

## 令和3（2021）年度マダイ瀬戸内海中・西部系群の 管理基準値案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3年度本系群の資源評価データを用いて、再生産関係および管理基準値案等を検討した。本系群の再生産関係式の候補として、資源評価により推定された1977～2020年の親魚量と加入量の情報に対し、残差の自己相関も同時推定したリッカー（RI）型再生産関係の適用を提案する。再生産関係のパラメータ推定方法には最小二乗法を使用する。目標管理基準値案として、再生産関係に基づき算出されるSBmsy（5,706トン）を、限界管理基準値案として、SBmin（3,606トン）を提案する。禁漁水準として、SB0.1msy（222トン）を提案する。目標管理基準値案（SBmsy）を達成する漁獲圧（Fmsy）は、現状（2015～2019年の漁獲係数）の1.15倍である。

親魚量 (トン)	現状の親魚量 (2020年) に対する比	初期親 魚量 に対す る比	期待できる 平均漁獲量 (トン)	現状の漁獲 圧(2015～ 2019年)に対 する比*	説 明
目標管理基準値案					
5,706	1.12	0.37	2,805	1.15	最大持続生産量(MSY) を実現する親魚量 (SBmsy)
限界管理基準値案					
3,606	0.71	0.23	2,538	1.57	親魚量の過去最低値 (SBmin)
禁漁水準案					
222	0.04	0.01	280	2.45	MSYの10%の漁獲が得 られる親魚量 (SB0.1msy)
2020年					
5,093	1.00	0.33	2,227**	-	2020年の値

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

\*\* 2020年の実際の漁獲量（暫定値）を示す。

## 1. 再生産関係

### 1-1) 使用するデータセット

本系群の再生産関係式の設定は「令和3(2021)年度漁獲管理規則およびABC算定のための基本指針」(FRA-SA2021-ABCWG02-01)に従い、以下のデータセットを使用して実施した。解析にはRパッケージfrasyr(2021年8月27日インストール)を用いた。frasyrで用いている式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート(令和3年度)(FRA-SA2021-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・漁獲係数	令和3(2021)年度 マダイ瀬戸内海中・西部系群の資源評価(水産庁・水産機構)

### 1-2) 再生産関係の検討

本系群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(補足資料1)として、ホッカー・スティック型(HS)再生産関係、リッカー型(RI)再生産関係、およびベバートン・ホルト型(BH)再生産関係を仮定した場合について検討した。最適化方法として、最小二乗法および最小絶対値法を候補とした。また、加入量の残差への自己相関の考慮の有無でモデルを比較した。自己相関パラメータを推定する際は、再生産関係式のパラメータと同時に推定する手法(同時推定法)を用いた。再生産関係の検討は、資源評価で推定された1977~2020年の加入量および親魚量に基づき行った。再生産関係の検討候補を表1に示す。

補正赤池情報量規準(AICc)はRI型、HS型およびBH型の各再生産関係式でほぼ同じ値となった。またいずれの場合においても自己相関プロットから加入残差に自己相関が認められ、自己相関係数( $\rho$ )も約0.9と非常に高かったため、本資源における再生産関係のモデルには同時推定法による自己相関を考慮した。AICcは最小二乗法を用いて自己相関を同時推定とした場合に最も小さくなった。HS型とBH型で最も小さく、次いでRI型の順となっていた(表1)。HS型とBH型を仮定した場合にAICcは最も小さくなったが、いずれも推定の不確実性が高く、特に後者ではa、bに高い相関があつて解が一意に求まらないケースであった(補足資料1)。

モデル診断からは、HS型およびRI型の間では決定的な優位性については判断できなかった。しかしながら、HS型の再生産関係から推定されるSBmsyはRI型の2倍程度となっており、従来の資源評価結果からは近年は高水準で安定していると判断され、漁業者らもそれを是認している本資源では、後者を選択した場合に設定される強度の漁獲制限を伴う漁獲管理ルール(補足資料2-2)を導入することの必要性は低いと考えられる。また、本資源は、従来の資源評価結果からは、親魚量が減少すると天然加入量が増加する、親魚量が増加すると加入量が減少するという反比例関係が疑われる現象が観察されている。さらに、漁業者などからの聞き取りにおいても、過去に例のない場所への生息域の拡大などが報告され、生活史のいくつかの段階で密度過多の影響を受けていることが推測される。

以上の検討から、本資源の再生産関係の候補としては、同時推定法による自己相関を考

慮した RI 型再生産関係式を用いた（表 1、補足資料 1、2）。

### 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-SA2021-ABCWG01-03)」の 3.a(予測力)、3.b(生物学的妥当性) および 3.h(自己相関) を参考に、本系群の再生産関係の候補として、最適化法を最小二乗法とし、自己相関を同時推定した RI 型再生産関係を提案する(図 1)。

## 2. 管理基準値案

### 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には、「令和3(2021)年度漁獲管理規則およびABC算定のための基本指針(FRA-SA2021-ABCWG02-01)」の1系資源の管理規則に従い、1-3)で候補とした再生産関係と、令和3年度の資源評価で用いた各種設定および生物パラメータ(自然死亡係数、年齢別平均体重および年齢別成熟率)を使用した(表2)。なお、本系群においては現状の漁獲圧として2015~2019年の漁獲係数を用いており、将来予測における選択率にはこの選択率を続けて用いた(図2)。また本系群は栽培対象種であり種苗放流が行われているが、管理基準値案の算定においては人工種苗由来の加入尾数は加算せず計算を行った。平均世代時間(8.4年)の20倍の年数のシミュレーション期間後を平衡状態と仮定し、その際の平均漁獲量が最大化されるF値を $F_{msy}$ 、その $F_{msy}$ で漁獲した場合の平衡状態での平均親魚量を $SB_{msy}$ とした。

### 2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

本系群の目標管理基準値案( $SB_{target}$ )としてMSY水準における親魚量( $SB_{msy}$ : 5,706トン)、限界管理基準値案( $SB_{limit}$ )として親魚量の過去最低値( $SB_{min}$ : 3,606トン)、禁漁水準案( $SB_{ban}$ )としてMSYの10%の漁獲が得られる親魚量( $SB_{0.1msy}$ : 222トン)を用いることを提案する。ここで、ABC算定のための基本指針においては $SB_{limit}$ の標準値として $SB_{0.6msy}$ が挙げられている。しかし、本系群においては $SB_{0.6msy}$ は1,754トンとなり、これは過去最低親魚量の半分以下の低い値であるため、限界管理基準値案には $SB_{min}$ を用いることが妥当と判断した。

各基準値案について、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、平衡状態の時の平均漁獲量、%SPR換算した漁獲圧、漁獲割合、現状の漁獲圧に対する比、およびMSYを実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数( $F_{msy}$ )を表3に示す。目標管理基準値案として提案する $SB_{msy}$ は $SB_0$ の37%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2,805トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧(MSYを与える漁獲圧)の、現状の漁獲圧に対する比( $F_{msy}/F_{2020}$ )は1.15で、その時の漁獲割合( $U_{msy}$ )は、25%である。なお、限界管理基準値案として提案する $SB_{min}$ は $SB_0$ の23%、禁漁水準として提案する $SB_{0.1msy}$ は $SB_0$ の1%である。

F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図3に示す。親魚量が限界管理基準値案以下では、期待できる漁獲は3歳以下の個体が6割以上を占める。目標管理基準値案である $SB_{msy}$ 以上の親魚量では、漁獲に占める6歳+

魚の割合が最も多く、高齢魚の占める比率が高くなる。

### 2-3) 神戸プロット

目標管理基準値案である  $SB_{msy}$  と、その時の漁獲圧  $F_{msy}$  を基準にした神戸プロットを図 4 に示す。本系群における漁獲係数 (F 値) は、1981~2005 年と 2007 年は  $MSY$  を実現する水準を上回っていたが、2008 年以降は直近年も含めて  $F_{msy}$  を実現する水準を下回っていたと判断される。現状の親魚量 (2020 年の親魚量: 5,093 トン) は目標管理基準値案  $SB_{msy}$  は下回るが限界管理基準値案  $SB_{limit}$  は上回っている。現状の親魚量に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案の比は、それぞれ 1.12、0.71 および 0.04 である。

### 2-4) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則 (HCR) は、限界管理基準値案、および禁漁水準となる親魚量を閾値として、漁獲管理の基礎となる漁獲係数 (F 値) を変える規則であり、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準まで直線的に漁獲圧を下げることを定めている。F 値の上限となる  $F_{msy}$  には調整係数  $\beta$  を乗じる。限界管理基準値案および禁漁水準案に本資料で提示した値を用いた場合 (すなわち、 $SB_{limit}=SB_{min}$ 、 $SB_{ban}=SB_{0.1msy}$  を用いた場合) の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を図 5a に、この漁獲管理規則案で漁獲した場合に期待できる平均的な漁獲量との関係を図 5b に示す。図に例示した漁獲管理規則案は、いずれも調整係数  $\beta$  に標準値である 0.8 を用いた。

### 2-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

#### (1) 調整係数 $\beta$ に標準値を用いた場合

限界管理基準値案・禁漁水準案に標準値を用い、調整係数  $\beta$  も標準値 0.8 とした漁獲管理規則案 (図 5a) で将来予測した場合の、加入尾数、親魚量、資源量、漁獲量、漁獲割合および漁獲圧の比 ( $F/F_{msy}$ ) 推移を図 6 に示す。なお今回の将来予測では、漁獲管理規則案による漁獲制御は 2022 年漁期から開始し、2021 年の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 ( $F_{current}$ ) から仮定した。

またマダイは栽培対象種であることから、種苗放流の影響について、放流および天然個体 0 歳魚資源尾数から天然個体のそれを差し引いた値を放流個体加入尾数とした。将来における各年の放流個体加入尾数としては 2013~2019 年の平均と仮定し、この値を将来予測における人工種苗由来の加入として毎年の加入尾数に加算して将来予測を行った。なお、この場合の人工種苗由来の加入尾数は 4.7 万尾であり、2022 年の混入率 (シミュレーション平均) は 0.004 である。

予測される 2022 年漁期の親魚量は限界管理基準値案である  $SB_{min}$  を上回っているため、漁獲管理規則案に従い、まず  $\beta F_{msy}$  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超えるため、 $\beta F_{msy}$  での漁獲となる。 $\beta F_{msy}$  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  $SB_{msy}$  よりもやや高めに推移していくと予測される。

## (2) 調整係数 $\beta$ 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  $\beta$  を 0.0~1.0 の間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、親魚量平均値の推移、および漁獲量平均値の推移を表 4~9 に示した。

本資源の親魚量は 2020 年漁期時点で限界管理基準値案を上回っており、将来予測開始時の 2022 年漁期以降も限界管理基準値案を上回って推移する (表 7)。漁獲管理規則案による漁獲開始から 10 年後の 2032 年漁期では、 $\beta$  が 0.8 であれば 83% の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された (表 4)。 $\beta$  が 0.9 であれば、2032 年漁期には 60% 以上の確率で目標管理基準値案以上に親魚量を維持できると予測されたが、 $\beta$  が 1 の場合には親魚量が目標管理基準値案を上回る確率が 50% を下回った。なお、 $\beta$  が 1 であっても全ての年で 100% の確率で限界管理基準値案となる親魚量を維持できることが示された (表 5)。2023 年以降の親魚量は  $\beta$  が低い程多くなり (表 7)、2022 年の漁獲量は  $\beta$  が 0.9 以上で現状 (2020 年漁期: 2,227 トン) より多くなった (表 8)。

また  $\beta=0.8$  で漁獲した場合の管理開始 10 年後の目標管理基準値案の達成確率は、種苗放流が行われなかった場合でも 82% とほとんど変わらなかった。ただし過去最大の人工種苗由来の加入 (340.8 万尾) があつた場合では、 $\beta=0.8$  で漁獲した場合で、管理開始 10 年後の目標管理基準値案の達成確率は 100% となり、 $\beta=1$  で漁獲した場合でも 88% の達成確率になった。 (表 10)。

## 3. まとめ

本資源では、資源評価で推定された 1977~2020 年の加入量および親魚量に基づき、再生産関係モデルに自己相関を考慮した RI 型再生産関係式を適用し、そのパラメータを最小二乗法により推定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 SBmsy (5,706 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 SBmin (3,606 トン)、SB0.1msy (222 トン) をそれぞれ提案する。

現在の本系群の親魚量は目標管理基準値案は下回るが限界管理基準値案以上にあると考えられる。MSY を実現する漁獲割合は 25%、漁獲圧は Fcurrent の 1.15 倍である (表 3)。 $\beta$  が 0.9 以下であれば、将来的に 50% 以上の確率で MSY 水準に維持されると予測される。

## 4. 今後の検討事項

再生産関係では自己相関が有意であり、年代による傾向が認められている。推定値からの近年の観測値の残差は負に偏っており、再生産関係よりも低い加入量が続いている。そのため、その影響となる要因の解明、および将来予測への影響把握が重要である。加えて、候補とした RI 型再生産関係と HS 型再生産関係では、AICc に明瞭な差が認められなかったものの、それぞれの再生産関係から推定される SBmsy は 2 倍程度異なっており (補足資料 2)、選択するモデルによって評価結果が大きく異なることにも留意する必要がある。また将来予測において、今後の種苗放流数に近年の平均値を用いたが、種苗放流の体制に変化があれば管理目標の達成確率などにも影響が生じることが想定される (表 10、補足資料

3)。

## 5. 引用文献

ABCWG (2021) 令和 (2021) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2021-ABCWG02-01

ABCWG (2021) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 3 年度). FRA-SA2021-ABCWG01-02.

ABCWG (2021) 再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 3 年度). FRA-SA2021-ABCWG01-03.

(執筆者：山本圭介、片町太輔、山下夕帆、鈴木重則)

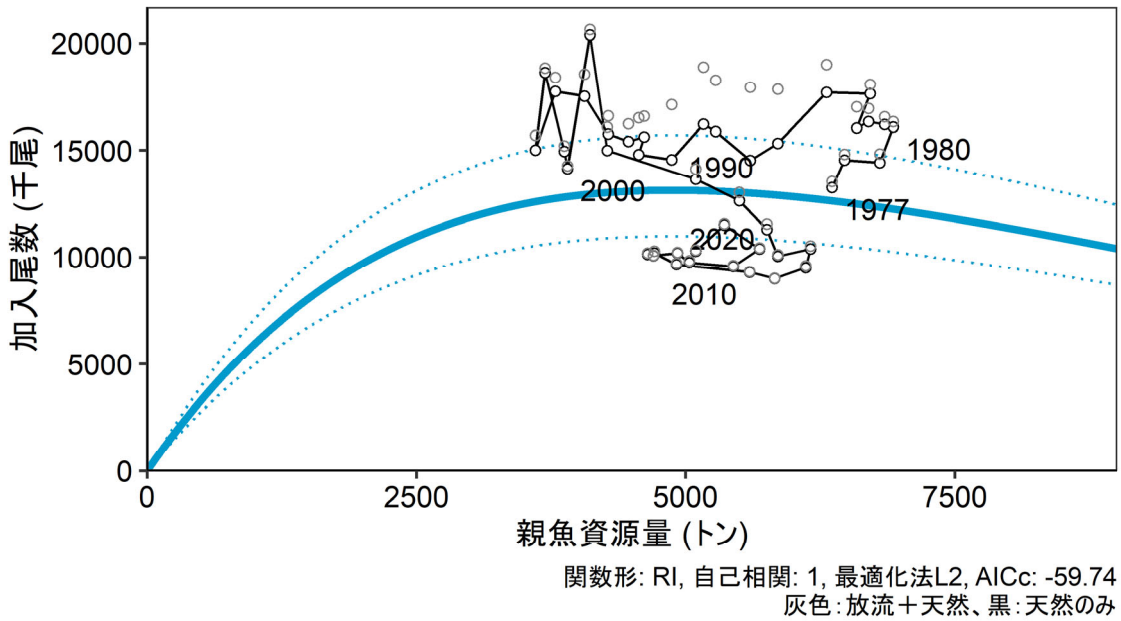


図1. 再生産関係

再生産関係には自己相関を考慮したリッカー (RI) 型再生産関係式を用い、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。丸印は分析に使用した 1977～2020 年の親魚量と加入量を示し、黒色は天然のみ、灰色は種苗放流を加味した加入量である。図中の数字は加入群の年級 (生まれ年) を示す。図中の再生産関係式 (青実線) の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。

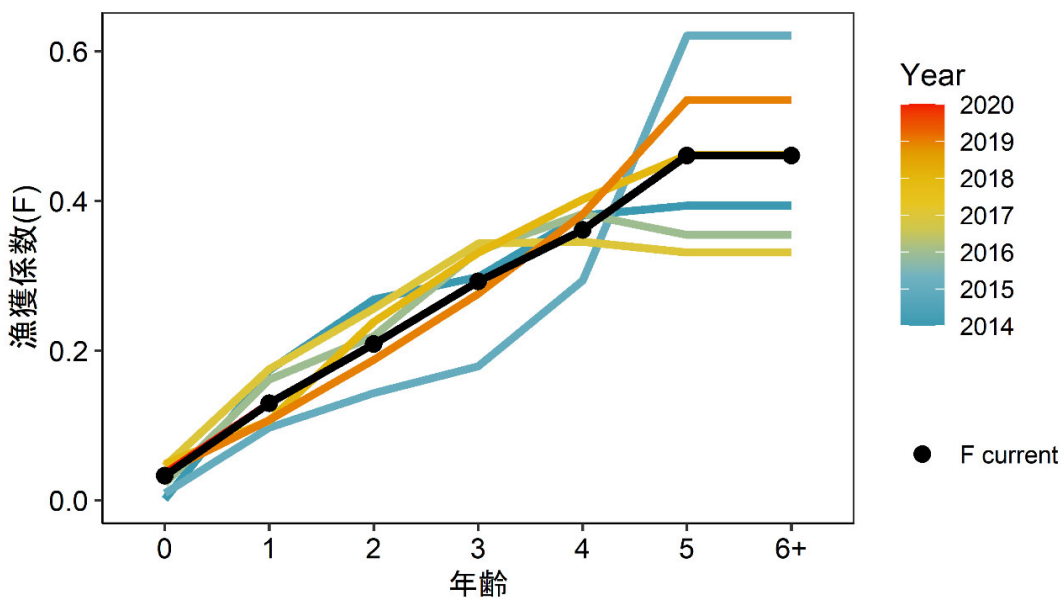


図2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

2014 年以降の各年の年齢別 F 値を色分けして示す。黒線は現状の漁獲圧であり、2015～2019 年の F 値の平均である。

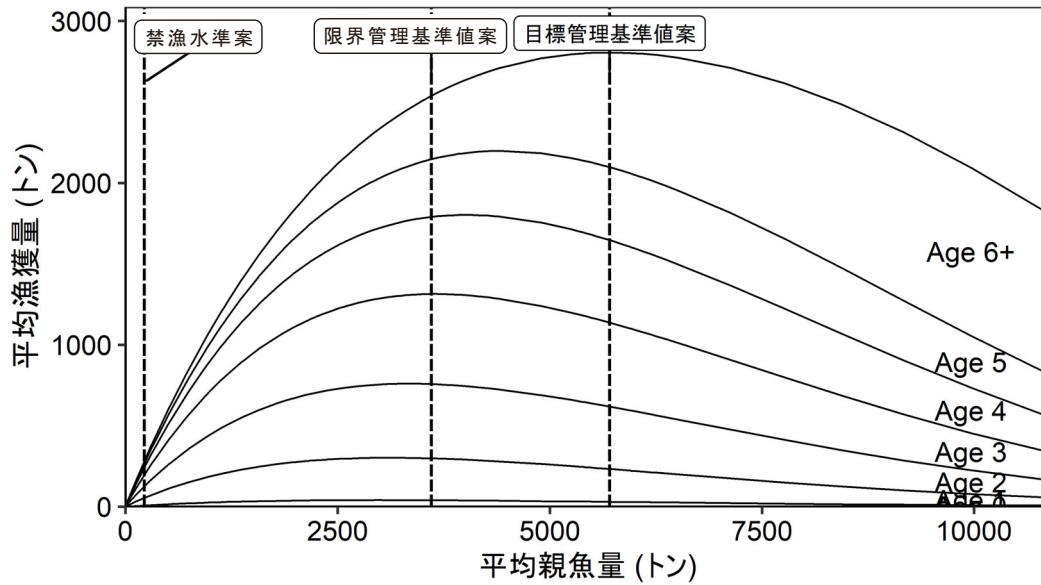


図3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、平均親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値と、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15,562 トンである。

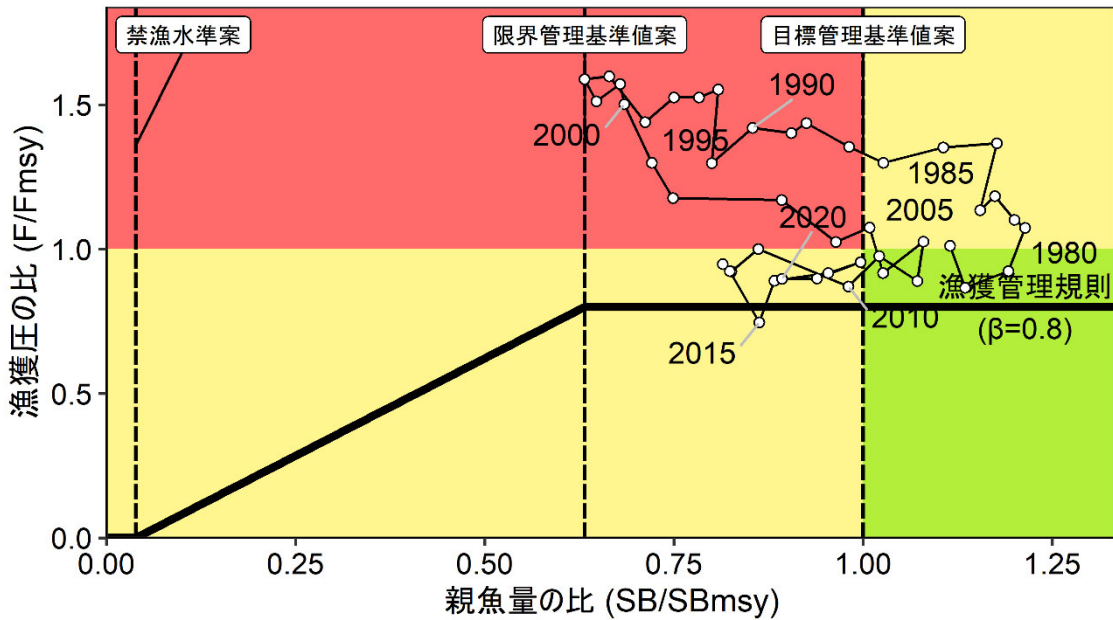
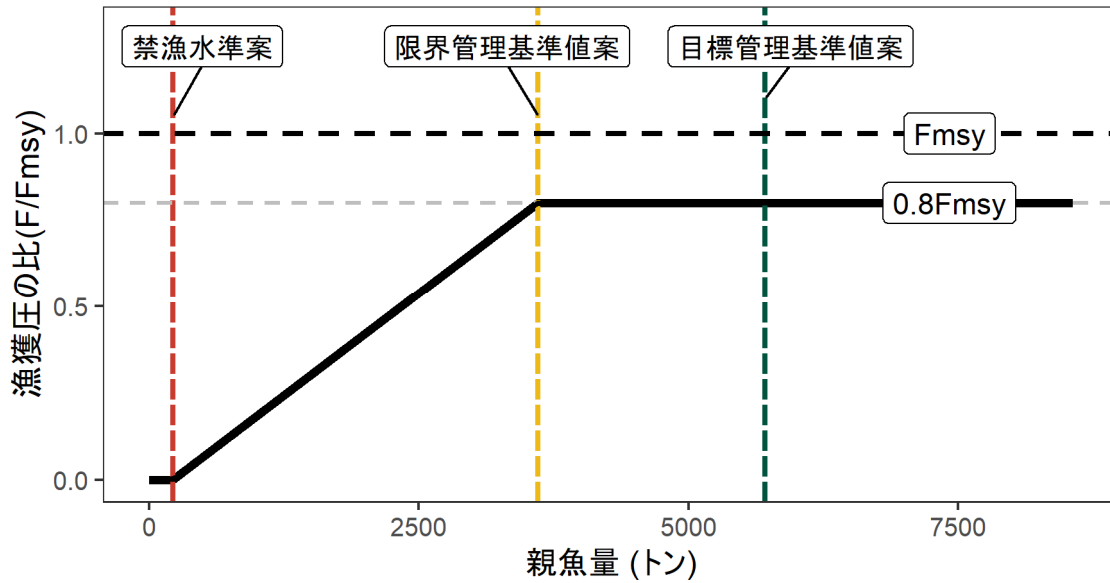


図4. 神戸プロット

縦軸は漁獲圧 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  $SB_{msy}$ 、 $SB_{min}$ 、 $SB_{0.1msy}$  を用いた。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

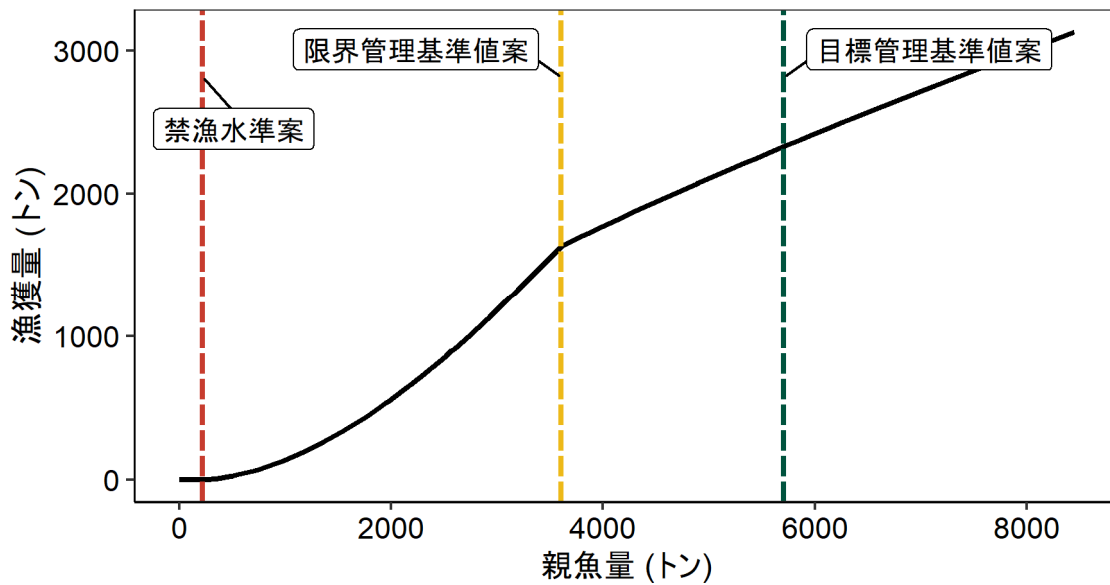
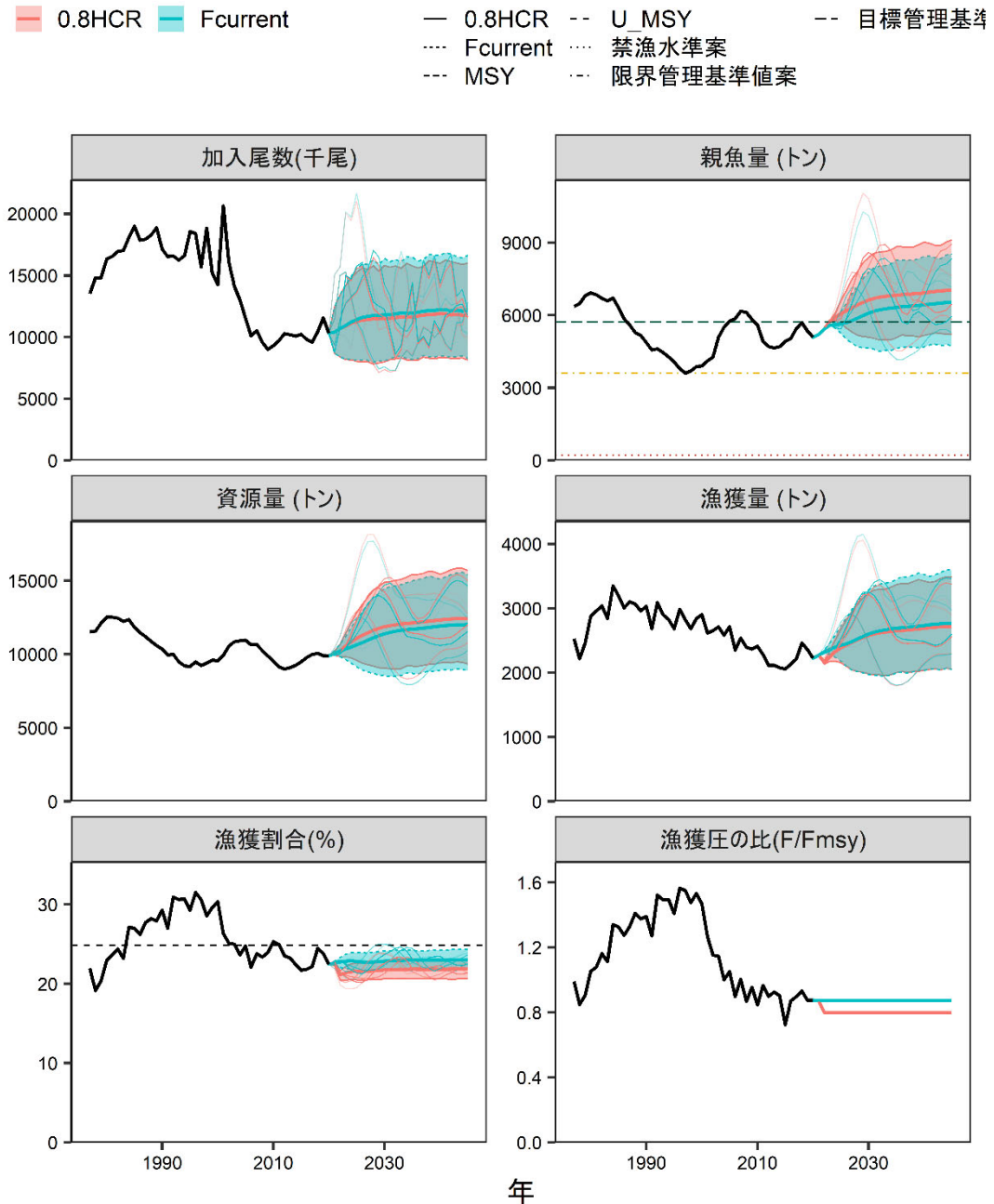


図5. 漁獲管理規則 (HCR) 案

目標管理基準値案 (SBtarget) は RI 型再生産関係に基づき算出した  $SB_{msy}$  である。限界管理基準値案には親魚量の過去最低値 ( $SB_{limit}$ )、禁漁水準案 ( $SB_{ban}$ ) には標準値を用いている。調整係数  $\beta$  には標準値である 0.8 を用いた。黒破線:  $F_{msy}$ 、灰色破線:  $0.8F_{msy}$ 、黒太線: HCR、赤破線: 禁漁水準案、黄色破線: 限界管理基準値案、緑色破線: 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 6. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

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。2021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、2022年以降の漁獲は漁獲管理規則案 (図 5) に従うものとした。調整係数  $\beta$  には 0.8 を用いた。

表 1. 再生産関係式の検討候補

再生産関係式	最適化法	自己相関	AICc	$\Delta$ AICc	順位
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	同時	-61.97	0	1
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	同時	-60.63	1.34	2
<b>リッカー (RI)</b>	<b>最小二乗法</b>	<b>同時</b>	<b>-59.74</b>	<b>2.24</b>	<b>3</b>
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	無	2.37	64.34	4
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	無	2.37	64.34	4
リッカー (RI)	最小二乗法	無	5.68	67.65	6
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	無	11.81	73.78	7
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	無	11.81	73.78	7
リッカー (RI)	最小絶対値法	無	15.64	77.61	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ほうが妥当と考え、最適化法には最小二乗法を用いた。

表 2. MSY 管理基準値案等の算出および将来予測計算に用いた各種設定

年齢	自然死亡 係数	成熟率	平均重量 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (Fcurrent)
0	0.39	0.0	77	0.28	0.036
1	0.24	0.0	201	1.00	0.130
2	0.17	0.0	353	1.61	0.209
3	0.17	0.5	534	2.26	0.292
4	0.17	1.0	734	2.79	0.361
5	0.17	1.0	967	3.56	0.461
6+	0.17	1.0	1,526	3.56	0.461

Fcurrent は 2015～2019 年の F 値の平均である。

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

管理基準値案	説明	親魚量 (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	5,706	0.37	2,805	13.6	0.248	1.15
限界管理基準値案	SBlimit	3,606	0.23	2,538	8.8	0.290	1.57
禁漁水準案	SB0.1msy	222	0.01	280	4.3	0.350	2.45
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳以上) = (0.04, 0.15, 0.24, 0.34, 0.41, 0.53, 0.53)					

表 4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	0	0	0	0	0	0	4	11	18	24	27	31	35	46	48
0.9	0	0	0	0	2	21	31	40	46	50	54	58	61	68	70
0.8	0	0	0	100	100	91	85	81	80	80	81	82	83	88	88
0.7	0	0	0	100	100	100	100	98	98	96	96	95	94	96	97
0.6	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	100
0.5	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
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

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 Fcurrent で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

表 5. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 Fcurrent で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

表 6. 将来の親魚量が禁漁水準を上回る確率 (%)

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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  $F_{current}$  で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

表 7. 将来の平均親魚量の推移 (トン)

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	5,093	5,199	5,425	5,305	5,112	4,994	4,935	4,964	5,043	5,136	5,226	5,304	5,367	5,655	5,705
0.9	5,093	5,199	5,425	5,523	5,501	5,506	5,518	5,586	5,686	5,792	5,891	5,973	6,036	6,296	6,342
0.8	5,093	5,199	5,425	5,750	5,922	6,079	6,185	6,303	6,425	6,532	6,624	6,695	6,746	6,981	7,020
0.7	5,093	5,199	5,425	5,988	6,379	6,720	6,951	7,137	7,279	7,372	7,433	7,468	7,489	7,715	7,746
0.6	5,093	5,199	5,425	6,236	6,875	7,440	7,832	8,111	8,278	8,339	8,336	8,300	8,261	8,512	8,527
0.5	5,093	5,199	5,425	6,494	7,413	8,248	8,850	9,256	9,458	9,469	9,364	9,208	9,065	9,395	9,384
0.4	5,093	5,199	5,425	6,765	7,998	9,157	10,028	10,610	10,868	10,818	10,570	10,235	9,927	10,414	10,344
0.3	5,093	5,199	5,425	7,047	8,633	10,180	11,396	12,219	12,574	12,465	12,040	11,465	10,918	11,647	11,430
0.2	5,093	5,199	5,425	7,341	9,323	11,333	12,987	14,143	14,664	14,526	13,910	13,049	12,188	13,180	12,606
0.1	5,093	5,199	5,425	7,649	10,073	12,633	14,842	16,456	17,251	17,159	16,388	15,233	14,014	14,984	13,733
0	5,093	5,199	5,425	7,971	10,889	14,102	17,011	19,251	20,488	20,588	19,774	18,402	16,862	16,650	14,913

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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  $F_{current}$  で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。黄色網掛けは目標管理基準値案を下回ることを示す。

表 8. 将来の平均漁獲量の推移 (トン)

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	2,227	2,273	2,599	2,532	2,485	2,460	2,453	2,475	2,513	2,554	2,592	2,624	2,650	2,783	2,798
0.9	2,227	2,273	2,383	2,402	2,419	2,435	2,452	2,485	2,526	2,567	2,604	2,634	2,657	2,766	2,777
0.8	2,227	2,273	2,159	2,252	2,329	2,387	2,428	2,472	2,513	2,550	2,579	2,602	2,619	2,709	2,716
0.7	2,227	2,273	1,926	2,079	2,210	2,310	2,376	2,429	2,469	2,495	2,512	2,523	2,530	2,607	2,612
0.6	2,227	2,273	1,683	1,882	2,057	2,196	2,287	2,350	2,386	2,399	2,398	2,391	2,384	2,458	2,459
0.5	2,227	2,273	1,430	1,657	1,865	2,035	2,149	2,223	2,256	2,255	2,233	2,203	2,179	2,259	2,255
0.4	2,227	2,273	1,167	1,401	1,626	1,816	1,949	2,033	2,065	2,052	2,009	1,957	1,912	2,003	1,993
0.3	2,227	2,273	893	1,112	1,330	1,524	1,665	1,756	1,791	1,771	1,716	1,645	1,581	1,683	1,660
0.2	2,227	2,273	607	784	969	1,140	1,272	1,360	1,397	1,381	1,326	1,253	1,182	1,276	1,231
0.1	2,227	2,273	310	415	530	642	733	798	829	824	788	737	683	732	679
0	2,227	2,273	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  $\beta$  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  $F_{current}$  で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

表 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

$\beta$	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 が限界 管理基 準値案 を下回 る	親魚量 が禁漁 水準を 下回る	漁獲量 が半減 する
		2027 年	2032 年	2022 年	2027 年	2032 年			
1	35%	4,964	5,367	2,599	2,475	2,650	3%	0%	0%
0.9	61%	5,586	6,036	2,383	2,485	2,657	0.3%	0%	0%
0.8	83%	6,303	6,746	2,159	2,472	2,619	0%	0%	0%
0.7	94%	7,137	7,489	1,926	2,429	2,530	0%	0%	0%
0.6	99%	8,111	8,261	1,683	2,350	2,384	0%	0%	0%
0.5	100%	9,256	9,065	1,430	2,223	2,179	0%	0%	0%
0.4	100%	10,610	9,927	1,167	2,033	1,912	0%	0%	0%
0.3	100%	12,219	10,918	893	1,756	1,581	0%	0%	0%
0.2	100%	14,143	12,188	607	1,360	1,182	0%	0%	0%
0.1	100%	16,456	14,014	310	798	683	0%	0%	0%
0	100%	19,251	16,862	0	0	0	0%	0%	0%

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 2022 年の値と、5 年および 10 年管理を行った後の値 (2027 年および 2032 年) を示した。

表 10. 人工種苗由来の加入尾数を変化させ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

人工種苗由来 の加入尾数	$\beta$	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
			2027年	2032年	2022年	2027年	2032年
放流なし (0尾)	1	34%	4,947	5,347	2,598	2,466	2,640
	0.9	60%	5,566	6,014	2,382	2,476	2,647
	0.8	82%	6,282	6,724	2,158	2,463	2,610
	0.7	94%	7,113	7,467	1,925	2,421	2,522
	0.6	99%	8,085	8,237	1,683	2,342	2,378
	0.5	100%	9,227	9,039	1,430	2,216	2,173
現状* (2013~2019 年平均、4.7 万尾)	1	35%	4,964	5,367	2,599	2,475	2,650
	0.9	61%	5,586	6,036	2,383	2,485	2,657
	0.8	83%	6,303	6,746	2,159	2,472	2,619
	0.7	94%	7,137	7,489	1,926	2,429	2,530
	0.6	99%	8,111	8,261	1,683	2,350	2,384
	0.5	100%	9,256	9,065	1,430	2,223	2,179
過去年平均 (1977~2019 年平均、67.8 万尾)	1	45%	5,203	5,638	2,610	2,597	2,782
	0.9	70%	5,849	6,316	2,394	2,604	2,778
	0.8	90%	6,593	7,034	2,169	2,586	2,728
	0.7	98%	7,458	7,787	1,934	2,539	2,628
	0.6	100%	8,467	8,575	1,690	2,453	2,473
	0.5	100%	9,651	9,407	1,436	2,318	2,259
過去最大 (1987年、 340.8万尾)	1	88%	6,236	6,717	2,661	3,119	3,304
	0.9	98%	6,986	7,431	2,439	3,111	3,258
	0.8	100%	7,848	8,193	2,209	3,077	3,168
	0.7	100%	8,845	9,009	1,970	3,009	3,031
	0.6	100%	10,004	9,897	1,721	2,898	2,844
	0.5	100%	11,359	10,898	1,462	2,730	2,606

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 2022 年の値と、5 年および 10 年管理を行った後の値 (2027 年および 2032 年) を示した。

\* 現状の結果は表 9 と同じ値である。

## 補足資料 1 再生産関係式のモデル診断について

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<sub>y</sub> を y 年の加入量、B<sub>y</sub> を y 年当初の親魚量、A<sub>min</sub> を加入年齢 (本資源の場合は A<sub>min</sub>=0) としたときのそれぞれの再生産関係式の数式は以下の通りである ;

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

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

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

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

本資源の再生産関係として、HS 型、BH 型および RI 型、の再生産関係式を、最小二乗法および最小絶対値法により 1977~2020 年の加入量・親魚量のデータに当てはめた。残差の自己相関 (AR) については、自己相関パラメータ ρ もモデルに組み込み、再生産関係式のパラメータと同時に推定する“同時推定法”を用いた (詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 3 年度) (FRA-SA2021-ABCWG01-02) を参照)。この場合、残差の正規性を仮定したほうが妥当であるため、最適化法には最小二乗法を用いた。推定された再生産関係式のパラメータを補足表 1-1 に示す。また、各モデル診断の結果を補足図 1-2a, b, c、1-3 a, b, c、1-4 a, b, c、1-5 a, b, c、1-6 a, b, c、1-7 a, b, c、1-8 a, b, c に示す。

AICc は HS 型、BH 型、RI 型の全ての再生産関係において、自己相関を考慮した最小二乗法において非常に低い値となり (表 1)、自己相関パラメータ ρ は 0.88~0.89 と非常に高い値となった (補足表 1-1)。このため、本資源については自己相関を考慮することとした。

再生産関係式を最小二乗法により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補足図 1-2 に示す。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おおむね解消される (補足図 1-2 中央図) が、この場合でも近年の残差がやや負に偏っている (補足図 1-2 左図) 点には注意が必要である。再生産関係モデルに対する残差の正規性については、Shapiro-Wilk 検定と Kolmogorov-Smirnov 検定ともに有意な逸脱は検出されなかった。 (補足図 1-3)。

個々のデータの影響をジャックナイフ法により検討したところ、推定の頑健性に大きな問題はみられなかった（補足図 1-4、1-5）。パラメータ推定の信頼区間は残差ブートストラップにより検討した（補足図 1-6、1-7）。

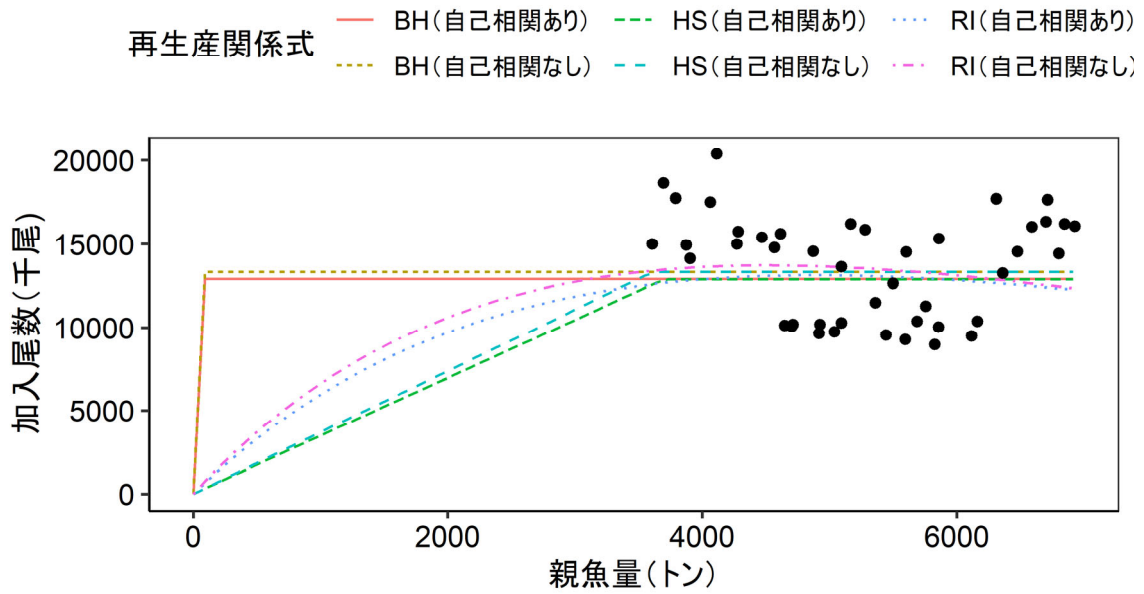
各再生産関係式を最小二乗法により当てはめた場合のプロファイル尤度を補足図 1-8 に示す。ここで、BH 型については解が一意に定まらないため、候補から除外した。RI 型はスティーブネスがやや高く親魚量が過去最低になると最も高い加入量予測をするような再生産関係になっている（補足図 1-1、補足表 1-1）。また HS 型については、プロファイル尤度で尤度がほぼ同じとなる複数の局所解が生じており、RI 型よりも推定値の不安定性が高いと考えられる（補足図 1-8）

これらのモデル診断からは、HS 型および RI 型の間では決定的な優位性については判断できなかった。しかしながら、本資源は、これまでの資源評価結果から、親魚量が減少すると天然加入量が増加する、親魚量が増加すると加入量が減少するという反比例関係にあるかのように見える現象が観察されている。くわえて、漁業者などからの聞き取りにおいても、過去に例のない場所への生息域の拡大が報告されており、マダイの資源が高い水準となった結果、生活史のいくつかの段階で密度過多の影響を受けていることが推測される。さらに、近年の資源評価結果は高水準で安定しており、漁業者らの現場感覚もそれを肯定していることから、HS 型を選択した場合に設定される強度の漁獲制限伴う漁獲管理ルール（補足資料 2-2）を早急に導入することの必要性は低いと考えられる。また、資源が高水準であるため資源量が低位のときの推定に弱い RI 型であっても管理失敗のリスクも低いと予想される。

以上の結果から、不確実性及びリスクは否定できないものの、本資源の再生産関係式においては RI 型再生産式が候補の中では最も適していると判断した。

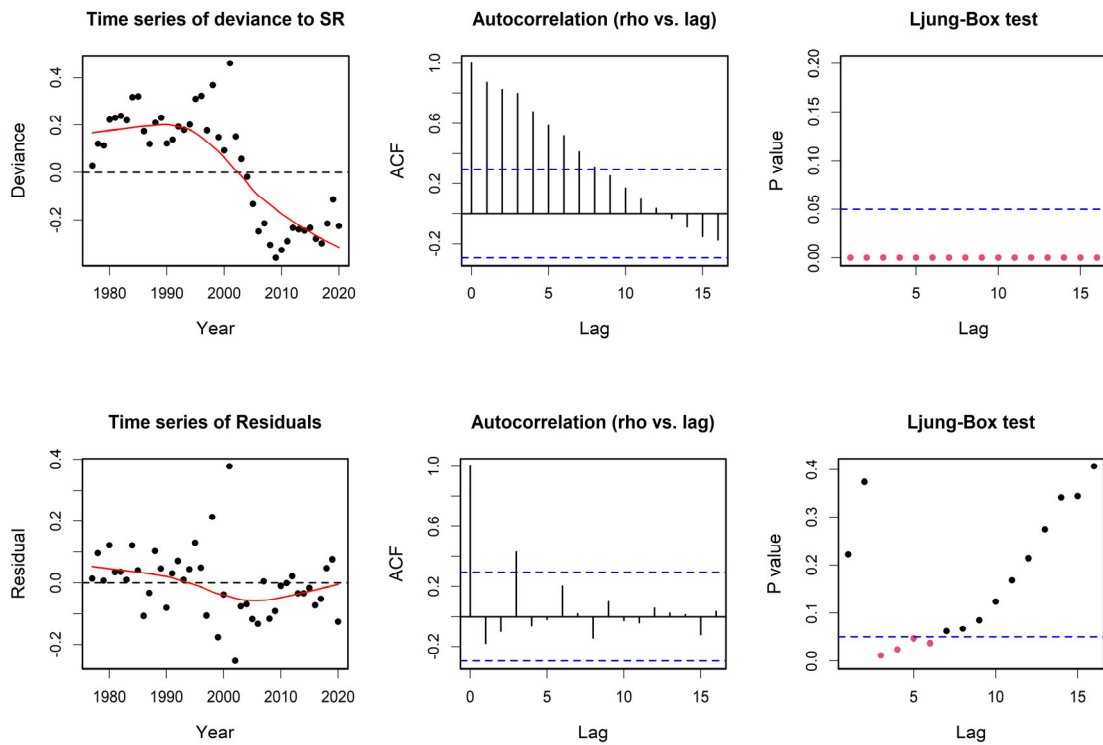
#### 引用文献

- ABCWG (2021) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート(令和3年度). FRA-SA2021-ABCWG01-02.
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957) On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Clark C. W., Charles A. T., Beddington J. R. 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.



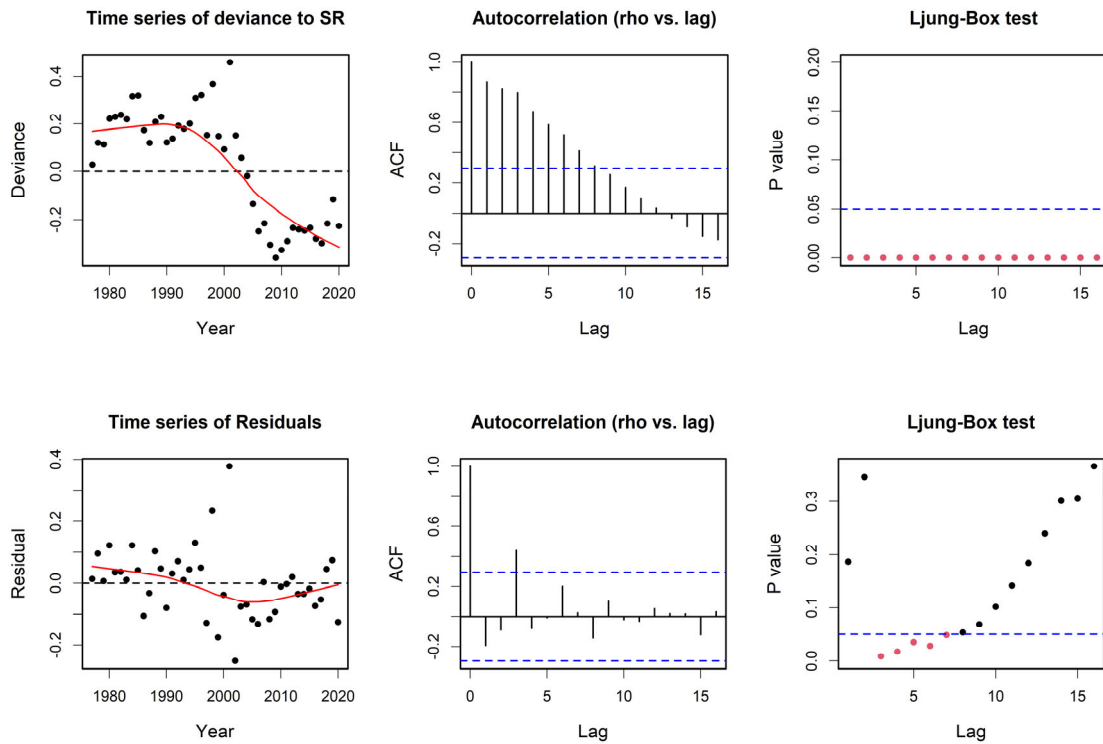
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

ホッケー・スティック型 (HS)、ベバートン・ホルト型 (BH)、リッカー型 (RI) の再生産関係式を、最小二乗法により当てはめた。黒丸は分析に使用した親魚量・加入尾数 (1977~2020 年) である。



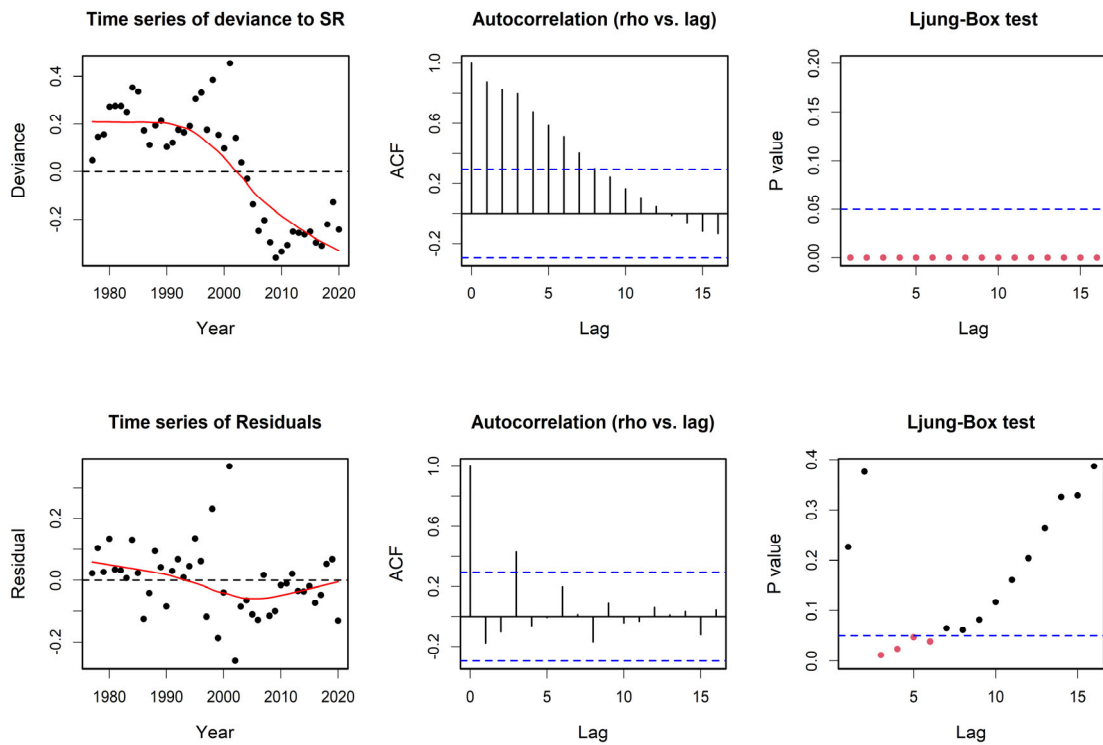
補足図 1-2a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図)

残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。



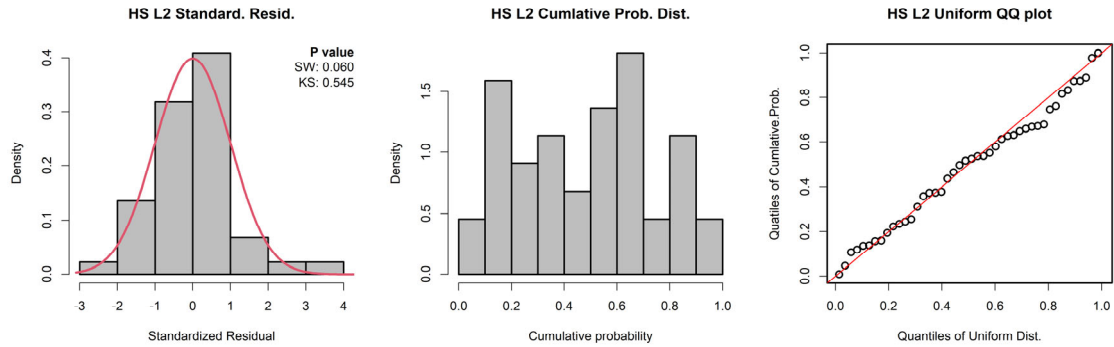
補足図 1-2b. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図)

残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。

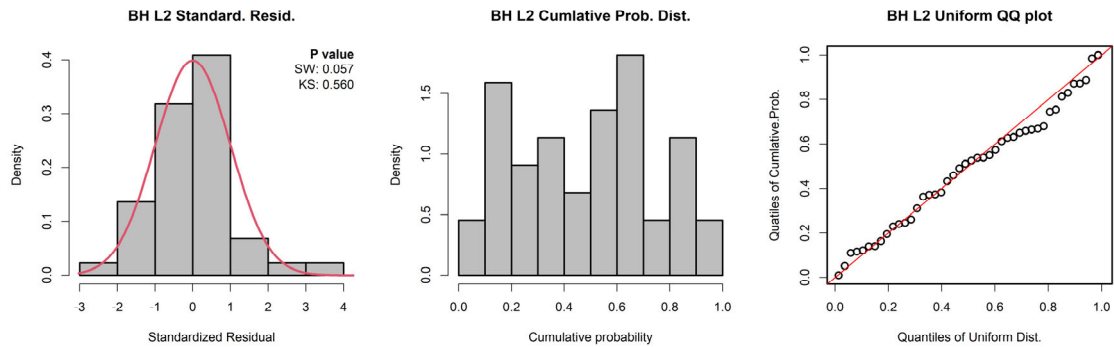


補足図 1-2c. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。

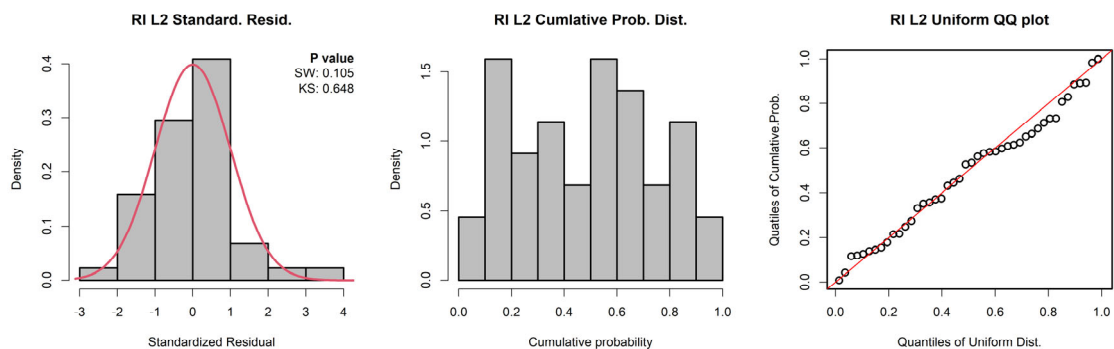
a) ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合



b) 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

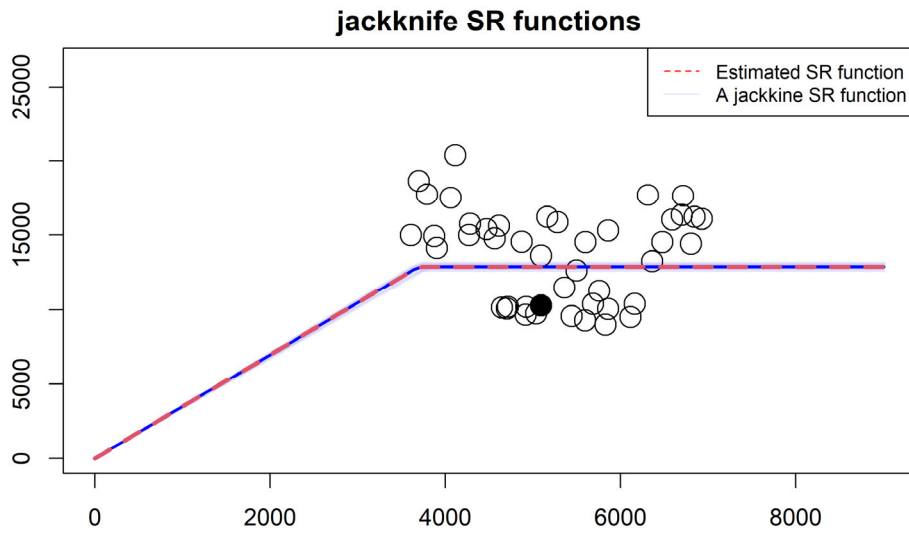


c) リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合

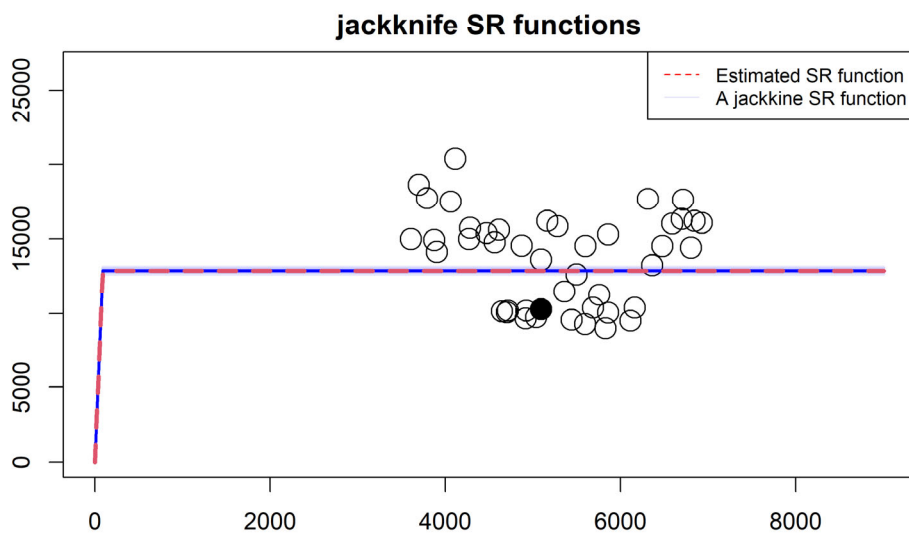


補足図 1-3. 再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラム（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）

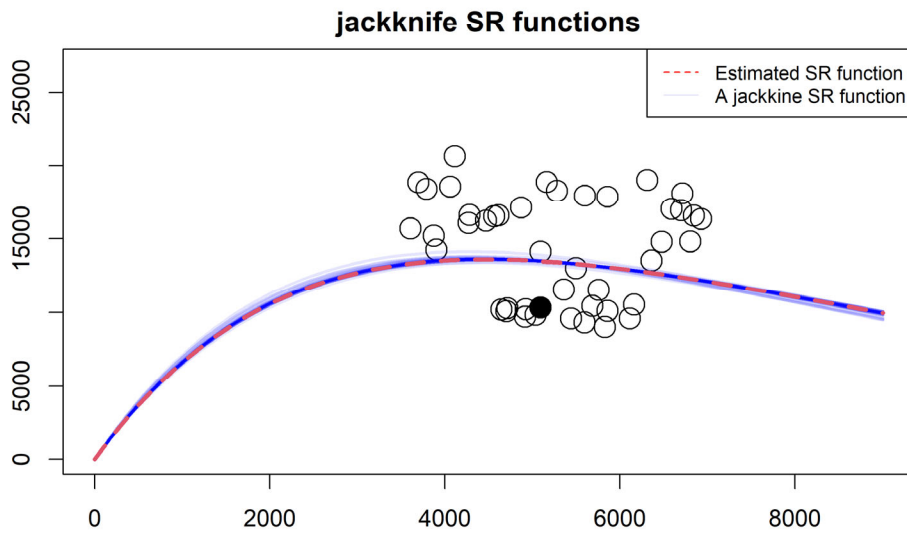
残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。



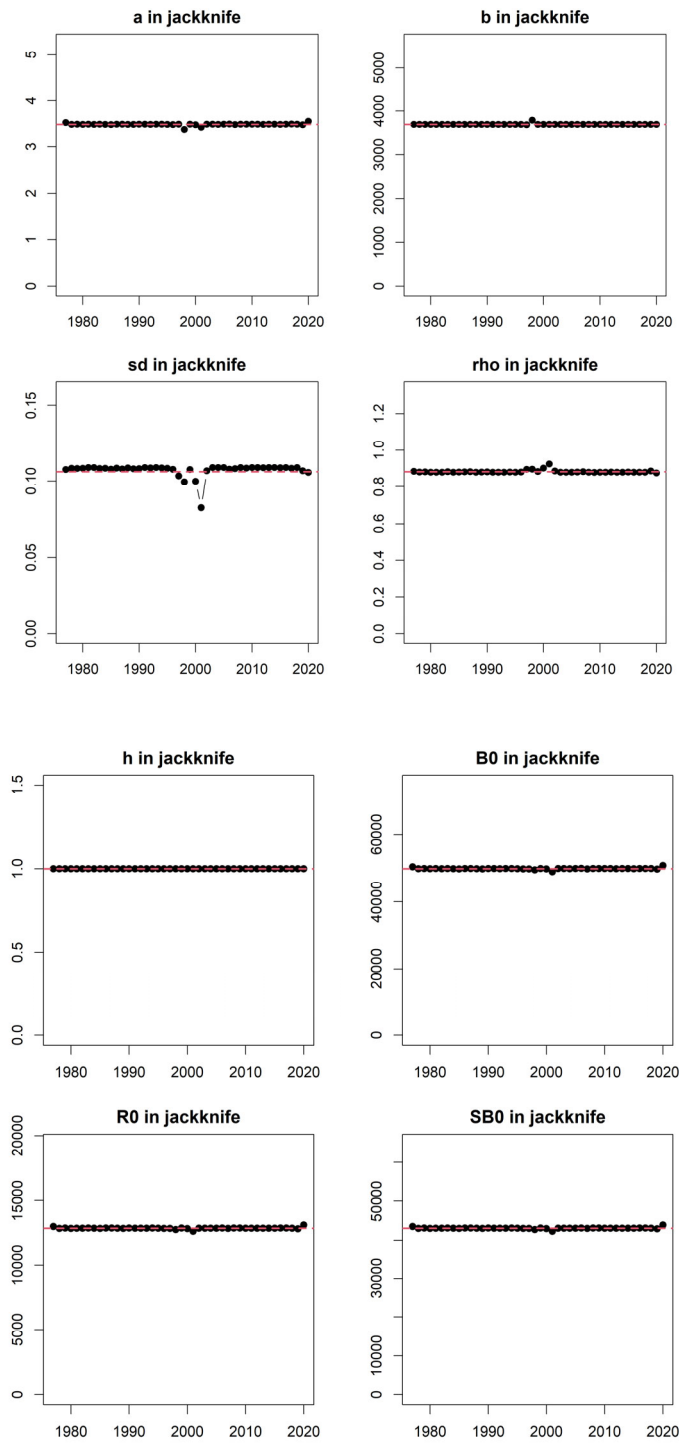
補足図 1-4a. 自己相関を考慮したホッカー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果



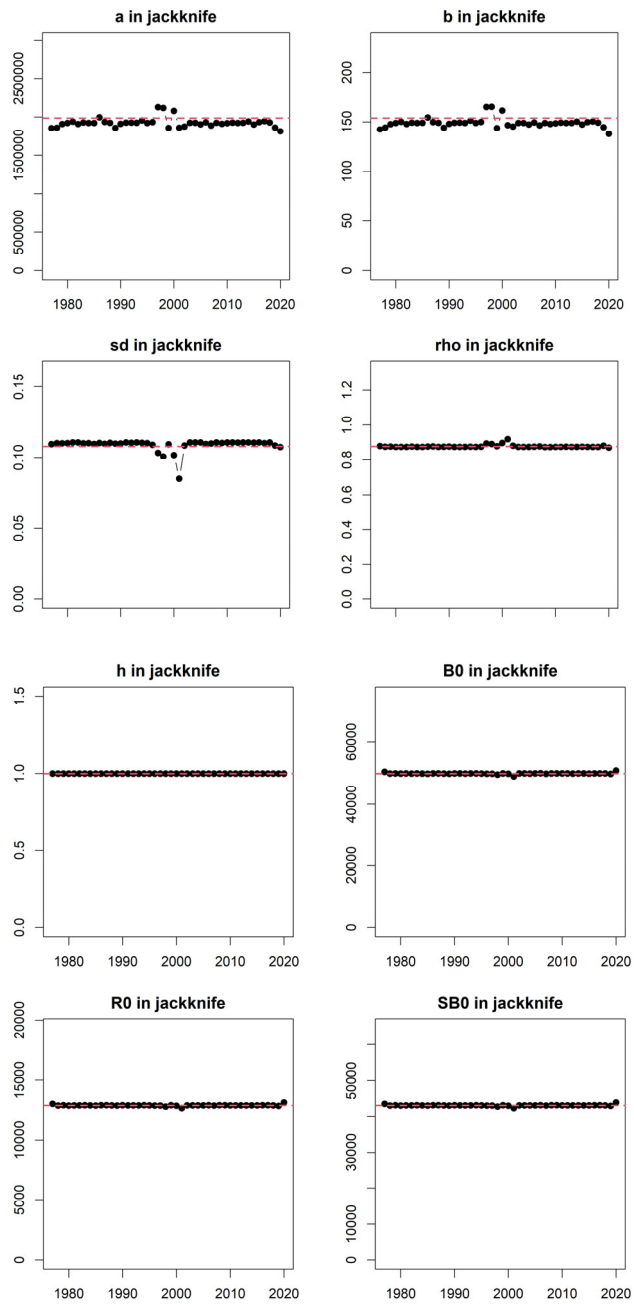
補足図 1-4b. 自己相関を考慮したベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果



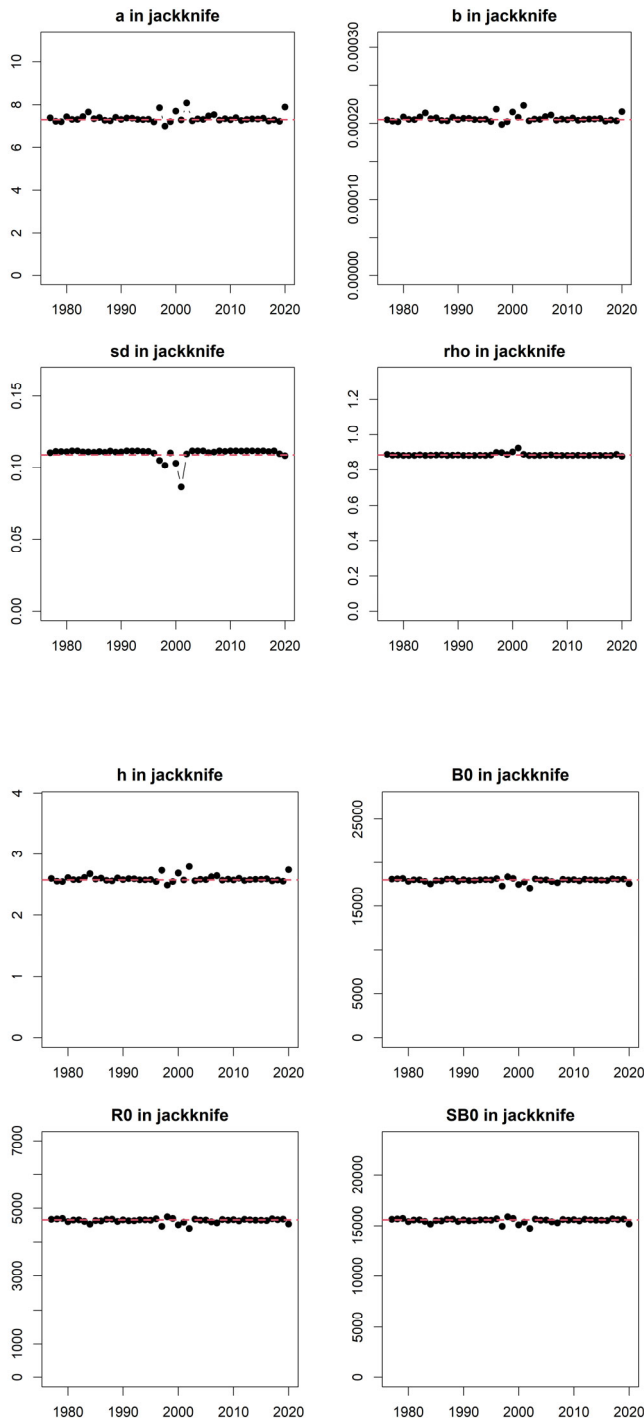
補足図 1-4c. 自己相関を考慮したリッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果  
赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量 (kg)、縦軸は加入尾数 (尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



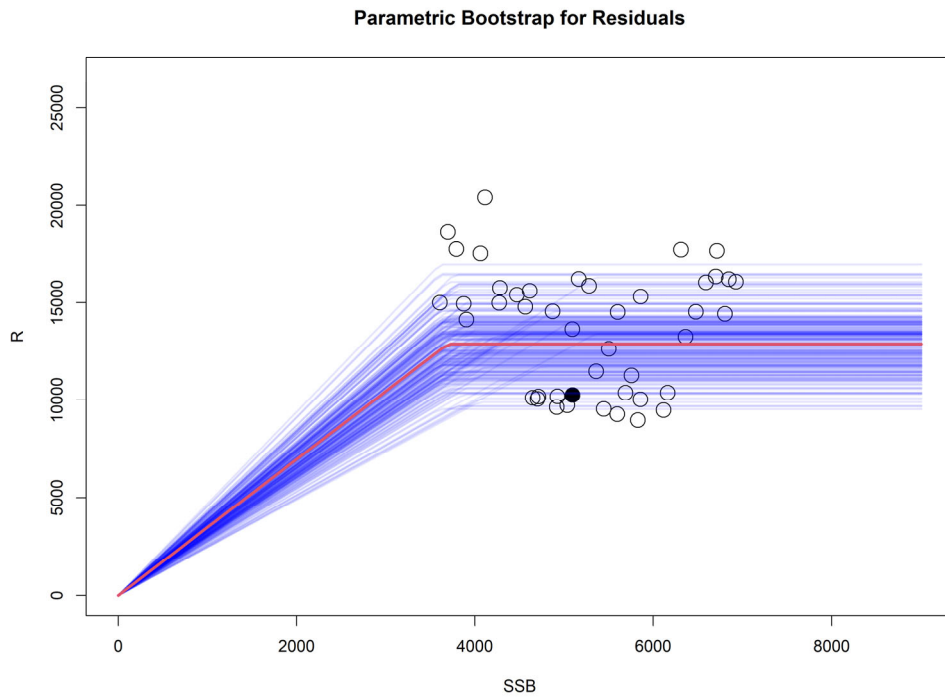
補足図 1-5a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



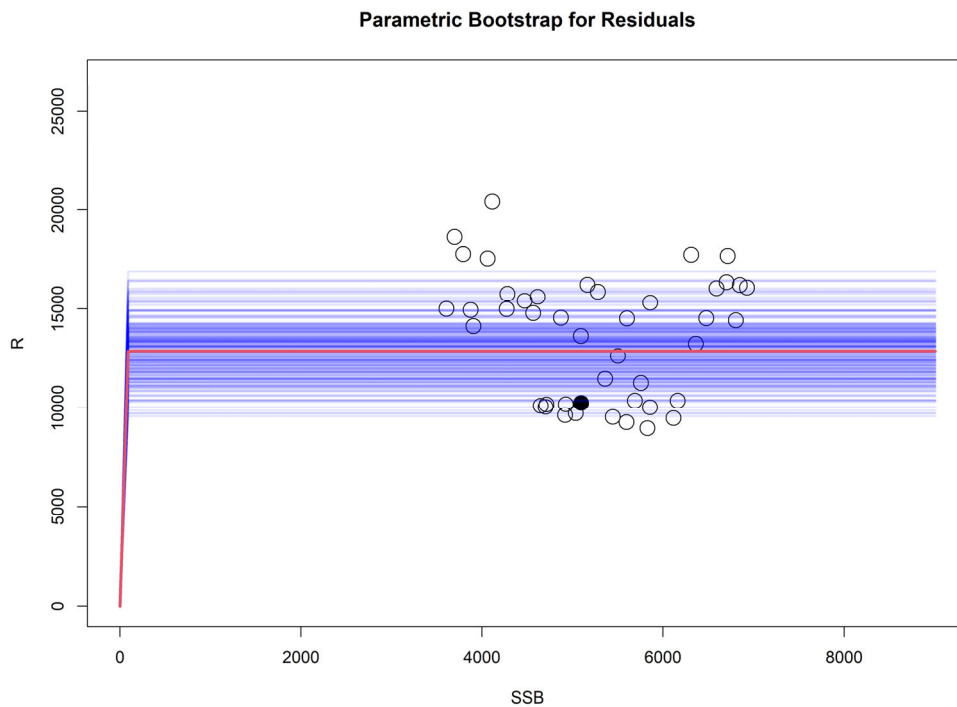
補足図 1-5b. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



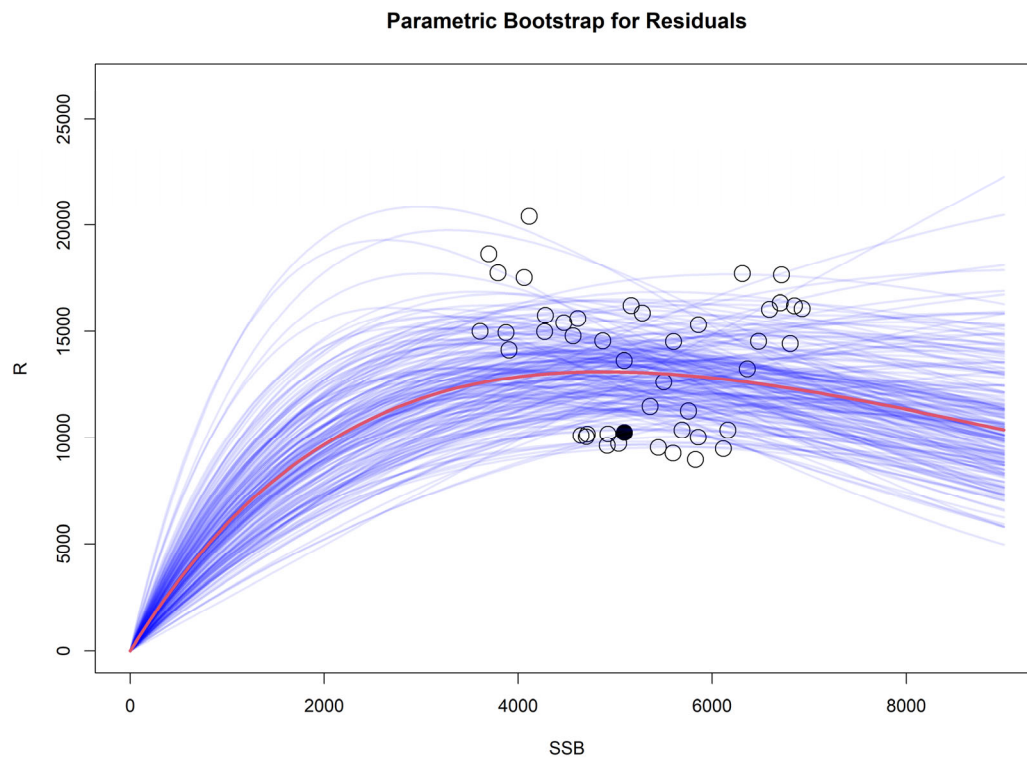
補足図 1-5c. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響



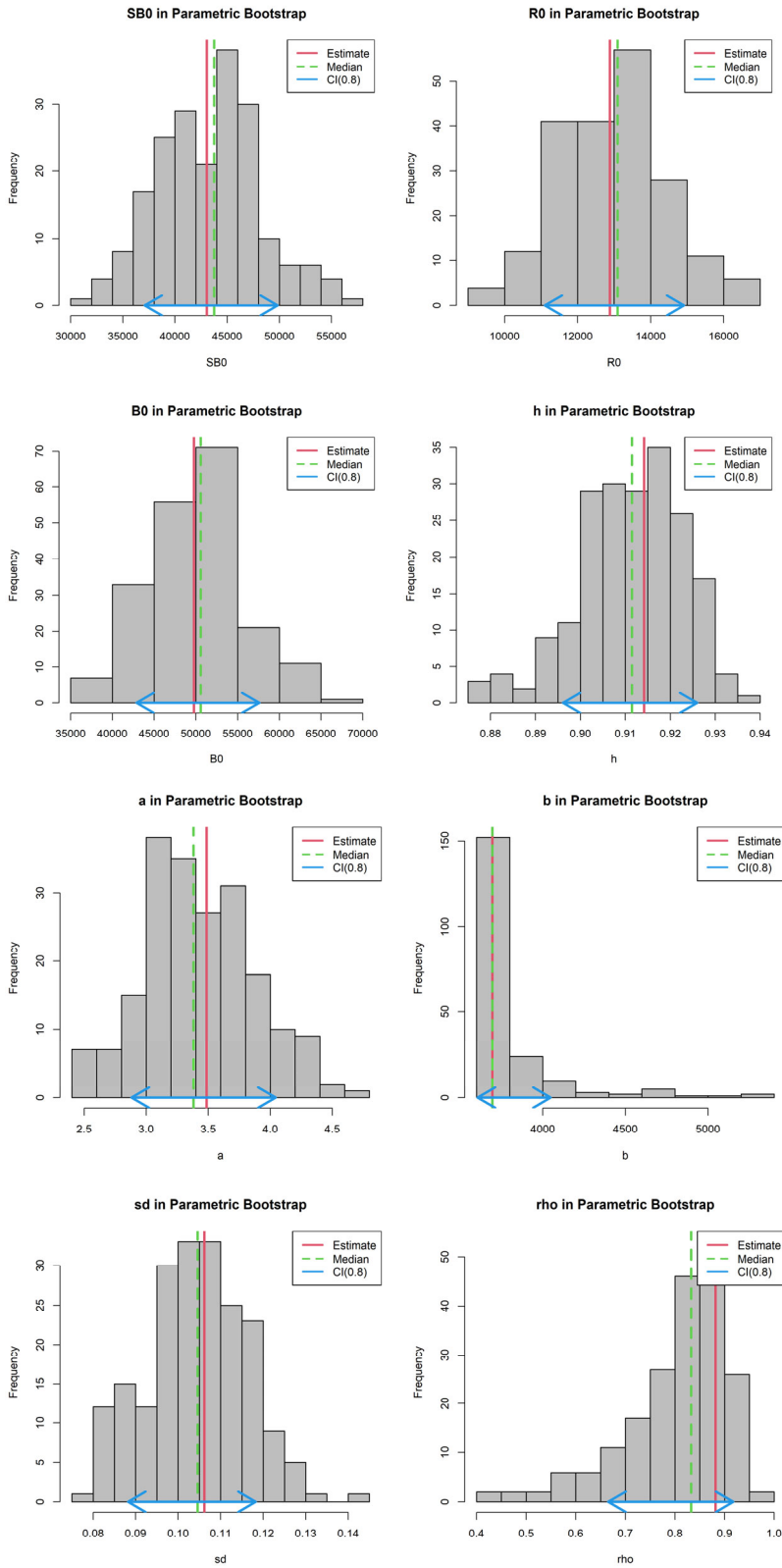
補足図 1-6a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果



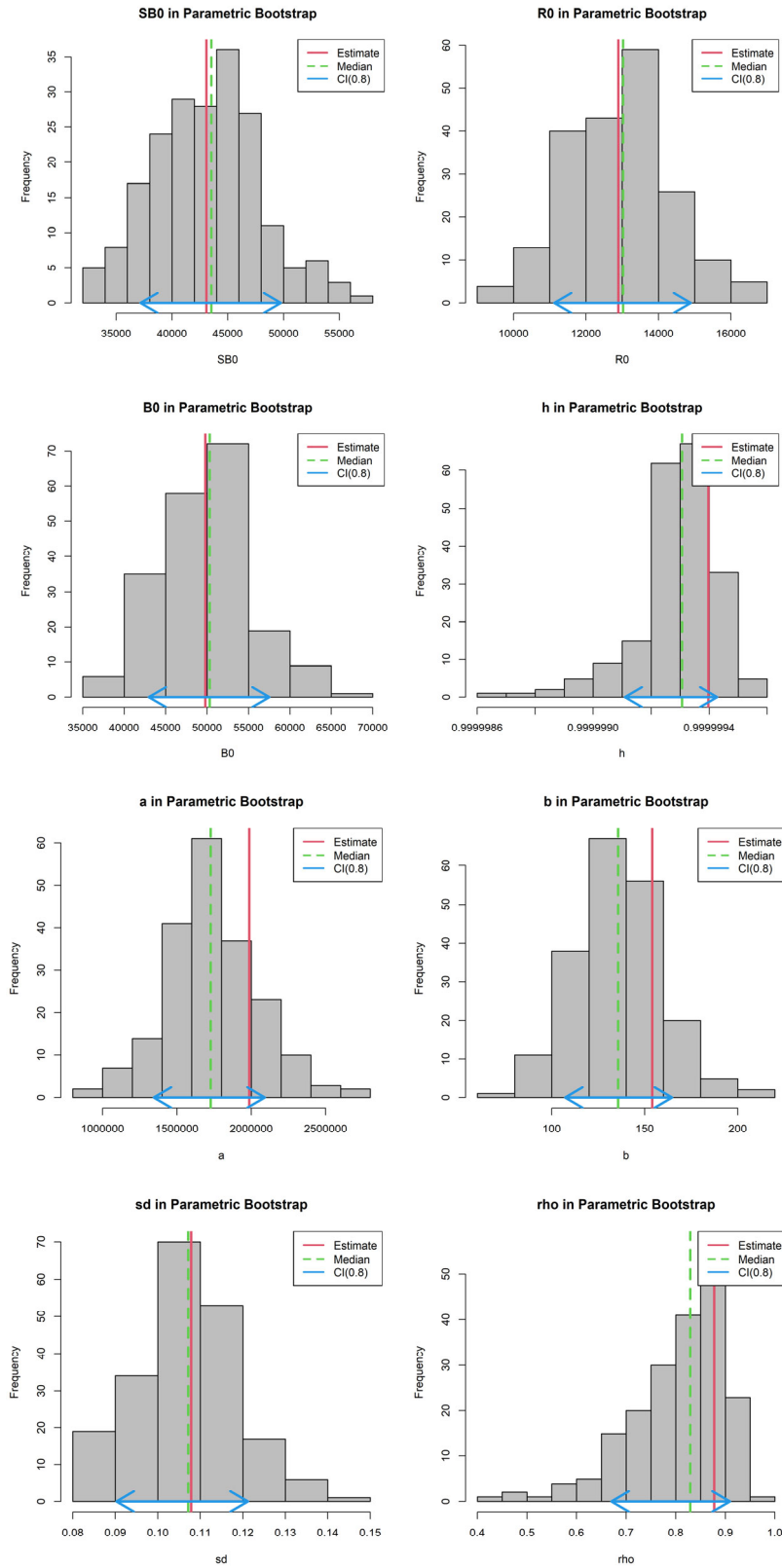
補足図 1-6b. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果



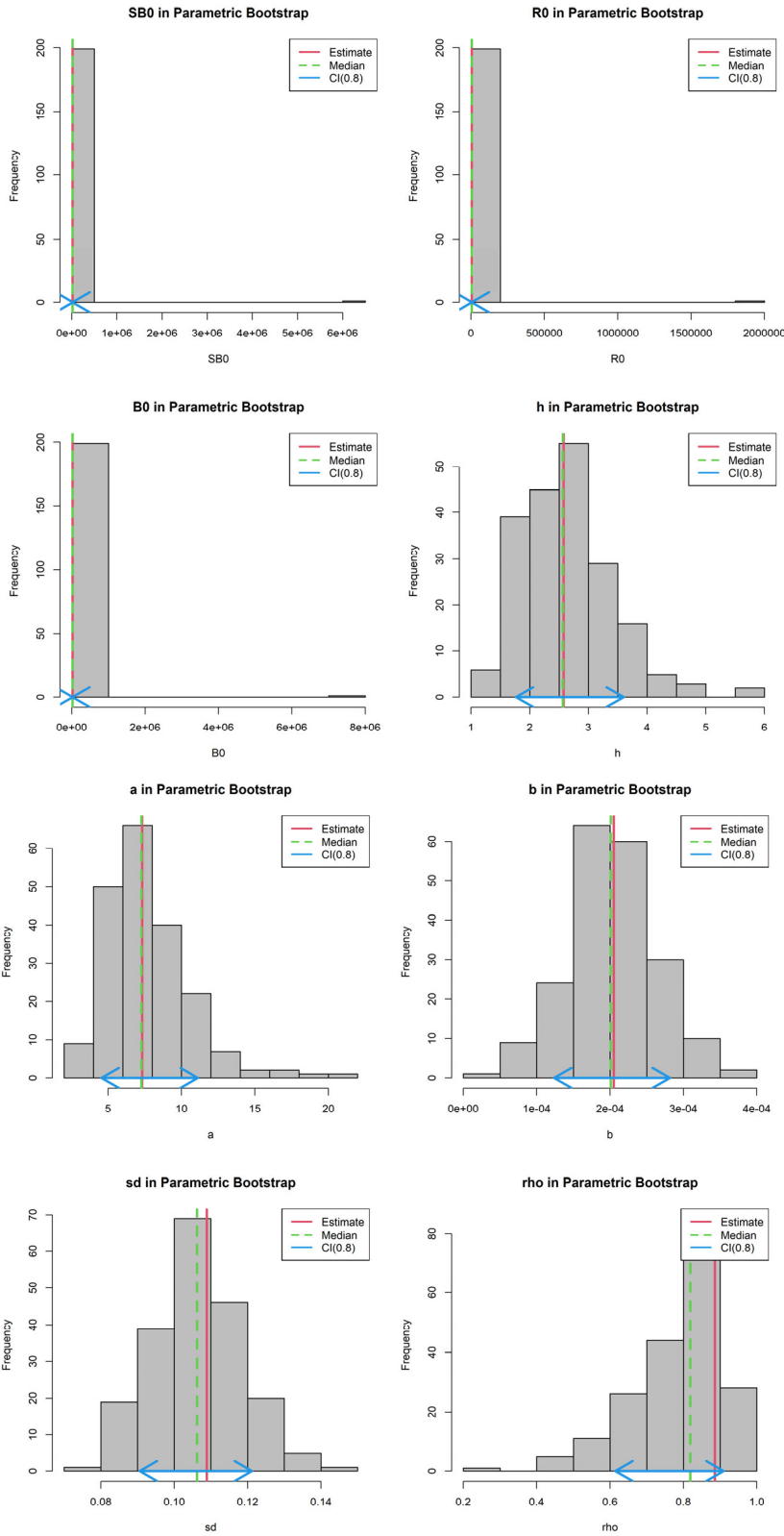
補足図 1-6c. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果  
赤線は元データでの推定値、青線はパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量 (kg)、縦軸は加入尾数 (尾) である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年 (2020 年) を示す。



補足図 1-7a. ホッカー・スティック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



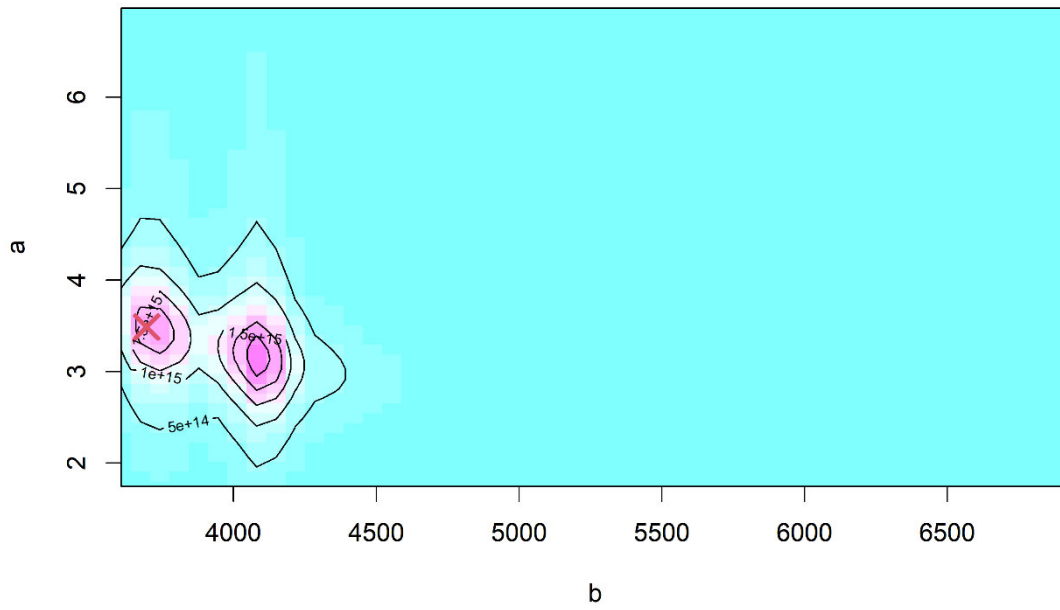
補足図 1-7b. ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析



補足図 1-7c. 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

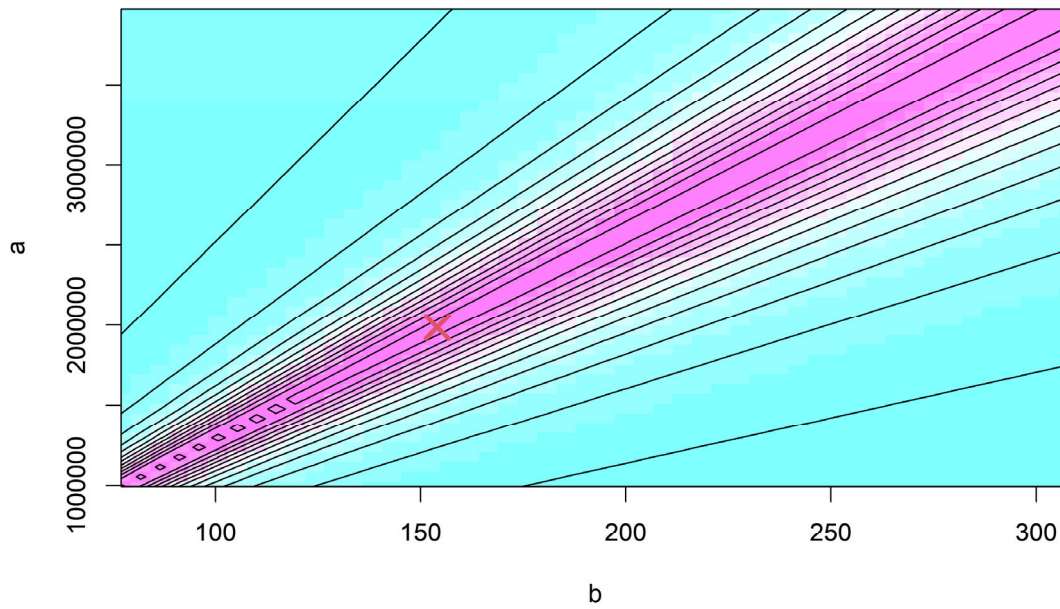
中央値（緑点線）、80%信頼区間（青線）、赤線はパラメータの点推定値である。

Profile Likelihood

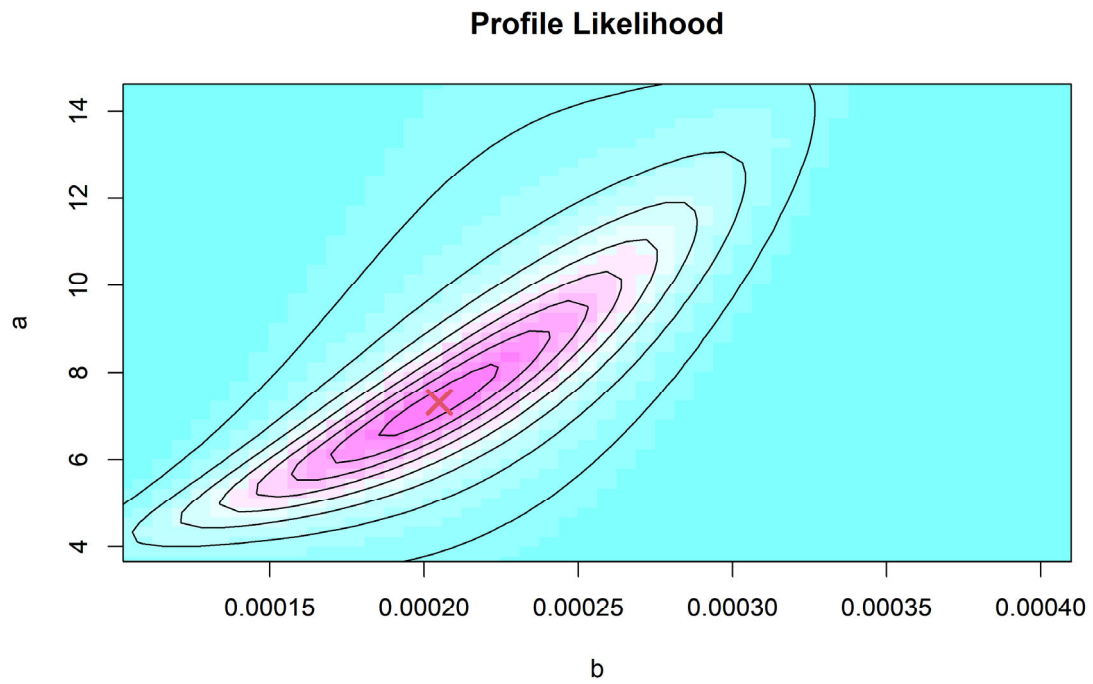


補足図 1-8a. ホッキー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の推定パラメータのプロファイル尤度

Profile Likelihood



補足図 1-8b. 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



補足図 1-8c. 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推定パラメータのプロファイル尤度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。

補足表 1-1. MSY 管理基準値案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.	$\rho$	R0	h	データ数
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	有	同時	3.49	3,695	0.106	0.881	12,885	0.92	44
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	有	同時	—*	—*	0.108	0.877	12,892	1.00	44
リッカー (RI)	最小二乗法	有	同時	<b>7.31</b>	<b>0.000205</b>	<b>0.109</b>	<b>0.885</b>	<b>4,667</b>	<b>2.58</b>	<b>44</b>
ホッケー・スティック (HS)	最小二乗法	無	-	3.69	3,606	0.231	0	13,315	0.92	44
ベバートン・ホルト (BH)	最小二乗法	無	-	—*	—*	0.231	0	13,315	1.00	44
リッカー (RI)	最小二乗法	無	-	8.26	0.000222	0.239	0	4,481	2.84	44
ホッケー・スティック (HS)	最小絶対値法	無	-	4.03	3,606	0.247	0	14,537	0.93	44
ベバートン・ホルト (BH)	最小絶対値法	無	-	—*	—*	0.247	0	14,539	1.00	44
リッカー (RI)	最小絶対値法	無	-	10.07	0.000248	0.248	0	4,249	3.33	44

推奨する再生産関係式を太字とした。S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標で、対数残差の標準偏差 (Standard Deviation、平均二乗誤差の平方根) である。加入残差の自己相関を考慮した場合は、自己相関パラメータ  $\rho$  についても示した。R0 は SB0 のときの平均加入尾数。h (スティーブネス) は再生産関係の密度補償効果の程度を示す指標であり、RI および BH の場合は 0.2SB0 のときの平均加入尾数を R0 で割った値、HS の場合は 1-SBhs/SB0 (SBhs は HS の折れ点) となる値である。

\* 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かったため「—」とした。

## 補足資料 2 再生産関係による MSY 管理基準値案の違い

## 1) 再生産関係による MSY 管理基準値案の違い

仮定する再生産関係による MSY 管理基準値案の違いを把握するため、当てはまりが良いと判断された 3 通りの再生産関係と最適化方法の組み合わせで、それぞれ MSY 管理基準値案を推定した。比較対象とした再生産関係と最適化方法の組み合わせは、いずれも最小二乗法を用い、HS 型再生産関係と RI 型再生産関係について自己相関を考慮した。なお、BH 型の場合は再生産パラメータが収束しないため、推定された管理基準値案は妥当ではないと判断し候補からは除外した。それぞれの再生産関係と最適化方法に基づき推定された MSY 管理基準値案を下表に示す。

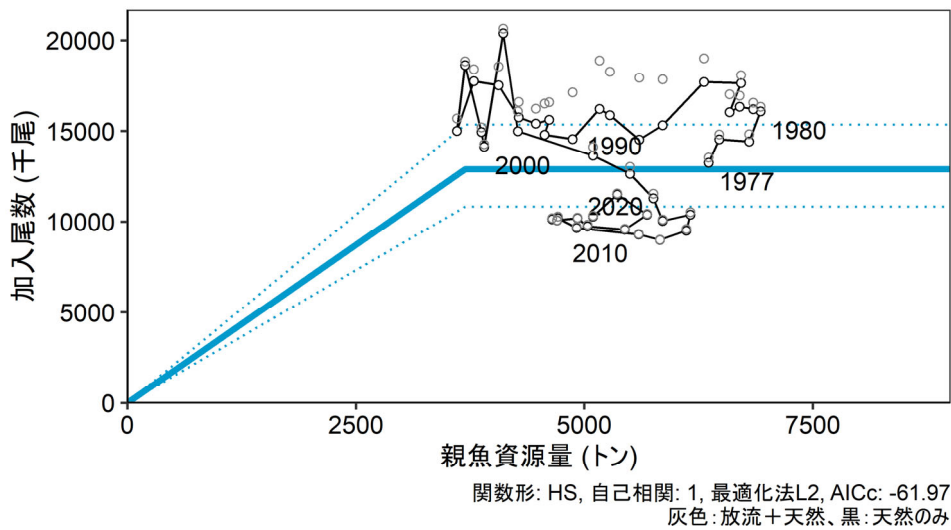
再生産関係式	最適化 法	自己 相関	推定 法	SBmsy (トン)	SBmin (トン)	SB0.1msy (トン)	MSY (トン)	Fmsy/ Umsy	F2015- 2019
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	有	同時	9,951	3,606	395	2,983	0.19	0.71
ベバートン・ ホルト (BH)	最小 二乗法	有	同時	9,956	3,606	42	2,985	0.19	0.71
リッカー (RI)	最小 二乗法	有	同時	<b>5,706</b>	<b>3,606</b>	<b>222</b>	<b>2,805</b>	<b>0.25</b>	<b>1.15</b>

いずれも最適化には最小二乗法を、自己相関の考慮には“同時推定法”を用いた。HS 型再生産関係を用いた場合 MSY 管理基準値案 (SBmsy、SBmin、および SB0.1msy) は非常に高い値となり、Fcurrent に対する Fmsy の比が低く、期待できる MSY もやや大きい。一方で、RI 型においては、各管理基準値案は比較的低い値となり、Fcurrent に対する Fmsy の比が高く、MSY がやや低くなった。

## 2) HS 型再生産関係式を仮定した場合の漁獲管理規則案と将来予測

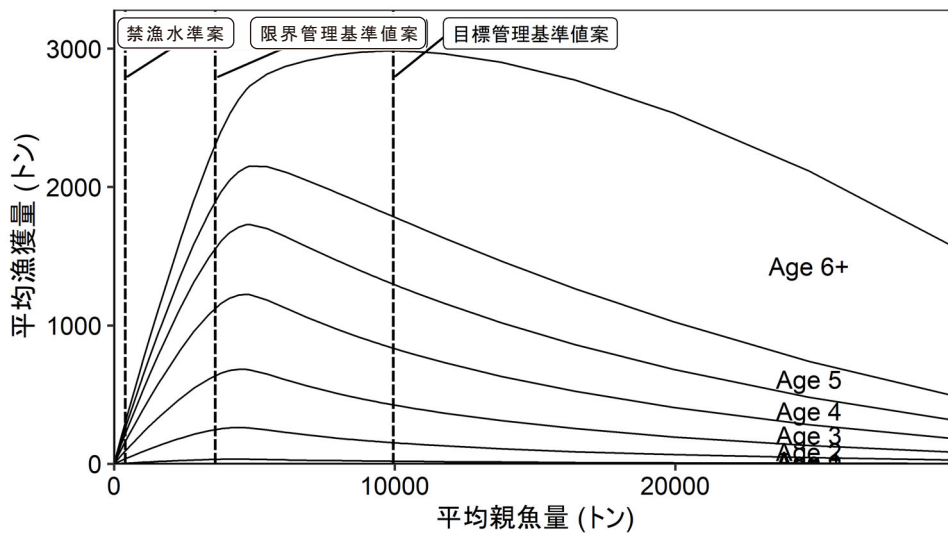
仮定する再生産関係による漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測の違いを把握するため、HS 型再生産関係式を仮定した場合の漁獲管理規則案と将来予測結果の概要を以下に示す。ここでもパラメータの推定においては最小二乗法を用い、自己相関は同時推定で考慮した。また将来における各年の放流個体加入尾数としては 2013~2019 年の平均と仮定し、この値を将来予測における人工種苗由来の加入として毎年の加入尾数に加算した。

この場合でも、親魚量は限界管理基準値案を上回って推移しており (補足図 2-3)、将来予測においてはさらに急増すると予測される (補足図 2-5)。親魚量は、漁獲管理規則案による漁獲開始から 10 年後の 2032 年漁期では  $\beta$  が 0.8 であれば 71% の確率で目標管理基準値案を上回ると予測されるが、この場合の 2022 年の漁獲量は 1,426 トンであり現状 (2020 年漁期: 2,227 トン) の約 64% である (補足表 2-1)。

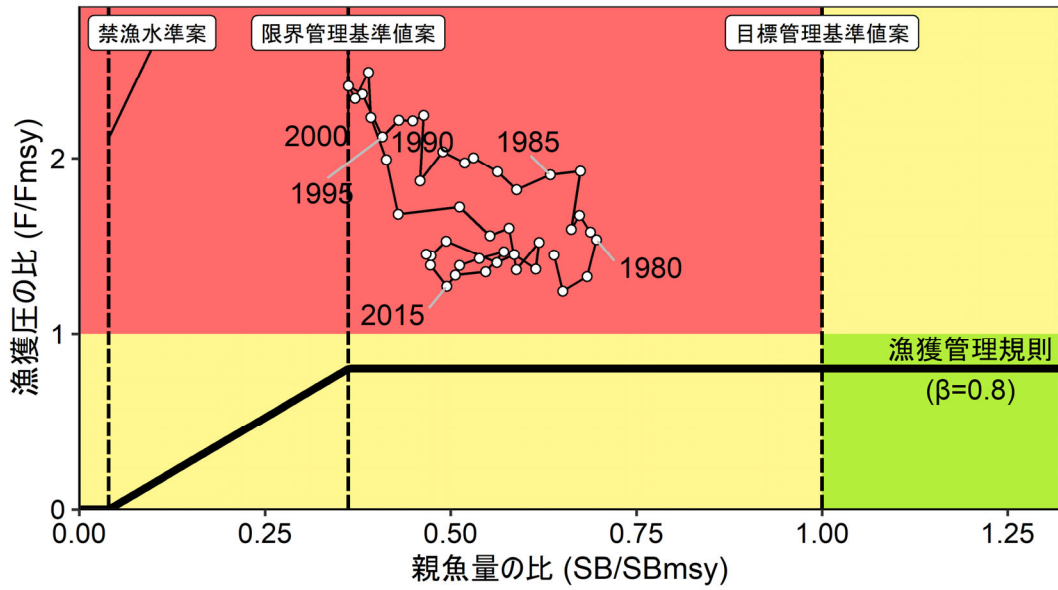


補足図 2-1. 再生産関係

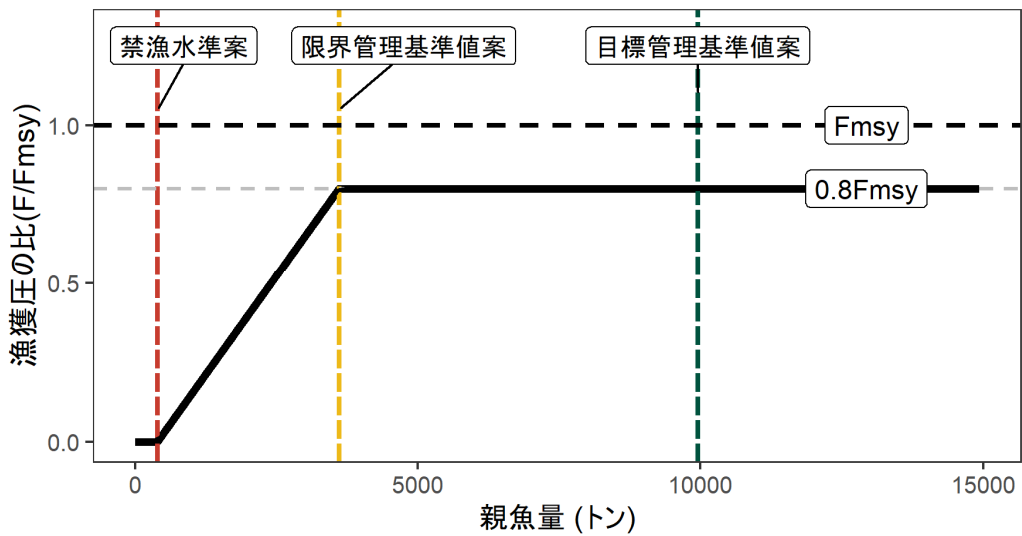
再生産関係には自己相関を考慮したホッカー・スティック (HS) 型再生産関係式を用い、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。丸印は分析に使用した 1977~2020 年の親魚量と加入量を示し、黒色は天然のみ、灰色は種苗放流を加味した加入量である。図中の数字は加入群の年級 (生まれ年) を示す。図中の再生産関係式 (青実線) の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。



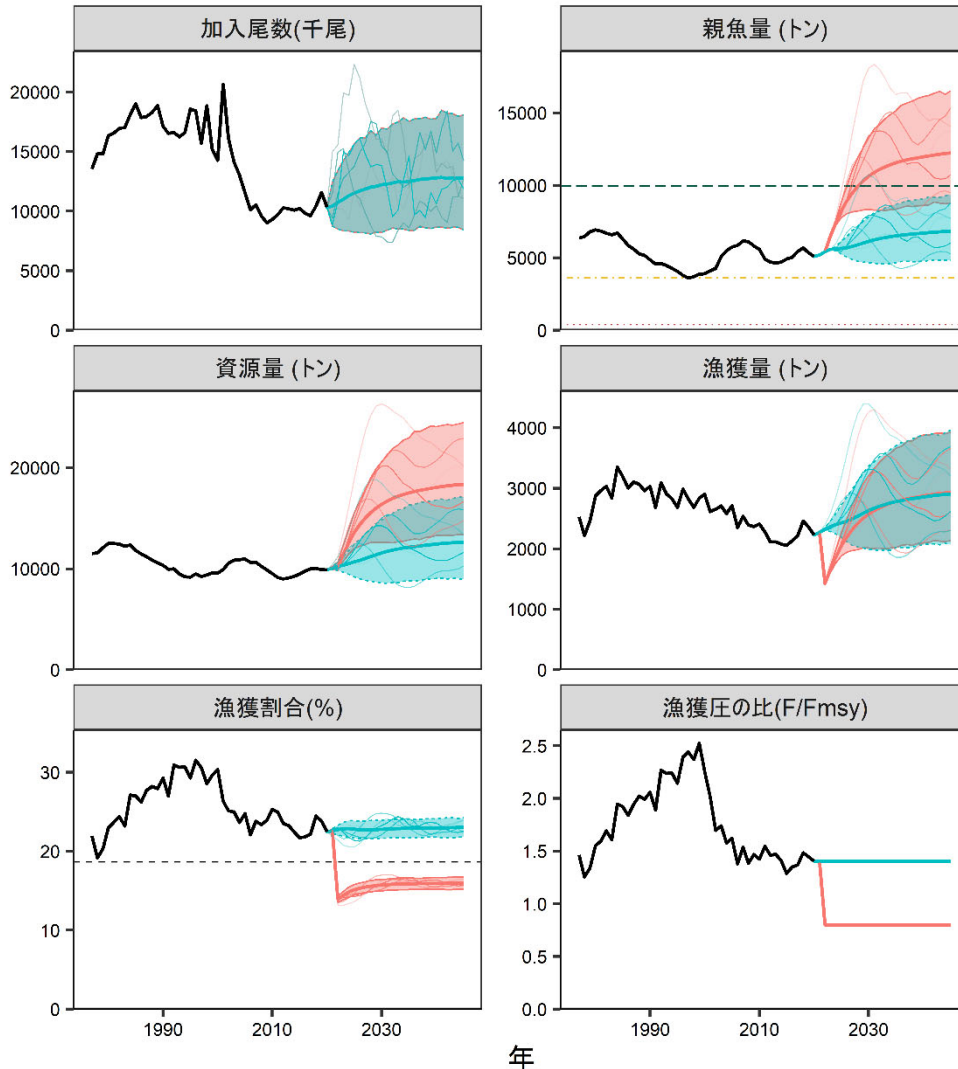
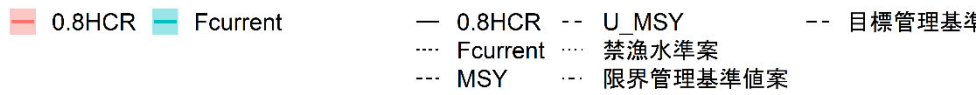
補足図 2-2. 再生産関係に自己相関を考慮したホッカー・スティック (HS) 型再生産関係式を用いた場合の管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係  
 将来予測シミュレーションにおける平衡状態での平均親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値と、それぞれの管理基準値案の位置関係を示す。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 42,819 トンである。



補足図 2-3. 再生産関係に自己相関を考慮したホッカー・スティック (HS) 型再生産関係式を用いた場合の神戸プロット  
 縦軸は漁獲圧  $F$  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  $SB_{msy}$ 、 $SB_{min}$ 、 $SB_{0.1msy}$  を用いた。



補足図 2-4. 再生産関係に自己相関を考慮したホッカー・スティック (HS) 型再生産関係式を用いた場合の漁獲管理規則 (HCR) 案  
 目標管理基準値案 ( $SB_{target}$ ) は HS 型再生産関係に基づき算出した  $SB_{msy}$  であり、限界管理基準値案は親魚量の過去最低値 ( $SB_{limit}$ )、禁漁水準案 ( $SB_{ban}$ ) には標準値を用いている。調整係数  $\beta$  には標準値である 0.8 を用いた。黒破線： $F_{msy}$ 、灰色破線： $0.8F_{msy}$ 、黒太線： $HCR$ 、赤破線：禁漁水準案、黄色破線：限界管理基準値案、緑色破線：目標管理基準値案を示す。



(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 2-5. 再生産関係に自己相関を考慮したホッカー・スティック (HS) 型再生産関係式を用いた場合の、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 Umsy を示す。2021 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、2022 年以降の漁獲は漁獲管理規則案 (補足図 2-4) に従うものとした。調整係数  $\beta$  には 0.8 を用いた。

補足表 2-1. 再生産関係に自己相関を考慮したホッケ-スティック (HS) 型再生産関係式を用いた場合の、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

$\beta$	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 が限界 管理基 準値案 を下回 る	親魚量 が禁漁 水準を 下回る	漁獲量 が半減 する
		2027 年	2032 年	2022 年	2027 年	2032 年			
1	27%	7,993	9,072	1,739	2,440	2,737	0%	0%	0%
0.9	49%	8,696	10,015	1,584	2,390	2,718	0%	0%	0%
0.8	71%	9,479	11,104	1,426	2,319	2,680	0%	0%	0%
0.7	90%	10,350	12,368	1,263	2,221	2,615	0%	0%	0%
0.6	98%	11,321	13,845	1,096	2,089	2,515	0%	0%	0%
0.5	100%	12,405	15,580	925	1,916	2,366	0%	0%	0%
0.4	100%	13,618	17,633	749	1,691	2,152	0%	0%	0%
0.3	100%	14,976	20,079	569	1,403	1,848	0%	0%	0%
0.2	100%	16,500	23,012	384	1,037	1,421	0%	0%	0%
0.1	100%	18,212	26,553	195	577	826	0%	0%	0%
0	100%	20,137	30,859	0	0	0	0%	0%	0%

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 2022 年の値と、5 年および 10 年管理を行った後の値 (2027 年および 2032 年) を示した。

### 補足資料3 人工種苗由来の加入尾数を変化させた場合の将来予測

将来予測において仮定する人工種苗由来の加入尾数を変化させた場合の予測結果をここで示す。仮定した人工種苗由来の加入尾数は、放流なし（0尾）、過去全年平均（1977～2019年平均、67.8万尾）、および過去最大値（1987年、340.8万尾）である。

ここで、将来予測に用いた人工種苗由来の加入尾数は、仮定した年限における人工種苗由来の加入尾数の平均値とした。シミュレーションにおいては、選択された再生産関係式（自己相関を考慮したRI型）を用いて天然由来の加入尾数を推定し、これに仮定する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。

それぞれの場合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を補足表3-1～3-18に示す。将来予測シミュレーションの結果、人工種苗由来の加入尾数が多いほど将来の親魚量、漁獲量は多くなった。ただし、 $\beta=0.8$ で漁獲した場合、管理開始10年後の目標管理基準値案の達成確率は現状の人工種苗由来の加入（4.7万尾）では83%であり（表4）、種苗放流が行われなかった場合（82%、補足表3-1）とほぼ変わらなかった。なお、過去最大の人工種苗由来の加入（340.8万尾）があった場合、 $\beta=0.8$ で漁獲した場合では管理開始10年後の目標管理基準値案の達成確率は100%となり、 $\beta=1$ で漁獲した場合でも88%の達成確率になった。

以上の様に、各 $\beta$ 値における管理目標の達成確率は種苗放流の状況によって変化し、現状では影響は小さいものの、過去最大の人工種苗由来の加入が今後も継続した場合には目標達成率に大きな影響を与えることが想定される。

補足表 3-1. 人工種苗由来の加入がないと仮定した場合に、将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	0	0	0	0	0	0	4	10	17	23	26	31	34	46	48
0.9	0	0	0	0	2	20	30	39	45	49	53	58	60	68	69
0.8	0	0	0	100	100	91	84	80	79	79	80	82	82	87	87
0.7	0	0	0	100	100	100	100	98	97	96	96	95	94	96	97
0.6	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	100
0.5	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
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

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 (Fcurrent) で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-2. 人工種苗由来の加入がないと仮定した場合に、将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98	98	98	98	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

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 (Fcurrent) で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-3. 人工種苗由来の加入がないと仮定した場合に、将来の親魚量が禁漁水準値案を上回る確率 (%)

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 (Fcurrent) で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-4. 人工種苗由来の加入がないと仮定した場合の将来の平均親魚量の推移(トン)

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	5,093	5,199	5,425	5,305	5,108	4,985	4,921	4,947	5,024	5,116	5,205	5,283	5,347	5,636	5,686
0.9	5,093	5,199	5,425	5,523	5,497	5,496	5,502	5,566	5,665	5,770	5,869	5,951	6,014	6,276	6,323
0.8	5,093	5,199	5,425	5,750	5,918	6,068	6,168	6,282	6,401	6,508	6,600	6,672	6,724	6,961	7,000
0.7	5,093	5,199	5,425	5,988	6,375	6,709	6,932	7,113	7,253	7,345	7,407	7,444	7,467	7,694	7,725
0.6	5,093	5,199	5,425	6,236	6,871	7,428	7,813	8,085	8,248	8,309	8,308	8,274	8,237	8,489	8,505
0.5	5,093	5,199	5,425	6,494	7,409	8,235	8,829	9,227	9,424	9,435	9,332	9,179	9,039	9,370	9,360
0.4	5,093	5,199	5,425	6,765	7,993	9,143	10,005	10,577	10,830	10,779	10,532	10,201	9,898	10,385	10,317
0.3	5,093	5,199	5,425	7,047	8,628	10,165	11,370	12,182	12,531	12,420	11,995	11,425	10,883	11,614	11,401
0.2	5,093	5,199	5,425	7,341	9,317	11,316	12,959	14,102	14,614	14,472	13,857	12,998	12,142	13,144	12,575
0.1	5,093	5,199	5,425	7,649	10,067	12,616	14,812	16,410	17,194	17,096	16,323	15,168	13,952	14,950	13,699
0	5,093	5,199	5,425	7,971	10,883	14,083	16,979	19,200	20,422	20,513	19,692	18,318	16,777	16,627	14,859

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2022 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

※ 黄色網掛けは目標管理基準値案を下回ることを示す。

補足表 3-5. 人工種苗由来の加入がないと仮定した場合の、将来の平均漁獲量の推移(トン)

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	2,227	2,273	2,598	2,530	2,481	2,453	2,445	2,466	2,502	2,543	2,581	2,613	2,640	2,773	2,788
0.9	2,227	2,273	2,382	2,400	2,415	2,429	2,444	2,476	2,517	2,558	2,594	2,624	2,647	2,758	2,769
0.8	2,227	2,273	2,158	2,250	2,325	2,382	2,421	2,463	2,504	2,540	2,570	2,593	2,610	2,701	2,709
0.7	2,227	2,273	1,925	2,078	2,207	2,305	2,369	2,421	2,460	2,486	2,504	2,515	2,522	2,600	2,605
0.6	2,227	2,273	1,683	1,880	2,054	2,191	2,280	2,342	2,378	2,391	2,390	2,384	2,378	2,452	2,453
0.5	2,227	2,273	1,430	1,656	1,863	2,031	2,143	2,216	2,249	2,247	2,225	2,197	2,173	2,253	2,250
0.4	2,227	2,273	1,167	1,400	1,623	1,813	1,944	2,026	2,058	2,045	2,003	1,951	1,906	1,998	1,988
0.3	2,227	2,273	893	1,111	1,329	1,521	1,661	1,751	1,785	1,765	1,710	1,640	1,576	1,679	1,655
0.2	2,227	2,273	607	784	968	1,138	1,269	1,356	1,393	1,376	1,321	1,248	1,177	1,272	1,227
0.1	2,227	2,273	310	415	530	641	731	795	826	820	785	734	681	730	677
0	2,227	2,273	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  $\beta$  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 (Fcurrent) で漁獲し、2022 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-6. 人工種苗由来の加入がないと仮定した場合の、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

$\beta$	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 が限界 管理基 準値案 を下回 る	親魚量 が禁漁 水準を 下回る	漁獲量 が半減 する
		2027 年	2032 年	2022 年	2027 年	2032 年			
1	34%	4,947	5,347	2,598	2,466	2,640	3%	0%	0%
0.9	60%	5,566	6,014	2,382	2,476	2,647	0.3%	0%	0%
0.8	82%	6,282	6,724	2,158	2,463	2,610	0%	0%	0%
0.7	94%	7,113	7,467	1,925	2,421	2,522	0%	0%	0%
0.6	99%	8,085	8,237	1,683	2,342	2,378	0%	0%	0%
0.5	100%	9,227	9,039	1,430	2,216	2,173	0%	0%	0%
0.4	100%	10,577	9,898	1,167	2,026	1,906	0%	0%	0%
0.3	100%	12,182	10,883	893	1,751	1,576	0%	0%	0%
0.2	100%	14,102	12,142	607	1,356	1,177	0%	0%	0%
0.1	100%	16,410	13,952	310	795	681	0%	0%	0%
0	100%	19,200	16,777	0	0	0	0%	0%	0%

漁獲管理規則案での調整係数 $\beta$ 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2022年の値と、5年および10年管理を行った後の値(2027年および2032年)を示した。

補足表 3-7. 人工種苗由来の加入尾数を過去年平均（67.8 万尾）と仮定した場合に、将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率（%）

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	0	0	0	0	0	1	9	18	28	34	38	41	45	55	58
0.9	0	0	0	0	6	38	51	56	61	64	67	69	70	78	78
0.8	0	0	0	100	100	98	95	92	90	90	90	89	90	94	94
0.7	0	0	0	100	100	100	100	100	100	99	99	98	98	98	99
0.6	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
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

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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（ $F_{current}$ ）で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-8. 人工種苗由来の加入尾数を過去年平均（67.8 万尾）と仮定した場合に、将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率（%）

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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（ $F_{current}$ ）で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-9. 人工種苗由来の加入尾数を過去年平均（67.8 万尾）と仮定した場合に、将来の親魚量が禁漁水準値案を上回る確率（%）

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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（ $F_{current}$ ）で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-10. 人工種苗由来の加入尾数を過去年平均（67.8 万尾）と仮定した場合の将来の平均親魚量の推移（トン）

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	5,093	5,199	5,425	5,305	5,162	5,126	5,127	5,203	5,304	5,407	5,500	5,578	5,638	5,905	5,951
0.9	5,093	5,199	5,425	5,523	5,553	5,646	5,726	5,849	5,975	6,089	6,186	6,261	6,316	6,555	6,596
0.8	5,093	5,199	5,425	5,750	5,976	6,228	6,410	6,593	6,744	6,858	6,942	6,998	7,034	7,251	7,285
0.7	5,093	5,199	5,425	5,988	6,435	6,879	7,195	7,458	7,635	7,734	7,780	7,791	7,787	8,000	8,024
0.6	5,093	5,199	5,425	6,236	6,933	7,609	8,098	8,467	8,677	8,744	8,721	8,649	8,575	8,818	8,826
0.5	5,093	5,199	5,425	6,494	7,474	8,428	9,138	9,651	9,907	9,928	9,799	9,598	9,407	9,734	9,709
0.4	5,093	5,199	5,425	6,765	8,061	9,348	10,342	11,049	11,376	11,344	11,072	10,686	10,320	10,796	10,701
0.3	5,093	5,199	5,425	7,047	8,698	10,383	11,736	12,709	13,153	13,076	12,634	12,009	11,399	12,081	11,818
0.2	5,093	5,199	5,425	7,341	9,390	11,549	13,357	14,692	15,326	15,242	14,629	13,729	12,810	13,651	13,018
0.1	5,093	5,199	5,425	7,649	10,143	12,864	15,246	17,071	18,014	18,009	17,271	16,107	14,854	15,423	14,213
0	5,093	5,199	5,425	7,971	10,962	14,347	17,452	19,942	21,370	21,603	20,871	19,541	18,018	16,965	15,694

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2022 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。黄色網掛けは目標管理基準値案を下回ることを示す。

補足表 3-11. 人工種苗由来の加入尾数を過去年平均（67.8 万尾）と仮定した場合の、将来の平均漁獲量の推移（トン）

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	2,227	2,274	2,610	2,563	2,542	2,542	2,557	2,597	2,643	2,687	2,726	2,758	2,782	2,906	2,919
0.9	2,227	2,274	2,394	2,431	2,472	2,513	2,552	2,604	2,652	2,695	2,731	2,758	2,778	2,880	2,889
0.8	2,227	2,274	2,169	2,278	2,378	2,461	2,524	2,586	2,635	2,672	2,698	2,716	2,728	2,813	2,819
0.7	2,227	2,274	1,934	2,102	2,254	2,378	2,466	2,539	2,585	2,611	2,623	2,627	2,628	2,703	2,706
0.6	2,227	2,274	1,690	1,902	2,097	2,258	2,370	2,453	2,497	2,510	2,503	2,487	2,473	2,546	2,545
0.5	2,227	2,274	1,436	1,674	1,899	2,090	2,225	2,318	2,360	2,359	2,331	2,292	2,259	2,339	2,333
0.4	2,227	2,274	1,172	1,415	1,654	1,862	2,014	2,118	2,160	2,148	2,100	2,039	1,985	2,076	2,062
0.3	2,227	2,274	897	1,122	1,353	1,561	1,719	1,828	1,872	1,856	1,798	1,720	1,648	1,746	1,716
0.2	2,227	2,274	610	792	985	1,166	1,311	1,415	1,461	1,449	1,394	1,317	1,240	1,322	1,271
0.1	2,227	2,274	311	419	538	656	754	829	867	865	831	779	724	755	703
0	2,227	2,274	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  $\beta$  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 (Fcurrent) で漁獲し、2022 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-12. 人工種苗由来の加入尾数を過去年平均（67.8 万尾）と仮定した場合の、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

$\beta$	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 が限界 管理基 準値案 を下回 る	親魚量 が禁漁 水準を 下回る	漁獲量 が半減 する
		2027 年	2032 年	2022 年	2027 年	2032 年			
1	45%	5,203	5,638	2,610	2,597	2,782	0.8%	0%	0%
0.9	70%	5,849	6,316	2,394	2,604	2,778	0.2%	0%	0%
0.8	90%	6,593	7,034	2,169	2,586	2,728	0%	0%	0%
0.7	98%	7,458	7,787	1,934	2,539	2,628	0%	0%	0%
0.6	100%	8,467	8,575	1,690	2,453	2,473	0%	0%	0%
0.5	100%	9,651	9,407	1,436	2,318	2,259	0%	0%	0%
0.4	100%	11,049	10,320	1,172	2,118	1,985	0%	0%	0%
0.3	100%	12,709	11,399	897	1,828	1,648	0%	0%	0%
0.2	100%	14,692	12,810	610	1,415	1,240	0%	0%	0%
0.1	100%	17,071	14,854	311	829	724	0%	0%	0%
0	100%	19,942	18,018	0	0	0	0%	0%	0%

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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 2022 年の値と、5年および 10 年管理を行った後の値（2027 年および 2032 年）を示した。

補足表 3-13. 人工種苗由来の加入尾数を過去最大（340.8 万尾）と仮定した場合に、将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率（%）

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	0	0	0	0	0	47	70	82	85	86	87	88	88	92	92
0.9	0	0	0	0	75	99	99	99	99	99	99	98	98	98	99
0.8	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
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

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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（Fcurrent）で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-14. 人工種苗由来の加入尾数を過去最大（340.8 万尾）と仮定した場合に、将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率（%）

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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（Fcurrent）で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-15. 人工種苗由来の加入尾数を過去最大（340.8 万尾）と仮定した場合に、将来の親魚量が禁漁水準値案を上回る確率（%）

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  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（Fcurrent）で漁獲し、2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-16. 人工種苗由来の加入尾数を過去最大（340.8 万尾）と仮定した場合の将来の平均親魚量の推移（トン）

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	5,093	5,199	5,425	5,305	5,377	5,697	5,959	6,236	6,427	6,556	6,639	6,689	6,717	6,910	6,942
0.9	5,093	5,199	5,425	5,523	5,776	6,253	6,626	6,986	7,214	7,347	7,413	7,432	7,431	7,605	7,631
0.8	5,093	5,199	5,425	5,750	6,209	6,873	7,386	7,848	8,120	8,247	8,275	8,242	8,193	8,360	8,378
0.7	5,093	5,199	5,425	5,988	6,677	7,565	8,253	8,845	9,170	9,280	9,247	9,133	9,009	9,190	9,193
0.6	5,093	5,199	5,425	6,236	7,185	8,339	9,246	10,004	10,397	10,483	10,363	10,131	9,897	10,119	10,094
0.5	5,093	5,199	5,425	6,494	7,735	9,205	10,385	11,359	11,846	11,906	11,674	11,285	10,898	11,185	11,104
0.4	5,093	5,199	5,425	6,765	8,332	10,175	11,697	12,951	13,575	13,621	13,261	12,678	12,090	12,436	12,245
0.3	5,093	5,199	5,425	7,047	8,980	11,263	13,210	14,831	15,659	15,727	15,242	14,446	13,615	13,914	13,527
0.2	5,093	5,199	5,425	7,341	9,684	12,486	14,962	17,065	18,197	18,360	17,793	16,796	15,712	15,588	14,979
0.1	5,093	5,199	5,425	7,649	10,448	13,861	16,993	19,731	21,319	21,708	21,162	20,041	18,754	17,323	16,835
0	5,093	5,199	5,425	7,971	11,279	15,410	19,356	22,929	25,191	26,022	25,696	24,631	23,301	19,302	19,698

漁獲管理規則案での調整係数  $\beta$  を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年現状の漁獲圧 (Fcurrent) で漁獲し、2022 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。黄色網掛けは目標管理基準値案を下回ることを示す。

補足表 3-17. 人工種苗由来の加入尾数を過去最大（340.8 万尾）と仮定した場合の、将来の平均漁獲量の推移（トン）

$\beta$	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1.0	2,227	2,280	2,661	2,697	2,788	2,897	3,008	3,119	3,192	3,241	3,272	3,292	3,304	3,399	3,406
0.9	2,227	2,280	2,439	2,554	2,702	2,851	2,987	3,111	3,186	3,228	3,249	3,256	3,258	3,338	3,343
0.8	2,227	2,280	2,209	2,389	2,590	2,778	2,939	3,077	3,152	3,184	3,189	3,180	3,168	3,240	3,242
0.7	2,227	2,280	1,970	2,202	2,447	2,671	2,857	3,009	3,084	3,104	3,090	3,060	3,031	3,101	3,100
0.6	2,227	2,280	1,721	1,989	2,269	2,524	2,733	2,898	2,973	2,981	2,947	2,894	2,844	2,917	2,911
0.5	2,227	2,280	1,462	1,748	2,048	2,325	2,552	2,730	2,808	2,807	2,754	2,678	2,606	2,683	2,669
0.4	2,227	2,280	1,193	1,476	1,778	2,062	2,299	2,486	2,570	2,565	2,500	2,405	2,314	2,389	2,360
0.3	2,227	2,280	913	1,169	1,449	1,720	1,952	2,139	2,228	2,227	2,161	2,061	1,959	2,012	1,966
0.2	2,227	2,280	621	823	1,051	1,280	1,481	1,650	1,738	1,747	1,696	1,608	1,515	1,515	1,464
0.1	2,227	2,280	317	435	573	716	848	962	1,030	1,046	1,022	971	913	853	831
0	2,227	2,280	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  $\beta$  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 (Fcurrent) で漁獲し、2022 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

補足表 3-18. 人工種苗由来の加入尾数を過去最大（340.8万尾）と仮定した場合の、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

$\beta$	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 が限界 管理基 準値案 を下回 る	親魚量 が禁漁 水準を 下回る	漁獲量 が半減 する
		2027 年	2032 年	2022 年	2027 年	2032 年			
1	88%	6,236	6,717	2,661	3,119	3,304	0%	0%	0%
0.9	98%	6,986	7,431	2,439	3,111	3,258	0%	0%	0%
0.8	100%	7,848	8,193	2,209	3,077	3,168	0%	0%	0%
0.7	100%	8,845	9,009	1,970	3,009	3,031	0%	0%	0%
0.6	100%	10,004	9,897	1,721	2,898	2,844	0%	0%	0%
0.5	100%	11,359	10,898	1,462	2,730	2,606	0%	0%	0%
0.4	100%	12,951	12,090	1,193	2,486	2,314	0%	0%	0%
0.3	100%	14,831	13,615	913	2,139	1,959	0%	0%	0%
0.2	100%	17,065	15,712	621	1,650	1,515	0%	0%	0%
0.1	100%	19,731	18,754	317	962	913	0%	0%	0%
0	100%	22,929	23,301	0	0	0	0%	0%	0%

漁獲管理規則案での調整係数 $\beta$ 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2022年の値と、5年および10年管理を行った後の値（2027年および2032年）を示した。