー (RI) 型再生産関係

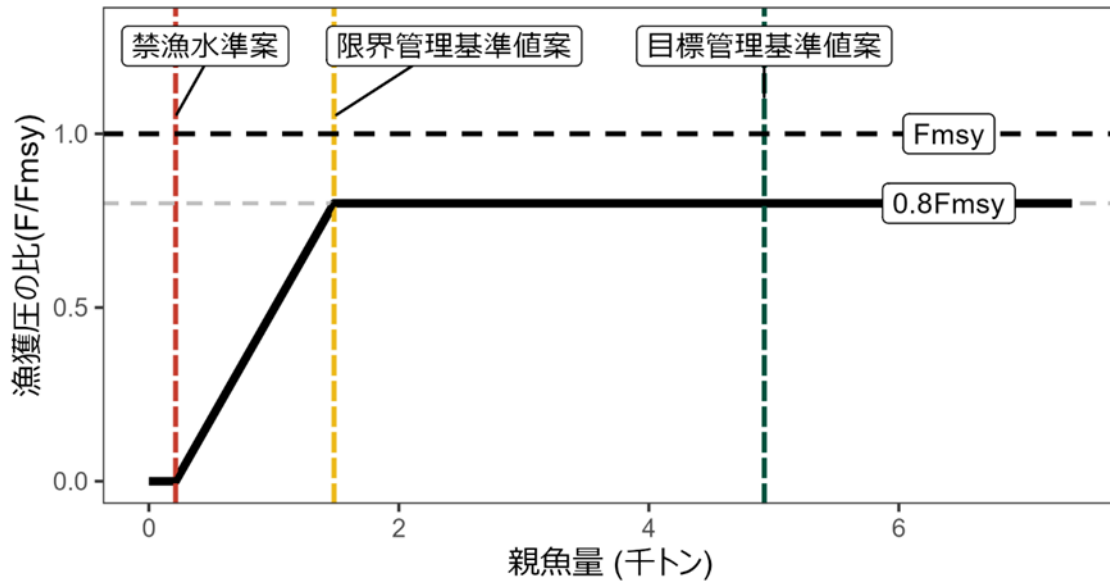


補足図 5-11. 神戸プロット

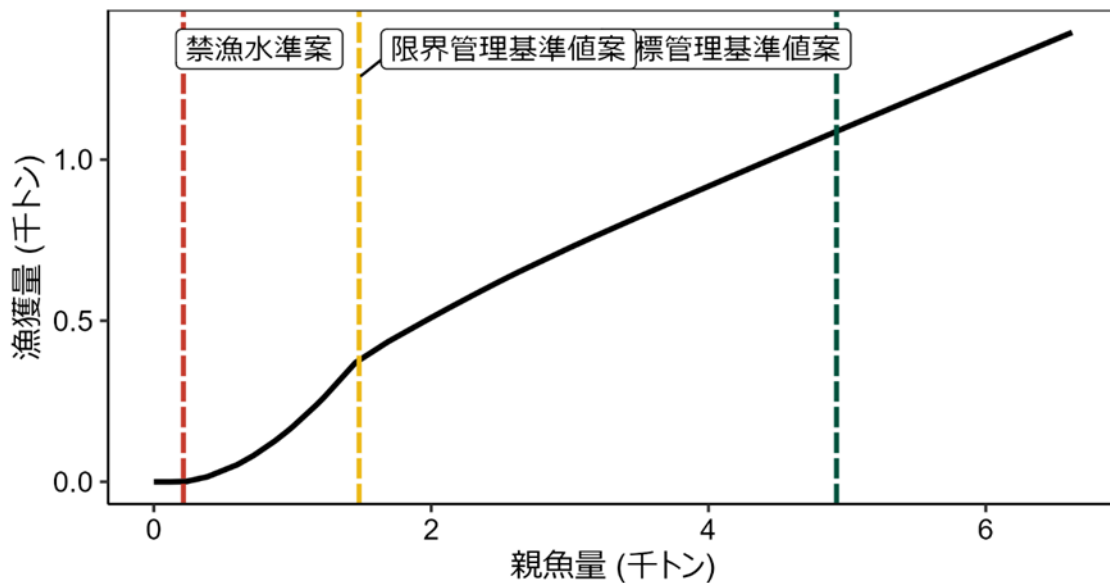
縦軸は各年の漁獲圧 F の F_{msy} との比である。図中の目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案には、それぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。

(a) ホッケー・スティック型再生産関係、(b) リッカー型再生産関係それぞれの結果を示す。

c) 縦軸を漁獲圧にした場合



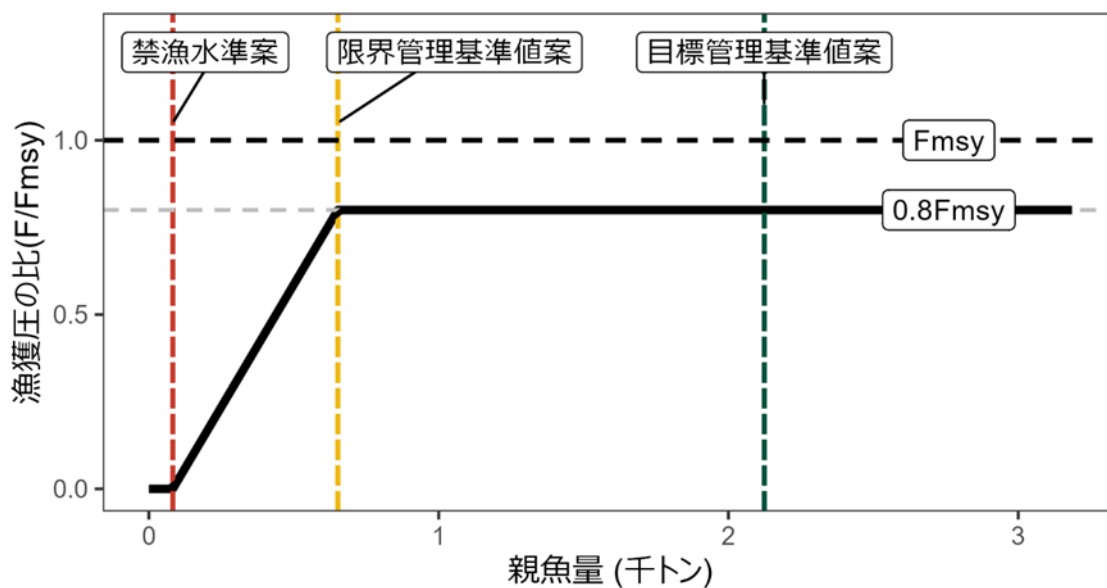
d) 縦軸を漁獲量にした場合



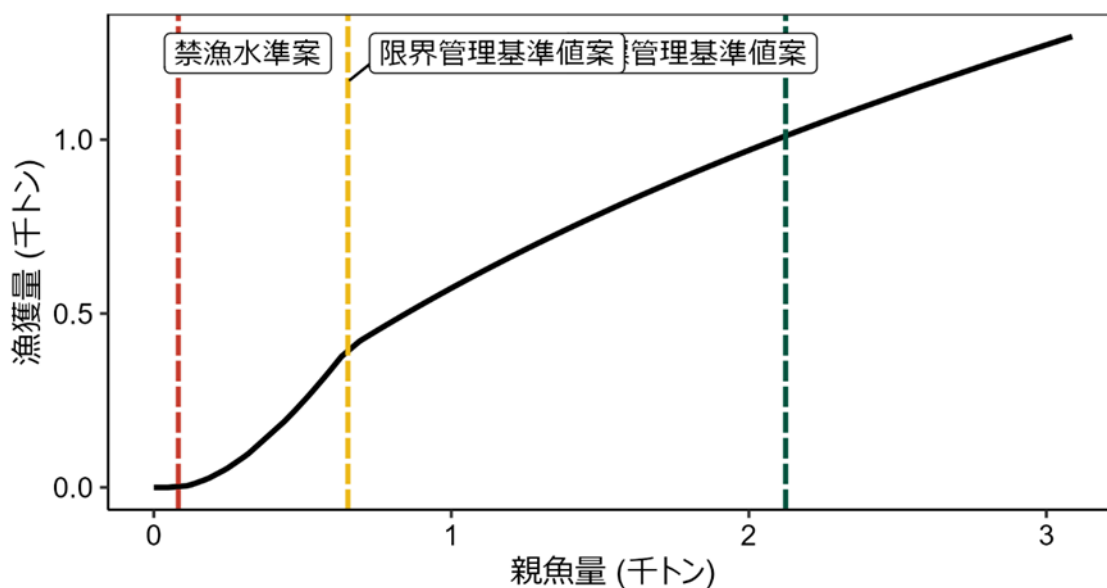
補足図 5-12. HS 型再生産関係に基づく漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は HS 再生産関係に基づき算出した SBmsy である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) には、それぞれ標準値を用いている。調整係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。

b) 縦軸を漁獲圧にした場合

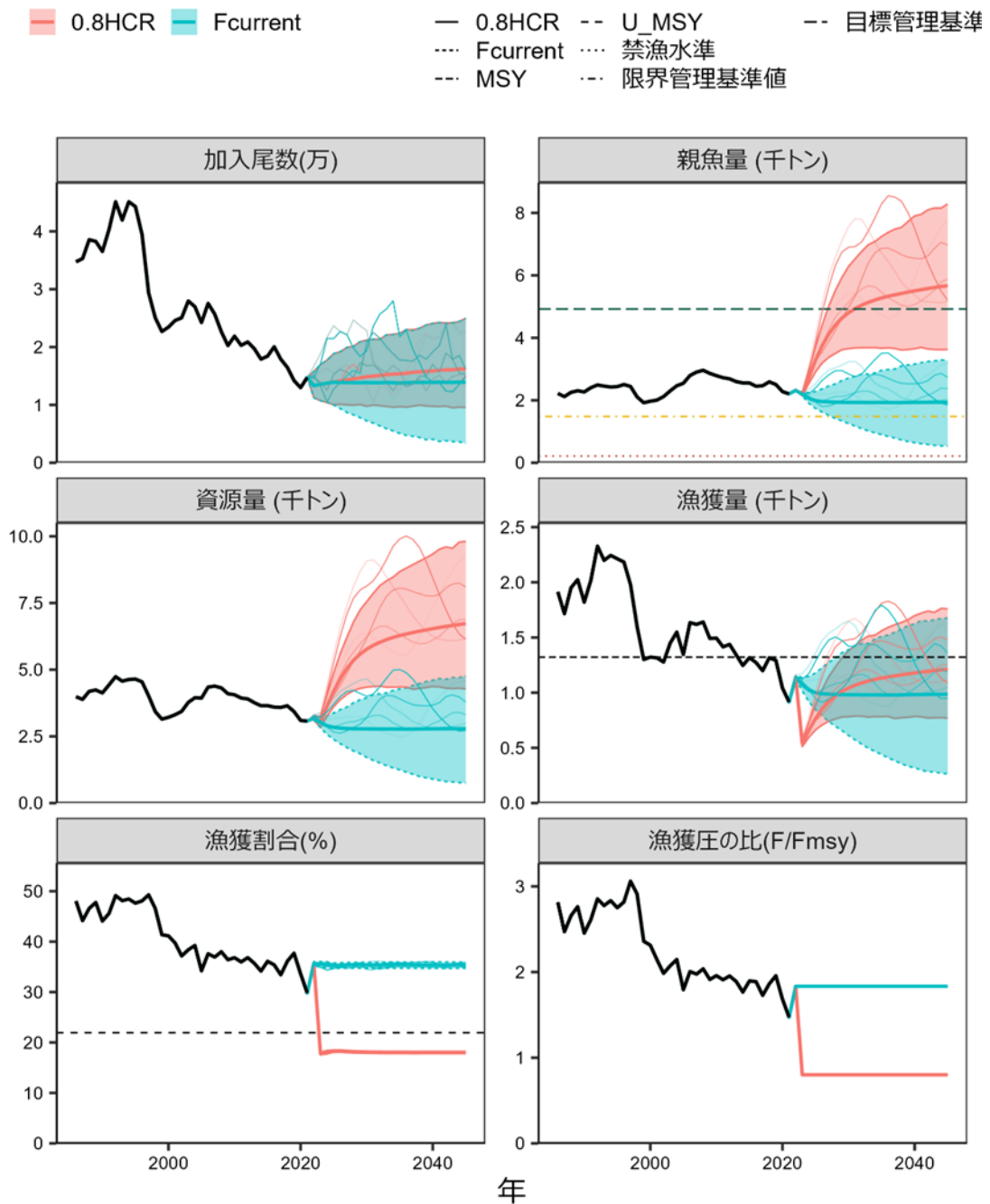


b) 縦軸を漁獲量にした場合



補足図 5-13. RI 型再生産関係に基づく漁獲管理規則案

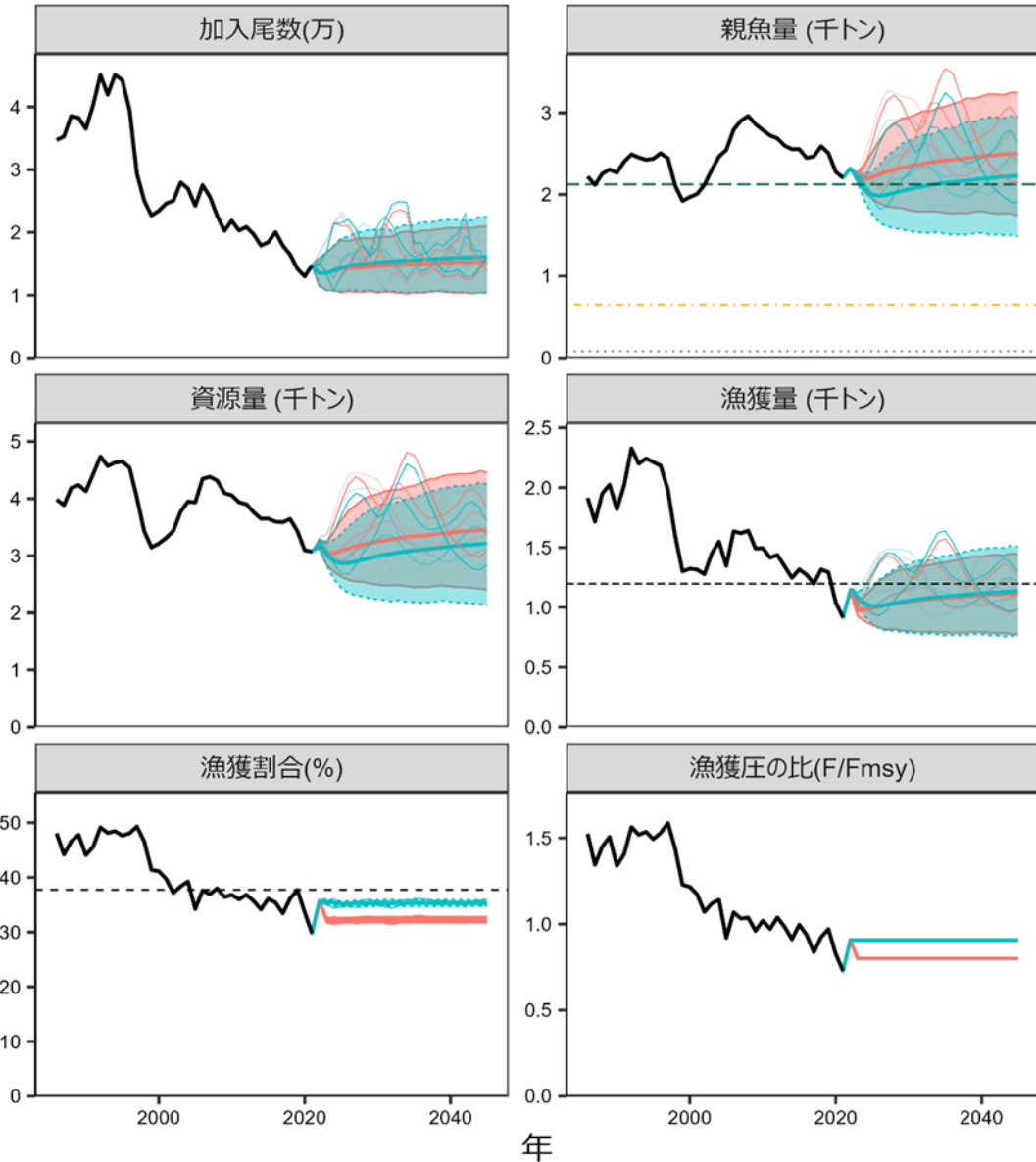
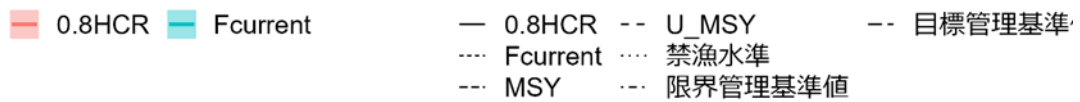
目標管理基準値 (SBtarget) 案は RI 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) には、それぞれ標準値を用いている。調整係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。



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

補足図 5-14a. HS 型再生産関係の管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

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、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 ($F_{current}$) により仮定し、2023 年以降の漁獲は漁獲管理規則案 (図 5-5) に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。



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

補足図 5-14b. RI型再生産関係の管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測 (赤色) と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測 (緑色) の比較

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、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2022年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 ($F_{current}$) により仮定し、2023年以降の漁獲は漁獲管理規則案 (図 5-5) に従うものとした。調整係数 β には0.8を用いた。

補足表 5-1. MSY 管理基準値算出に使用した再生産関係式における各パラメータ推定値

再生産関係式	最適化 法	自己 相関	推定 法	a	b	S.D.	ρ	h	デ ー タ 数
ホッケー・ スティック(HS)	最小 二乗法	有	同時	0.854	1,934	0.099	0.94	0.899	22
リッカー(RI)	最小 二乗法	有	同時	2.906	0.001	0.095	0.94	3.343	22
ベバートン・ ホルト(BH)	最小 二乗法	有	同時	-*	-*	0.099	0.94	1.000	22
ホッケー・ スティック(HS)	最小 二乗法	無	-	0.970	1,921	0.211	0	0.911	22
リッカー(RI)	最小 二乗法	無	-	3.814	0.001	0.202	0	4.155	22
ベバートン・ ホルト(BH)	最小 二乗法	無	-	-*	-*	0.211	0	1.000	22
ホッケー・ スティック(HS)	最小 絶対値法	無	-	0.976	1,921	0.211	0	0.912	22
リッカー(RI)	最小 絶対値法	無	-	3.419	0.001	0.206	0	3.807	22
ベバートン・ ホルト(BH)	最小 絶対値法	無	-	-*	-*	0.212	0	1.000	22

推奨する再生産関係式を太字とした。加入残差の自己相関を考慮した場合は、自己相関パラメータ ρ についても示した。S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標で、対数残差の標準偏差（Standard Deviation、平均二乗誤差の平方根）である。

*BH 型ではパラメータ a、b に高い相関があり、解が一意に求められないため“-”と表記した。

補足表 5-2. 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	順位
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	同時	-29.4	2
リッカー (RI)	最小二乗法	同時	-28.0	1
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	同時	-28.0	3
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	無	-1.6	5
リッカー (RI)	最小二乗法	無	-0.7	8
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	無	1.3	4
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	無	1.3	6
リッカー (RI)	最小絶対値法	無	3.6	9
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	無	3.6	7

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。自己相関パラメータの推定には、再生産関係式のパラメータと同時に推定する同時推定法を用いた。この場合、残差の正規性を仮定した方が妥当と考え、最適化法には最小二乗法を用いた。

補足表 5-3. 各管理基準値案における平衡状態のときの平均親魚量、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する比、平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、現状の漁獲圧 (F2018-2020) に対する努力量の比の関係、および MSY を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数 (Fmsy)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

管理基準値案	説明	親魚量 (トン)	SB0 に 対する 比	漁獲 量 (ト ン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割 合	努力 量 の比
目標管理基準値案	SBmsy	4,923	0.25	1,322	24.6	0.22	0.55
限界管理基準値案	SB0.6msy	1,481	0.07	793	11.2	0.37	1.05
禁漁水準案	SB0.1msy	214	0.01	132	9.3	0.40	1.20
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳以上) = (0.14, 0.28, 0.34, 0.35, 0.29, 0.25, 0.25)					

(b) リッカー (RI) 型再生産関係

管理基準値案	説明	親魚量 (トン)	SB0 に 対する 比	漁獲 量 (ト ン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割 合	努力 量 の比
目標管理基準値案	SBmsy	2,123	0.36	1,198	10.5	0.38	1.10
限界管理基準値案	SB0.6msy	652	0.11	719	4.4	0.53	2.03
禁漁水準案	SB0.1msy	82	0.01	120	3.0	0.58	2.57
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳以上) = (0.28, 0.57, 0.68, 0.70, 0.58, 0.51, 0.51)					

補足表 5-4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	0	1	3	6	9	13	16	18	32	37
0.9	0	0	0	0	0	0	2	8	15	21	27	31	34	48	55
0.8	0	0	0	0	0	1	7	19	31	39	46	50	53	65	71
0.7	0	0	0	0	0	2	18	39	56	64	69	72	75	82	85
0.6	0	0	0	0	0	7	41	67	79	85	89	90	91	93	93
0.5	0	0	0	0	0	21	70	88	95	97	97	98	98	98	98
0.4	0	0	0	0	1	46	90	98	99	100	100	100	100	100	99
0.3	0	0	0	0	2	75	98	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	0	9	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	0	23	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	0	49	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(b) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	99	6	4	6	9	14	17	19	22	25	27	39	42
0.9	100	100	99	28	23	26	30	34	39	42	45	48	49	58	64
0.8	100	100	99	72	68	68	69	70	71	72	73	74	75	79	81
0.7	100	100	99	97	97	96	95	95	94	93	93	93	93	93	94
0.6	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	98	99
0.5	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	99	26	21	23	28	32	37	40	44	45	47	56	62

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 5-5. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	99	97	91	87	84	80	78	76	69	70

(b) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 5-6. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

(a) ホッパー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(b) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年は現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 5-7. 将来の平均親魚量の推移 (トン)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,192	2,590	2,975	3,281	3,523	3,706	3,846	3,953	4,040	4,113	4,173	4,522	4,696
0.9	2,205	2,318	2,192	2,663	3,126	3,504	3,806	4,038	4,216	4,351	4,458	4,547	4,620	5,024	5,221
0.8	2,205	2,318	2,192	2,739	3,286	3,745	4,119	4,409	4,633	4,803	4,938	5,048	5,137	5,612	5,837
0.7	2,205	2,318	2,192	2,816	3,456	4,005	4,463	4,825	5,107	5,321	5,490	5,627	5,738	6,305	6,565
0.6	2,205	2,318	2,192	2,896	3,635	4,287	4,843	5,291	5,643	5,914	6,128	6,300	6,440	7,128	7,431
0.5	2,205	2,318	2,192	2,978	3,825	4,592	5,263	5,814	6,254	6,595	6,866	7,086	7,263	8,115	8,472
0.4	2,205	2,318	2,192	3,063	4,025	4,923	5,726	6,401	6,949	7,380	7,724	8,005	8,234	9,309	9,737
0.3	2,205	2,318	2,192	3,150	4,237	5,281	6,239	7,062	7,742	8,285	8,725	9,086	9,382	10,767	11,291
0.2	2,205	2,318	2,192	3,240	4,462	5,669	6,807	7,807	8,649	9,333	9,894	10,360	10,747	12,568	13,224
0.1	2,205	2,318	2,192	3,332	4,699	6,090	7,436	8,646	9,687	10,547	11,265	11,869	12,377	14,818	15,669
0.0	2,205	2,318	2,192	3,427	4,951	6,547	8,133	9,594	#####	11,959	12,877	13,661	14,331	17,667	18,815
Fcurrent	2,205	2,318	2,192	2,058	1,989	1,959	1,948	1,939	1,935	1,932	1,931	1,931	1,929	1,937	1,939

(b) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,197	1,961	1,830	1,785	1,787	1,803	1,823	1,843	1,863	1,881	1,895	1,997	2,046
0.9	2,205	2,318	2,197	2,072	2,010	1,999	2,014	2,037	2,060	2,082	2,102	2,120	2,134	2,235	2,283
0.8	2,205	2,318	2,197	2,191	2,212	2,247	2,279	2,305	2,326	2,344	2,361	2,377	2,391	2,492	2,538
0.7	2,205	2,318	2,197	2,316	2,437	2,533	2,590	2,616	2,627	2,633	2,641	2,653	2,667	2,770	2,817
0.6	2,205	2,318	2,197	2,449	2,688	2,865	2,959	2,984	2,974	2,954	2,942	2,944	2,957	3,074	3,121
0.5	2,205	2,318	2,197	2,591	2,970	3,253	3,399	3,426	3,383	3,318	3,268	3,248	3,257	3,405	3,455
0.4	2,205	2,318	2,197	2,741	3,284	3,706	3,931	3,969	3,884	3,751	3,633	3,565	3,557	3,763	3,823
0.3	2,205	2,318	2,197	2,900	3,636	4,238	4,578	4,646	4,519	4,296	4,070	3,910	3,850	4,152	4,231
0.2	2,205	2,318	2,197	3,069	4,030	4,862	5,370	5,510	5,357	5,029	4,653	4,340	4,161	4,612	4,710
0.1	2,205	2,318	2,197	3,248	4,472	5,596	6,347	6,626	6,493	6,074	5,519	4,987	4,598	5,270	5,325
0.0	2,205	2,318	2,197	3,439	4,968	6,463	7,558	8,083	8,062	7,608	6,889	6,111	5,438	6,279	6,005
Fcurrent	2,205	2,318	2,197	2,064	1,997	1,983	1,997	2,019	2,043	2,064	2,084	2,102	2,117	2,217	2,265

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 5-8. 将来の平均漁獲量の推移（トン）

(a) ホッケー・スティック（HS）型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,138	654	762	854	926	980	1,020	1,052	1,077	1,098	1,115	1,130	1,219	1,263
0.9	915	1,138	597	713	814	894	954	1,000	1,036	1,064	1,087	1,106	1,122	1,214	1,259
0.8	915	1,138	538	659	766	853	920	971	1,011	1,043	1,068	1,089	1,106	1,201	1,246
0.7	915	1,138	478	599	711	802	875	931	975	1,009	1,037	1,059	1,077	1,176	1,221
0.6	915	1,138	415	534	646	740	816	876	923	960	990	1,014	1,034	1,135	1,180
0.5	915	1,138	351	463	571	665	741	803	852	891	923	948	969	1,073	1,117
0.4	915	1,138	285	385	485	574	648	708	758	798	829	855	877	981	1,023
0.3	915	1,138	217	301	387	465	532	588	634	671	702	727	748	848	887
0.2	915	1,138	147	209	274	335	388	434	473	504	531	552	570	658	690
0.1	915	1,138	74	109	146	181	213	241	265	285	302	316	328	386	407
0.0	915	1,138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,138	1,071	1,023	999	990	987	984	983	982	981	981	981	985	986

(b) リッカー（RI）型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,139	1,155	1,058	1,012	1,004	1,012	1,024	1,035	1,047	1,057	1,066	1,074	1,129	1,156
0.9	915	1,139	1,068	1,024	1,007	1,010	1,021	1,034	1,045	1,056	1,065	1,073	1,080	1,128	1,152
0.8	915	1,139	975	981	992	1,008	1,021	1,031	1,040	1,047	1,055	1,061	1,067	1,110	1,130
0.7	915	1,139	877	925	965	994	1,009	1,014	1,016	1,019	1,023	1,028	1,034	1,072	1,089
0.6	915	1,139	773	856	922	964	981	980	973	967	966	969	976	1,011	1,026
0.5	915	1,139	662	770	859	915	934	926	908	891	882	882	889	926	939
0.4	915	1,139	545	666	770	837	860	848	819	790	771	765	771	812	824
0.3	915	1,139	421	541	649	723	749	736	701	663	633	618	619	666	678
0.2	915	1,139	289	390	488	557	586	577	545	505	469	446	438	486	498
0.1	915	1,139	149	212	275	324	348	346	326	299	271	248	235	272	279
0.0	915	1,139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,139	1,074	1,027	1,007	1,010	1,021	1,034	1,045	1,056	1,065	1,073	1,080	1,129	1,153

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。

2022 年は現状の漁獲圧（Fcurrent）で漁獲し、2023 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため Fcurrent で漁獲を続けた場合の結果も示した。なお、2021 年の漁獲量は 915 トンであるが、0 歳魚の漁獲を除いた計算値となっている。

補足表 5-9. 予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

再生産関係	β	10年後の目標達成確率	予測平均親魚量 (トン)		予測平均漁獲量 (トン)			リスク (10年間に1度でも起きる確率)		
		親魚資源量が目標管理基準値案を上回る	2028年	2033年	2023年	2028年	2033年	親魚量が現在の水準を下回る	親魚量が限界管理基準値を下回る	漁獲量が半減する
HS	1	18%	3,706	4,173	654	1,020	1,130	0%	0%	0%
	0.9	34%	4,038	4,620	597	1,000	1,122	0%	0%	0%
	0.8	53%	4,409	5,137	538	971	1,106	0%	0%	0%
	0.7	75%	4,825	5,738	478	931	1,077	0%	0%	0%
	0.6	91%	5,291	6,440	415	876	1,034	0%	0%	0%
	0.5	98%	5,814	7,263	351	803	969	0%	0%	0%
	0.4	100%	6,401	8,234	285	708	877	0%	0%	0%
	0.3	100%	7,062	9,382	217	588	748	0%	0%	0%
	0.2	100%	7,807	10,747	147	434	570	0%	0%	0%
	0.1	100%	8,646	12,377	74	241	328	0%	0%	0%
0	100%	9,594	14,331	0	0	0	0%	0%	0%	
RI	1	27%	1,803	1,895	1,155	1,021	1,046	0%	0%	0%
	0.9	49%	2,037	2,134	1,068	1,016	1,055	0%	0%	0%
	0.8	75%	2,305	2,391	975	1,000	1,047	0%	0%	0%
	0.7	93%	2,616	2,667	877	973	1,020	0%	0%	0%
	0.6	99%	2,984	2,957	773	931	971	0%	0%	0%
	0.5	100%	3,426	3,257	662	870	898	0%	0%	0%
	0.4	100%	3,969	3,557	545	783	799	0%	0%	0%
	0.3	100%	4,646	3,850	421	665	670	0%	0%	0%
	0.2	100%	5,510	4,161	289	505	509	0%	0%	0%
	0.1	100%	6,626	4,598	149	290	298	0%	0%	0%
0	100%	8,083	5,438	0	0	0	0%	0%	0%	

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した結果をまとめた。漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度 (0 年後) の 2023 年の値と、5 年および 10 年管理を行った後の値 (2028 年および 2033 年) を示した。

補足資料 6 再生産関係式の選択における簡易的な MSE による評価

(1) 簡易的な MSE の方法について

1A 系の資源管理を想定した場合に再生産関係の候補モデルとされた HS 型と RI 型の再生産関係式の間で、MSY や目標となる SB_{msy} の推定結果が大きく異なるため（補足表 4-1、5-1）、加入予測に使用した再生産関係と異なる再生産関係を用いて管理規則を定めた場合に、漁獲量の損失や親魚量の減少というリスクを招く可能性がある。そこで、本補足資料では簡易的な MSE（Management Strategy Evaluation、管理戦略評価、Punt et al. 2016）を行い、誤った再生産関係を用いた場合の資源および漁獲に対するリスクを評価した。

簡易 MSE の計算方法は以下の通りである。加入予測に用いる再生産関係を HS 型または RI 型の再生産関係式と仮定し、それとは異なる再生産関係によって求めた各管理基準値案ならびに HCR により管理を行った場合の親魚量および漁獲量の将来予測を行う。MSE を実施した再生産関係の組み合わせは以下の通りである。

シナリオ番号	再生産関係の参照期間	加入予測に使用した再生産関係	管理に使用した再生産関係
①	1986～2020 年	HS	RI
②		RI	HS
③	1999～2020 年	HS	RI
④		RI	HS

*ここで使用する再生産関係はシナリオ①と②は補足資料 4、シナリオ③と④は補足資料 5 で候補となった、最小二乗法で自己相関パラメータを同時推定した HS 型もしくは RI 型の再生産関係である。

将来予測に用いる現状の漁獲圧、自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重は表 1 と同じである。また、将来予測における調整係数は $\beta=0.8$ とする。

上記のシナリオ①～④のもとで、親魚量と漁獲量の将来予測結果、管理に使った再生産関係によって算出される各管理基準値を上回る確率を計算した。加えて、リスク評価として、10 年間に 1 回でも親魚量が過去最低漁獲量を下回る、または漁獲量が半減する確率を評価した。ただし、限界管理基準値に関しては、HS 型と RI 型再生産関係で値が大きく異なるため、再生産関係に依らず SB_{min}（1,921 トン）を限界管理基準値として固定した。

(2) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測と調整係数 β を変えた場合

①：1986-2020、加入：HS 型、管理：RI 型（加入 HS 漁獲 RI）

将来の親魚量が目標管理基準値案 SB_{target}（SB_{msy}_RI_1986-2020）、限界管理基準値案 SB_{limit}（SB_{min}）、禁漁水準 SB_{ban}（0.1SB_{msy}_RI_1986-2020）をそれぞれ上回る確率、および親魚量と漁獲量の推移を補足表 6-1～6-3 に示す。2033 年に親魚量が目標管理基準値案（2,516 トン）を上回る確率は $\beta=0.7$ 以下で 50%以上であり、限界管理基準値案（1,921 トン）を上回る確率は $\beta=0.9$ 以下で 50%以上の確率であった。また、禁漁水準案（87 トン）は $\beta=1$ 以下のいずれの β でも 100%の確率で上回ると予測された（補足表 6-1）。

$\beta=0.8$ で漁獲を行った場合、親魚量は 2,200~2,500 トンで推移し、現状の 2,205 トンより 300 トンほど大きな数値となった（補足表 6-2）。漁獲量は平均値として 2023 年に 959 トンに減少した後は増加して 2033 年に 1,089 トンとなり、MSY_RI_1986-2020 (1,381 トン)、MSY_HS_1986-2020 (1,531 トン) のどちらにも達することは無かった（補足表 6-3、補足図 6-3a）。

②：1986-2020、加入：RI 型、管理：HS 型（加入 RI 漁獲 HS）

将来の親魚量が目標管理基準値案 SBtarget (SBmsy_HS_1986-2020)、限界管理基準値案 SBlimit (SBmin)、禁漁水準 SBban (0.1SBmsy_HS_1986-2020) を上回る確率、および親魚量と漁獲量の推移を補足表 6-4~6-6 に示す。親魚量が目標管理基準値案 (5,883 トン) を上回る確率は、2027~2030 年には $\beta=0.3$ 以下の場合に 50%以上の確率で目標管理基準値案を上回るものの、10 年後の 2033 年には、 β が 0.1 でも目標を上回る確率は 50%未満と予測された（補足表 6-4）。これは、RI 型の再生産関係が強い密度効果を想定しており、漁獲を控えることで一時的に加入量が増えた後、高い親魚量における密度効果によってその後の加入は減少したためと考えられる。なお、限界管理基準値案 (1,921 トン) および禁漁水準案 (202 トン) は $\beta=1$ 以下のいずれの β でも 100%の確率で上回ると予測された（補足表 6-4）。

$\beta=0.8$ で漁獲を行った場合、親魚量は 2028 年に 4,186 トンまで増加した後、2033 年には 3,901 トンまで減少すると予測された（補足表 6-5）。この場合の漁獲量は 2028 年に 873 トンまで増加し、その後は周期的な増減パターンを示しながら 2033 年に 811 トンとなり、MSY_RI_1986-2020 (1,381 トン)、MSY_HS_1986-2020 (1,531 トン) のどちらにも達することは無かった（補足表 6-6、補足図 6-3b）。

③：1999-2020、加入：HS 型、管理：RI 型（加入 HS 漁獲 RI）

将来の親魚量が目標管理基準値案 SBtarget (SBmsy_RI_1999-2020)、限界管理基準値案 SBlimit (SBmin)、禁漁水準 SBban (0.1SBmsy_RI_1999-2020) をそれぞれ上回る確率、および親魚量と漁獲量の推移を補足表 6-7~6-9 に示す。2033 年に親魚量が目標管理基準値案 (2,123 トン) を上回る確率は $\beta=0.8$ 以下で 50%以上であり、限界管理基準値案 (1,921 トン) を上回る確率は $\beta=0.9$ 以下で 50%以上の確率であった。また、禁漁水準案 (82 トン) は $\beta=1$ 以下いずれの β でも 100%の確率で上回ると予測された（補足表 6-7）。

$\beta=0.8$ で漁獲を行った場合、親魚量は 2,300 トン前後で推移し、現状とほぼ同等で推移した（補足表 6-8）。漁獲量は 2023 年に 975 トンに減少するが、その後は 2033 年に 1,083 トンとなり、MSY_RI_1999-2020 (1,198 トン)、MSY_HS_1999-2020 (1,322 トン) のどちらにも達することは無かった（補足表 6-9、補足図 6-4a）。

④：1999-2020、加入：RI 型、管理：HS 型（加入 RI 漁獲 HS）

将来の親魚量が目標管理基準値案 SBtarget (SBmsy_HS_1999-2020)、限界管理基準値案 SBlimit (SBmin)、禁漁水準 SBban (0.1SBmsy_HS_1999-2020) を上回る確率、および親魚量と漁獲量の推移を補足表 6-10~6-12 に示す。親魚量が目標管理基準値案 (4,923 トン)

を上回る確率は 2027～2029 年には $\beta=0.4$ 以下であれば 50%以上の確率で目標管理基準値案を上回るものの、その確率は 10 年後の 2033 年には β が 0.2 でも 50%未満の確率でしか上回らないと予測された（補足表 6-10）。これは、RI 型の再生産関係が強い密度効果を想定しており、漁獲を控えることで一時的に加入量が増えた後、高い親魚量における密度効果によってその後の加入は減少したためと考えられる。なお、限界管理基準値案（SBlimit_HS=1,921 トン）および禁漁水準案（SBban_HS=82 トン）は $\beta=1$ 以下いずれの β でも 100%の確率で上回ると予測された（補足表 6-10）。

$\beta=0.8$ で漁獲を行った場合、親魚量は 2028 年に 3,988 トンまで増加した後、2033 年には 3,567 トンまで減少すると予測された（補足表 7-11）。この場合の漁獲量は 2028 年に 849 トンまで増加し、その後は周期的な増減パターンを示しながら 2033 年に 769 トンとなり、MSY_RI_1999-2020（1,198 トン）、MSY_HS_1999-2020（1,322 トン）のどちらにも達することは無かった（補足表 6-12、補足図 6-4b）。

（3）再生産関係の組み合わせによって予測される将来の親魚量と漁獲量の比較

補足表 6-13、6-14 に 1986-2020 データと 1999-2020 データに基づき、加入と漁獲管理にそれぞれ HS 型または RI 型モデルを組み合わせた場合の、漁獲開始時から 5 年後、10 年後の平均親魚量と、0 年後、5 年後、10 年後の平均漁獲量、および 2023～2033 年までの合計漁獲量を示す。なお、加入と管理に同じ再生産関係を用いる将来予測の結果は、補足資料 4 または補足資料 5 と同じであるが、補足資料 4、5 と異なり、限界管理基準値として過去最低漁獲量（SBmin）を適用した確率を示している。

1986-2020 データに基づく場合、2023～2033 年までの累積漁獲量は、RI 型で漁獲管理した場合は加入の型によらず約 11,200 トンに対し、HS 型で漁獲管理した場合には、加入が RI 型であった場合に 8,637 トン、HS 型の場合は 9,075 トンであった。一方、2033 年に過去最低漁獲量を下回っている確率は、HS 型で管理した場合は加入の再生産関係の仮定のよらず 0%であったが、RI 型で管理すると、17～20%であった。

1999-2020 データに基づく場合、2023～2033 年までの累積漁獲量は、RI 型で漁獲管理した場合は加入の型によらず 11,200 トン程度であるのに対し、HS 型で漁獲管理した場合には、加入が HS 型であった場合や約 1 割程度低い 10,024 トン、RI 型であった場合は 8,433 トンと推定された。2033 年に過去最低漁獲量を下回っている確率は、HS 型で管理した場合は加入の再生産関係の仮定のよらず 0%であったが、RI 型で管理すると、9～16%であった。

（4）リスクの評価

1986-2020 データと 1999-2020 データに基づき、加入と漁獲管理にそれぞれ HS 型または RI 型モデルを組み合わせた場合に、10 年後の親魚量が目標管理基準値案（SBtarget：漁獲管理に用いる再生産関係の値）または限界管理基準値案（SBmin）を上回る確率と、10 年間に 1 度でも親魚量が過去最低親魚量を下回る、もしくは漁獲量が半減するリスクを $\beta=0.5$ ～1.0 の場合について予測した結果を補足表 6-15、6-16 に示す。

1986-2020 データに基づく場合、10 年間に 1 度でも親魚が過去最低親魚量（1,921 トン）を下回る確率は、加入が HS 型、漁獲が RI 型の時に最も高く、 $\beta=0.8$ で漁獲をした場合、

29%、 $\beta=1$ で漁獲をした場合では 84%の確率で下回ると予測された。同様に RI 型による漁獲では、加入が RI 型であったとしても $\beta=0.8$ で漁獲した場合 27%、 $\beta=1$ であれば 83%の確率で下回ると予測された。一方、HS 型で漁獲を行った場合、加入がいずれの再生産関係であっても 0%と予測された。

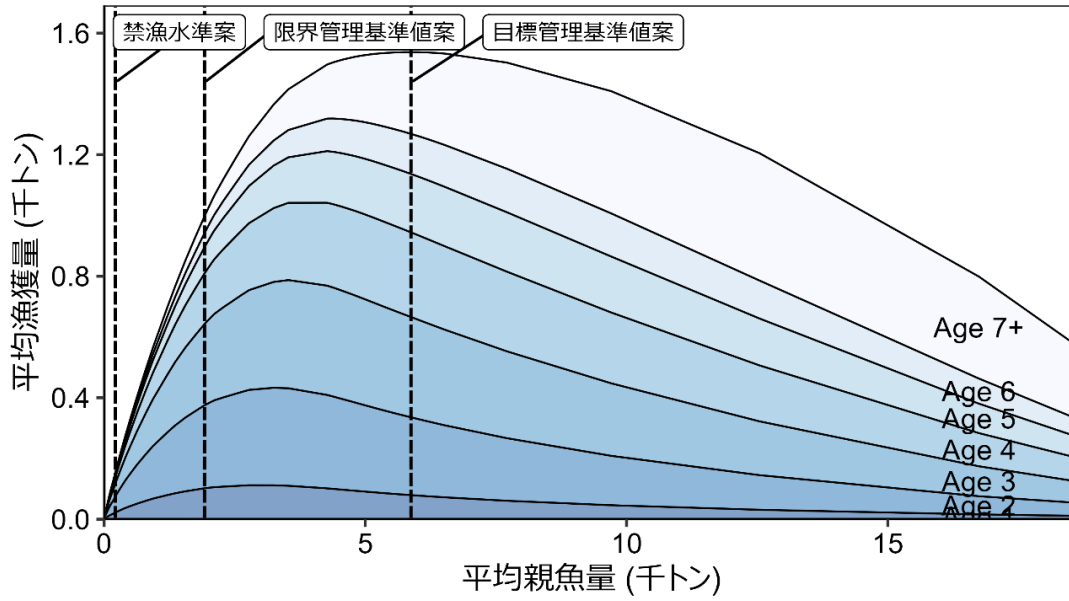
1999-2020 データに基づく場合、10 年間に 1 度でも親魚が過去最低親魚量 (1,921 トン) を下回る確率は、加入が HS 型、漁獲が RI 型の時に最も高く、 $\beta=0.8$ で漁獲をした場合、27%、 $\beta=1$ で漁獲をした場合では 89%の確率で下回ると予測された。同様に RI 型による漁獲では、加入が RI 型であったとしても $\beta=0.8$ で漁獲した場合 21%、 $\beta=1$ では 87%の確率で下回ると予測された。一方、HS 型で漁獲を行った場合、加入がいずれの再生産関係であっても 0%と予測された。

将来予測を行う 2023~2033 年の間に 1 度でも前年から漁獲量が半減するリスクについては、上記のすべての組み合わせのいずれの場合でも 0%と推定された。

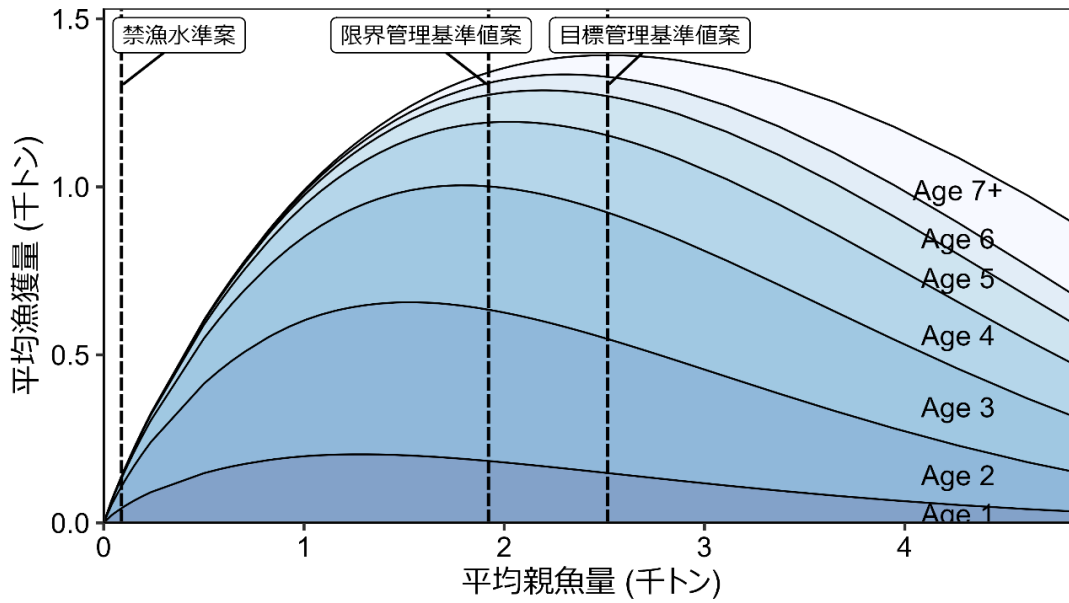
引用文献

Punt, A.E., Butterworth, D. S., de Moor, C. L., De Oliveira, J. A. A., Haddon, M. (2016). Management strategy evaluation: best practices. *Fish and Fisheries*. 17, 303-334.

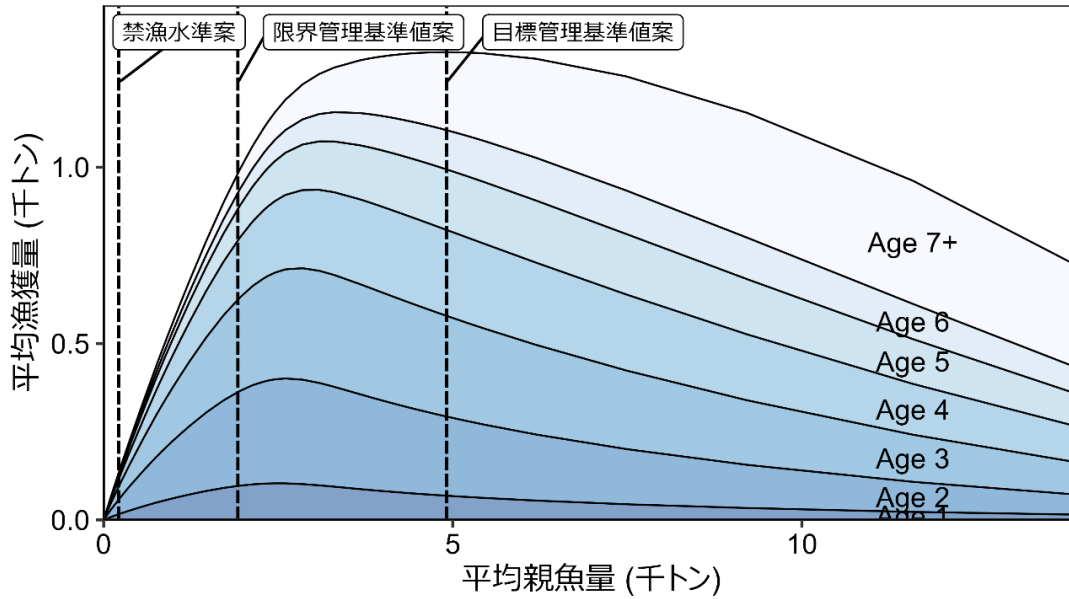
(a) 1986-2020年データに基づくHS型



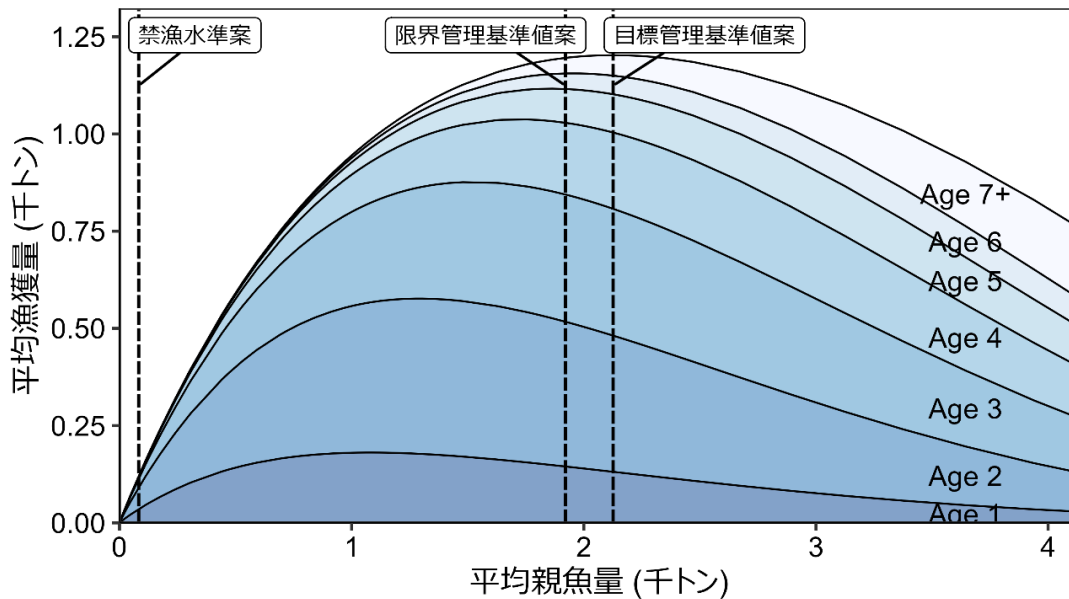
(b) 1986-2020年データに基づくRI型



(c) 1999-2020 年データに基づく HS 型



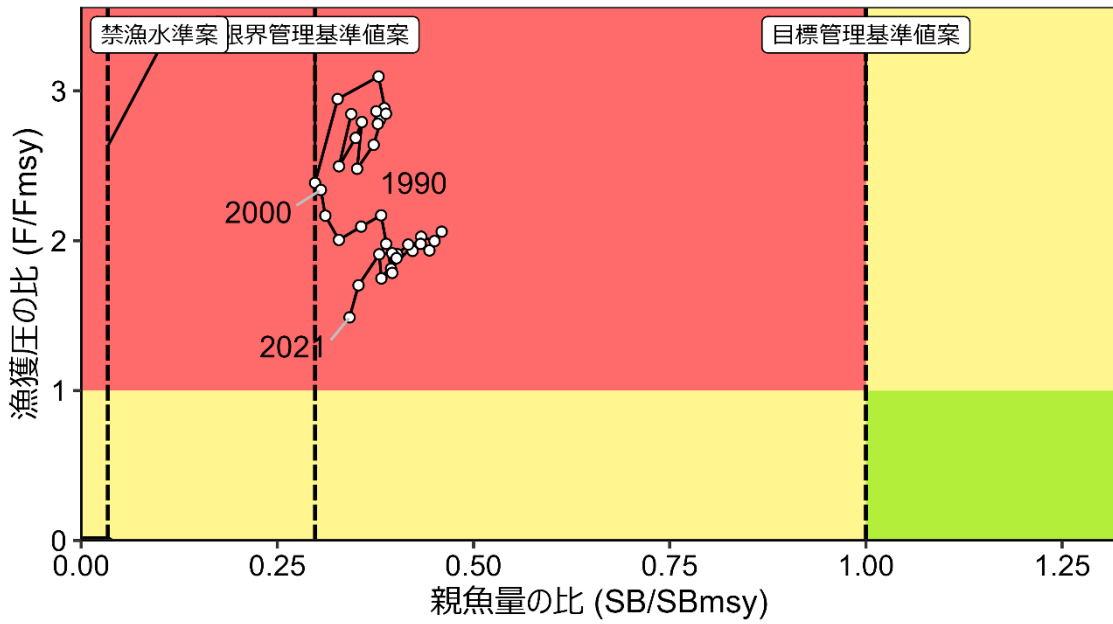
(d) 1999-2020 年データに基づく RI 型



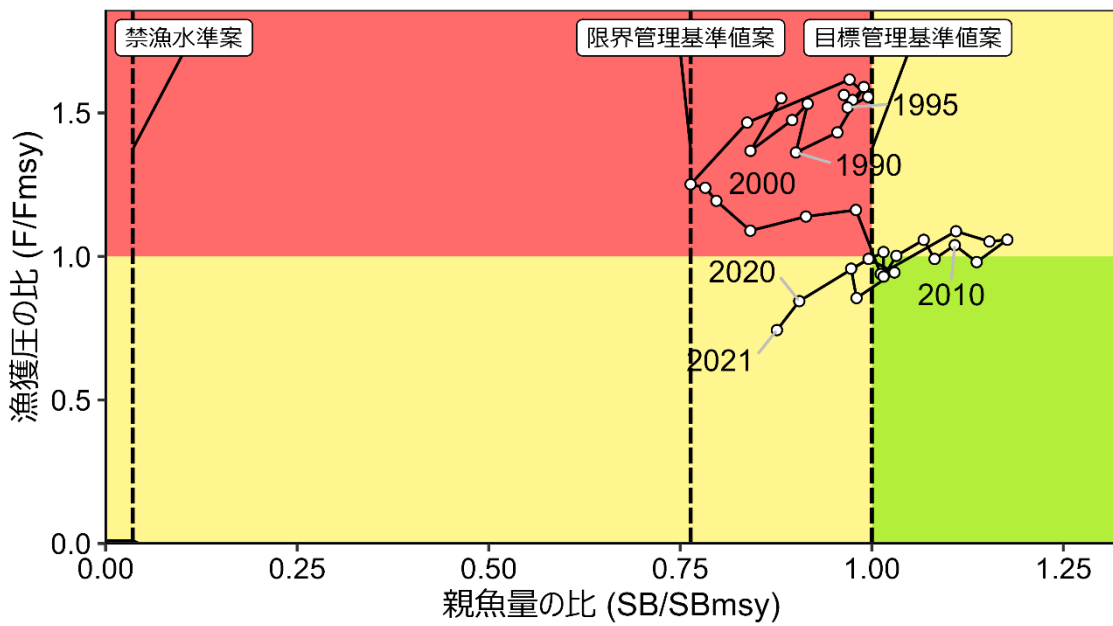
補足図 6-1. 1986-2020 年再生産関係に基づく (a) HS 型および (b) RI 型、1999-2020 年再生産関係に基づく (c) HS 型および (d) RI 型によって推定されたそれぞれの各管理基準値案（ただし、いずれの場合も限界管理基準値案は便宜的に SBmin に固定）と年齢別漁獲量曲線の関係

将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値と、それぞれの管理基準値案の位置関係を示す。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は、1986-2020 の再生産関係に基づく場合は HS 型と RI 型の場合でそれぞれ 23,113、6,051 トンである。また、1999-2020 の再生産関係に基づく場合はそれぞれ 20,026、5,900 トンである。

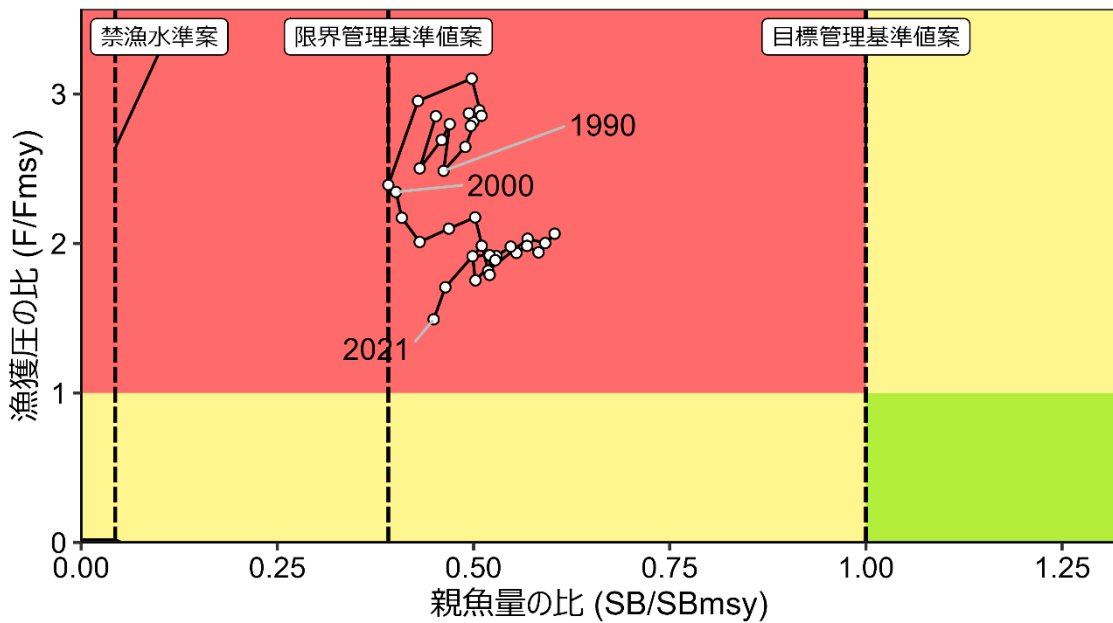
(a) 1986-2020年データに基づくHS型



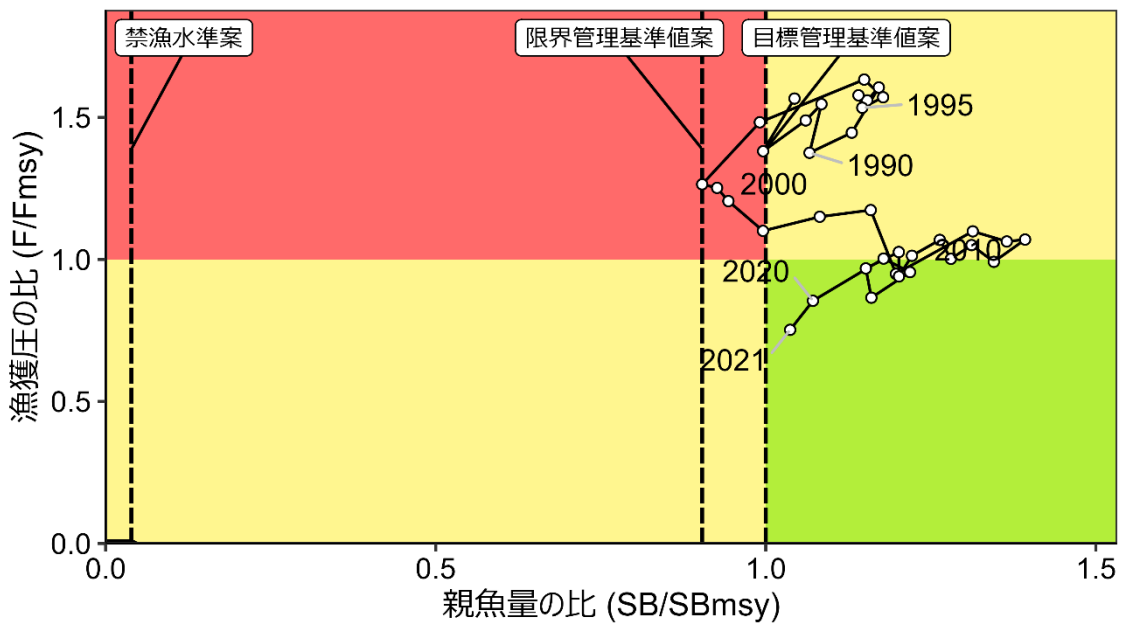
(b) 1986-2020年データに基づくRI型



(c) 1999-2020 年データに基づく HS 型



(d) 1999-2020 年データに基づく RI 型

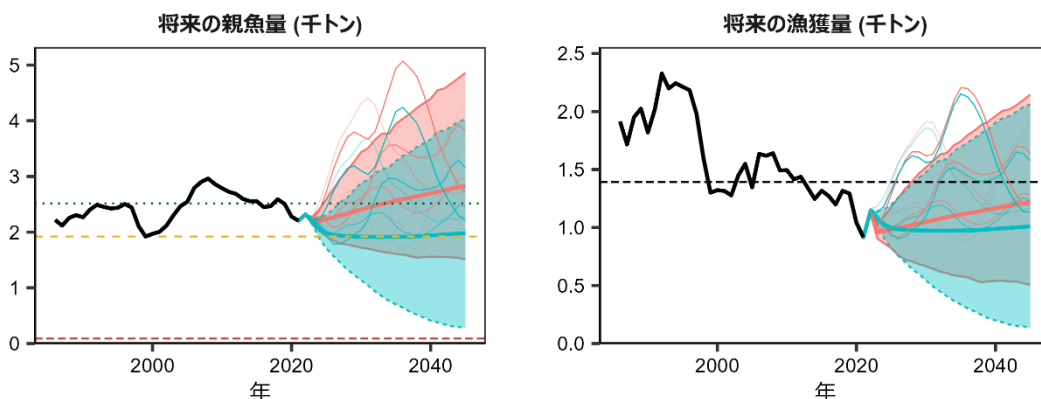


補足図 6-2. 1986-2020 年再生産関係に基づく (a) HS 型および (b) RI 型、1999-2020 年再生産関係に基づく (c) HS 型および (d) RI 型によって推定された SBmsy と Fmsy を用いた神戸プロット

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案、限界管理基準値案、および禁漁水準案には、それぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用いた。

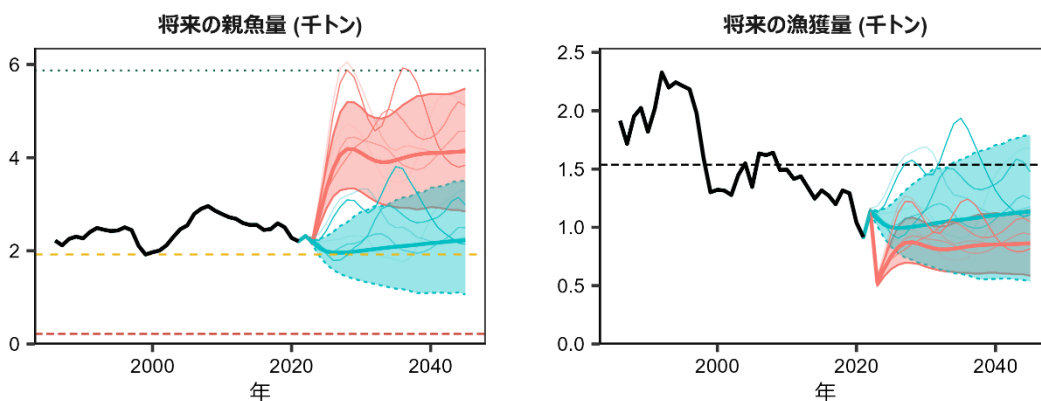
(a)① 1986-2020 年データに基づく加入 HS 漁獲 RI

current — 0.8HCR --- 0.8HCR ■ Fcurrent — 0.8HCR Fc
 Fcurrent --- 0.8HCR ■ Fcurrent — 0.8HCR Fc



(b)② 1986-2020 年データに基づく加入 RI 漁獲 HS

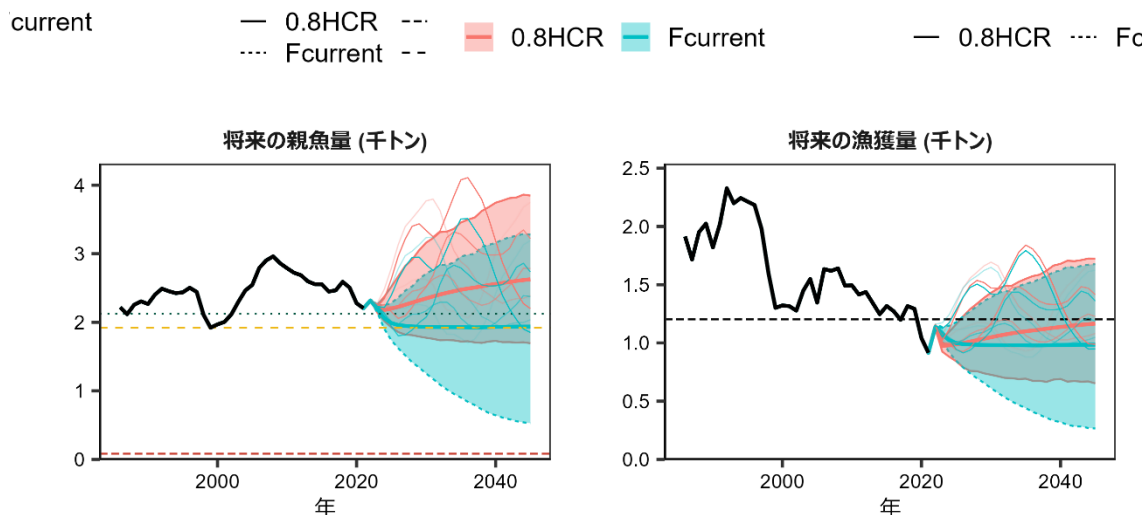
current — 0.8HCR --- 0.8HCR ■ Fcurrent — 0.8HCR Fc
 Fcurrent --- 0.8HCR ■ Fcurrent — 0.8HCR Fc



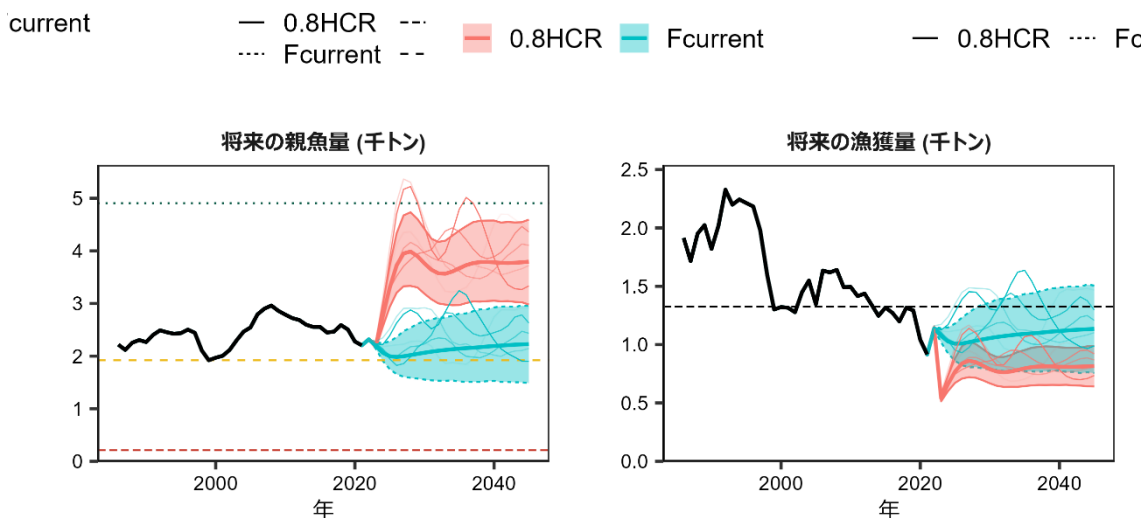
補足図 6-3. 加入の将来予測に用いた再生産関係式と、管理基準値案および HCR の算出を異なる再生産関係とした場合の親魚量の将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (Fcurrent) により仮定し、2023 年以降の漁獲は漁獲管理規則案 (図 4-5) に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。

(a)③ 1999-2020 年データに基づく加入 HS 漁獲 RI



(b)④ 1999-2020 年データに基づく加入 RI 漁獲 HS



補足図 6-4. 1999-2020 年に基づいた加入の将来予測に用いた再生産関係式と、管理基準値案および HCR の算出を異なる再生産関係とした場合の親魚量の将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。2022 年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (Fcurrent) により仮定し、2023 年以降の漁獲は漁獲管理規則案 (図 4-5) に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。

補足表 6-1. ①1986-2020年データに基づく、加入の将来予測に用いた再生産関係式を

HS、管理基準値案およびHCRの算出をRIとした場合の、将来の親魚量がRIの

- (a) 目標管理基準値案 (2,516トン)、(b) 限界管理基準値案 (1,921トン)、
(c) 禁漁水準案 (53トン) を上回る確率 (%)

(a) 目標管理基準値案 (2,516トン) を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	1	2	4	5	6	8	10	11	24	30
0.9	0	0	0	0	1	4	7	11	14	17	19	22	25	38	44
0.8	0	0	0	1	10	18	24	29	32	36	38	40	43	54	59
0.7	0	0	0	8	35	52	57	61	62	64	65	66	67	70	74
0.6	0	0	0	28	78	87	89	89	89	89	88	88	88	84	86
0.5	0	0	0	69	98	99	99	99	99	99	98	98	97	95	94
0.4	0	0	0	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98
0.3	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	0	0	0	0	1	3	5	8	11	14	16	18	20	31	36

(b) 限界管理基準値案 (1,921トン) を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	66	30	27	29	30	33	34	36	37	39	51	57
0.9	100	100	100	93	71	61	58	57	56	58	58	59	60	65	70
0.8	100	100	100	100	96	90	86	85	82	81	80	80	80	79	80
0.7	100	100	100	100	100	99	98	97	97	96	95	94	93	90	90
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	97	96
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	88	61	52	49	47	47	46	48	48	48	51	54

(c) 禁漁水準案 (87トン) を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97

漁獲管理規則案での調整係数 β を0.0~1.0にて0.1刻みで変更した場合の将来予測。2021年は現状の漁獲圧(F2018-2020)で漁獲し、2023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(F2018-2020)で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 6-2. ①1986-2020 データに基づく加入の将来予測に用いた再生産関係式を HS、管理基準値案および HCR の算出を RI とした場合の、将来の平均親魚量の推移（トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,191	1,971	1,861	1,847	1,846	1,845	1,858	1,873	1,890	1,909	1,927	2,122	2,273
0.9	2,205	2,318	2,191	2,081	2,031	2,024	2,038	2,055	2,078	2,102	2,128	2,154	2,178	2,411	2,589
0.8	2,205	2,318	2,191	2,198	2,230	2,263	2,300	2,335	2,371	2,405	2,440	2,474	2,506	2,781	2,994
0.7	2,205	2,318	2,191	2,321	2,453	2,553	2,634	2,699	2,754	2,803	2,848	2,892	2,931	3,260	3,516
0.6	2,205	2,318	2,191	2,452	2,701	2,892	3,040	3,152	3,242	3,314	3,377	3,434	3,484	3,885	4,197
0.5	2,205	2,318	2,191	2,591	2,979	3,287	3,530	3,714	3,857	3,968	4,060	4,140	4,208	4,712	5,098
0.4	2,205	2,318	2,191	2,739	3,289	3,747	4,122	4,413	4,640	4,813	4,954	5,071	5,170	5,830	6,319
0.3	2,205	2,318	2,191	2,895	3,635	4,286	4,842	5,289	5,643	5,917	6,137	6,318	6,469	7,382	8,018
0.2	2,205	2,318	2,191	3,061	4,022	4,917	5,719	6,391	6,940	7,373	7,724	8,014	8,255	9,607	10,468
0.1	2,205	2,318	2,191	3,237	4,455	5,658	6,791	7,787	8,627	9,312	9,879	10,355	10,755	12,923	14,156
0.0	2,205	2,318	2,191	3,423	4,941	6,529	8,107	9,561	10,839	11,919	12,841	13,634	14,318	18,093	20,034
Fcurrent	2,205	2,318	2,191	2,055	1,984	1,952	1,938	1,927	1,921	1,917	1,915	1,915	1,914	1,965	2,048

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 6-3. ①1986-2020 データに基づく加入の将来予測に用いた再生産関係式を HS、管理基準値案および HCR の算出を RI とした場合の、将来の平均漁獲量の推移（トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,137	1,137	1,039	965	953	948	944	949	957	967	977	988	1,101	1,193
0.9	915	1,137	1,050	1,013	986	981	985	990	999	1,009	1,021	1,032	1,044	1,155	1,246
0.8	915	1,137	959	969	982	994	1,008	1,022	1,035	1,049	1,063	1,076	1,089	1,201	1,293
0.7	915	1,137	862	914	957	990	1,016	1,038	1,057	1,074	1,090	1,105	1,119	1,238	1,333
0.6	915	1,137	759	844	915	968	1,008	1,039	1,064	1,085	1,104	1,121	1,137	1,262	1,361
0.5	915	1,137	650	759	852	924	979	1,020	1,052	1,078	1,101	1,120	1,138	1,269	1,370
0.4	915	1,137	535	656	764	851	919	970	1,011	1,043	1,070	1,092	1,112	1,248	1,349
0.3	915	1,137	413	532	644	739	815	874	922	960	991	1,016	1,038	1,176	1,275
0.2	915	1,137	283	383	484	572	647	707	757	797	829	856	879	1,014	1,102
0.1	915	1,137	146	208	273	334	388	433	472	503	530	552	571	677	740
0.0	915	1,137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,137	1,070	1,021	996	986	982	978	975	974	973	973	973	1,001	1,044

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。なお、2021 年の漁獲量は 915 トンであるが、0 歳魚の漁獲を除いた計算値となっている。

補足表 6-4. ②1986-2020 年データに基づく、加入の将来予測に用いた再生産関係式を RI、管理基準値案および HCR の算出を HS とした場合の、将来の親魚量が HS の (a) 目標管理基準値案 (5,883 トン)、(b) 限界管理基準値案 (1,921 トン)、(c) 禁漁水準案 (202 トン) を上回る確率 (%)

(a) 目標管理基準値案 (5,883 トン) を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
0.8	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	0	0	2	3
0.7	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	3	5
0.6	0	0	0	0	0	0	4	7	7	4	1	1	0	5	8
0.5	0	0	0	0	0	1	11	19	19	12	4	1	1	9	13
0.4	0	0	0	0	0	4	26	43	42	31	15	4	1	18	23
0.3	0	0	0	0	0	13	54	72	72	59	37	14	4	31	37
0.2	0	0	0	0	0	29	80	92	92	88	70	39	13	50	52
0.1	0	0	0	0	1	58	96	99	99	98	95	75	38	70	67
0.0	0	0	0	0	2	83	100	100	100	100	99	97	78	86	78
Fcurrent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(b) 限界管理基準値案 (1,921 トン) を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	89	62	54	51	51	51	53	54	55	57	62	68

(c) 禁漁水準案 (202 トン) を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 6-5. ②1986-2020 データに基づく加入の将来予測に用いた再生産関係式を HS、管理基準値案および HCR の算出を RI とした場合の、将来の平均親魚量の推移（トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,193	2,607	3,007	3,316	3,514	3,600	3,610	3,579	3,543	3,519	3,515	3,692	3,801
0.9	2,205	2,318	2,193	2,679	3,157	3,534	3,776	3,879	3,881	3,829	3,766	3,722	3,706	3,900	4,011
0.8	2,205	2,318	2,193	2,753	3,315	3,768	4,063	4,186	4,181	4,101	4,006	3,934	3,901	4,118	4,231
0.7	2,205	2,318	2,193	2,829	3,482	4,021	4,377	4,527	4,514	4,404	4,268	4,157	4,100	4,348	4,464
0.6	2,205	2,318	2,193	2,907	3,658	4,293	4,723	4,907	4,888	4,742	4,557	4,397	4,304	4,593	4,711
0.5	2,205	2,318	2,193	2,988	3,844	4,588	5,104	5,330	5,310	5,127	4,883	4,661	4,518	4,858	4,976
0.4	2,205	2,318	2,193	3,071	4,041	4,907	5,523	5,805	5,790	5,569	5,258	4,960	4,750	5,153	5,263
0.3	2,205	2,318	2,193	3,156	4,249	5,252	5,986	6,339	6,340	6,083	5,699	5,310	5,014	5,492	5,581
0.2	2,205	2,318	2,193	3,244	4,469	5,624	6,498	6,941	6,973	6,687	6,226	5,735	5,332	5,891	5,928
0.1	2,205	2,318	2,193	3,334	4,701	6,028	7,064	7,622	7,705	7,402	6,868	6,265	5,737	6,362	6,295
0.0	2,205	2,318	2,193	3,427	4,946	6,465	7,691	8,393	8,555	8,255	7,655	6,940	6,276	6,902	6,647
Fcurrent	2,205	2,318	2,193	2,057	1,987	1,960	1,958	1,967	1,982	1,999	2,018	2,038	2,055	2,205	2,310

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲し、2023 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（F2018-2020）で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 6-6. ②1986-2020 データに基づく加入の将来予測に用いた再生産関係式を HS、管理基準値案および HCR の算出を RI とした場合の、将来の平均漁獲量の推移（トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,138	641	750	842	906	939	947	941	931	922	920	922	969	996
0.9	915	1,138	584	701	801	871	907	914	904	889	876	870	871	917	942
0.8	915	1,138	527	647	753	828	867	873	859	839	821	812	811	857	880
0.7	915	1,138	467	588	697	776	817	822	806	781	758	744	741	788	809
0.6	915	1,138	406	524	633	713	755	761	743	714	687	669	663	710	729
0.5	915	1,138	343	454	558	638	680	686	667	637	606	585	575	622	639
0.4	915	1,138	278	377	473	548	590	596	578	548	516	492	479	525	538
0.3	915	1,138	212	294	377	442	480	487	472	445	415	390	375	416	426
0.2	915	1,138	143	204	266	318	348	355	345	323	299	277	262	296	301
0.1	915	1,138	73	106	141	171	190	195	190	178	163	150	139	159	160
0.0	915	1,138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,138	1,071	1,022	999	994	997	1,004	1,013	1,022	1,032	1,041	1,050	1,124	1,178

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲し、2023 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（F2018-2020）で漁獲を続けた場合の結果も示した。なお、2021 年の漁獲量は 915 トンであるが、0 歳魚の漁獲を除いた計算値となっている。

補足表 6-7. ③1999-2020 年データに基づく、加入の将来予測に用いた再生産関係式を HS、管理基準値案および HCR の算出を RI とした場合の、将来の親魚量が RI の (a) 目標管理基準値案 (2,123 トン)、(b) 限界管理基準値案 (1,921 トン)、(c) 禁漁水準案 (82 トン) を上回る確率 (%)

(a) 目標管理基準値案 (2,123 トン) を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	98	5	4	5	7	9	12	14	16	18	20	30	35
0.9	100	100	98	25	21	23	25	29	32	35	36	39	42	51	58
0.8	100	100	98	67	64	63	63	62	64	66	67	68	69	74	77
0.7	100	100	98	96	95	93	92	91	90	91	91	90	91	90	92
0.6	100	100	98	100	100	100	100	99	99	99	99	99	99	98	98
0.5	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	98	24	20	21	23	27	30	33	34	35	37	44	47

(b) 限界管理基準値案 (1,921 トン) を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	60	24	21	22	24	27	29	30	32	35	46	51
0.9	100	100	100	92	66	57	55	54	54	56	57	59	59	66	70
0.8	100	100	100	100	96	90	87	85	84	83	84	83	84	85	87
0.7	100	100	100	100	100	100	99	98	98	98	97	97	96	96	96
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	99	99	99	99	99	99	98	99	99	98	99

(c) 禁漁水準案 (82 トン) を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 6-8. ③1999-2020 データに基づく加入の将来予測に用いた再生産関係式を HS、管理基準値案および HCR の算出を RI とした場合の、将来の平均親魚量の推移 (トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,192	1,951	1,832	1,819	1,815	1,808	1,817	1,828	1,839	1,853	1,866	1,982	2,041
0.9	2,205	2,318	2,192	2,062	2,000	1,989	1,999	2,011	2,029	2,049	2,069	2,089	2,108	2,251	2,323
0.8	2,205	2,318	2,192	2,180	2,200	2,225	2,257	2,287	2,318	2,348	2,377	2,406	2,430	2,604	2,692
0.7	2,205	2,318	2,192	2,306	2,424	2,516	2,590	2,649	2,699	2,743	2,783	2,819	2,851	3,063	3,171
0.6	2,205	2,318	2,192	2,439	2,674	2,855	2,995	3,101	3,184	3,250	3,307	3,356	3,398	3,662	3,797
0.5	2,205	2,318	2,192	2,580	2,955	3,252	3,486	3,662	3,798	3,902	3,986	4,057	4,115	4,457	4,627
0.4	2,205	2,318	2,192	2,730	3,268	3,717	4,082	4,364	4,582	4,747	4,878	4,984	5,071	5,536	5,757
0.3	2,205	2,318	2,192	2,889	3,620	4,262	4,808	5,247	5,591	5,856	6,064	6,233	6,370	7,044	7,342
0.2	2,205	2,318	2,192	3,058	4,014	4,903	5,697	6,362	6,902	7,326	7,665	7,941	8,166	9,223	9,646
0.1	2,205	2,318	2,192	3,237	4,455	5,657	6,789	7,781	8,617	9,295	9,852	10,314	10,697	12,500	13,151
0.0	2,205	2,318	2,192	3,427	4,951	6,547	8,133	9,594	10,877	11,959	12,877	13,661	14,331	17,667	18,815
Fcurrent	2,205	2,318	2,192	2,058	1,989	1,959	1,948	1,939	1,935	1,932	1,931	1,931	1,929	1,937	1,939

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 6-9. ③1999-2020 データに基づく加入の将来予測に用いた再生産関係式を HS、管理基準値案および HCR の算出を RI とした場合の、将来の平均漁獲量の推移 (トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,138	1,155	1,046	963	953	946	939	943	950	958	966	976	1,050	1,092
0.9	915	1,138	1,068	1,022	990	982	986	990	997	1,007	1,017	1,026	1,036	1,108	1,148
0.8	915	1,138	975	980	988	999	1,011	1,024	1,036	1,049	1,061	1,072	1,083	1,156	1,195
0.7	915	1,138	877	925	964	996	1,021	1,041	1,059	1,074	1,089	1,102	1,113	1,191	1,231
0.6	915	1,138	773	855	924	975	1,014	1,043	1,067	1,087	1,104	1,119	1,132	1,215	1,257
0.5	915	1,138	663	770	862	933	987	1,027	1,058	1,083	1,103	1,121	1,135	1,224	1,268
0.4	915	1,138	545	667	775	862	929	980	1,019	1,050	1,075	1,096	1,113	1,208	1,253
0.3	915	1,138	421	541	655	750	826	886	933	970	999	1,023	1,043	1,144	1,190
0.2	915	1,138	289	391	493	582	658	719	768	808	840	866	887	992	1,034
0.1	915	1,138	149	212	279	341	396	442	481	513	539	561	579	667	700
0.0	915	1,138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,138	1,071	1,023	999	990	987	984	983	982	981	981	981	985	986

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。なお、2021 年の漁獲量は 915 トンであるが、0 歳魚の漁獲を除いた計算値となっている。

補足表 6-10. ④1999-2020 年データに基づく、加入の将来予測に用いた再生産関係式を RI、管理基準値案および HCR の算出を HS とした場合の、将来の親魚量が HS の (a) 目標管理基準値案 (4,923 トン)、(b) 限界管理基準値案 (1,921 トン)、(c) 禁漁水準案 (214 トン) を上回る確率 (%)

(a) 目標管理基準値案 (4,923 トン) を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.9	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
0.8	0	0	0	0	0	0	2	3	1	0	0	0	0	1	2
0.7	0	0	0	0	0	2	7	10	5	1	0	0	0	2	4
0.6	0	0	0	0	0	5	23	28	19	7	1	0	0	6	8
0.5	0	0	0	0	0	18	53	60	49	25	6	1	0	12	18
0.4	0	0	0	0	1	43	82	88	83	60	24	4	1	26	34
0.3	0	0	0	0	2	74	97	99	98	92	64	19	5	48	58
0.2	0	0	0	0	10	94	100	100	100	99	95	58	14	78	78
0.1	0	0	0	0	25	100	100	100	100	100	100	96	54	95	91
0.0	0	0	0	0	54	100	100	100	100	100	100	100	96	100	98
Fcurrent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(b) 限界管理基準値案 (1,921 トン) を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	93	66	59	59	59	61	64	66	68	68	73	77

(c) 禁漁水準案 (214 トン) を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fcurrent	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 6-11. ④1999-2020 データに基づく加入の将来予測に用いた再生産関係式を HS、管理基準値案および HCR の算出を RI とした場合の、将来の平均親魚量の推移（トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	2,205	2,318	2,197	2,597	2,984	3,274	3,423	3,448	3,402	3,334	3,281	3,261	3,271	3,420	3,471
0.9	2,205	2,318	2,197	2,671	3,136	3,490	3,675	3,704	3,637	3,538	3,456	3,416	3,420	3,594	3,649
0.8	2,205	2,318	2,197	2,746	3,297	3,725	3,952	3,988	3,900	3,763	3,642	3,574	3,567	3,775	3,835
0.7	2,205	2,318	2,197	2,824	3,467	3,979	4,258	4,306	4,196	4,016	3,847	3,739	3,712	3,963	4,032
0.6	2,205	2,318	2,197	2,904	3,647	4,253	4,596	4,663	4,533	4,305	4,076	3,916	3,856	4,161	4,240
0.5	2,205	2,318	2,197	2,987	3,837	4,551	4,970	5,066	4,919	4,641	4,342	4,113	4,004	4,375	4,466
0.4	2,205	2,318	2,197	3,072	4,038	4,874	5,384	5,523	5,367	5,036	4,658	4,343	4,165	4,618	4,716
0.3	2,205	2,318	2,197	3,160	4,251	5,223	5,844	6,042	5,889	5,509	5,043	4,626	4,354	4,908	5,002
0.2	2,205	2,318	2,197	3,250	4,477	5,603	6,355	6,633	6,499	6,078	5,523	4,990	4,600	5,272	5,328
0.1	2,205	2,318	2,197	3,343	4,715	6,015	6,924	7,309	7,217	6,768	6,126	5,470	4,944	5,731	5,680
0.0	2,205	2,318	2,197	3,439	4,968	6,463	7,558	8,083	8,062	7,608	6,889	6,111	5,438	6,279	6,005
Fcurrent	2,205	2,318	2,197	2,064	1,997	1,983	1,997	2,019	2,043	2,064	2,084	2,102	2,117	2,217	2,265

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 6-12. ④1999-2020 データに基づく加入の将来予測に用いた再生産関係式を HS、管理基準値案および HCR の算出を RI とした場合の、将来の平均漁獲量の推移（トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1.0	915	1,139	657	767	859	916	936	928	908	891	881	881	888	926	938
0.9	915	1,139	600	718	818	881	903	892	867	843	829	826	833	872	884
0.8	915	1,139	541	663	769	838	862	849	819	789	769	763	769	811	823
0.7	915	1,139	480	603	713	786	812	798	765	729	704	693	697	742	754
0.6	915	1,139	417	538	648	723	751	738	702	662	632	616	617	664	677
0.5	915	1,139	353	466	573	647	677	665	630	588	553	533	530	578	591
0.4	915	1,139	286	388	486	557	588	579	546	505	468	444	436	484	497
0.3	915	1,139	218	303	387	451	479	474	446	410	375	349	338	383	393
0.2	915	1,139	147	210	275	324	349	347	327	299	270	247	234	271	278
0.1	915	1,139	75	109	146	175	191	191	181	165	148	134	123	146	148
0.0	915	1,139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fcurrent	915	1,139	1,074	1,027	1,007	1,010	1,021	1,034	1,045	1,056	1,065	1,073	1,080	1,129	1,153

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 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 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。なお、2021 年の漁獲量は 915 トンであるが、0 歳魚の漁獲を除いた計算値となっている。

補足表 6-13. ①②1986-2020 データに基づく加入の将来予測に用いた再生産関係式と、管理基準値案および HCR の算出を異なる再生産関係とした場合の予測される親魚量・漁獲量、2023～2033 年までの平均漁獲量の合計値
 比較として加入の将来予測に用いた再生産関係式と、管理基準値案および HCR の算出を同じ再生産関係式とした場合の予測される親魚量・漁獲量と親魚量が 2023～2033 年までの平均漁獲量の合計値も示す。

加入の 予測に 用いた 再生産 関係	管理基 準値案 および HCR に 用いた 再生産 関係	β=0.8 で 10 年後の 管理基準値案の達 成確率		平均親魚量 (トン)		平均漁獲量(トン)			β=0.8 で 2023- 2033 年まで の累 計漁 獲量
		目標管 理基準 値	限界管 理基準 値 (SBmin)	2028	2033	2023	2028	2033	
HS	RI	43%	80%	2,335	2,474	959	1,022	1,089	11,246
RI	HS	0%	100%	4,186	3,901	527	822	811	8,637
HS	HS	16%	100%	4,097	4,787	507	873	1,000	9,075
RI	RI	43%	83%	2,341	2,443	954	1,021	1,063	11,162

補足表 6-14. ③④1999-2020 データに基づく加入の将来予測に用いた再生産関係式と、管理基準値案および HCR の算出を異なる再生産関係とした場合の予測される親魚量・漁獲量、2023～2033 年までの平均漁獲量の合計値
 比較として加入の将来予測に用いた再生産関係式と、管理基準値案および HCR の算出を同じ再生産関係式とした場合の予測される親魚量・漁獲量と親魚量が 2023～2033 年までの平均漁獲量の合計値も示す。

加入の 予測に 用いた 再生産 関係	管理基 準値案 および HCR に 用いた 再生産 関係	$\beta=0.8$ で 10 年後の 管理基準値案の達 成確率		平均親魚量 (トン)		平均漁獲量(トン)			2023- 2033 年まで の累 計漁 獲量
		目標管 理基準 値	限界管 理基準 値 (SBmin)	2028	2033	2023	2028	2033	
HS	RI	69%	84%	2,287	2,430	975	1,024	1,083	11,278
RI	HS	0%	100%	3,988	3,567	541	849	769	8,433
HS	HS	53%	100%	4,409	5,137	538	971	1,106	10,024
RI	RI	75%	91%	2,037	2,134	975	1,031	1,067	11,279

補足表 6-15. ①②1986-2020 データに基づく加入の将来予測に用いた再生産関係式と、
管理基準値案および HCR の算出を異なる再生産関係とした場合に、 β を異なる数値
としたときの 10 年後の目標達成確率および各種リスクの確率。

加入の 予測に 用いた 再生産 関係	管理基 準値案 および HCR に 用いた 再生産 関係	β	10 年後に親魚量が管理基準 値を上回る確率		リスク(10 年間で 1 度でも起きる 確率)	
			目標管理基 準値	限界管理基準 値(SBmin)	親魚量が過去 最低親魚量を 下回る確率	漁獲量が半減
HS	RI	1	11%	39%	84%	0%
		0.9	25%	60%	59%	0%
		0.8	43%	80%	29%	0%
		0.7	67%	93%	9%	0%
		0.6	88%	99%	1%	0%
		0.5	97%	100%	0%	0%
RI	HS	1	0%	100%	0%	0%
		0.9	0%	100%	0%	0%
		0.8	0%	100%	0%	0%
		0.7	0%	100%	0%	0%
		0.6	0%	100%	0%	0%
		0.5	1%	100%	0%	0%
HS	HS	1	4%	99%	0%	0%
		0.9	9%	100%	0%	0%
		0.8	16%	100%	0%	0%
		0.7	29%	100%	0%	0%
		0.6	47%	100%	0%	0%
		0.5	68%	100%	0%	0%
RI	RI	1	11%	47%	83%	0%
		0.9	25%	66%	57%	0%
		0.8	43%	83%	27%	0%
		0.7	65%	94%	8%	0%
		0.6	86%	99%	1%	0%
		0.5	96%	100%	0%	0%

補足表 6-16. ③④1999-2020 データに基づく加入の将来予測に用いた再生産関係式と、管理基準値案および HCR の算出を異なる再生産関係とした場合に、 β を異なる数値としたときの 10 年後の目標達成確率および各種リスクの確率。

加入の 予測に 用いた 再生産 関係	管理基 準値案 および HCR に 用いた 再生産 関係	β	10 年後に親魚量が目標管理 基準値を上回る確率		リスク(10 年間で 1 度でも起きる 確率)	
			目標管理基準 値	限界管理基準 値(SBmin)	親魚量が過去 最低親魚量を 下回る確率	漁獲量が半減
HS	RI	1	20%	35%	89%	0%
		0.9	42%	59%	64%	0%
		0.8	69%	84%	27%	0%
		0.7	91%	96%	6%	0%
		0.6	99%	100%	1%	0%
		0.5	100%	100%	0%	0%
RI	HS	1	0%	100%	0%	0%
		0.9	0%	100%	0%	0%
		0.8	0%	100%	0%	0%
		0.7	0%	100%	0%	0%
		0.6	0%	100%	0%	0%
		0.5	0%	100%	0%	0%
HS	HS	1	18%	100%	0%	0%
		0.9	34%	100%	0%	0%
		0.8	53%	100%	0%	0%
		0.7	75%	100%	0%	0%
		0.6	91%	100%	0%	0%
		0.5	98%	100%	0%	0%
RI	RI	1	27%	50%	87%	0%
		0.9	49%	74%	57%	0%
		0.8	75%	91%	21%	0%
		0.7	93%	98%	4%	0%
		0.6	99%	100%	0%	0%
		0.5	100%	100%	0%	0%

補足資料 7 STARS による加入平均値のトレンド分析

ヒラメ日本海中西部・東シナ海系群の加入尾数は、1980年代後半から1990年代中盤まで300~400万尾であったが、1990年代から減少傾向が近年まで続き、直近は110~130万尾程度にまで減少している。

一方で親魚量は2,000~3,000トンと比較的、狭い変動幅で推移している。そのため、親が増えたら子が増えるような関係が明瞭ではない。

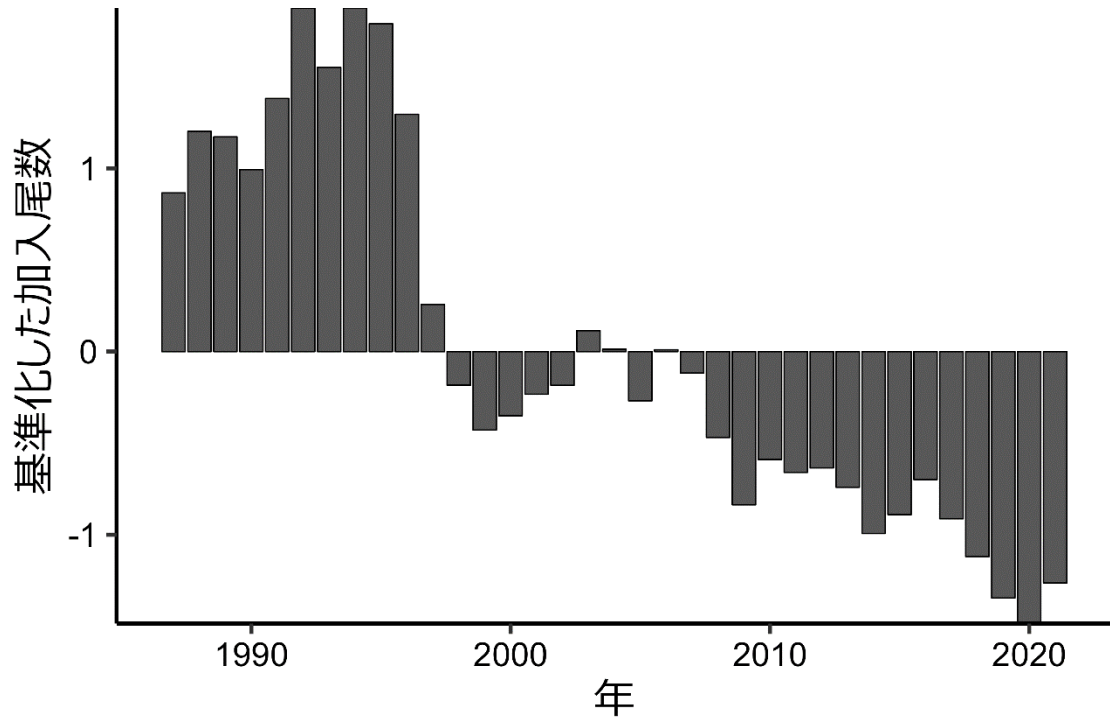
再生産関係の不確実性が大きい等の理由により、再生産関係から頑健なMSY管理基準値を得ることは困難であるが、他の管理基準値(F%SPRなど)が比較的高い精度で計算可能な場合は、それらの生物学的管理基準値をもとにMSY管理基準値に相当する代替値計算する1Bルールが整備された。本系群では、鳥取県の加入量調査や地先の漁獲情報から近年の加入量が低い状態にあることは、ある程度確からしいと考えられる。そのため、今後の調査研究により頑健な再生産関係が得られるまでは、再生産関係を仮定せず、引き続き低い加入量を想定した管理が望ましいと判断し、本案では1Bルールによる推定結果を提案した。1Bルールは、加入量から現状の環境を仮定し、YPRもしくはSPR基準からFmsy等の代替値を算出する手法である。上記で決められたFmsyの代替値を用い、確率的な将来予測シミュレーションを実施したときの平衡状態における平均親魚量等を目標管理基準値の代替値として用いる。その際、将来予測における加入量参照年(加入の平均値)の仮定が重要となるため、評価対象種ごとの資源状態や加入量のトレンドを把握しつつ判断する必要がある。

その方法として、STARS (Sequential t-test Analysis of Regime Shifts ,Rodionov, 2004)は、物理・生態系の時系列におけるシフトを検出するためによく使われる手法の一つとして知られている。STRASは、データセットの時系列に沿って、観測値を一定の区分で比較し、観測値間の平均が著しく逸脱している場合を“シフトポイント”と推定する手法である。

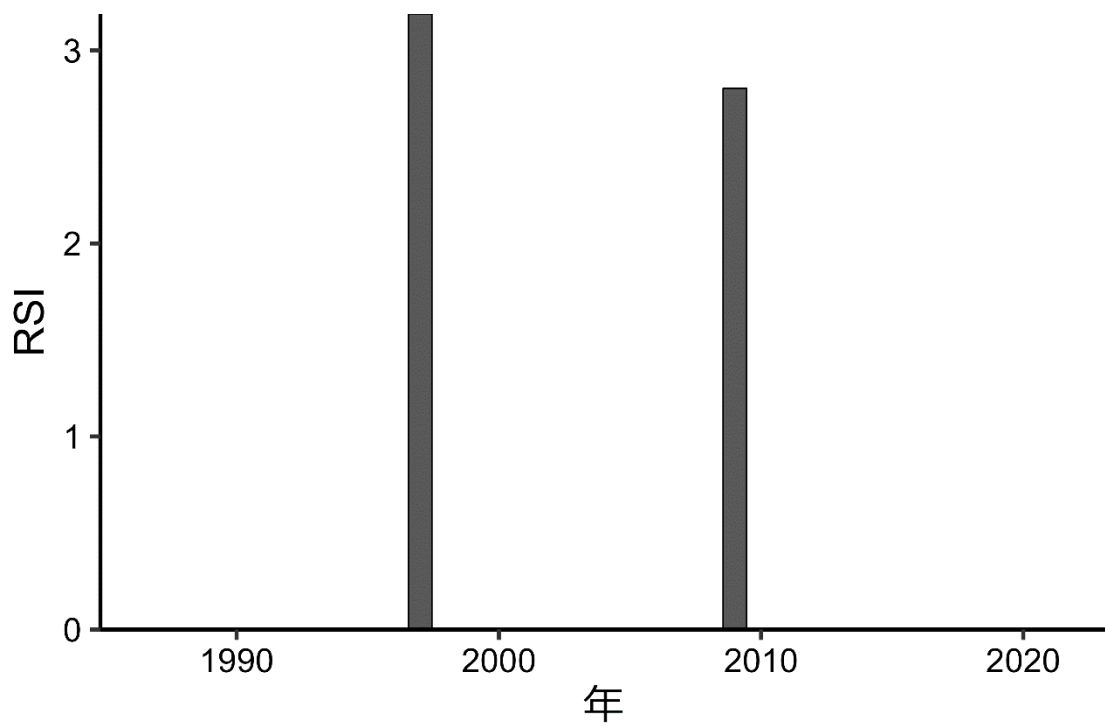
ヒラメ日本海中西部・東シナ海系群では、データ区分を最低年である2年とし、シフトポイント(RSI : regime shift index)の推定を行った。加入の残差傾向を補足図7-1に示す。また、STARSにおけるRSIの検出した結果を補足図7-2に示す。1997年と2009年に大きなRSIが観察され、本系群は同年に平均的な加入の傾向が変化したと考えられる。そのため、1Bの加入参照年のシナリオにはSTARSの推定から加入傾向が変化したと考えられた24年平均(1997~2020年平均)および12年平均(2009~2020年平均)を追記する(補足資料1)。

引用文献

Sergei N Rodionov.(2004) A sequential algorithm for testing climate regime shifts. Geophysical Research Letters, 31(9).



補足図 7-1 基準化した加入量



補足図 7-2 RSI の推定結果