

令和 2（2020）年度マイワシ対馬暖流系群の 管理基準値等に関する研究機関会議報告書

担当水研： 西海区水産研究所

要 約

令和元年度本系群の資源評価データを用いて、再生産関係および管理基準値案等を検討した。本系群の再生産関係は年代によって大きく変化することから、高加入期（1976～1987年）を除き、近年の加入状況を反映すると考えられる通常加入期（1960～1975年および1988～2017年）の再生産関係式を候補とし、資源評価により推定された親魚量と加入量の情報に対し残差の自己相関を考慮しないホッケ－・スティック（HS）型の再生産関係を適用する。HS型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。目標管理基準値として、再生産関係にもとづき算出される最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量であるSBmsy（990千トン）を、限界管理基準値として、MSYの60%の漁獲が得られる親魚量であるSB0.6msy（454千トン）を提案する。禁漁水準として、MSYの10%の漁獲が得られる親魚量であるSB0.1msy（63千トン）を提案する。MSYを実現する漁獲圧（Fmsy）は、現状（2014～2018年の平均の漁獲係数）の1.01倍である。

親魚量 (千トン)	現状の親魚量 (2018年) に対する比	初期親魚量 (2,553千 トン) に対 する比	通常加入期の 状況にて 期待できる 平均漁獲量 (千トン)	現状の漁獲 圧 (2014～ 2018年) に対する比*	説 明
目標管理基準値案					
990	3.95	0.39	316	1.01	最大持続生産量を実現 する親魚量（SBmsy）
限界管理基準値案					
454	1.81	0.18	190	1.34	MSYの60%の漁獲が得 られる親魚量 (SB0.6msy)
禁漁水準案					
63	0.25	0.02	32	1.59	MSYの10%の漁獲が得 られる親魚量 (SB0.1msy)
2018年					
251	1.00	0.10	71**		2018年の値

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

** 2018年の実際の漁獲量を示す。

1. 再生産関係

1-1) 使用するデータセット

本系群の再生産関係式の設定は「令和 2（2020）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2020-ABCWG01-01）」に従い、以下のデータセットを使用して実施した。解析には R パッケージ frasyr（v2.01）を用いた。frasyr で用いている式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和 2 年度研究機関会議版）（FRA2020-ABCWG01-02）」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
資源量・親魚量	令和元年度 我が国周辺水域の漁業資源評価（水産庁・水産機構）

1-2) 再生産関係の検討

本系群の最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量の算出および将来予測計算に使用する再生産関係は、「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和 2 年度研究機関会議版）（FRA-SA2020-ABCWG01-02）」に従い、ホッケ・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）型再生産関係を検討した（補足資料 1）。最適化方法は、最小二乗法および最小絶対値法を候補とした。

使用するデータは、資源評価で推定された加入量および親魚量のうち、加入量の不確実性が高いと考えられる直近 2018 年を除く 1960～2017 年を使用した。「シミュレーションを用いた自己相関係数の同時推定手法の推定バイアス評価（FRA-SA2020-BRP01-6）」にもとづき、最小二乗法では再生産関係式のパラメータと自己相関パラメータを同時に推定する手法を、最小絶対値法では残差に自己相関を考慮した二段階推定法を用いて、自己相関を考慮した（補足資料 1）。再生産関係式および最適化方法によらず、残差に自己相関を考慮しないモデルよりも、残差に自己相関を考慮したモデルの方が補正赤池情報量規準（AICc）が低かった（補足表 1-1）。再生産関係の検討候補を表 1 に示す。

本系群は歴史的に数十年規模の資源変動を示し、その資源変動は海洋生態系におけるレジームシフトに対する応答と認識されてきた（Ohshimo et al. 2009）。本系群の資源量は 1960 年代から 1970 年代初頭において低かったが、1970 年代中盤以後、急激に増加傾向を示し、1980 年代後半に最大値を示した後、1990 年代には急激に減少した。この資源変動は、冬季のモンスーン指標に起因する海洋環境の変化の影響を受けたと考えられている（Ohshimo et al. 2009）。資源量や海洋環境の変化は、個体の成長や成熟、加入成功に影響し、再生産関係も変化する可能性が考えられる。そこで、1960～2017 年の期間を加入量に基づいた二種類または三種類の様態に分けられると仮定して、該当する加入様態と切り替え時期の組み合わせを検討した。ここで、加入様態の変化を考慮することは自己相関の一つの扱い方であると考え、自己相関を考慮しないモデルを検討した（補足資料 1）。補正赤池情報量規準（AICc）が最も低い期間と加入様態の組み合わせを選出したところ、いずれの再生産関係でも加入

様態を二つに分けるモデルが選ばれた（補足資料 1）。また、BH 型最小絶対値法を除き、期間は 1960～1975 年および 1988～2017 年と 1976～1987 年に分けられた。それら二つの異なる加入様態を示す期間の呼称は、通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）と高加入期（1976～1987 年）とした。加入様態および期間を分割した再生産関係の検討候補を表 1 に示す。

1-3) 再生産関係

補正赤池情報量規準 (AICc) は、再生産関係を通常加入期と高加入期に分割した場合の方が全期間データに当てはめた場合よりも低かった。BH 型で最小絶対値法により最適化した場合に AICc が最も低い値となったが、HS 型の AICc と BH 型との差は 2.07 であった。「再生産関係推定ガイドライン (FRA-SA2020-ABCWG01-03)」の 2.b (HS 型の推奨) および 3.a (予測力) に従い、本系群の再生産関係の候補としては再生産関係を通常加入期と高加入期に分割した場合の HS 型再生産関係式を適用する。最適化手法は、「再生産関係推定におけるモデル診断手法 (FRA-SA2020-BRP01-5)」にもとづいたモデル診断の結果（補足資料 1）から、パラメータの信頼性が高かった最小二乗法を採用した。2017 年が含まれる通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）を現状の状況と判断し、推定されたパラメータを用いる。参考資料として、全期間（1960～2017 年）のデータを用いた HS 型最小二乗法自己相関同時推定法の結果も示す（補足資料 2）。

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

真の再生産関係が通常加入期と高加入期で明確に分かれていない場合に、再生産関係を分割して通常加入期の再生産関係に基づいて求める漁獲量は過大となり、資源量が減少するリスクが考えられる。これは通常加入期の再生産関係の方が、MSY を実現する親魚量 (SB_{msy}) などが低くなるためである。そこで、簡易的な管理戦略評価 (MSE) を用いて、真の再生産関係が全期間の再生産関係であるときに、通常加入期の再生産関係を適用した場合の影響を評価した（補足資料 3）。本資料における MSE の詳細は「簡易的 MSE を用いた複数の管理基準値の頑健性の比較・HCR の検討 (FRA-SA2020-BRP01-7)」を参照のこと。その結果、安全係数 β が 0.8 の場合は 10 年後に予測される平均親魚量が真の限界管理基準値を上回る確率が 72% となり、通常加入期の再生産関係を用いることで資源が回復しないリスクは少なからず生じると考えられた。一方で、真の再生産関係が通常加入期の再生産関係であるときに、全期間の再生産関係を適用した場合、2021 年の平均漁獲量は正しく再生産関係を仮定した場合に比べて 53% 減少すると予測され、短期的には漁獲機会の損失リスクが生じると考えられた。

資源水準が大きく変化する時期は、生物学的パラメータや年齢構成が大きく変化するところが考えられ、再生産関係の推定においてデータの取り扱いを慎重に検討する必要がある。本系群では、1988~1990 年は親魚量が最大および加入量が減少し始めた時期であり、高加入期から通常加入期への移行期と捉えることもできる。そこで、この移行期を通常加入期から除き、高加入期に入れた場合、すなわち 1991 年に高加入期から通常加入期に切り替わると仮定した場合について、最小二乗法による HS 型再生産関係式を用いて検討した（補足資料 4）。1991 年に通常加入期に切り替わると仮定した場合の AICc は、1988 年に通常加入期に切り替わると仮定した場合の AICc よりも 4.27 高かった。移行期を除く通常加入期（1960~1975 年および 1991~2017 年）に基づく管理基準値案は、提案する通常加入期（1960~1975 年および 1988~2017 年）の値と比べて低くなるため漁獲量を過大評価し、資源の回復が遅れるリスクが考えられる。MSE によるリスク検証の結果、通常加入期の再生産関係が真であるときに、移行期を除いた通常加入期の再生産関係を用いると、 β が 0.8 の場合は 10 年後に予測される平均親魚量が真の限界管理基準値を上回る確率は 91%となり、通常加入期の再生産関係を適用した場合の確率よりも 8%低く、資源が回復しないリスクが認められた。これら AICc と MSE の結果から、再生産関係において移行期を除かない場合の方が、より頑健な管理基準値を提案できると判断した。

2. 管理基準値

2-1) データセットおよび計算方法

最大持続生産量（MSY）を実現するための親魚量の算出、および将来予測は、「令和 2（2020）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2020-ABCWG01-01）」の 1 系資源の規則に従い、1-3）で示した再生産関係と、令和元年度我が国周辺水域の漁業資源評価（水産庁・水産機構）での将来予測計算に用いた各種設定（自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重、および漁獲の選択率）を使用して実施した。ここで現状の漁獲圧（ $F_{current}$ 、図 2）は 2014~2018 年の漁獲係数（F 値）の平均値とした（表 2）。本系群では、平均世代時間（約 3.8 年）の 20 倍の年数（76 年）のシミュレーション期間後を平衡状態と仮定し、その際の平均漁獲量が最大化される F 値を F_{msy} 、その F_{msy} で漁獲した場合の平衡状態での平均親魚量を SB_{msy} とした。

2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

目標管理基準値（ SB_{target} ）案として通常加入期の状況での MSY を実現する親魚量（ SB_{msy} : 990 千トン）、限界管理基準値（ SB_{limit} ）案として MSY の 60%の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.6msy}$: 454 千トン）、禁漁水準（ SB_{ban} ）案として MSY の 10%の漁獲が得られる親魚量（ $SB_{0.1msy}$: 63 千トン）を提示する。これら管理基準値案および禁漁水準案について、漁獲がなかった場合を仮定した初期親魚量（ SB_0 ）に対する比、対応する漁獲圧の下で平衡状態における平均漁獲量、対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比などを表 3 に示す。目標管理基準値として提案する SB_{msy} は SB_0 の 39%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 316 千トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧 (MSY を実現する漁獲圧 : F_{msy}) の、現状 (2014 年～2018 年) の漁獲圧に対する比 ($F_{msy}/F_{current}$) は 1.01 で、その時の漁獲割合 (U_{msy}) は 20% である。なお、限界管理基準値として提案する SB0.6msy は SB0 の 18% に相当し、その親魚量において期待できる漁獲量の平均値は 190 千トンである。SB0.6msy に対応する漁獲圧の、現状の漁獲圧に対する比は 1.34 で、そのときの漁獲割合は 24% である。禁漁水準として提案する SB0.1msy は SB0 の 2% に相当し、その親魚量において期待できる漁獲量の平均値は 32 千トンである。SB0.1msy に対応する漁獲圧の、現状の漁獲圧に対する比は 1.59 で、そのときの漁獲割合は 28% である。

様々に F 値を変えた場合の平衡状態における平均親魚量、およびこれに対する年齢別平均漁獲量を図 3 に示す。ここでは、親魚量の資源水準が高いほど、平均的に漁獲される高齢魚の比率が高くなる傾向がみられる。

2-3) 目標管理基準値案と漁獲割合

目標管理基準値 (SBmsy) 案と、その時の漁獲圧 (F_{msy}) もしくは漁獲割合 (U_{msy}) を基準にした神戸プロットをそれぞれ図 4 に示す。本系群における漁獲圧は、1960 年代はじめ、および 1990～2000 年代は、ほとんどの年で MSY 水準を大きく上回っていた。2010 年以降は、2013 年を除き、MSY 水準と同程度で推移している。また、漁獲割合を基準にしても同様の傾向がみられた。現状の親魚量 (2018 年の親魚量 : 251 千トン) は限界管理基準値案を下回っている。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 3.95、1.81 および 0.25 である。

2-4) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則 (HCR) 案は、限界管理基準値案および禁漁水準案となる親魚量を閾値として、漁獲管理の基礎となる漁獲係数 (F 値) を変える規則であり、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げるものとなっている。F 値の上限は F_{msy} に漁獲管理規則で提案した β を乗じたものである。限界管理基準値案および禁漁水準案に標準値を用いた場合 (すなわち、SBlimit 案=SB0.6msy、SBban 案=SB0.1msy の場合) の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲圧の関係を図 5a に、親魚量と期待できる平均的な漁獲量との関係を図 5b に示す。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 を用いている。

2-5) 漁獲管理規則案に基づく将来予測

(1) 安全係数 β に標準値を用いた場合

限界管理基準値案と禁漁水準案に標準値を用い、 β を 0.8 とした漁獲管理規則案 (図 5a) で将来予測した場合の、資源量、親魚量、漁獲量、加入量、および努力量の増減率の推移を図 6 に示す。なお、今回の将来予測では、漁獲管理規則案による漁獲は 2021 年から開始し、

2019 年および 2020 年の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧（ $F_{current}$ ）から仮定した。

予測される 2021 年の親魚量は限界管理基準値案を下回っているため、漁獲管理規則案に従い、 $\beta=0.8$ の場合、 $0.8F_{msy}$ での漁獲圧は、現在の漁獲努力量を 54%減少させる漁獲圧に相当する。そのため、漁獲管理規則案導入初年度の漁獲量は減少することが予測される。中長期的には、 $0.8F_{msy}$ での漁獲の継続により漁獲量および親魚量は MSY 水準で推移すると予測される。

（2）安全係数 β を変えた場合

限界管理基準値案と禁漁水準案として標準値を用いた漁獲管理規則案での将来予測について、 β を 0.0～1.0 の間で変えたそれぞれの場合の、親魚量が目標管理基準値案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、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 4～8 に示した。 β が低いほど、親魚量が目標管理基準値案を上回る確率が高くなる（表 4）。 β が 0.8 以下であれば、漁獲管理規則案による漁獲開始から 10 年後の 2031 年には 50% 以上の確率で目標管理基準値案以上に親魚量を維持できると予測された。なお、 β が 1 であっても、2031 年に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 50% を下回ったが、限界管理基準値案を上回る確率は 94%であった（表 5）。いずれの β でも、親魚量が禁漁水準案を下回る可能性は低いと考えられる（表 6）。2022 年以降の親魚量は β が低いほど多くなり（表 7）、漁獲管理規則案の導入初年度の 2021 年の漁獲量は、いずれの β でも現状（2018 年：71 トン）より少なく抑えられる（表 8）。

3. まとめ

本系群の再生産関係のモデルは、再生産関係推定ガイドライン（FRA-SA2020-ABCWG01-03）で推奨される HS 型再生産関係を適用する。本系群は海洋環境の影響を受けて資源量変動すると考えられており、かつ、期間を通常加入期と高加入期に分割した場合の方が AIC_c が低くなったため、2017 年が含まれる通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）における再生産関係を適用した。パラメータは最小二乗法により最適化され、自己相関は考慮しないモデルを適用する。

管理戦略評価（MSE）を行なった結果、提案する管理基準値に基づいた漁獲を行えば、加入様態に関する仮定の選択が誤っていた場合、将来の資源量が回復しないリスクが生じる。一方で、全期間（1960～2017 年）に基づいた漁獲を行い、加入様態に関する仮定の選択が誤っていた場合は、短期的には多大な漁獲機会の損失が生じることも分かった。

目標管理基準値には、通常加入期の再生産関係から推定される SB_{msy} （990 千トン）とすることを提案する。限界管理基準値は標準値である $SB_{0.6msy}$ （ SB_{limit} ：454 千トン）、禁漁水準は標準値である $SB_{0.1msy}$ （ SB_{ban} ：63 千トン）を提案する。

現在の本系群の親魚量は限界管理基準値案以下にあると考えられるが、 β が 0.8 以下であれば、中長期的に 50%以上の確率で親魚量が目標管理基準値案以上に維持されると予測された。

4. 今後の検討事項

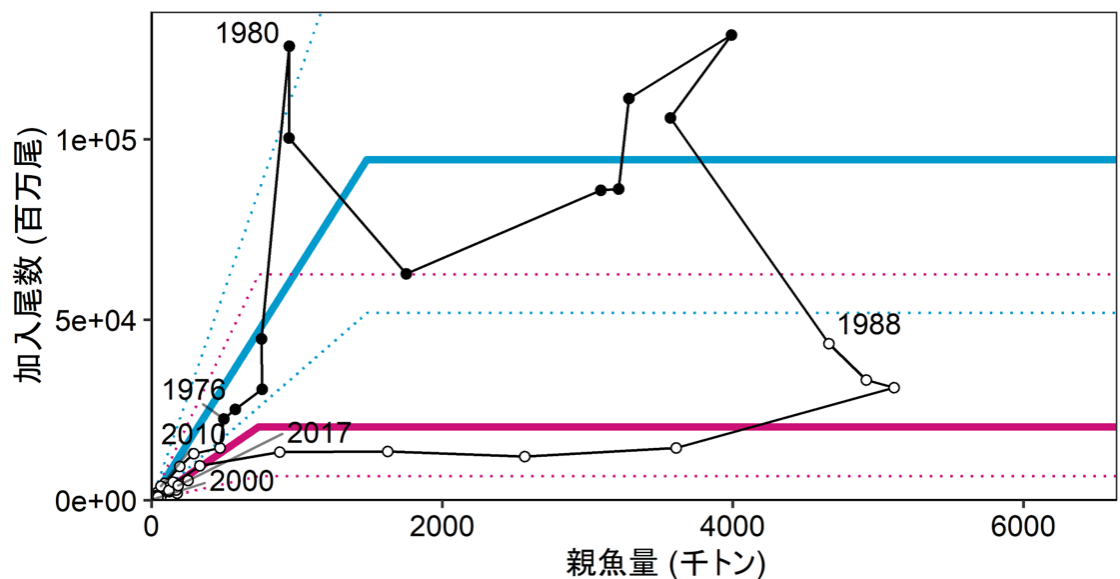
本系群では、AICcにもとづき、再生産関係として、再生産関係を分割した場合かつ2017年が含まれる通常加入期間を適用した。今後、資源量が増加するにつれ加入量が増加し、高加入期の再生産関係が実現する可能性もある。再生産関係の見直しに伴う、漁獲管理規則の見直し、移行をどのように進めるかを検討する必要がある。

5. 引用文献

Ohshimo S., H. Tanka, and Y. Hiyama (2009). Long-term stock assessment and growth changes of the Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the Sea of Japan and East China Sea from 1953 to 2006. Fish. Oceanogr.18: 346–358.

(執筆者：高橋 素光、黒田 啓行、依田 真里、向 草世香、安田 十也)

a)



関数形: HS, 最適化法L2, AICc: 118.92

b)

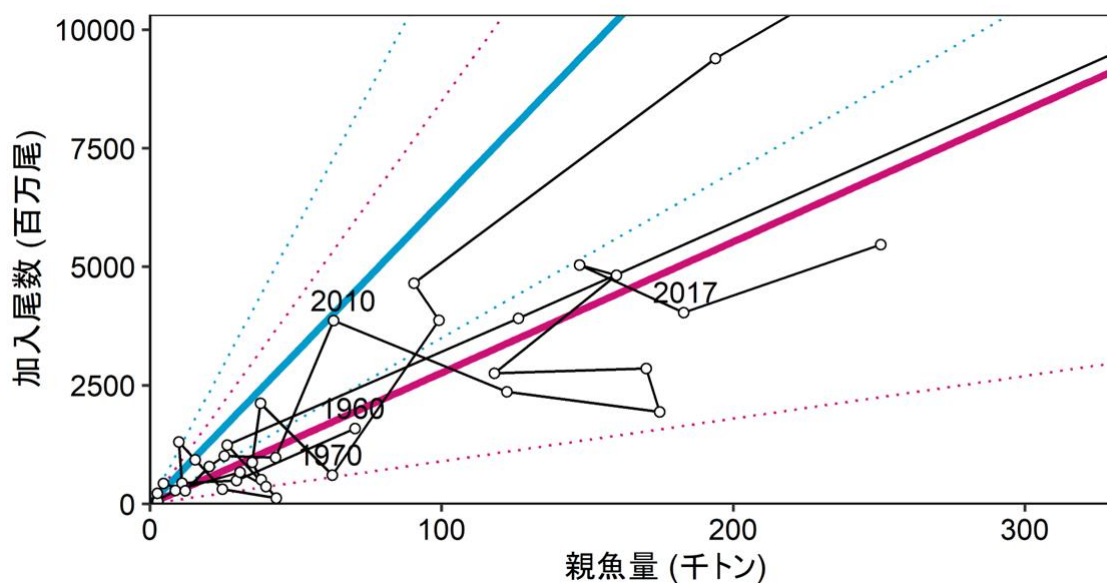


図 1. 再生産関係

(a) 加入期間を分割した場合、通常加入期間（1960～1975 年および 1988～2017 年、白丸と赤実線）と高加入期間（1976～1987 年、黒丸と青実線）の親魚量と加入量を示す。(b) 拡大図。図中の数字は加入群の年級（生まれ年）を示す。再生産関係には自己相関を考慮しないホッケ－・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。図中の再生産関係式（実線）の上下の点線は、それぞれの再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。

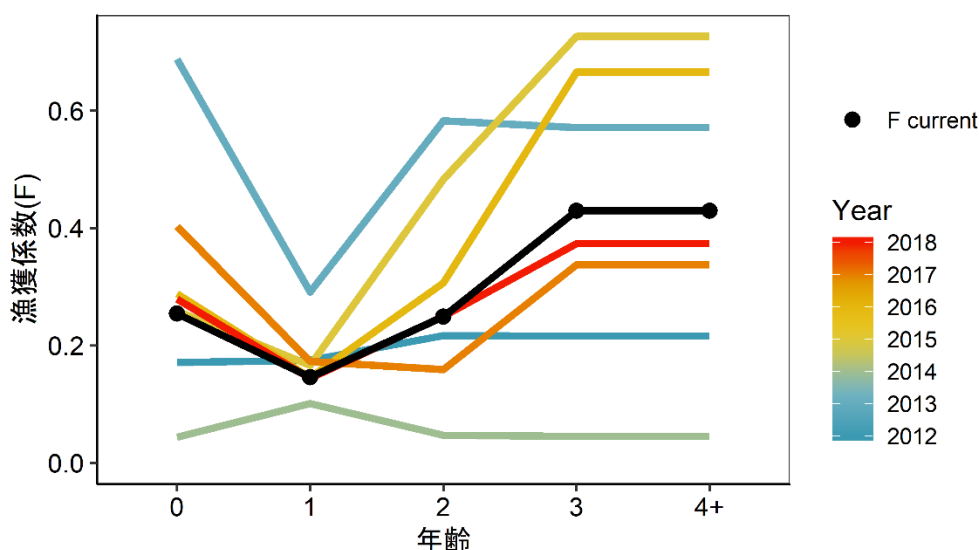


図 2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

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

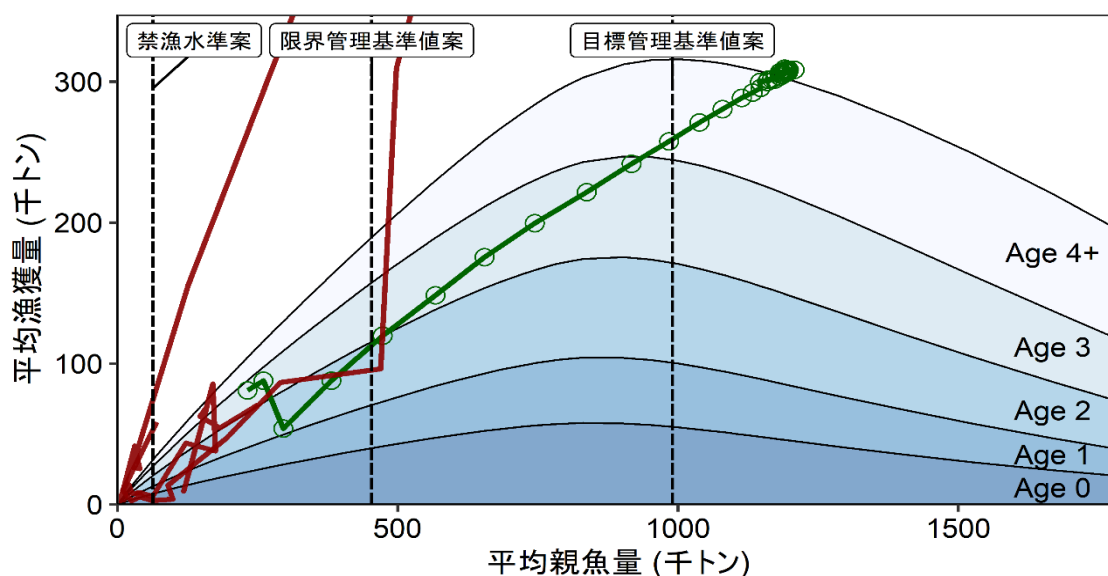
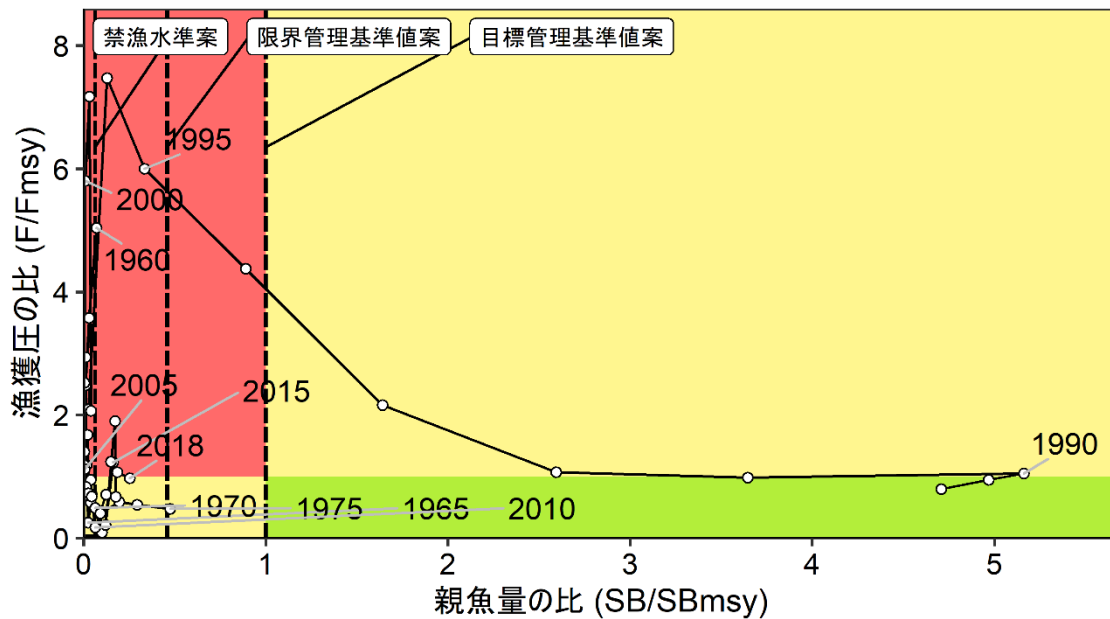


図 3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）の再生産関係を適用した場合の将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、平均親魚量に対する年齢別平均漁獲量と、管理基準値案および禁漁水準案の位置関係を示す。赤線は資源評価により推定された親魚量と漁獲量の推移を、緑線は提示する漁獲管理規則（HCR）案で漁獲を行った場合の将来予測での平均親魚量と平均漁獲量の推移を示す。過去の親魚量と漁獲量の一部は範囲外である（最高値：親魚量 5,111 千トン、漁獲量 1,605 千トン）。HCR 案で使用した安全係数 β は 0.8 である。なお、漁獲がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 2,553 千トンである。

a-1) 縦軸を漁獲圧の比 (F/F_{msy}) で示した場合



a-2) 拡大図

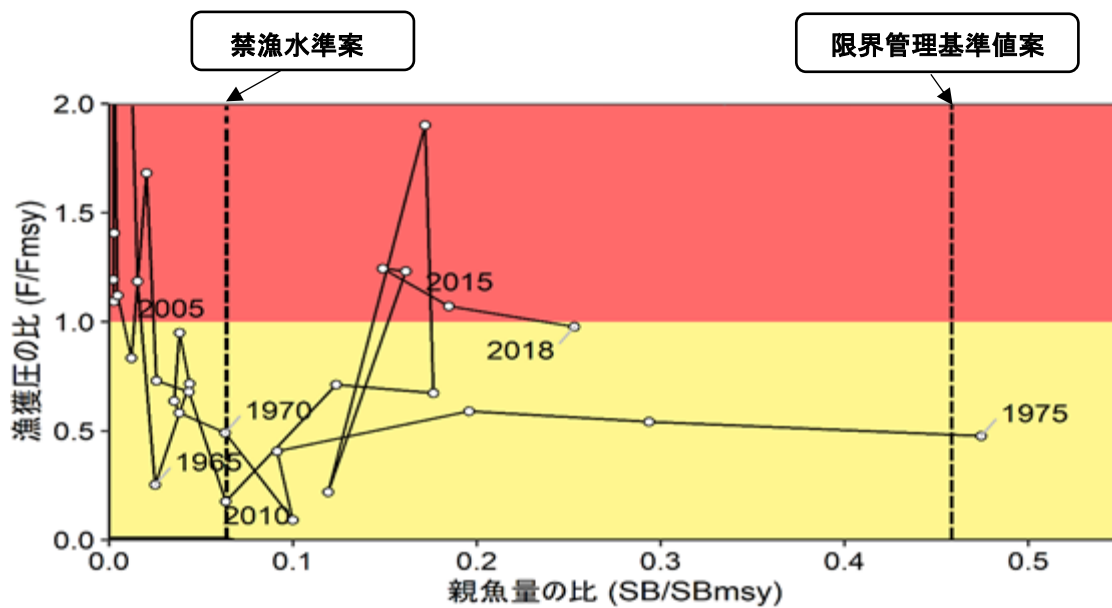
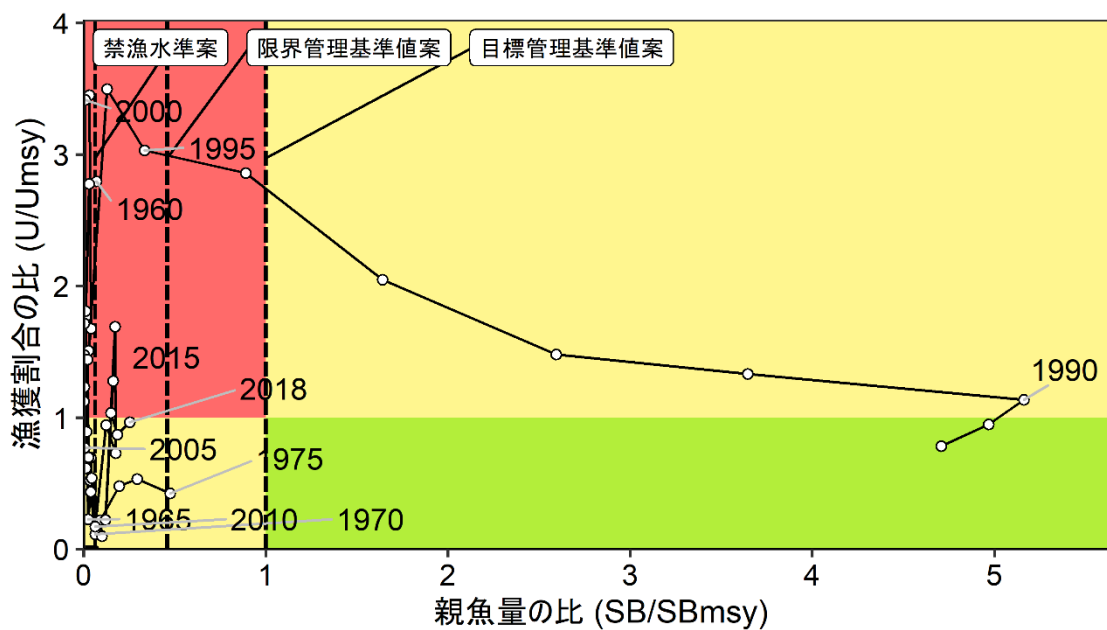


図 4. 神戸プロット (4 区分)

(a-1) 縦軸に漁獲圧の比を用いた場合と (a-2) その拡大図。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、それぞれ通常加入期 (1960～1975 年および 1988～2017 年) の状況を仮定した SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ および $SB_{0.1msy}$ を用いた。

b-1) 縦軸を漁獲割合の比 (U/U_{msy}) で示した場合

b-2) 拡大図

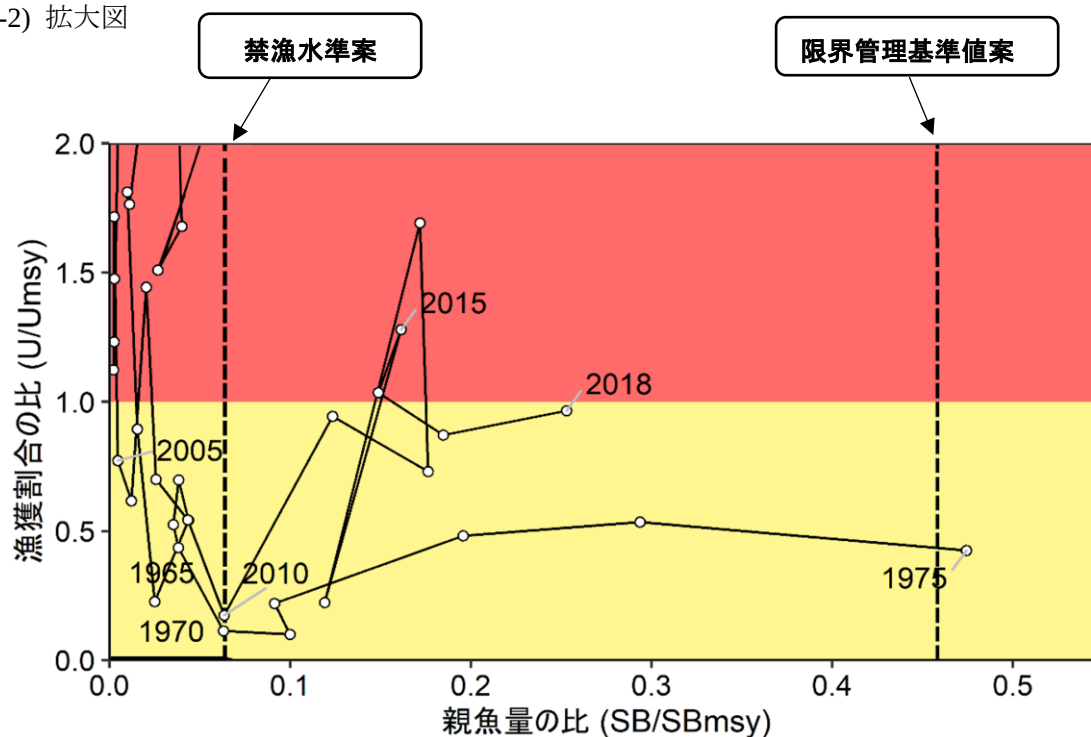
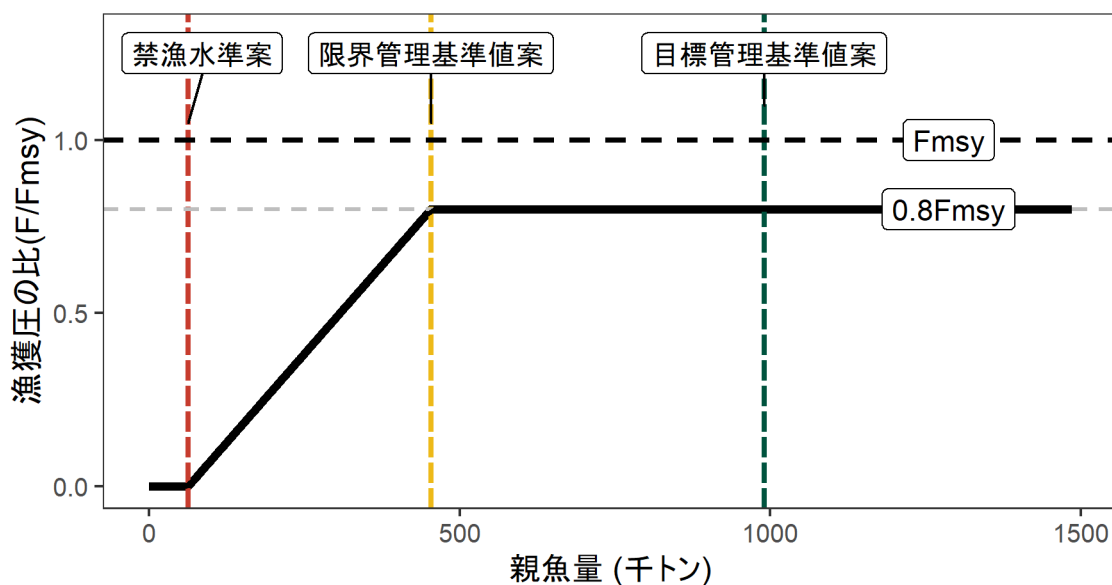


図4 (続き) . 神戸プロット (4 区分)

(b-1) 漁獲割合の比を用いた場合と (b-2) その拡大図。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、それぞれ通常加入期 (1960～1975 年および 1988～2017 年) の状況を仮定した SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ および $SB_{0.1msy}$ を用いた。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

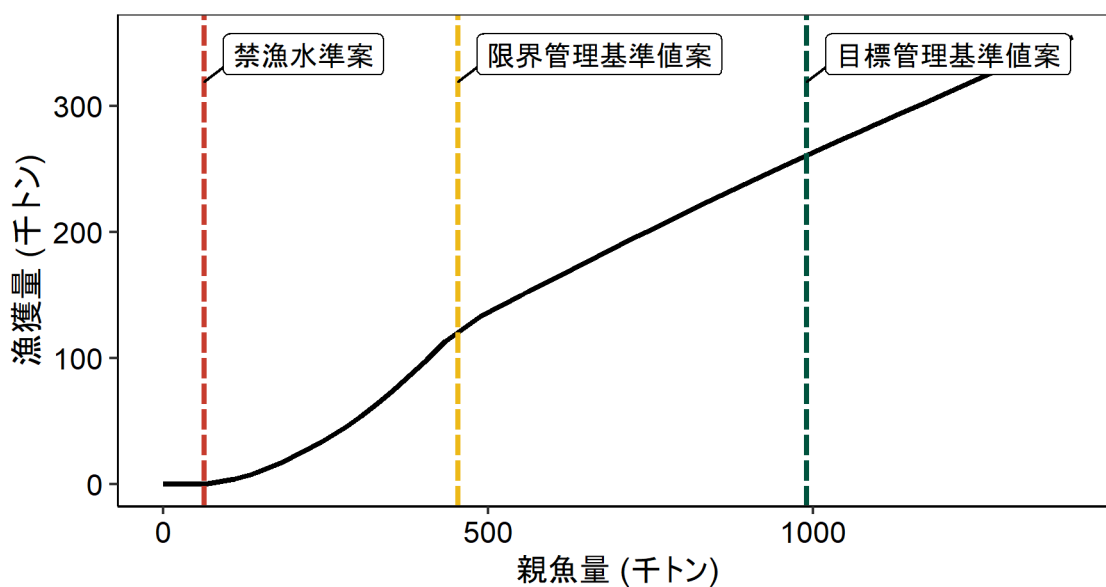


図 5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は通常加入期 (1960～1975 年および 1988～2017 年) の状況を仮定した HS 型再生産関係にもとづき算出した SBmsy である。限界管理基準値 (SBlimit) 案および禁漁水準 (SBban) 案には、それぞれ標準値を用いている。安全係数 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 案、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧の比にした場合、b) は縦軸を漁獲量にした場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。

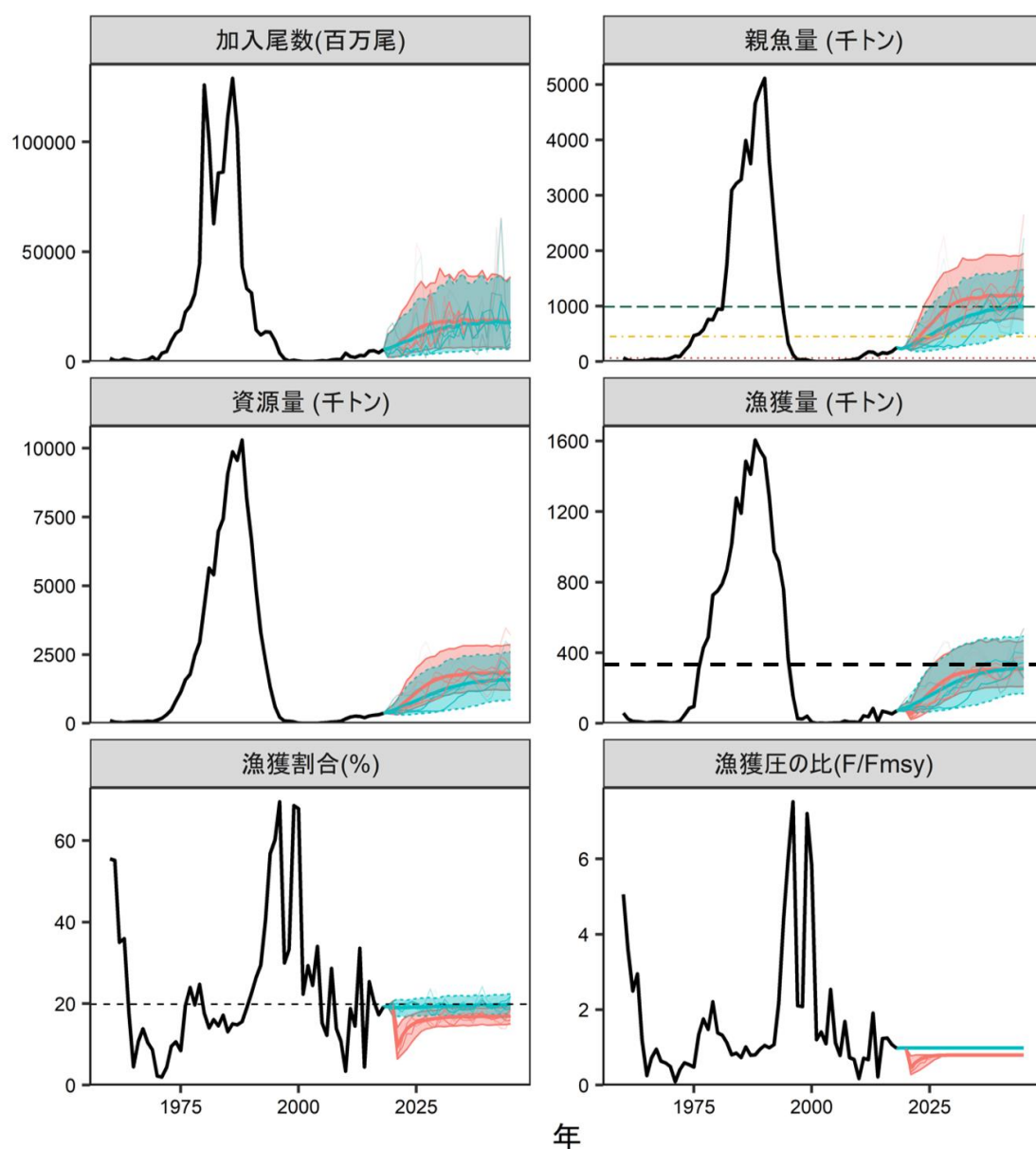


図 6. 通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）の再生産関係を適用した場合における、漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄点線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲量の図の破線は MSY を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2019 年と 2020 年の漁獲量は予測される資源量と $F_{current}$ により仮定し、2021 年以降の漁獲は漁獲管理規則案（図 5）に基づく。安全係数 β には 0.8 を用いた。

表 1. 再生産関係式の検討候補 適用する再生産関係式を太字とした
全期間の場合

再生産関係式	最適化 法	自己 相関	推定法	期間	AICc	$\Delta AICc$	順位	S.D.
ホッケー・スティック 型	最小二 乗法	有	同時	1960~2017	124	0	1	0.651
リッカー型	最小二 乗法	有	同時	1960~2017	124	0.380	2	0.653
ベバートン・ホルト型	最小二 乗法	有	同時	1960~2017	124	0.599	3	0.654
ホッケー・スティック 型	最小絶 対値法	有	二段階	1960~2017	144	19.9	4	0.660
リッカー型	最小絶 対値法	有	二段階	1960~2017	146	22.7	5	0.649
ベバートン・ホルト型	最小絶 対値法	有	二段階	1960~2017	147	23.0	6	0.665

期間で分けた場合

再生産関係式	最適化 法	自己 相関	加入期	期間	AICc	$\Delta AICc$	順位	S.D.
ホッケー・スティック 型	最小二 乗法	無	通常	1960~1975	119	2.07	3	0.683
			高	1976~1987				0.364
リッカー型	最小二 乗法	無	通常	1960~1975	121	3.70	6	0.690
			高	1976~1987				0.374
ベバートン・ホルト型	最小二 乗法	無	通常	1960~1975	119	1.97	2	0.676
			高	1976~1987				0.378
ホッケー・スティック 型	最小絶 対値法	無	通常	1960~1975	119	2.09	4	0.697
			高	1976~1987				0.423
リッカー型	最小絶 対値法	無	通常	1960~1975	119	2.18	5	0.699
			高	1976~1987				0.437
ベバートン・ホルト型	最小絶 対値法	無	通常	1960~1974	117	0	1	0.692
			高	1975~1987				0.444

適用する再生産関係式を太字とした。また、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。

表 2. MSY を実現する親魚量の算出および将来予測計算に用いた各種設定

年齢	自然死亡 係数	成熟率	平均重量 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (Fcurrent)
0	0.40	0.0	16	0.592	0.254
1	0.40	0.25	43	0.340	0.146
2	0.40	1.0	71	0.580	0.249
3	0.40	1.0	90	1.000	0.430
4 歳以上	0.40	1.0	114	1.000	0.430

表 3. 管理基準値案および禁漁水準案に対応する漁獲量や漁獲圧など

管理基準値案または禁漁水準案	説明	親魚量 (千トン)	SB0 に 対する比 ※	漁獲量※ ※ (千トン)	漁獲圧 ※※※ (%SPR)	現状の 漁獲 割合 ※※ ※※	現状の 漁獲圧 に対する比※ ※※※ ※
目標管理基準値案（通常加入期）	SBmsy	990	0.39	316	40.1	0.20	1.01
限界管理基準値案（通常加入期）	SB0.6msy	454	0.18	190	32.3	0.24	1.34
禁漁水準案（通常加入期）	SB0.1msy	63	0.02	32	27.6	0.28	1.59
MSY を実現する漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4+歳) = (0.257, 0.148, 0.252, 0.435, 0.435)					

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

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

※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧を%SPR に換算した値

※※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲割合

※※※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比

表 4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率（％）

安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の、通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（図 5）での将来予測の結果を示す。

2019、2020 年は Fcurrent で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	0	1	3	4	6	10	13	18	20	24	28	42	43
0.9	0	0	0	1	3	5	8	12	18	25	30	37	41	56	57
0.8	0	0	0	1	3	6	10	17	27	35	43	51	58	70	71
0.7	0	0	0	1	3	7	13	22	35	45	58	66	72	83	81
0.6	0	0	0	1	4	9	17	31	46	60	71	79	84	91	91

0.5	0	0	0	1	4	11	22	40	58	74	82	89	92	96	96
0.4	0	0	0	1	5	14	28	52	69	83	90	94	96	98	98
0.3	0	0	0	1	6	16	36	61	79	90	95	98	98	100	99
0.2	0	0	0	1	6	19	44	70	86	94	98	99	99	100	100
0.1	0	0	0	2	7	24	53	78	92	97	99	100	100	100	100
0.0	0	0	0	2	8	30	61	84	95	99	99	100	100	100	100

表 5. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の、通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（図 5）での将来予測の結果を示す。

2019、2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	5	16	34	51	66	75	83	87	90	93	94	99	99
0.9	0	0	5	17	39	58	73	82	88	92	94	96	98	100	100
0.8	0	0	5	18	44	64	78	87	92	95	97	98	99	100	100
0.7	0	0	5	19	48	69	83	91	95	98	99	99	99	100	100
0.6	0	0	5	21	52	75	87	94	98	99	99	99	100	100	100
0.5	0	0	5	23	56	78	91	97	98	99	100	100	100	100	100
0.4	0	0	5	24	60	82	93	98	99	99	100	100	100	100	100
0.3	0	0	5	26	64	86	96	99	99	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	5	27	68	89	97	99	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	5	29	71	91	98	99	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	5	31	75	93	98	99	100	100	100	100	100	100	100

表 6. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の、通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（図 5）での将来予測の結果を示す。

2019 と 2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
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

表 7. 将来の平均親魚量の推移 (千トン)

安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の、通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（図 5）での将来予測の結果を示す。

2019、2020 年は F_{current} で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	232	261	296	370	444	514	572	630	691	743	791	833	867	1,001	1,010
0.9	232	261	296	376	458	540	611	684	759	825	883	931	970	1,097	1,103
0.8	232	261	296	382	473	568	655	744	837	917	984	1,038	1,079	1,193	1,198
0.7	232	261	296	388	489	598	703	812	922	1,016	1,093	1,150	1,191	1,295	1,300
0.6	232	261	296	394	506	631	756	887	1,017	1,125	1,209	1,269	1,311	1,408	1,413
0.5	232	261	296	400	524	667	814	969	1,120	1,242	1,335	1,398	1,440	1,536	1,540
0.4	232	261	296	406	543	705	878	1,059	1,233	1,371	1,472	1,539	1,582	1,682	1,686
0.3	232	261	296	413	562	746	948	1,157	1,355	1,509	1,621	1,694	1,740	1,851	1,855
0.2	232	261	296	419	583	791	1,024	1,265	1,489	1,662	1,786	1,868	1,920	2,051	2,055
0.1	232	261	296	426	605	839	1,106	1,383	1,636	1,831	1,971	2,066	2,128	2,289	2,294
0	232	261	296	432	628	891	1,197	1,512	1,798	2,020	2,183	2,295	2,371	2,578	2,586

表 8. 将来の平均漁獲量の推移 (千トン)

安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の、通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（図 5）での将来予測の結果を示す。

2019、2020 年は F_{current} で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	81	88	66	102	133	160	184	205	224	241	256	269	279	318	322
0.9	81	88	60	95	127	155	181	203	224	243	259	272	282	315	317
0.8	81	88	54	88	120	148	175	199	221	242	257	271	280	307	308
0.7	81	88	48	80	111	140	167	192	215	235	251	264	272	293	295
0.6	81	88	41	71	101	129	156	181	205	224	240	251	258	276	277
0.5	81	88	35	62	89	116	142	166	189	208	222	232	239	253	254
0.4	81	88	28	51	76	99	124	146	167	185	197	206	212	224	225
0.3	81	88	21	40	60	80	101	121	139	154	165	172	177	187	188
0.2	81	88	14	28	42	57	73	89	103	114	122	128	132	140	140
0.1	81	88	7	14	22	31	40	49	57	64	68	72	74	79	80
0	81	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 9. 予測される親魚量、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

通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）の状況を仮定した管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた場合について、安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した結果を示す。

β	10 年後 (2031 年) の平均親魚量 (千トン)	10 年後 (2031 年) に親魚量が 目標管理基準値案を上 回る確率	0 年後 (2021 年) の予測漁獲 量 (千トン)	5 年後 (2026 年) の予測漁獲 量 (千トン)	10 年後 (2031 年) の予測漁獲 量 (千トン)	10 年後 (2031 年) に親魚量が 限界管理基準値案を上 回る確率
1	867	28%	66	205	279	94%
0.9	970	41%	60	203	282	98%
0.8	1,079	58%	54	199	280	99%
0.7	1,191	72%	48	192	272	99%
0.6	1,311	84%	41	181	258	100%
0.5	1,440	92%	35	166	239	100%
0.4	1,582	96%	28	146	212	100%
0.3	1,740	98%	21	121	177	100%
0.2	1,920	99%	14	89	132	100%
0.1	2,128	100%	7	49	74	100%
0	2,371	100%	0	0	0	100%

補足資料 1 再生産関係式の分割およびモデル診断結果について

MSY を実現する親魚量の算出および将来予測計算に使用する再生産関係は、「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和 2 年度研究機関会議版）（FRA-SA2020-ABCWG01-02）」に従い、ホッケー・スティック（HS；Clark et al. 1985）型、ベバートン・ホルト（BH；Beverton and Holt 1957）型およびリッカー（RI；Ricker 1954）型の再生産関係式を検討候補とした。それぞれの再生産関係式の数式は以下の通りである；

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

ここで R_y は y 年の加入量、 B_y は y 年の親魚量である。いずれの再生産関係式でも、推定するパラメータは a および b の 2 つである。HS 型の場合、 a は折れ点までの再生産曲線の傾き（尾/g）、 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。

全期間（1960~2017 年）データを使用する場合、ホッケー・スティック（HS）型、リッカー（RI）型、ベバートン・ホルト（BH）型の再生産関係式を、最小二乗法・最小絶対値法を用いて当てはめた。再生産関係式および最適化方法によらず、残差に自己相関を考慮しないモデルよりも、残差に自己相関を考慮した二段階推定モデルの方が、赤池情報量規準（AIC）が低かった。推定された自己相関係数が高いため、「シミュレーションを用いた自己相関係数の同時推定手法の推定バイアス評価（FRA-SA2020-BRP01-6）」に基づき、最小二乗法では再生産関係式のパラメータと自己相関パラメータを同時に推定する手法を用いた（補足図 1-1-1）。補正赤池情報量規準（AICc）がもっとも低かったのは自己相関を同時推定した最小二乗法の HS 型であったが、同様の条件では他の二つの再生産関係とは大きな違いは見られなかった（補足表 1-1）。

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

再生産関係式	最適化 法	自己 相関	推定法	a	b	S.D.	Rho	AICc
ホッケー・スティック型	最小二乗法	有	同時	0.0314	1,198,983	0.651	0.517	124
リッカー型	最小二乗法	有	同時	0.0312	2.29e-07	0.653	0.519	124
ベバートン・ホルト型	最小二乗法	有	同時	0.0316	3.57e-07	0.654	0.531	124

ホッケー・スティック型	最小絶対値法	有	二段階	0.0309	2,775,634	0.660	0.534	144
リッカー型	最小絶対値法	有	二段階	0.0322	2.66e-07	0.648	0.527	146
ベバートン・ホルト型	最小絶対値法	有	二段階	0.0312	5.00e-08	0.665	0.561	147

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。

次に、統計学的基準にもとづいて再生産関係の分割期間やタイプを検討した。本系群で1970～1990年代に見られた資源量の増減は、1976/1977年および1988/1989年に生じた自然環境の変化も影響していると考えられている (Ohshimo et al. 2009)。個体の成長や成熟などの生物特性の変化は、自然環境や個体群密度の変化とは時間的にずれが生じる可能性がある。そこで、1975～1979年および1987～1990年の間にそれぞれ再生産関係が切り替わると仮定した。また、各加入期間での再生産関係のタイプが、二種類の様態（通常加入期→高加入期→通常加入期）に分かれる場合と三種類の様態（通常加入期1→高加入期→通常加入期2）に変化する場合を考えた。全ての年数およびタイプの組み合わせを想定し、再生産関係のパラメータ a , b , $s.d.$ を推定した。加入様態の変化を考慮することは自己相関の一つの扱い方であると考え、自己相関を考慮しないモデルを用いた。

再生産関係式および推定方法ごとに AICc が最も低い組み合わせを選出し、加入期間を分割した再生産関係の検討候補とした（補足図 1-1-2）。いずれの場合も再生産関係のタイプは二種類の様態に分かれるモデルが選ばれた。分割される期間は1976年と1988年の組み合わせが選ばれたが、BH型最小絶対値法のみ1975年と1988年の組み合わせが選ばれた（補足表 1-2）。

補足表 1-2. 期間を分けたデータに基づく再生産関係式における各パラメータの推定値

再生産関係式	最適化法	期間	加入期	a	b	S.D.	Rho	AICc
ホッケー・スティック型	最小二乗法	1960～1975	通常	0.0276	736,128	0.683	0	119
		1988～2017						
		1976～1987	高	0.0637	1,481,346	0.364	0	
リッカー型	最小二乗法	1960～1975	通常	0.0276	3.52e-07	0.690	0	121
		1988～2017						
		1976～1987	高	0.0717	2.46e-07	0.374	0	
ベバートン・ホルト型	最小二乗法	1960～1975	通常	0.0294	9.56e-07	0.676	0	119
		1988～2017						
		1976～1987	高	0.0785	4.39e-07	0.378	0	
ホッケー・スティック型	最小絶対値法	1960～1975 1988～2017	通常	0.0287	503,542	0.697	0	119

リッカー型	最小絶対値法	1976~1987	高	0.0454	2,335,767	0.423	0	119
		1960~1975	通常	0.0252	2.78e-07	0.699	0	
		1988~2017						
		1976~1987	高	0.0486	1.38e-07	0.437	0	
ベバートン・ホルト型	最小絶対値法	1960~1974	通常	0.0255	6.23e-07	0.692	0	117
		1988~2017						
		1975~1987	好適	0.0481	1.74e-07	0.444	0	

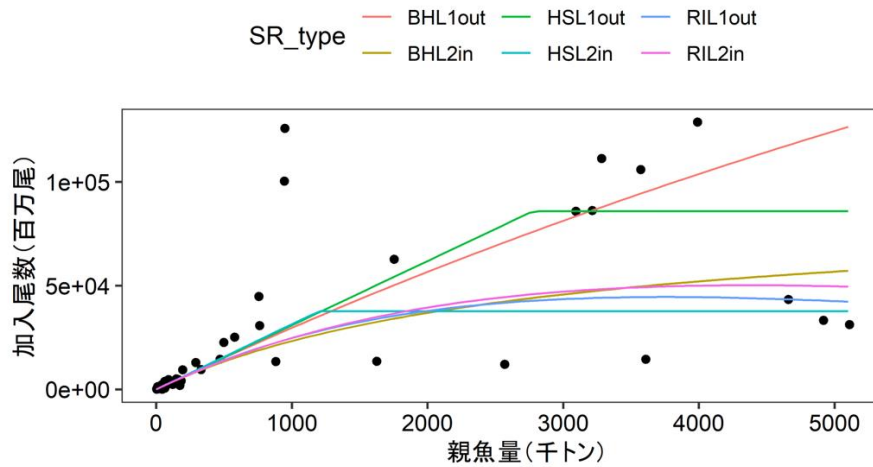
推奨する再生産関係式を太字で示す。S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標で、対数残差の標準偏差 (Standard Deviation、平均二乗誤差の平方根) である。

「再生産関係推定におけるモデル診断手法 (FRA-SA2020-BRP01-5)」に基づき HS 型のモデル診断を行なった。全期間の 1990 年代後半以降の加入量はモデルの期待値よりも低い傾向が見られたが、期間を分割した場合、最小二乗法では残差のトレンドは解消された (補足図 1-2)。再生産関係モデルに対する残差の正規性を Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定により検討したところ、いずれの場合でも有意な逸脱は検出されなかった (補足図 1-3)。パラメータの推定における個々のデータ (年) の影響をジャックナイフ解析で検討した結果、高加入期のパラメータは影響を受けやすい傾向が見られた (補足図 1-4 および 1-5)。また、残差のノンパラメトリックブートストラップを 1000 回行なったところ、最小二乗法の方がパラメータ推定のバイアスが小さかった (補足図 1-6 および 1-7)。パラメータ a, b を変化させた場合のプロファイル尤度は、推定値で最大になっていることが確認された (補足図 1-8)。以上の結果から、最小二乗法による推定結果の方が、いずれの期間においてもパラメータが最適解として推定されていると考えられた。

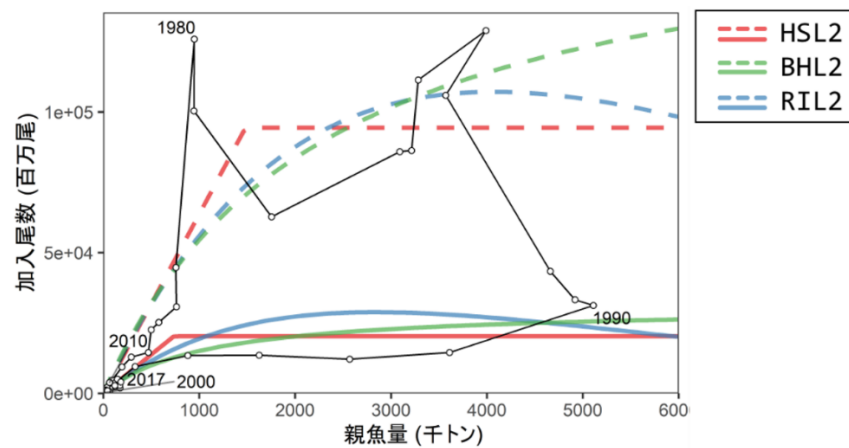
引用文献

- Clark C.W., A.T. Charles, J.R. Beddington, and M. Mangel (1985). Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Marine Resource Economics*, 2: 25-53.
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957). On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Ricker W. E. (1954). Stock and recruitment. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 11: 559-623.

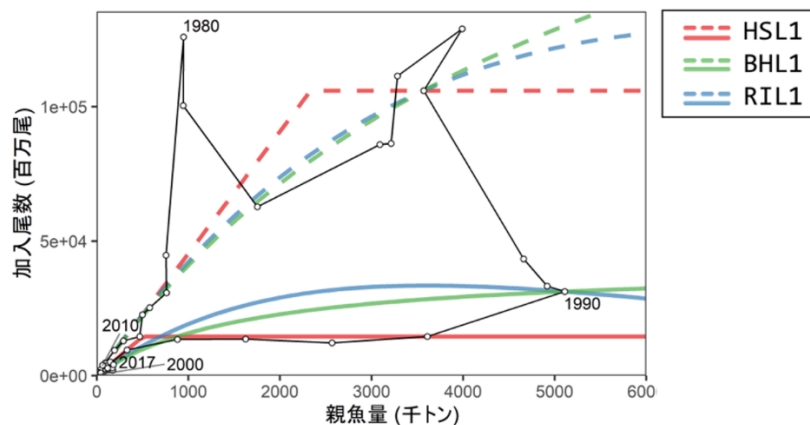
(1)



(2)-(a)

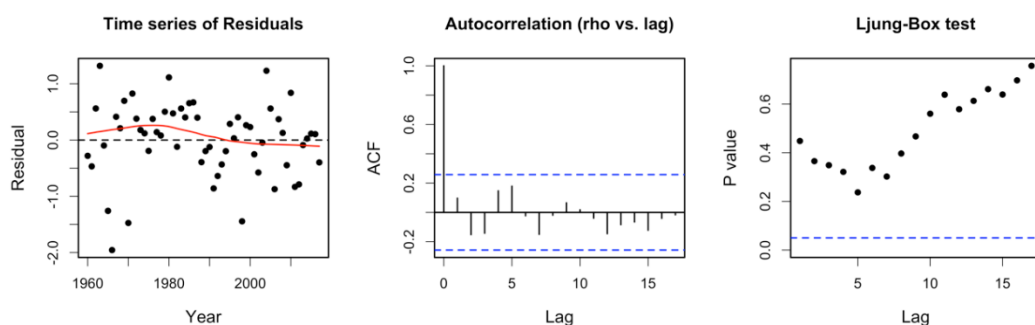


(2)-(b)

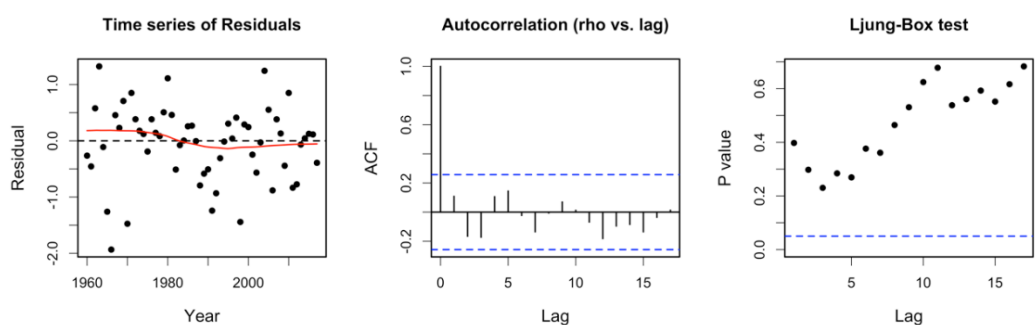


補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式。(1)全期間のデータに基づく場合、(2) 期間を分割した場合（通常加入期：実線、高加入期：点線）。ホッカー・スティック（HS）型、リッカー（RI）型、ベバートン・ホルト（BH 型）の再生産関係式を、(a)最小二乗法（L2）と(b)最小絶対値法（L1）により当てはめた。(1) レジームなしの場合と L2 では自己相関係数を他のパラメータと同時に推定する手法（in）を、L1 では自己相関係数を二段階で推定する手法（out）を用いた。図中の数字は加入群の年級（生まれ年）を示す。

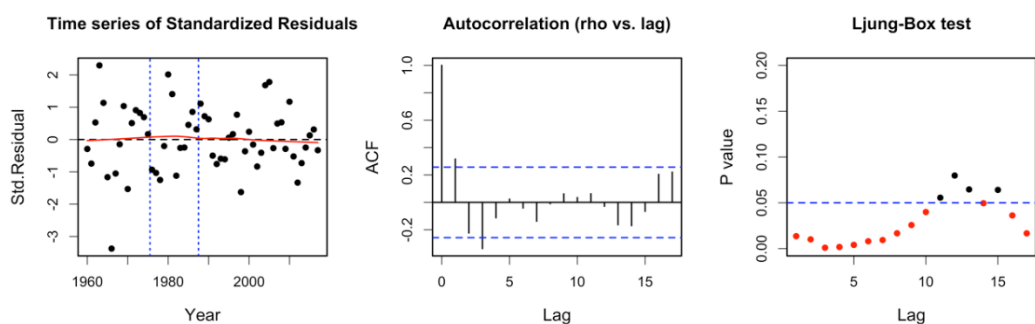
全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法自己相関同時推定法



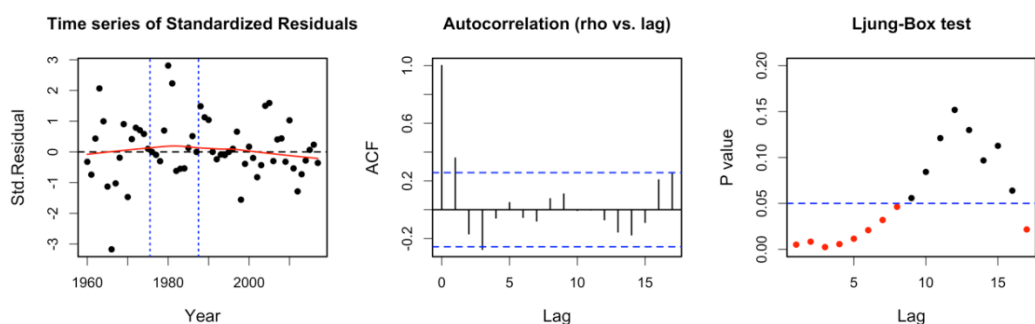
全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法自己相関二段階推定法



再生産関係の期間を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法



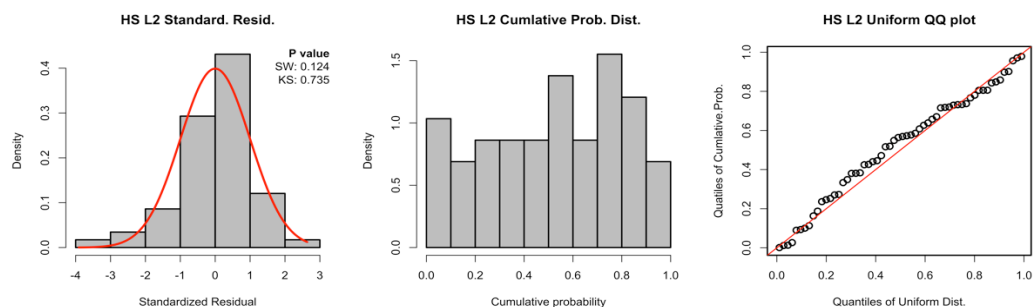
再生産関係の期間を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法



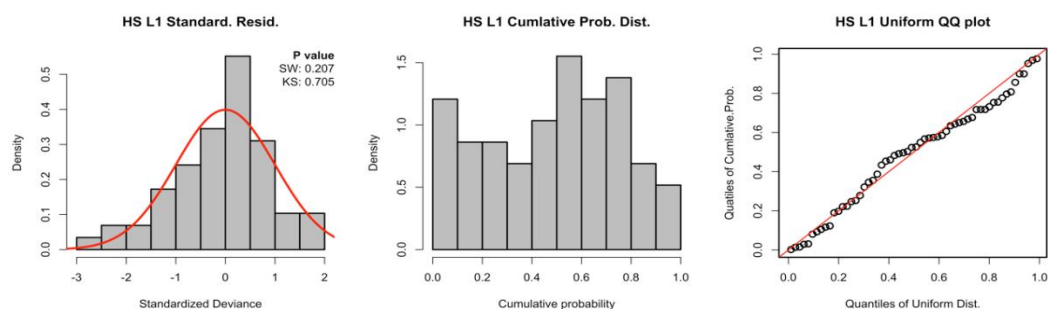
補足図 1-2. HS 型における残差トレンド。

標準化残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線、垂直方向の青色の点線は再生産関係が切り替わる時点を表している。コレログラムの図中の青色の点線は 95%信頼区間を、Ljung-Box 検定における P 値の図中の青色の点線は 5%水準を表している。

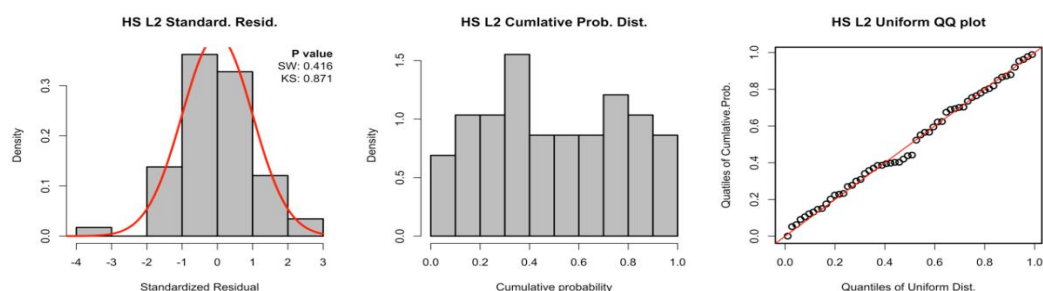
全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法自己相関同時推定法



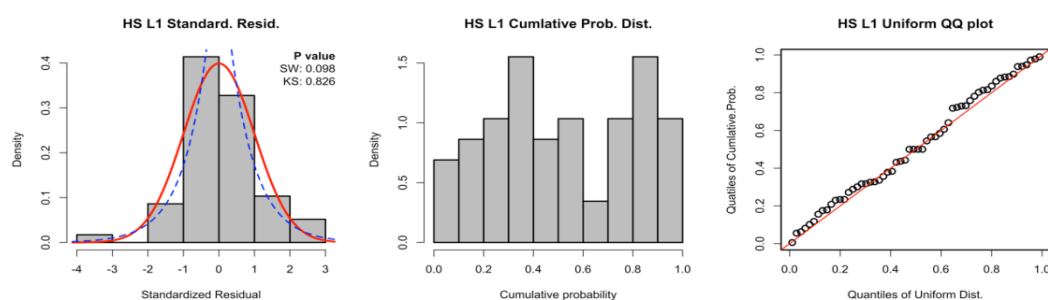
全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法自己相関二段階推定法



再生産関係を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法



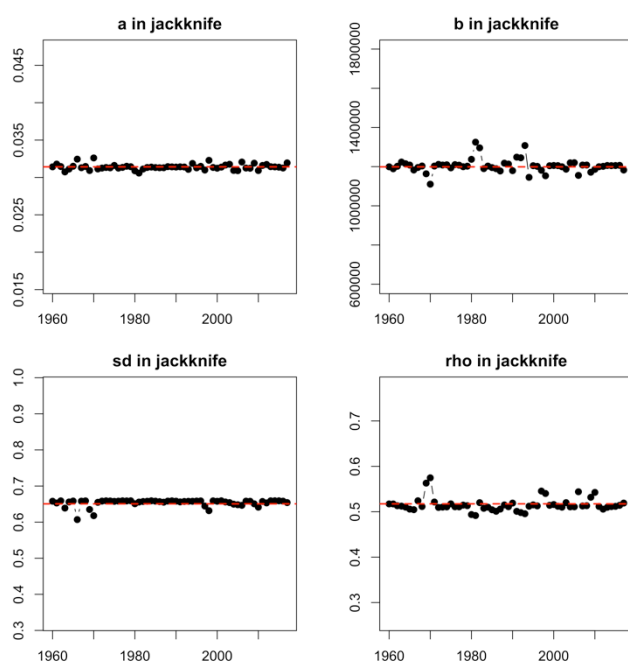
再生産関係を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法



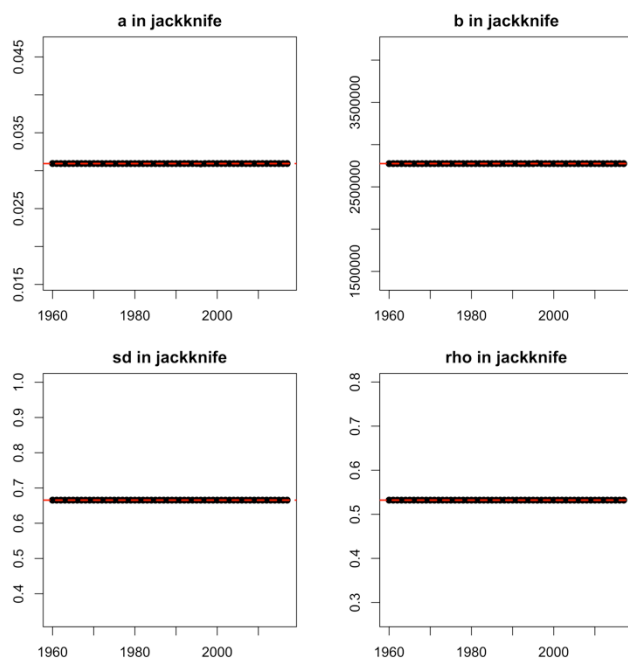
補足図 1-3. HS 型を仮定し、再生産関係を期間で分けたモデルにおける（左）標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果、（中央）残差の累積確率密度のヒストグラム（右）一様分布を仮定した QQ プロット

残差分布図の右上の数値は Shapiro-Wilk 検定（SW）および Kolmogorov-Smirnov 検定（KS）の結果である。QQ プロットの赤線は理論値を表している。

全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法自己相関同時推定法

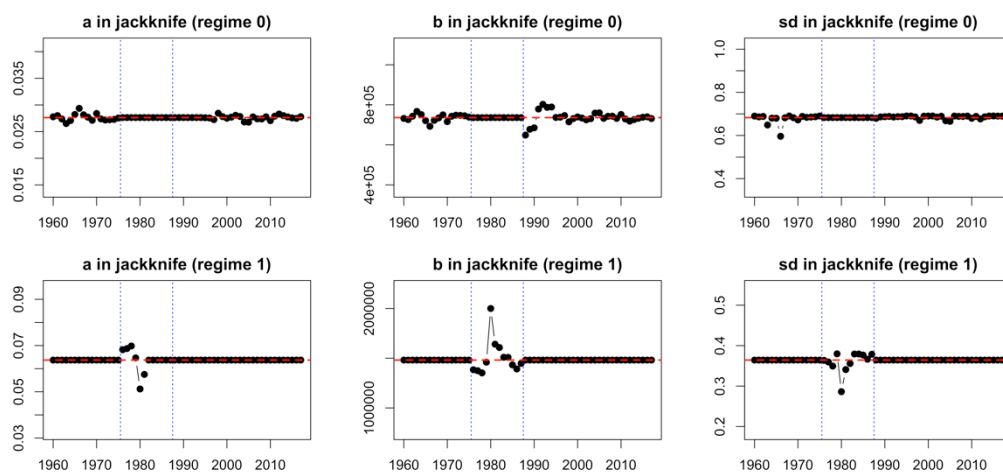


全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法自己相関二段階推定法

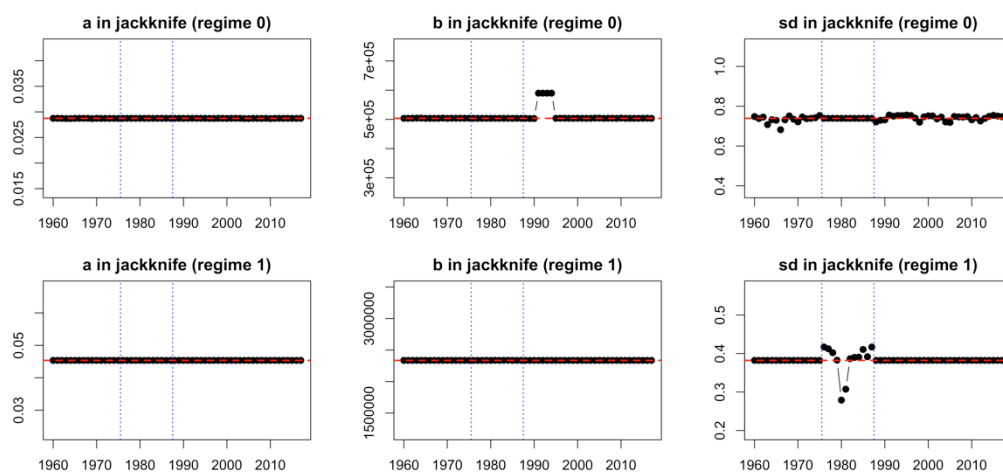


補足図 1-4. HS 型のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

再生産関係を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法

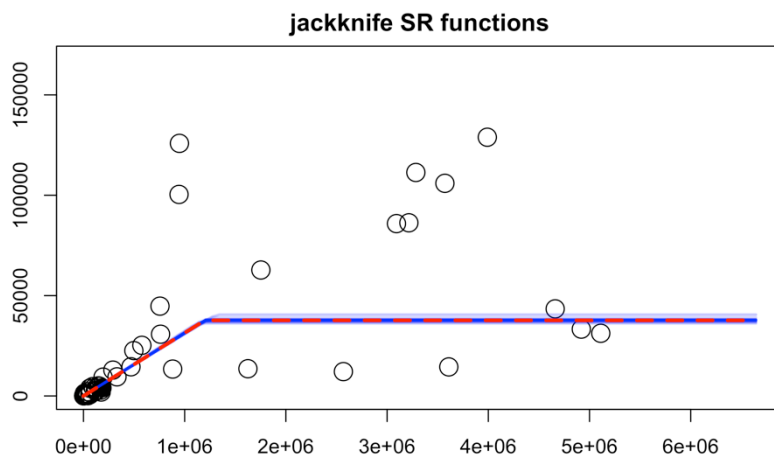


再生産関係を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法

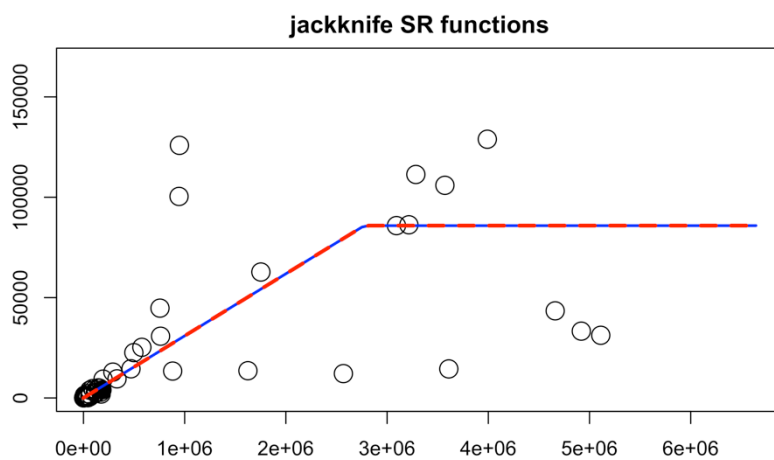


補足図 1-4 （続き）． HS 型のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法自己相関同時推定法



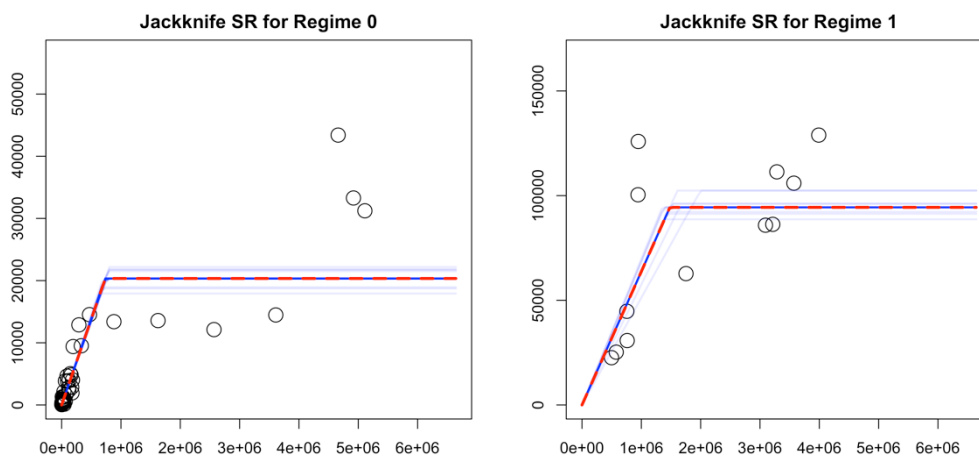
全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法自己相関二段階推定法



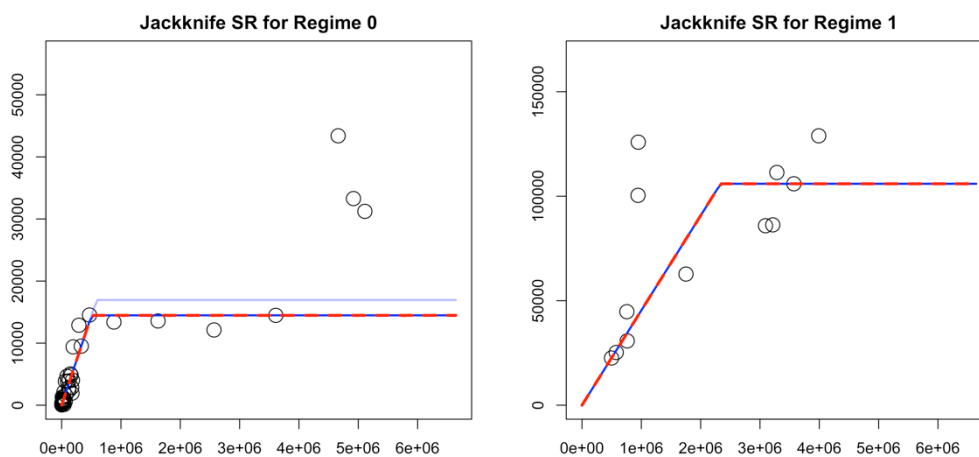
補足図 1-5. HS 型再生産関係におけるジャックナイフ解析での推定結果

赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。分析に使用した親魚量と加入量を丸印で示す。黒丸は使用したデータ期間の最終年（2017 年）を示す

再生産関係を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法

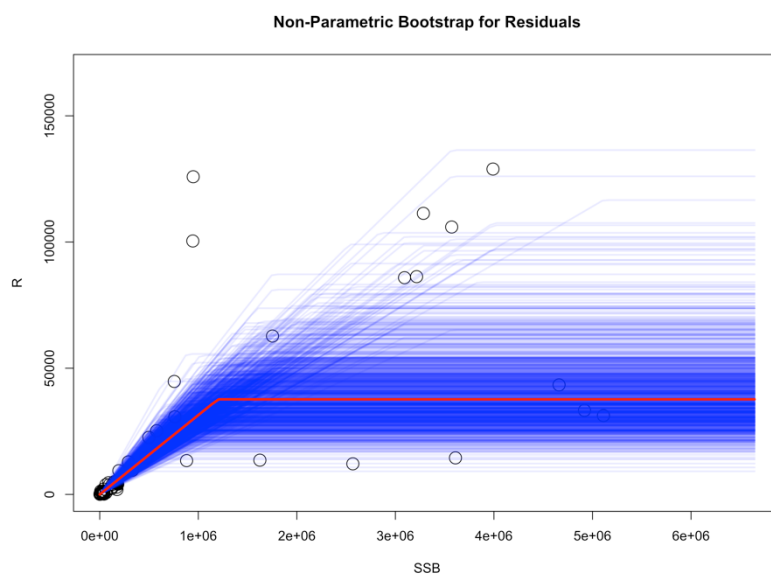


再生産関係を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法

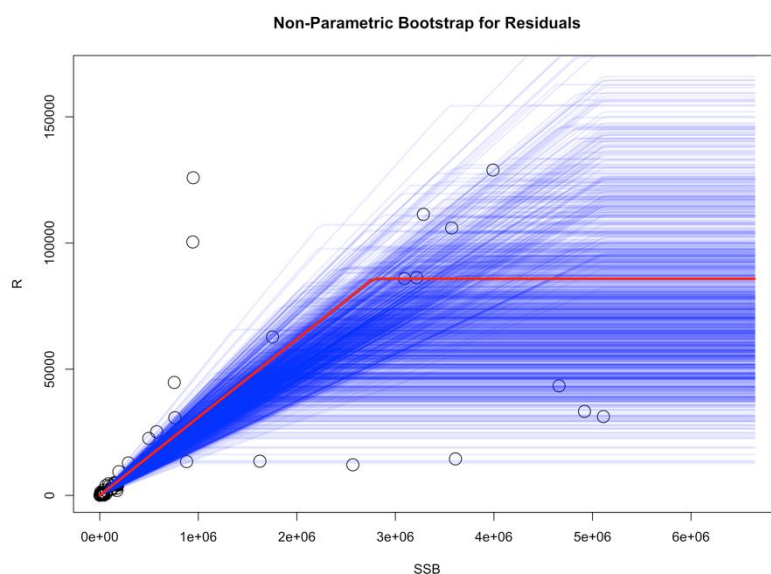


補足図 1-5（続き）． HS 型再生産関係におけるジャックナイフ解析での推定結果
赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。分析に
使用した親魚量と加入量を丸印で示す。黒丸は使用したデータ期間の最終年（2017 年）を
示す

全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法自己相関同時推定法



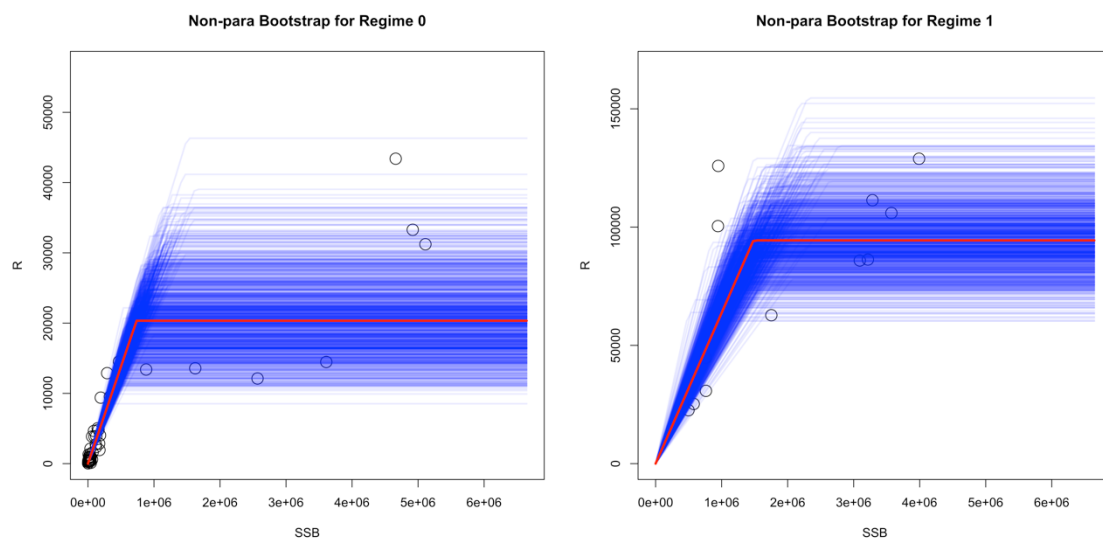
全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法自己相関二段階推定法



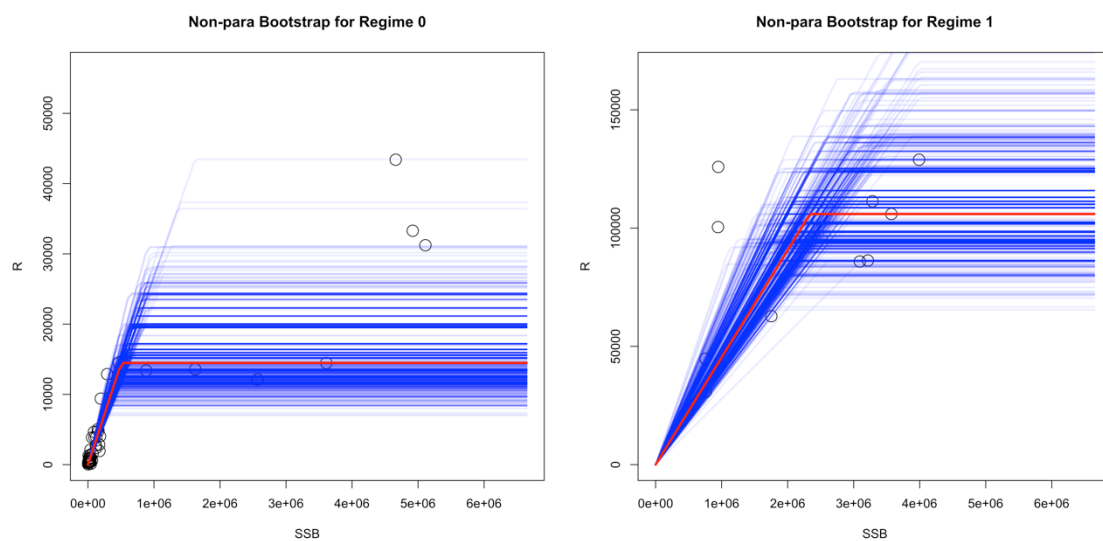
補足図 1-6. HS 型再生産関係における残差ブートストラップ解析の結果

赤線は元データでの推定値、青線はノンパラメトリックブートストラップでの推定値である。分析に使用した親魚量と加入量を丸印で示す。黒丸は使用したデータ期間の最終年（2017 年）を示す。

再生産関係を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法



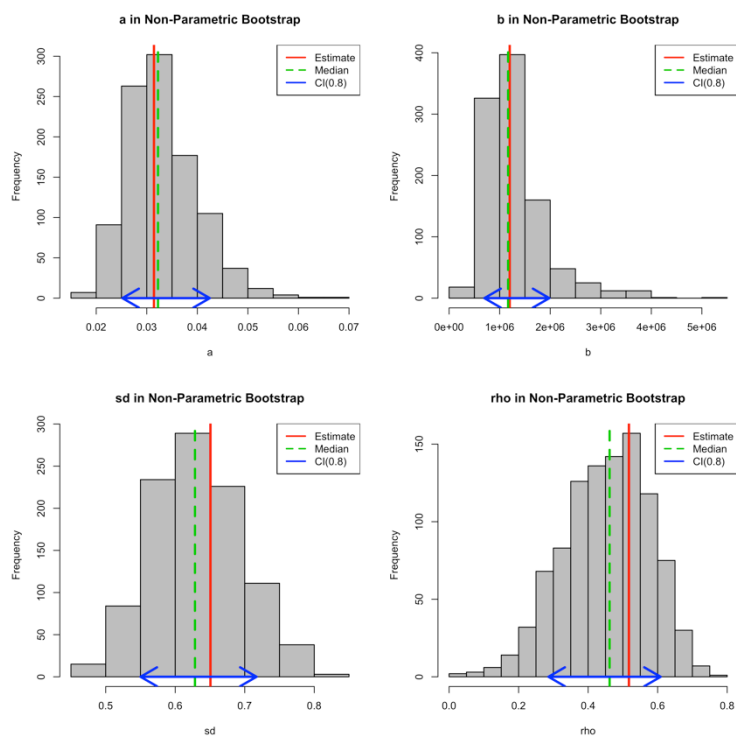
再生産関係を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法



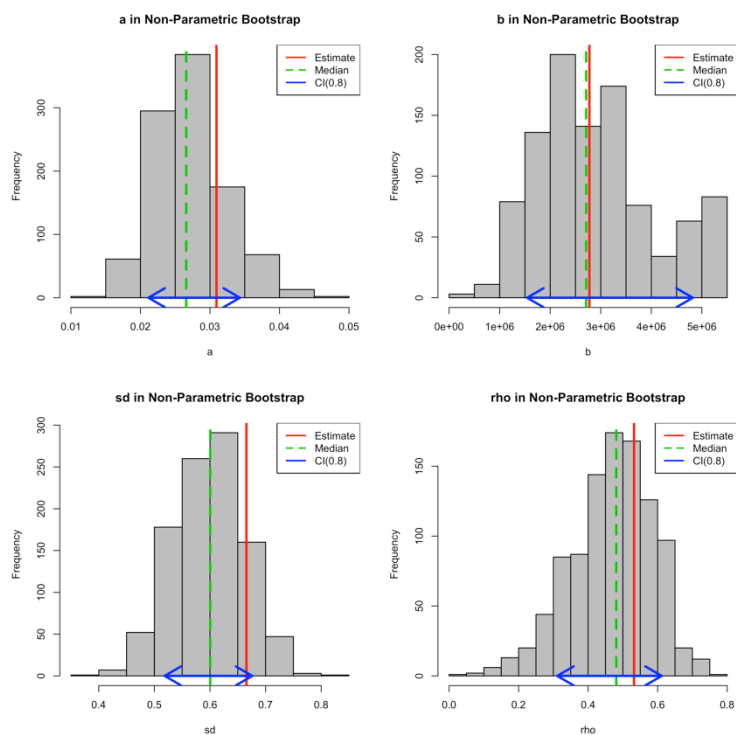
補足図 1-6 （続き）． HS 型再生産関係における残差ブートストラップ解析の結果

赤線は元データでの推定値、青線はノンパラメトリックブートストラップでの推定値である。分析に使用した親魚量と加入量を丸印で示す。黒丸は使用したデータ期間の最終年（2017 年）を示す。

全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法自己相関同時推定法

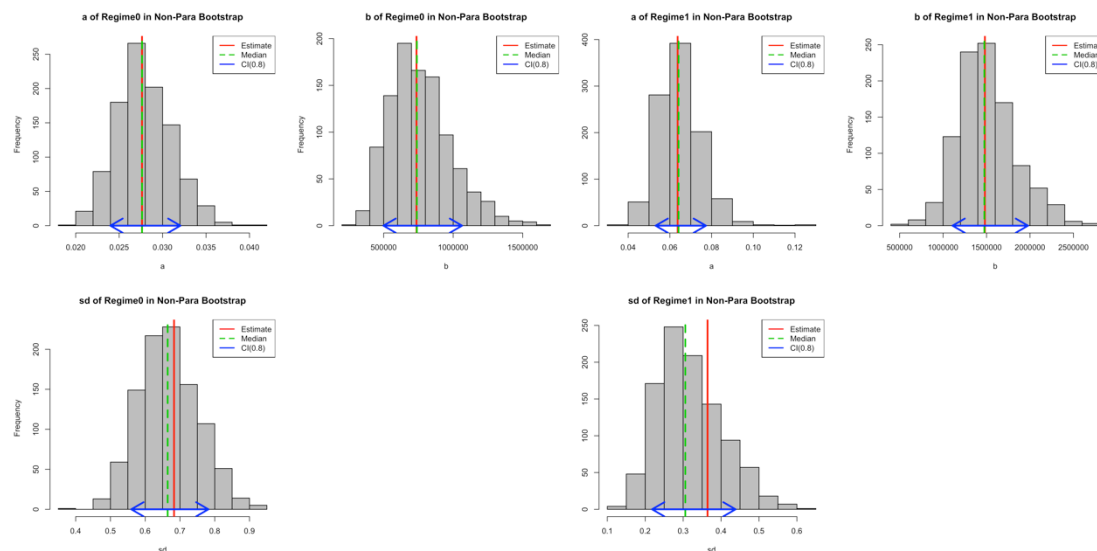


全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法自己相関二段階推定法

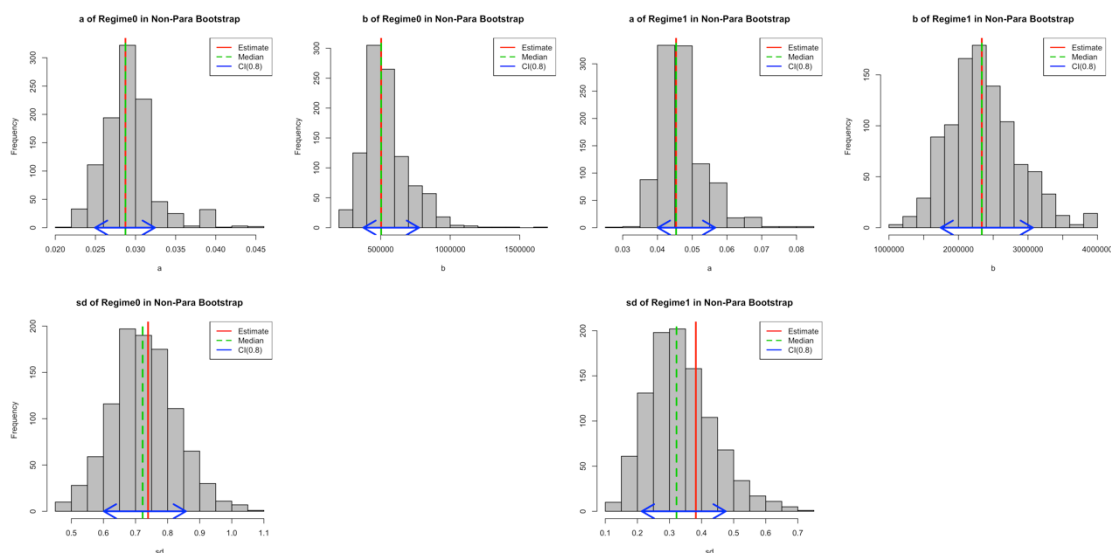


補足図 1-7. 残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線）
赤線はパラメータの点推定値である。

再生産関係を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法



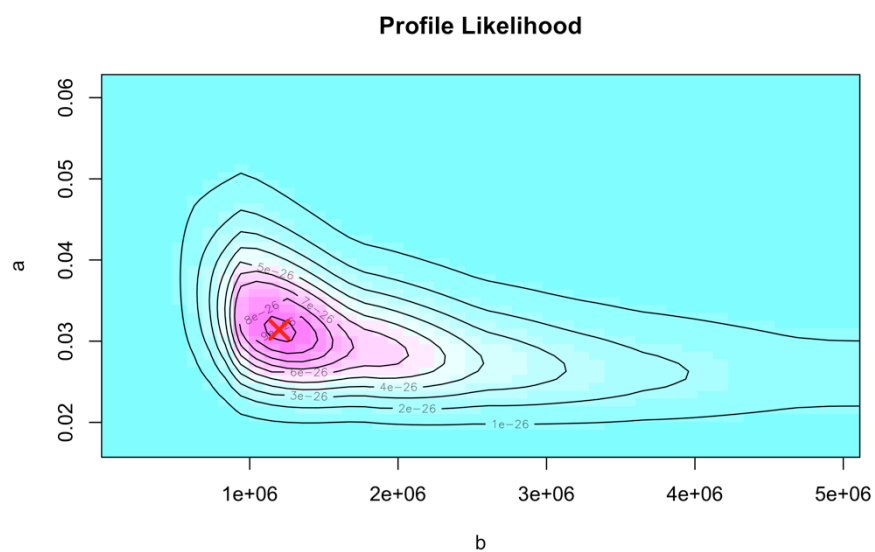
再生産関係を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法



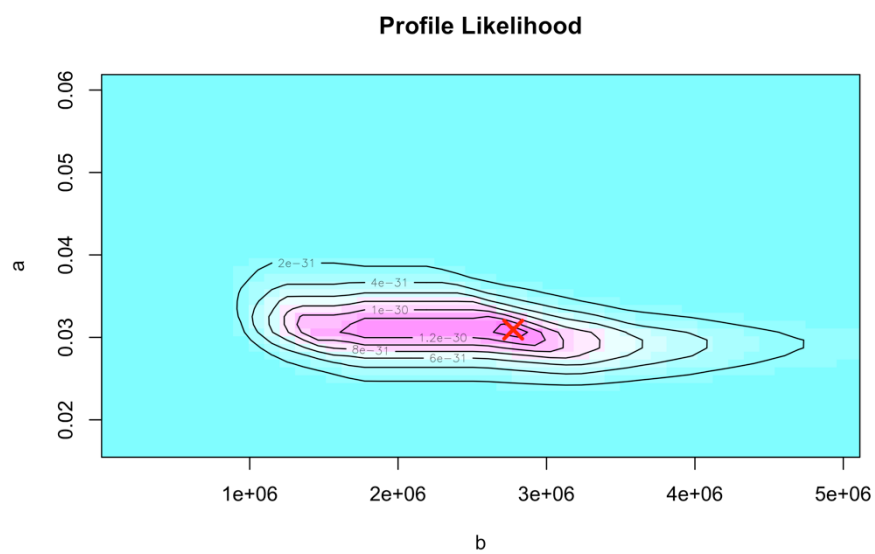
補足図 1-7 (続き) . 残差ブートストラップ解析での中央値 (緑点線) と 80%信頼区間 (青線)

赤線はパラメータの点推定値である。

全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法自己相関同時推定法

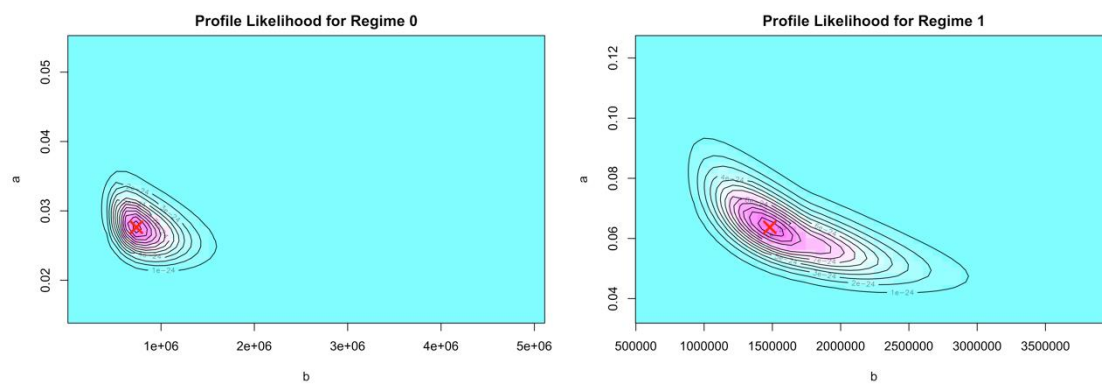


全期間の場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法自己相関二段階推定法

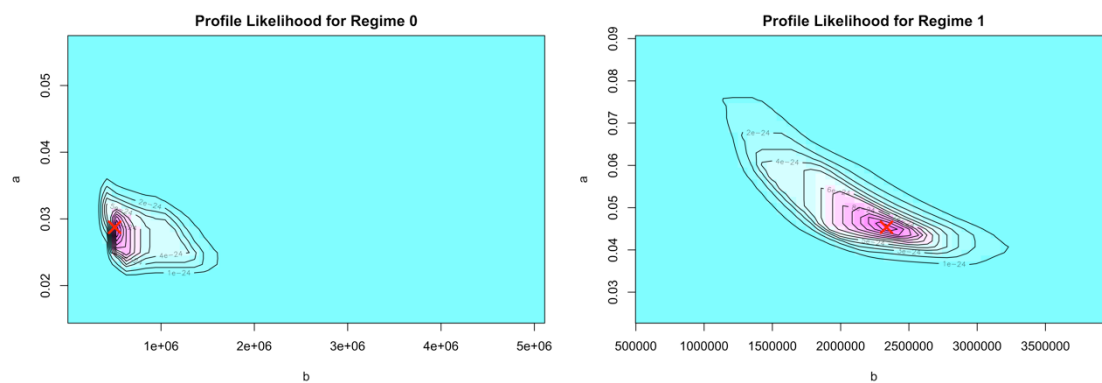


補足図 1-8. HS 型再生産関係の推定パラメータのプロファイル尤度
×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。

再生産関係を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小二乗法



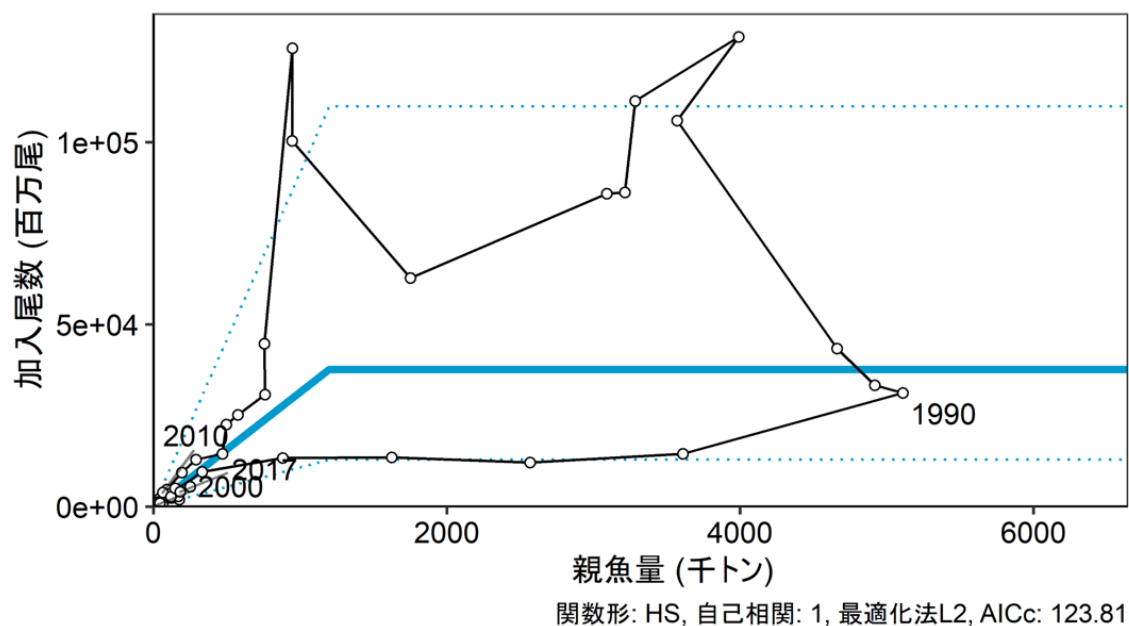
再生産関係を分割する場合： ホッケー・スティック型：最小絶対値法



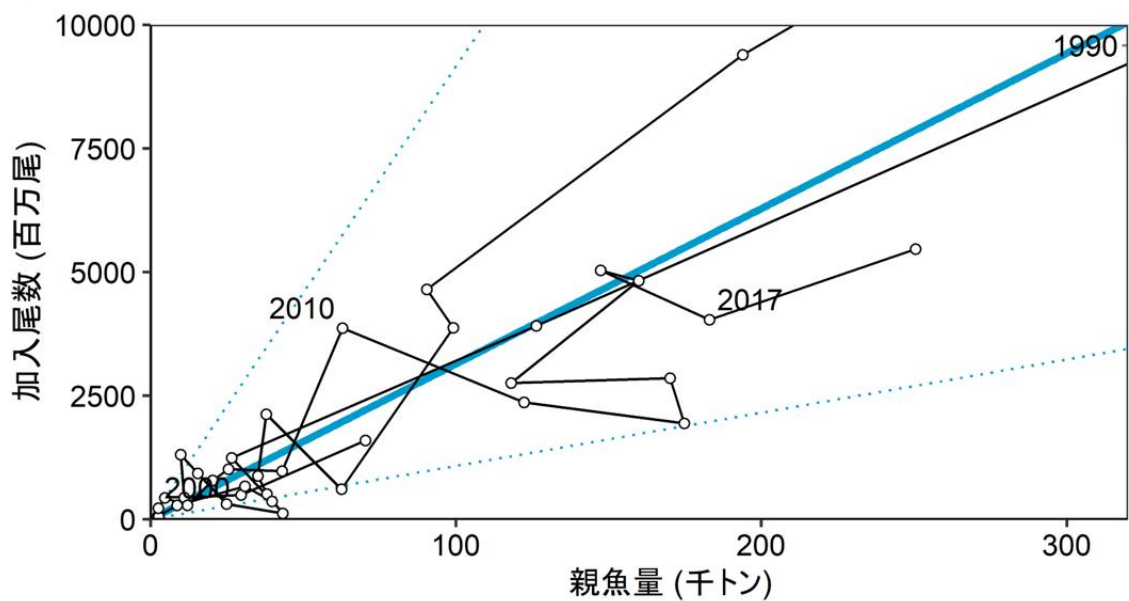
補足図 1-8 （続き）． HS 型再生産関係の推定パラメータのプロファイル尤度
×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。

補足資料 2 全期間（1960～2017 年）データを用いた再生産関係の結果

a)

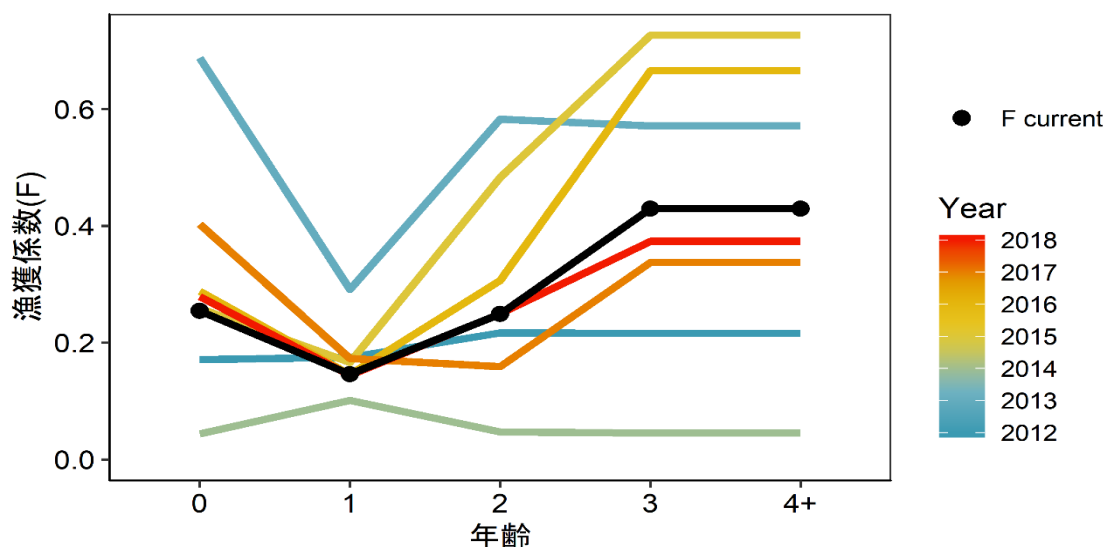


b)



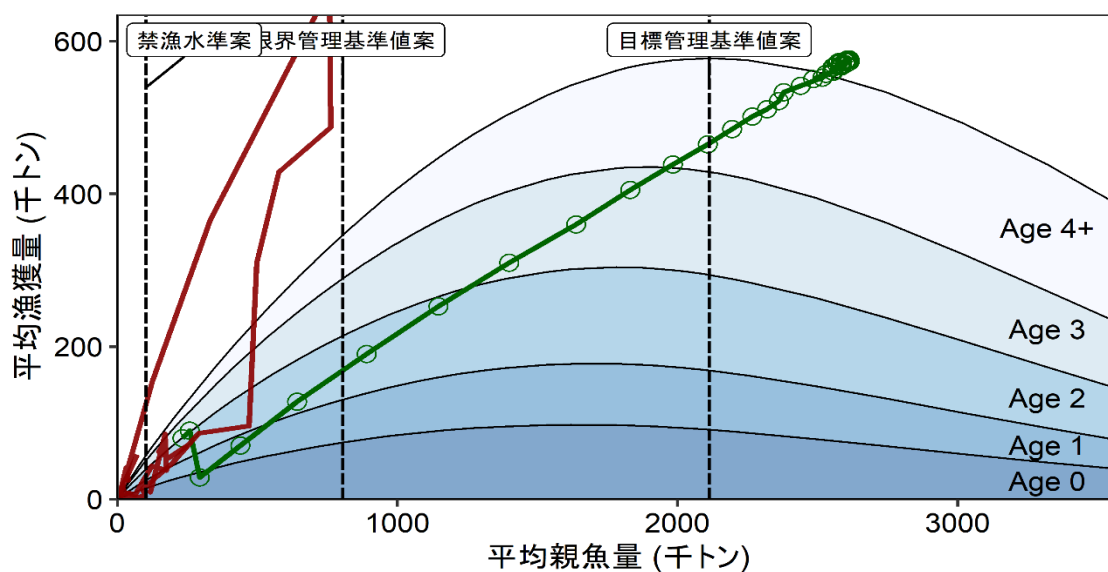
補足図 2-1.

(a) 全期間（1960～2017 年）のデータを用いた場合の親魚資源量と加入量、(b) 拡大図を示す。図中の数字は加入群の年級（生まれ年）を示す。再生産関係にはホッケ－・スティック（HS）型再生産関係式を用い、最小二乗法、自己相関同時推定法によりパラメータ推定を行った。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。



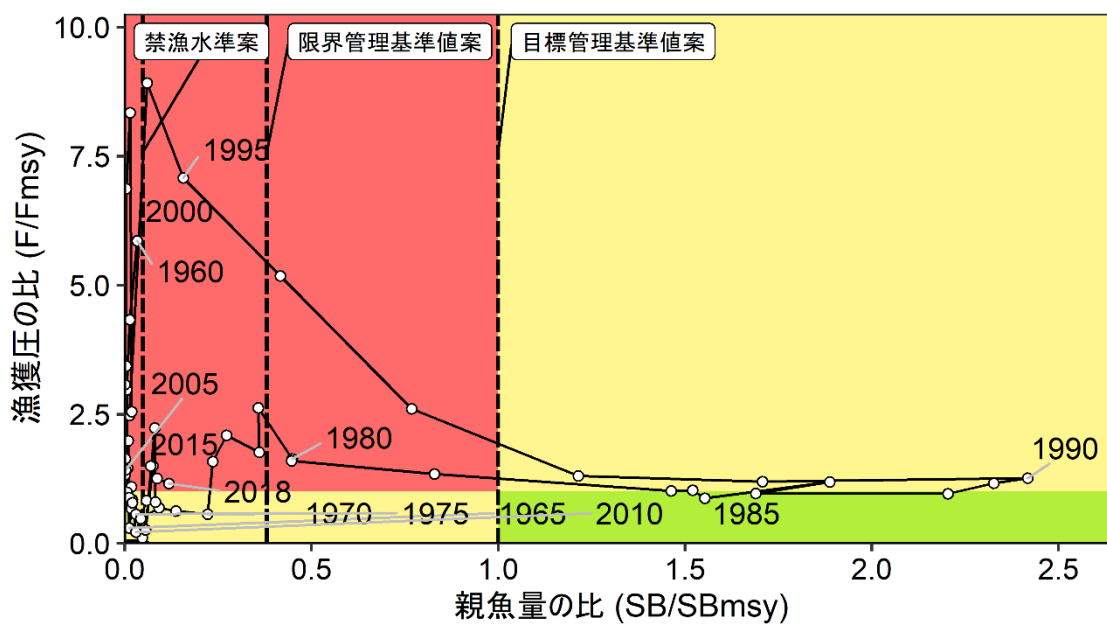
補足図 2-2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

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

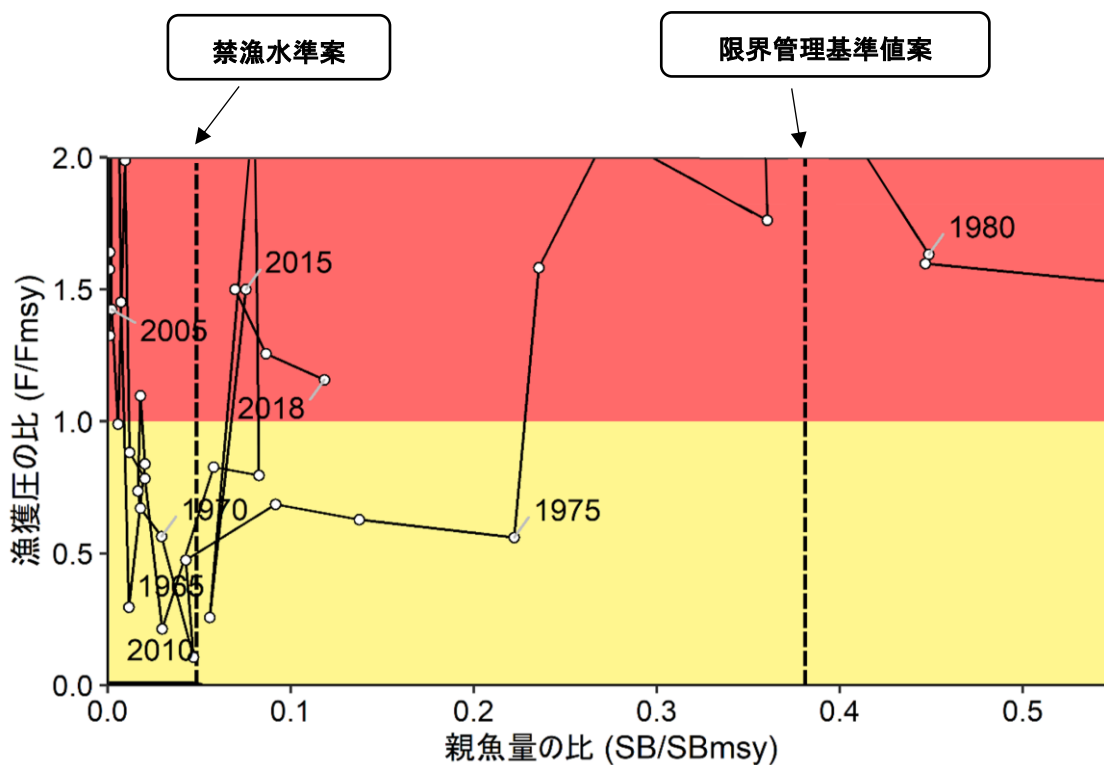


補足図 2-3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

全期間 (1960～2017 年) の状況を仮定した場合の、将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、平均親魚量に対する年齢別平均漁獲量と、管理基準値案および禁漁水準案の位置関係を示す。赤線は資源評価により推定された親魚量と漁獲量との推移を、緑線は提示する漁獲管理規則 (HCR) 案で漁獲を行った場合の将来予測での平均親魚量と平均漁獲量の推移を示す。過去の親魚量と漁獲量の一部は範囲外である (最高値: 親魚量 5,111 千トン、漁獲量 1,605 千トン)。HCR 案で使用した安全係数 β は 0.8 である。なお、漁獲がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 5,109 千トンである。

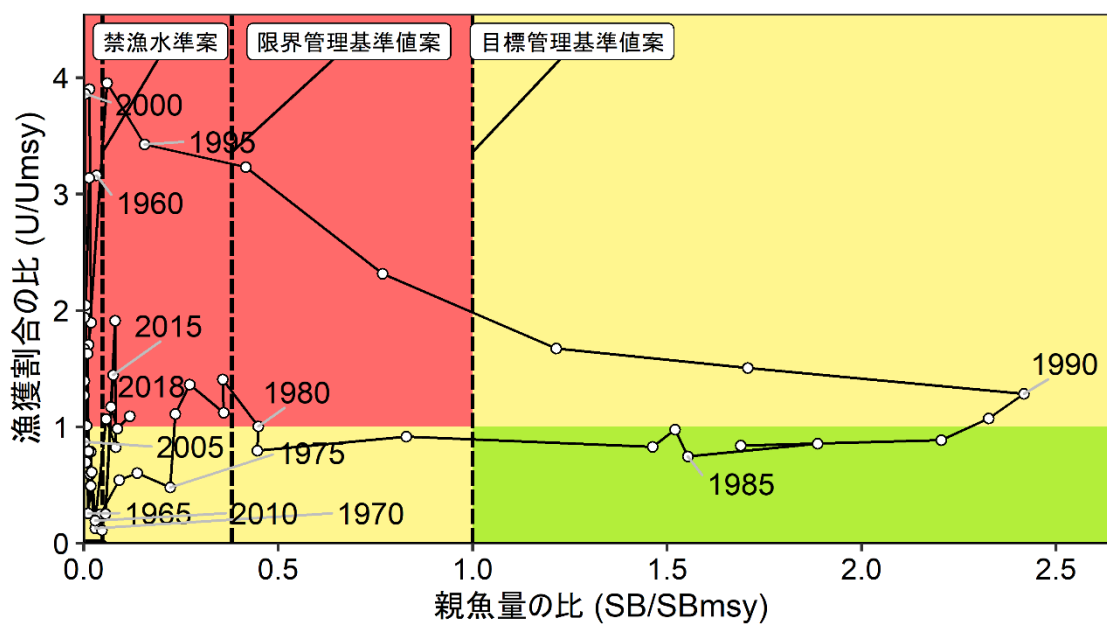
a-1) 縦軸を漁獲圧の比 (F/F_{msy}) で示した場合

a-2) 拡大図

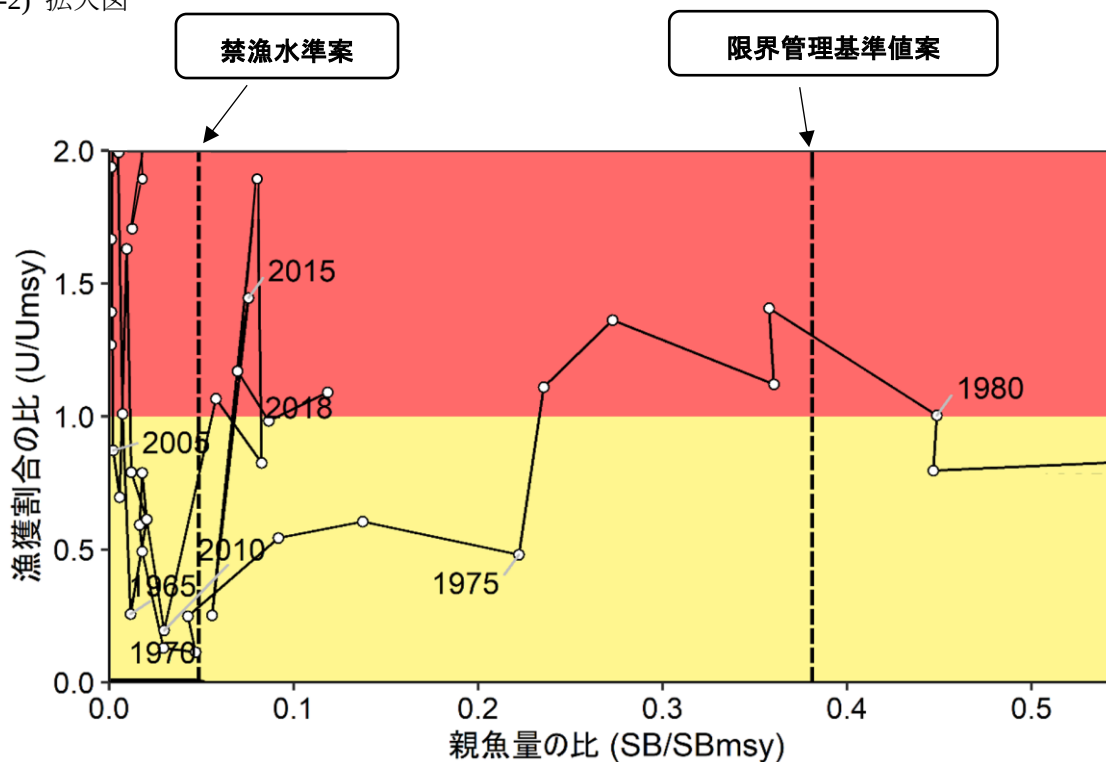


補足図 2-4. 神戸プロット (4 区分)

(a-1) 縦軸に漁獲圧の比を用いた場合と (a-2) その拡大図。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、それぞれ全期間 (1960～2017 年) の状況を仮定した SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ および $SB_{0.1msy}$ を用いた。

b-1) 縦軸を漁獲割合の比 (U/U_{msy}) で示した場合

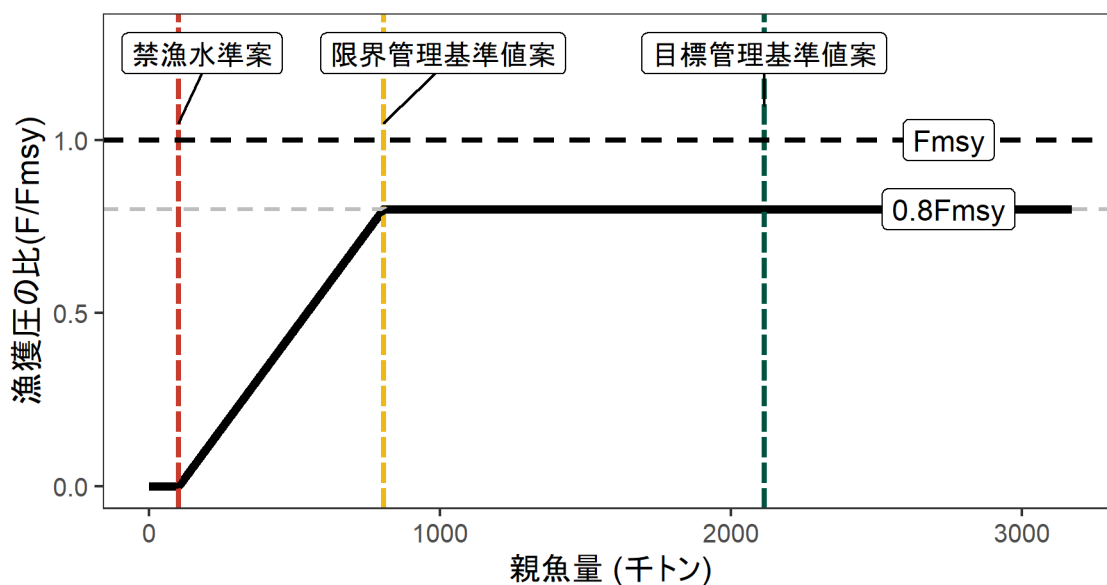
b-2) 拡大図



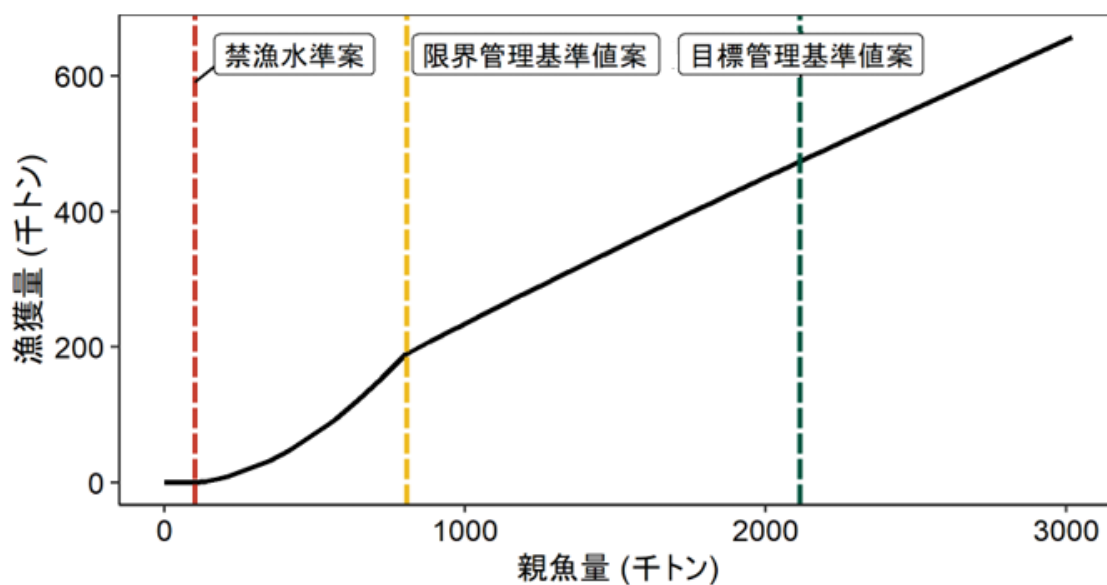
補足図 2-4 (続き) . 神戸プロット (4 区分)

(b-1) 漁獲割合の比を用いた場合と (b-2) その拡大図。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、それぞれ全期間 (1960～2017 年) の状況を仮定した SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ および $SB_{0.1msy}$ を用いた。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合

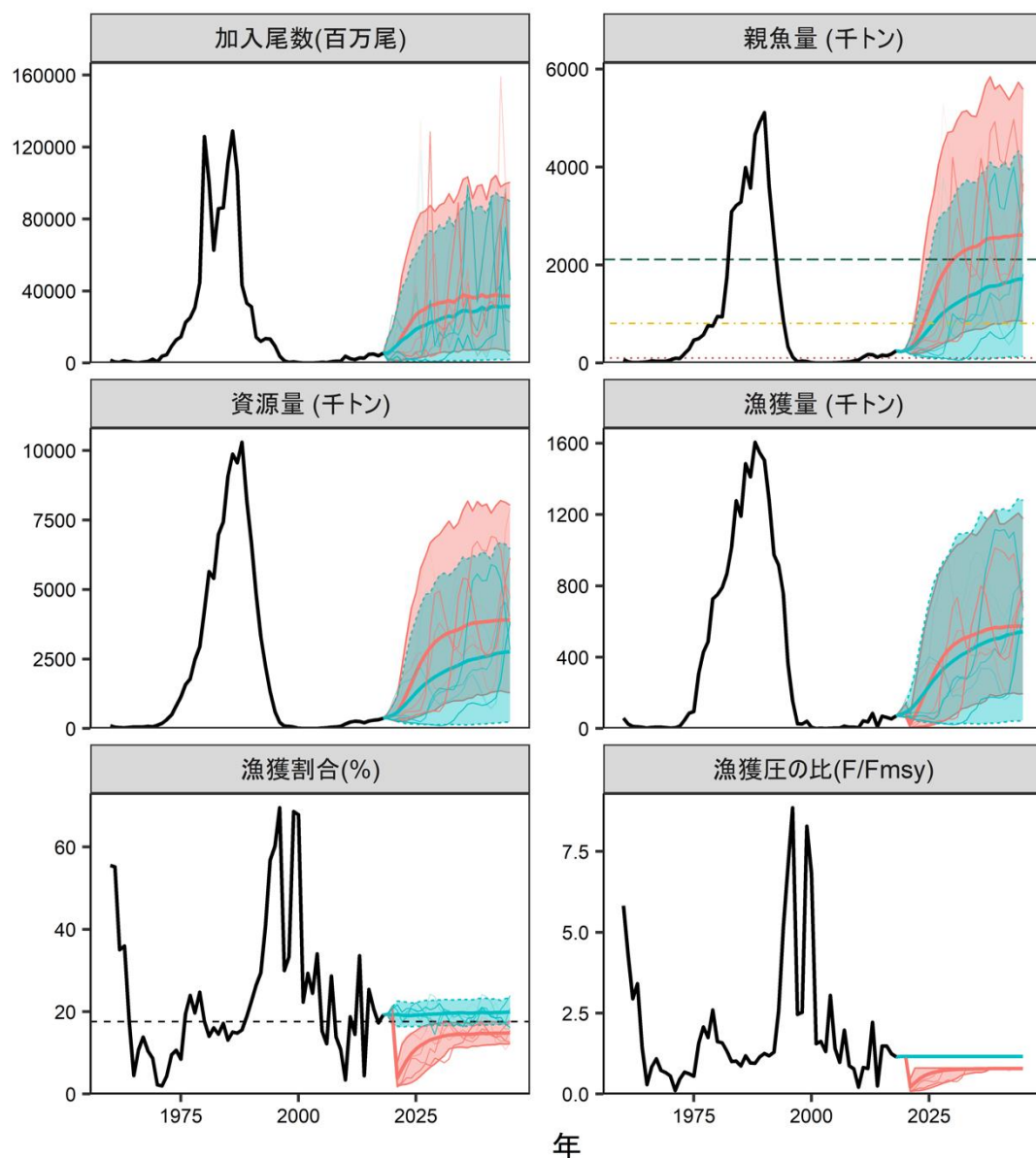


b) 縦軸を漁獲量にした場合



補足図 2-5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は全期間 (1960～2017 年) の状況を仮定した 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 (SBlimit) 案および禁漁水準 (SBban) 案には、それぞれ SB0.6msy および SB0.1msy を用いた。安全係数 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 案、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量にした場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。



(塗り:5-95%信頼区間, 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 2-6. 全期間（1960～2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較
太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄点線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2019 年と 2020 年の漁獲量は、予測される資源量と $F_{current}$ により仮定し、2021 年以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 2-5）に基づく。安全係数 β には 0.8 を用いた。

補足表 2-1. 管理基準値案および禁漁水準案に対応する漁獲量や漁獲圧など

管理基準値案または禁漁水準案	説明	親魚量 (千トン)	SB0 に 対する比 ※	漁獲量※ ※ (千トン)	漁獲圧 ※※※ (%SPR)	現状の	
						漁獲 割合 ※※ ※※	漁獲圧 に対する比※ ※※※ ※
目標管理基準値案 (全期間)	SBmsy	2114	0.41	577	44.8	0.18	0.86
限界管理基準値案 (全期間)	SB0.6msy	806	0.16	346	31.5	0.25	1.38
禁漁水準案 (全期間)	SB0.1msy	103	0.02	58	24.1	0.30	1.82
MSY を実現する漁獲圧							
		Fmsy (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4+歳)					
		= (0.219, 0.125, 0.214, 0.370, 0.370)					

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

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

※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧を%SPR に換算した値

※※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲割合

※※※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比

補足表 2-2. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の、全期間 (1960~2017 年) の状況を仮定した漁獲管理規則案 (補足図 2-5) での将来予測の結果を示す。2019、2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	0	0	2	6	10	15	22	25	28	32	33	42	43
0.9	0	0	0	0	2	6	11	18	24	28	32	36	38	49	48
0.8	0	0	0	0	2	7	13	20	27	32	37	41	44	54	55
0.7	0	0	0	0	2	7	14	21	29	36	42	46	50	62	60
0.6	0	0	0	0	3	8	15	24	32	41	46	52	55	68	66
0.5	0	0	0	0	3	8	17	27	36	44	51	56	61	74	72
0.4	0	0	0	0	3	9	19	31	40	48	56	60	66	78	78
0.3	0	0	0	1	3	10	20	33	44	53	60	66	71	83	84
0.2	0	0	0	1	4	10	22	36	48	57	65	70	75	89	88
0.1	0	0	0	1	4	11	24	39	52	62	70	75	80	93	93
0.0	0	0	0	1	4	12	26	42	55	66	73	80	84	96	96

補足表 2-3. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の、全期間 (1960~2017 年) の状況を仮定した漁獲管理規則案 (補足図 2-5) での将来予測の結果を示す。2019、2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	1	6	20	37	48	58	65	72	76	80	82	91	91
0.9	0	0	1	6	20	39	50	61	67	74	79	83	84	93	94

0.8	0	0	1	7	21	41	52	62	70	76	81	86	88	95	96
0.7	0	0	1	7	22	42	54	65	72	79	83	87	89	96	98
0.6	0	0	1	7	23	43	56	66	74	81	85	89	92	98	99
0.5	0	0	1	8	25	44	57	69	76	83	87	90	93	99	99
0.4	0	0	1	8	25	46	59	70	77	84	89	92	94	99	99
0.3	0	0	1	8	27	47	60	72	78	85	90	93	95	100	100
0.2	0	0	1	9	28	48	62	74	81	87	91	94	96	100	100
0.1	0	0	1	9	29	50	64	75	82	88	93	95	96	100	100
0.0	0	0	1	9	30	52	66	77	84	90	93	96	97	100	100

補足表 2-4. 将来の親魚量が禁漁水準を上回る確率 (%)

安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の、全期間（1960~2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（補足図 2-5）での将来予測の結果を示す。2019、2020 年は F_{current} で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
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

補足表 2-5. 将来の親魚量の平均値の推移 (千トン)

安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の全期間（1960~2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（補足図 2-5）での将来予測の結果を示す。2019、2020 年は F_{current} で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	232	259	294	433	619	836	1,049	1,255	1,448	1,601	1,720	1,818	1,886	2,216	2,200
0.9	232	259	294	436	630	862	1,096	1,324	1,538	1,711	1,845	1,956	2,033	2,393	2,376
0.8	232	259	294	439	642	890	1,145	1,398	1,637	1,830	1,982	2,106	2,193	2,583	2,570
0.7	232	259	294	443	654	919	1,198	1,478	1,743	1,959	2,131	2,270	2,368	2,791	2,781
0.6	232	259	294	446	666	949	1,254	1,564	1,858	2,100	2,294	2,450	2,559	3,019	3,013
0.5	232	259	294	449	679	982	1,315	1,656	1,983	2,254	2,473	2,648	2,770	3,271	3,269
0.4	232	259	294	452	693	1,016	1,379	1,756	2,118	2,422	2,669	2,867	3,005	3,553	3,553
0.3	232	259	294	456	707	1,051	1,447	1,863	2,265	2,607	2,886	3,108	3,265	3,873	3,874
0.2	232	259	294	459	721	1,089	1,520	1,979	2,425	2,808	3,124	3,376	3,556	4,238	4,242
0.1	232	259	294	462	736	1,128	1,598	2,104	2,599	3,030	3,389	3,676	3,884	4,661	4,670
0	232	259	294	466	751	1,169	1,681	2,239	2,789	3,275	3,684	4,014	4,255	5,158	5,177

補足表 2-6. 将来の漁獲量の平均値の推移 (千トン)

安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の全期間（1960~2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（補足図 2-5）での将来予測の結果を示す。2019、2020 年は F_{current} で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	80	90	35	84	148	217	282	340	389	434	467	493	512	600	601
0.9	80	90	32	78	139	204	268	326	376	422	455	481	501	588	588
0.8	80	90	29	71	128	190	252	310	360	405	438	465	484	568	570
0.7	80	90	25	63	116	175	234	289	339	383	416	442	462	542	544
0.6	80	90	22	55	103	157	213	265	313	355	387	412	432	506	509
0.5	80	90	18	47	89	137	188	237	281	321	351	375	393	462	464
0.4	80	90	15	39	74	115	159	203	243	278	306	328	344	405	407
0.3	80	90	11	30	57	91	127	163	197	227	251	269	284	335	337
0.2	80	90	7	20	40	64	90	117	142	165	183	197	208	247	249
0.1	80	90	4	10	21	33	48	63	77	90	100	109	115	138	139
0	80	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足表 2-7. 予測される親魚量、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

全期間データにより推定した漁獲管理規則案を用いた場合について、安全係数 β を 0.0~1.0 で 0.1 刻みで変更した結果を示す。

β	10 年後 (2031 年) の平均親魚量 (千トン)	10 年後 (2031 年) に親魚量が 目標管理基準値案を上 回る確率	0 年後 (2021 年) の予測漁獲 量 (千トン)	5 年後 (2026 年) の予測漁獲 量 (千トン)	10 年後 (2031 年) の予測漁獲 量 (千トン)	10 年後 (2031 年) に親魚量が 限界管理基準値案を上 回る確率
1	1,886	33%	35	340	512	82%
0.9	2,033	38%	32	326	501	84%
0.8	2,193	44%	29	310	484	88%
0.7	2,368	50%	25	289	462	89%
0.6	2,559	55%	22	265	432	92%
0.5	2,770	61%	18	237	393	93%
0.4	3,005	66%	15	203	344	94%
0.3	3,265	71%	11	163	284	95%
0.2	3,556	75%	7	117	208	96%
0.1	3,884	80%	4	63	115	96%
0	4,255	84%	0	0	0	97%

補足資料 3 加入期間の分割に対する管理戦略評価 (MSE)

真の再生産関係と漁獲量計算用に選択した再生産関係が異なった場合、親魚量が減少するリスクや不要に漁獲機会が失われるリスクが生じる。通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）の再生産関係に基づく管理基準値案は、全期間（1960～2017 年）の再生産関係に基づく管理基準値案に比べて低くなり、親魚量が少ない場合の漁獲圧は高くなる（表 3 および補足表 2-3）。真の再生産関係が全期間のものであるにも関わらず、通常加入期による管理基準値案を漁獲量計算に適用した場合、漁獲量を過大に設定し、資源量が回復しないリスクが考えられる。逆に、真の再生産関係が通常加入期のものであるにも関わらず、全期間による管理基準値案を漁獲量計算に適用した場合、漁獲量を過小に設定し、漁獲機会を損失するリスクが考えられる。

そこで、簡易的な管理戦略評価 (MSE) により、真の再生産関係と漁獲量計算用に選択した再生産関係が異なった場合の影響を評価した。MSE における漁獲シナリオは「簡易的 MSE を用いた複数の管理基準値の頑健性の比較・HCR の検討 (FRA-SA2020-BRP01-7)」に基づき、以下の通り設定した。シミュレーション回数は 300 回とした。

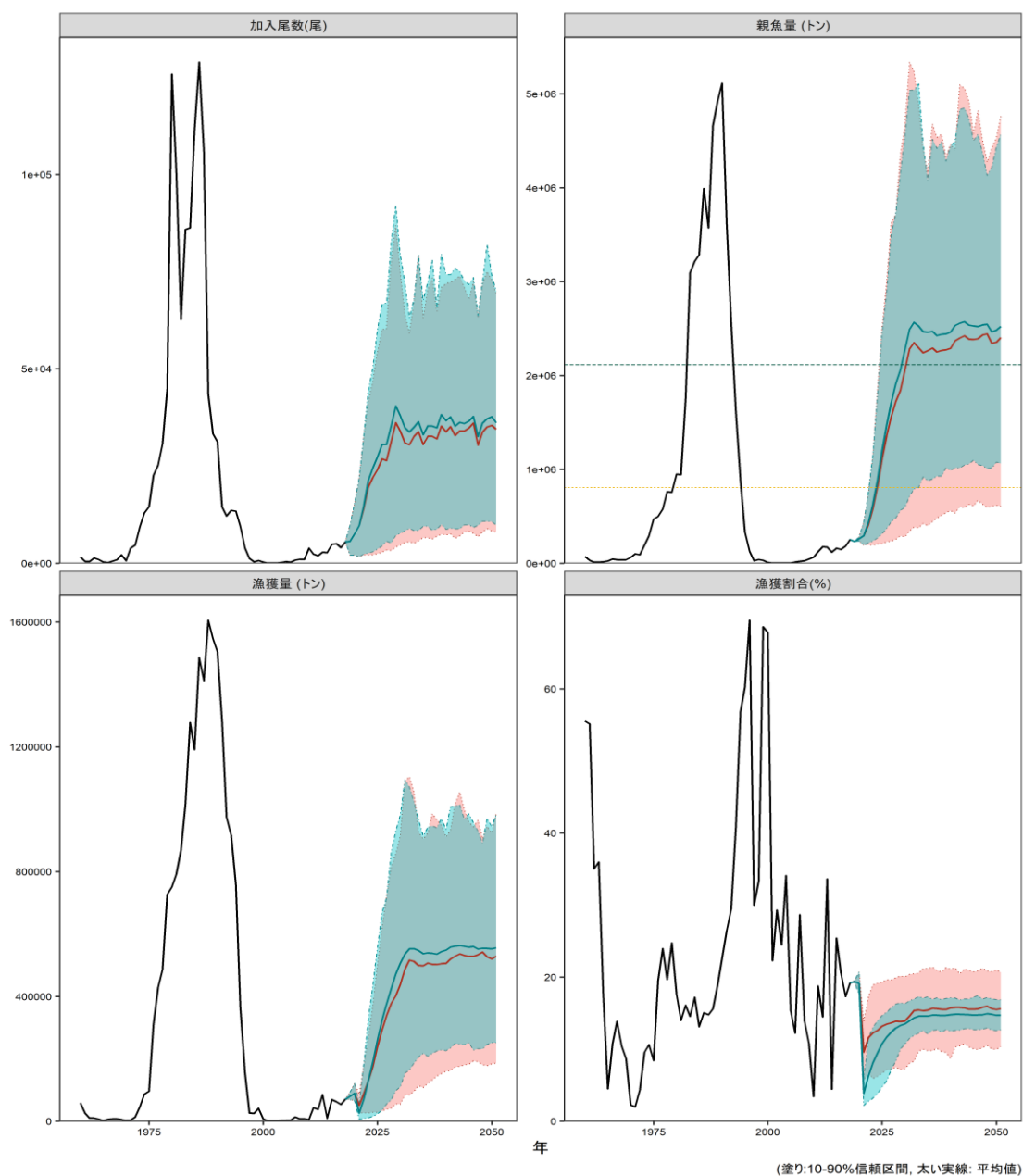
- (1) 毎年、漁獲量に基づき資源量の推定を行う
- (2) 漁獲量の計算用に選択した再生産関係をもとに将来予測を実施し、2 年後の平均漁獲量を推定とする
- (3)(2)で推定された漁獲量で漁獲を行う

【1】資源量減少のリスク

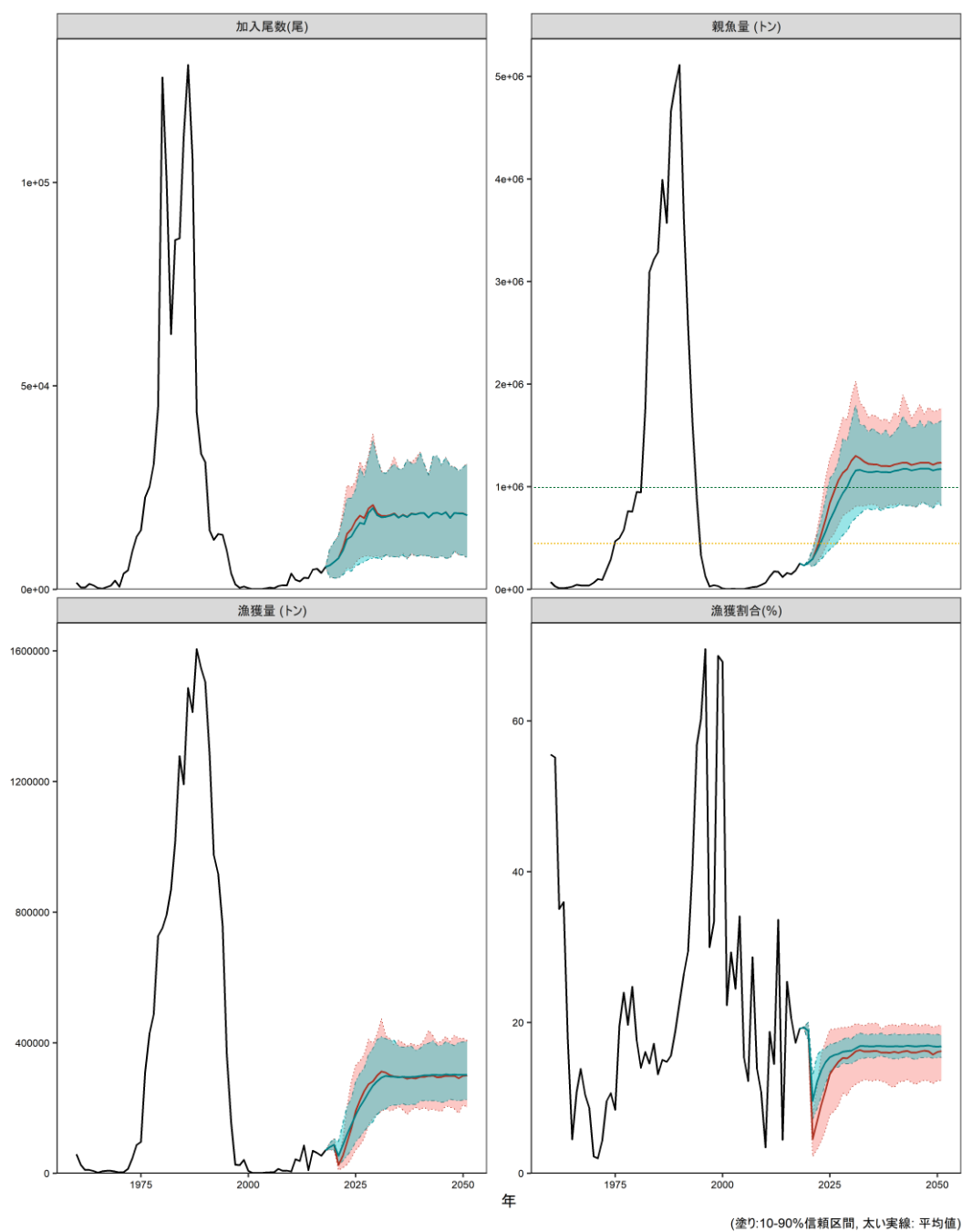
真の再生産関係は全期間（1960～2017 年）のデータに当てはめたホッケースティック (HS) 型最小二乗法自己相関同時推定法を、漁獲量計算に適用した再生産関係は通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）のデータに当てはめた HS 型最小二乗法を用いた。その結果を補足図 3-1、補足表 3-1～3-4 に示す。予測される平均親魚量が真の限界管理基準値（全期間のデータに当てはめた場合 806 千トン）を上回る確率は、 β が 0.8 の時は 72%であった。真の限界管理基準値を上回る確率が 90%以上になるためには、10 年後では β を 0.3、20 年後では β を 0.6、30 年後では β を 0.7 以下にする必要があった（補足表 3-2）。加入様態の仮定の選択が誤っていた場合に生じる資源が回復しないリスクを抑えるためには、 β を小さくする必要がある。

【2】漁獲機会損失のリスク

真の再生産関係は通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）のデータに当てはめた HS 型最小二乗法を、漁獲量計算に適用した再生産関係は全期間（1960～2017 年）のデータに当てはめた HS 型最小二乗法自己相関同時推定法を用いた。その結果を補足図 3-2、補足表 3-5～3-9 に示す。2021 年に予測される平均漁獲量は、 β が 0.8 の時は通常加入期の再生産関係にもとづいて算出した漁獲量に比べて 53%減少し、25 千トンであった。しかし、10 年後は 11%増加し 312 千トンであった。このことから、短期的には漁獲機会の損失のリスクが生じた。



補足図 3-1. 真の再生産関係が全期間（1960～2017 年）HS 型と仮定した場合、通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）HS 型に基づく漁獲管理規則案を用いた MSE 将来予測（赤線）と全期間 HS 型に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（緑線）。太実線は平均値、網掛けは 80% 予測区間。親魚量の図の破線は全期間 HS 型の管理基準値案（緑：目標管理基準値案、黄：限界管理基準値案）。2019 年と 2020 年の漁獲量は予測される資源量と $F_{current}$ により仮定し、2021 年以降の漁獲は漁獲管理規則案に基づく（図 5）。安全係数 β には 0.8 を用いた。



補足図 3-2. 真の再生産関係が通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）HS 型と仮定した場合、全期間（1960～2017 年）HS 型に基づく漁獲管理規則案を用いた MSE 将来予測（赤線）と通常加入期 HS 型に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（緑）。太実線は平均値、網掛けは 80% 予測区間。親魚量の図の破線は通常加入期 HS 型の管理基準値案（緑：目標管理基準値案、黄：限界管理基準値案）。2019 年・2020 年の漁獲量は予測される資源量と $F_{current}$ により仮定した。漁獲管理規則案（2021 年以降）は標準の管理基準値案に基づく（補足図 2-5）。安全係数 β には 0.8 を用いた。

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

真の再生産関係は全期間、漁獲量計算の再生産関係は通常加入期の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	0	0	3	6	11	14	17	21	24	27	31	33	34
0.9	0	0	0	0	3	7	11	15	20	25	27	30	35	37	40
0.8	0	0	0	0	3	8	12	17	23	29	29	35	41	44	44
0.7	0	0	0	0	3	8	13	18	25	32	32	41	46	48	50
0.6	0	0	0	0	3	9	15	21	27	34	37	45	50	55	57
0.5	0	0	0	0	3	10	16	22	31	38	45	50	56	63	66
0.4	0	0	0	0	3	10	18	25	35	43	51	55	60	71	75
0.3	0	0	0	0	3	11	20	28	38	46	56	62	64	79	80
0.2	0	0	0	0	4	13	22	33	43	53	62	69	73	87	85
0.1	0	0	0	0	4	14	23	37	47	57	67	73	78	89	92
0.0	0	0	0	0	4	14	25	40	52	63	72	79	84	95	97

補足表 3-2. 将来の親魚量が真の再生産関係の限界管理基準値案を上回る確率 (%)

真の再生産関係は全期間、漁獲量計算の再生産関係は通常加入期の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	0	6	19	26	35	42	47	53	57	63	62	73	74
0.9	0	0	0	7	20	28	37	44	51	57	62	67	68	77	79
0.8	0	0	0	7	21	30	39	48	54	61	66	70	72	82	86
0.7	0	0	0	8	22	31	44	51	57	63	70	73	78	89	90
0.6	0	0	0	8	23	33	45	54	60	65	72	77	80	92	96
0.5	0	0	0	9	24	35	46	58	63	69	75	80	83	97	98
0.4	0	0	0	9	24	37	48	61	67	75	78	82	87	99	99
0.3	0	0	0	9	25	38	52	64	71	77	83	86	91	100	99
0.2	0	0	0	9	26	42	55	67	76	82	88	91	94	100	100
0.1	0	0	0	10	29	43	60	72	81	87	91	94	95	100	100
0.0	0	0	0	11	30	46	65	76	84	89	93	95	96	100	100

補足表 3-3. 将来の平均親魚量の推移 (千トン)

真の再生産関係は全期間、漁獲量計算の再生産関係は通常加入期の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	232	259	293	401	550	759	1,006	1,208	1,358	1,477	1,563	1,743	1,945	1,978	2,005
0.9	232	259	293	406	565	788	1,056	1,279	1,452	1,594	1,696	1,891	2,106	2,161	2,198
0.8	232	259	293	412	580	820	1,110	1,357	1,556	1,722	1,842	2,054	2,283	2,370	2,403
0.7	232	259	293	417	597	854	1,168	1,442	1,671	1,862	2,004	2,235	2,480	2,601	2,631
0.6	232	259	293	423	614	891	1,232	1,536	1,797	2,018	2,184	2,433	2,698	2,853	2,881
0.5	232	259	293	429	632	930	1,301	1,639	1,935	2,188	2,382	2,652	2,937	3,124	3,143
0.4	232	259	293	435	650	971	1,375	1,752	2,089	2,381	2,605	2,901	3,208	3,417	3,428
0.3	232	259	293	441	670	1,016	1,457	1,877	2,261	2,597	2,856	3,183	3,513	3,746	3,750
0.2	232	259	293	447	691	1,063	1,545	2,014	2,452	2,838	3,139	3,500	3,861	4,121	4,111
0.1	232	259	293	453	712	1,114	1,641	2,166	2,665	3,109	3,460	3,862	4,261	4,560	4,541
0	232	259	293	460	735	1,169	1,745	2,332	2,901	3,413	3,824	4,276	4,715	5,081	5,062

補足表 3-4. 将来の平均漁獲量の推移 (千トン)

真の再生産関係は全期間、漁獲量計算の再生産関係は通常加入期の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	80	89	63	104	146	195	258	314	355	390	413	448	500	520	531
0.9	80	89	57	97	138	186	249	305	348	385	410	445	496	523	534
0.8	80	89	52	89	129	176	237	293	338	377	403	438	488	519	529
0.7	80	89	46	81	119	164	223	278	324	363	390	425	472	508	516
0.6	80	89	39	72	107	150	206	259	304	343	372	405	449	486	492
0.5	80	89	33	62	94	133	185	235	278	317	345	375	416	452	456
0.4	80	89	27	51	79	114	160	205	245	281	307	336	371	404	406
0.3	80	89	20	40	63	91	129	168	203	234	258	282	312	339	341
0.2	80	89	14	28	44	65	93	122	150	174	193	212	234	255	255
0.1	80	89	7	14	23	35	50	67	83	97	109	119	132	144	144
0	80	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足表 3-5. 将来の親魚量が真の再生産関係の目標管理基準値案を上回る確率 (%)

真の再生産関係は通常加入期、漁獲量計算の再生産関係は全期間の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	0	1	4	11	18	20	31	37	43	49	53	49	49
0.9	0	0	0	1	4	12	20	27	38	43	52	58	62	54	59
0.8	0	0	0	1	4	13	22	35	47	52	61	68	71	65	71
0.7	0	0	0	1	5	13	25	43	54	61	73	79	78	79	82
0.6	0	0	0	1	5	16	28	50	62	74	83	85	87	91	90
0.5	0	0	0	1	5	18	32	55	72	83	88	92	93	96	98
0.4	0	0	0	1	5	20	37	62	80	89	91	96	96	99	99
0.3	0	0	0	1	6	22	43	68	85	92	96	98	98	100	100
0.2	0	0	0	1	7	24	48	73	88	93	97	99	99	100	100
0.1	0	0	0	1	8	26	55	79	91	97	99	99	100	100	100
0.0	0	0	0	1	9	29	59	84	92	98	99	100	100	100	100

補足表 3-6. 将来の親魚量が真の再生産関係の限界管理基準値案を上回る確率 (%)

真の再生産関係は通常加入期、漁獲量計算の再生産関係は全期間の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	5	25	51	79	91	93	96	97	98	99	99	100	100
0.9	0	0	5	26	53	80	93	94	97	97	99	99	100	100	100
0.8	0	0	5	26	55	83	93	95	97	98	99	99	100	100	100
0.7	0	0	5	27	57	85	94	96	97	99	100	100	100	100	100
0.6	0	0	5	27	60	86	95	98	98	99	100	100	100	100	100
0.5	0	0	5	28	63	88	96	98	98	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	5	29	65	89	96	98	99	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	5	30	67	90	96	98	99	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	5	30	70	91	97	98	99	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	5	31	71	91	97	98	99	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	5	32	73	94	97	99	100	100	100	100	100	100	100

補足表 3-7. 将来の平均親魚量の推移 (千トン)

真の再生産関係は通常加入期、漁獲量計算の再生産関係は全期間の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	232	261	295	401	519	644	778	864	946	1,003	1,031	1,102	1,142	1,066	1,075
0.9	232	261	295	404	527	663	809	908	1,001	1,065	1,099	1,173	1,217	1,140	1,150
0.8	232	261	295	406	537	682	842	956	1,061	1,135	1,174	1,252	1,301	1,223	1,235
0.7	232	261	295	409	546	703	878	1,008	1,128	1,212	1,258	1,342	1,396	1,318	1,331
0.6	232	261	295	412	556	725	916	1,064	1,201	1,298	1,353	1,443	1,503	1,427	1,441
0.5	232	261	295	415	566	748	957	1,127	1,282	1,394	1,459	1,557	1,624	1,549	1,565
0.4	232	261	295	418	576	772	1,001	1,195	1,371	1,501	1,578	1,685	1,760	1,689	1,707
0.3	232	261	295	421	587	798	1,049	1,270	1,470	1,620	1,711	1,829	1,913	1,851	1,870
0.2	232	261	295	424	598	825	1,101	1,351	1,579	1,751	1,861	1,992	2,087	2,038	2,058
0.1	232	261	295	427	610	854	1,156	1,440	1,699	1,897	2,028	2,175	2,283	2,256	2,278
0	232	261	295	430	621	884	1,216	1,536	1,830	2,060	2,215	2,383	2,508	2,514	2,539

補足表 3-8. 将来の平均漁獲量の推移 (千トン)

真の再生産関係は通常加入期、漁獲量計算の再生産関係は全期間の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	81	88	32	65	109	154	208	240	268	290	299	319	333	311	317
0.9	81	88	29	60	102	147	200	233	261	283	292	311	324	305	310
0.8	81	88	25	54	95	138	190	223	252	273	282	299	312	295	300
0.7	81	88	22	49	86	128	178	210	238	260	268	283	296	281	286
0.6	81	88	19	43	77	116	163	194	221	241	249	263	275	263	267
0.5	81	88	16	36	67	102	145	175	199	218	226	238	249	239	243
0.4	81	88	13	30	56	87	124	151	172	189	197	208	217	210	212
0.3	81	88	10	23	44	69	99	122	140	154	161	170	178	173	175
0.2	81	88	7	16	30	49	71	88	101	112	117	124	130	128	129
0.1	81	88	3	8	16	26	38	47	55	61	64	68	72	71	72
0	81	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足資料 4 移行期をのぞく通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）データを用いた再生産関係の結果

本資源で見られた 1988 年以降の加入量の減少は、海洋環境の変化による発育初期における生残率の低下を表していると考えられている（Ohshimo et al. 2009）。補正赤池情報量規準（AICc）に基づき、1988 年に高加入期から通常加入期に切り替わると仮定した。しかし、1988～1990 年は親魚量が最大となった時期であり、高加入期から通常加入期への移行期と捉えることもできる。資源水準の急激な変化を伴う移行期には、対象資源の生物学的パラメータや年齢構成が大きく変化することが考えられ、年齢別資源尾数の推定結果にも大きな誤差を伴う可能性がある。したがって、再生産関係の推定において、移行期のデータの取り扱いについては慎重に検討する必要がある。そこで、1988～1990 年を通常加入期から除き、1991 年に高加入期から通常加入期に切り替わると仮定した場合の再生産関係と、それに基づく結果を示す。

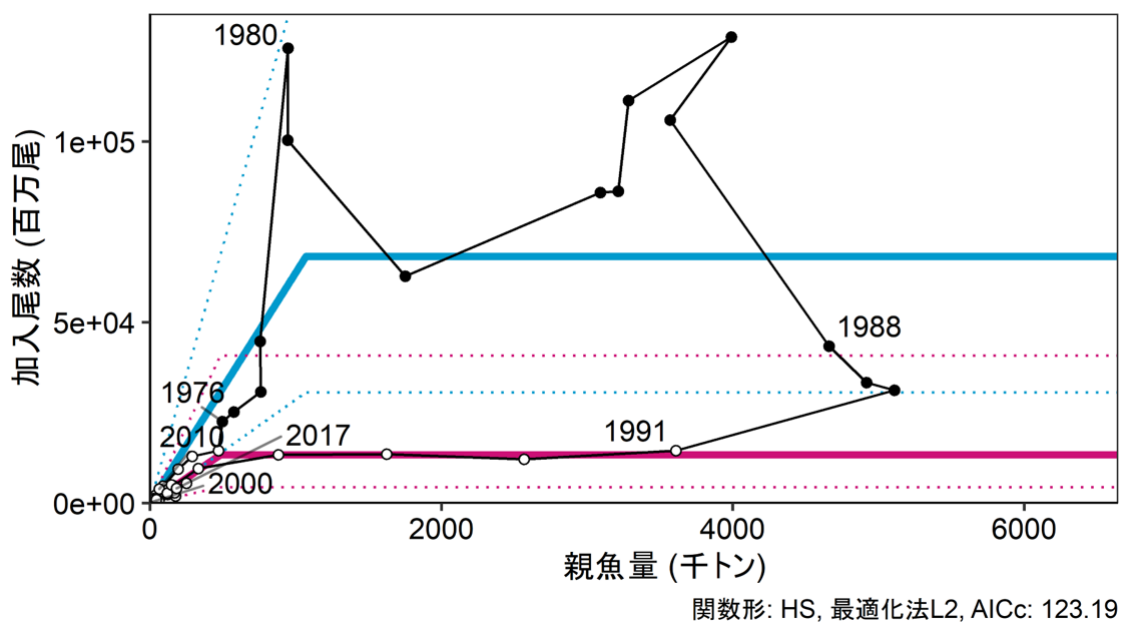
再生産関係式	最適化法	期間	加入期	a	b	S.D.	Rho	AICc
ホッケー・スティック型	最小二乗法	1960～1975	移行期を除く	0.0276	483,613	0.678	0	123
		1991～2017	通常					
		1976～1990	移行期を含む高	0.0637	1,070,395	0.487	0	

※ a は折れ点までの再生産曲線の傾き（尾/g）、b は折れ点となる親魚量（トン）を示す。

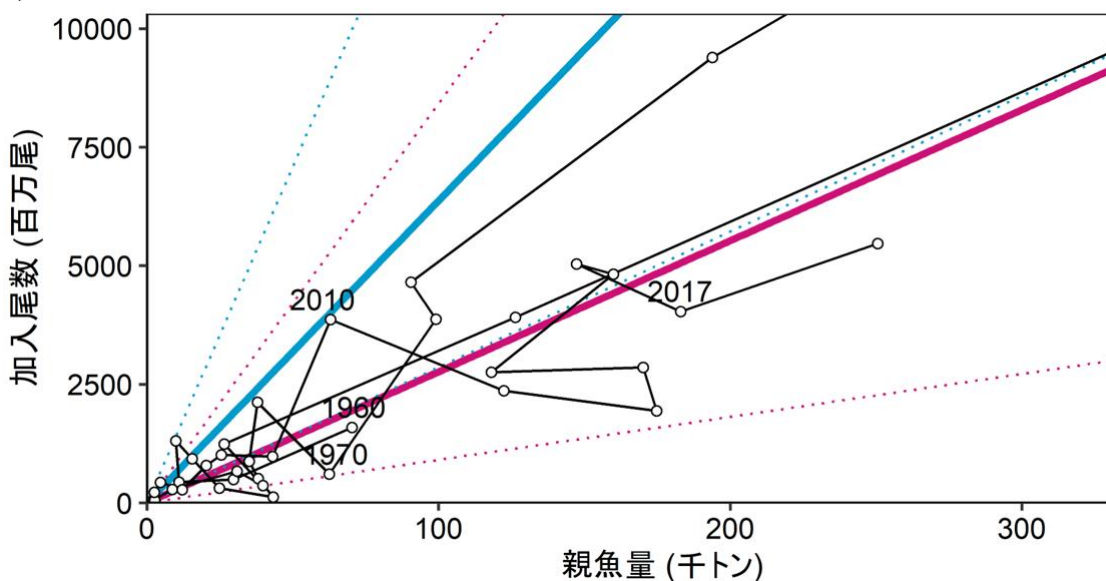
再生産関係には自己相関を考慮しないホッケー・スティック型を適用し、最小二乗法によりパラメータを推定した。目標管理基準値（SBtarget）案として移行期を除く通常加入期の状況での MSY 水準における親魚量（SBmsy：674 千トン）、限界管理基準値（SBlimit）案として MSY の 60%の漁獲が得られる親魚量（SB0.6msy：296 千トン）、禁漁水準（SBban）案として MSY の 10%の漁獲が得られる親魚量（SB0.1msy：42 千トン）と計算された（補足表 4-1）。期待される MSY は 217 千トンと推定された。目標管理基準値（SBmsy）案を達成する漁獲圧（Fmsy）は、現状（2014～2018 年の平均の漁獲係数）の 1.00 倍となった。

通常加入期の状況を仮定した場合（表 3）と比べると、AICc は 4.27 高かった。また、SBmsy は 32%、SB0.6msy は 35%、MSY は 31%、Fmsy は 1%減少した。

a)

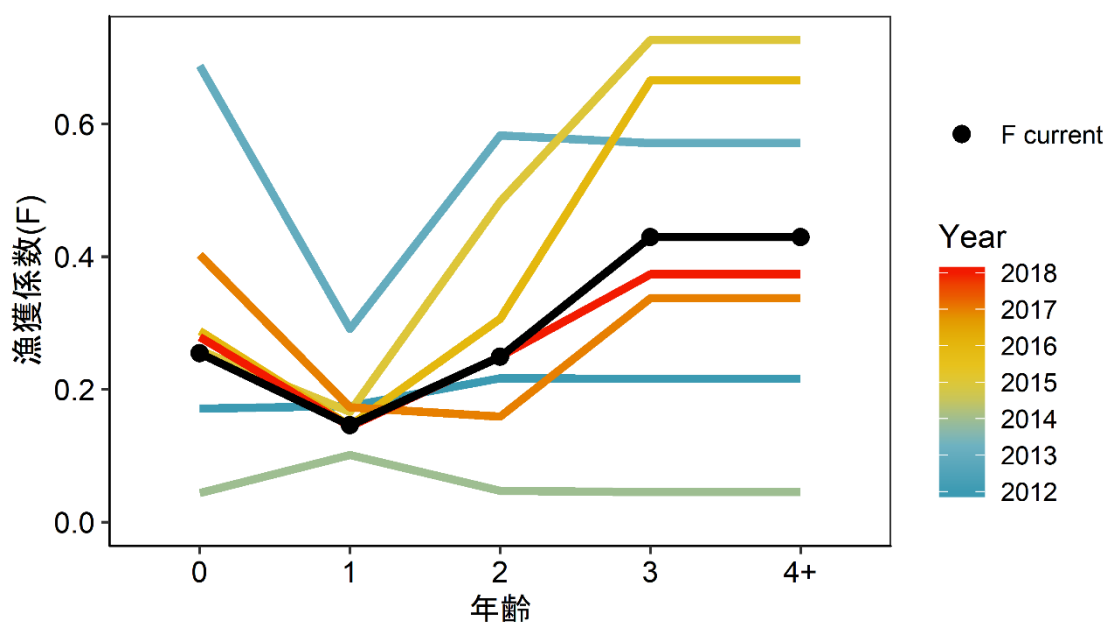


b)



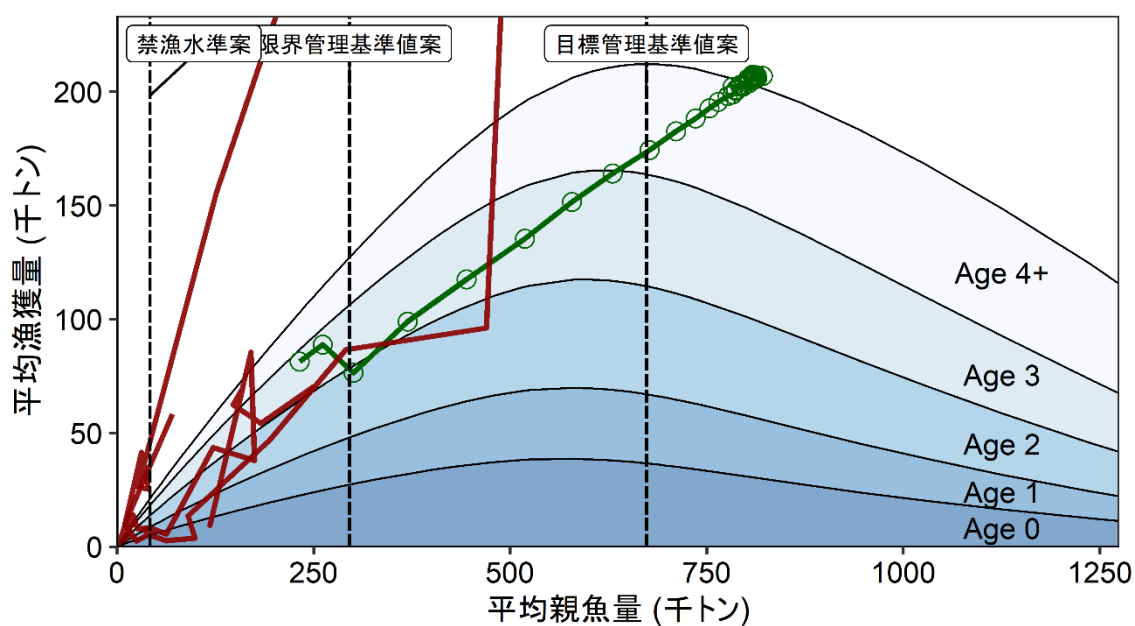
補足図 4-1.

(a) 加入期間を分割した場合、移行期を除く通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年、白丸と赤実線）と移行期を含む高加入期（1976～1990 年、黒丸と青実線）の親魚資源量と加入量を示す。(b) 拡大図。図中の数字は加入群の年級（生まれ年）を示す。再生産関係には自己相関を考慮しないホッケ－・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。図中の再生産関係式の上下の点線は、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 4-2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

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

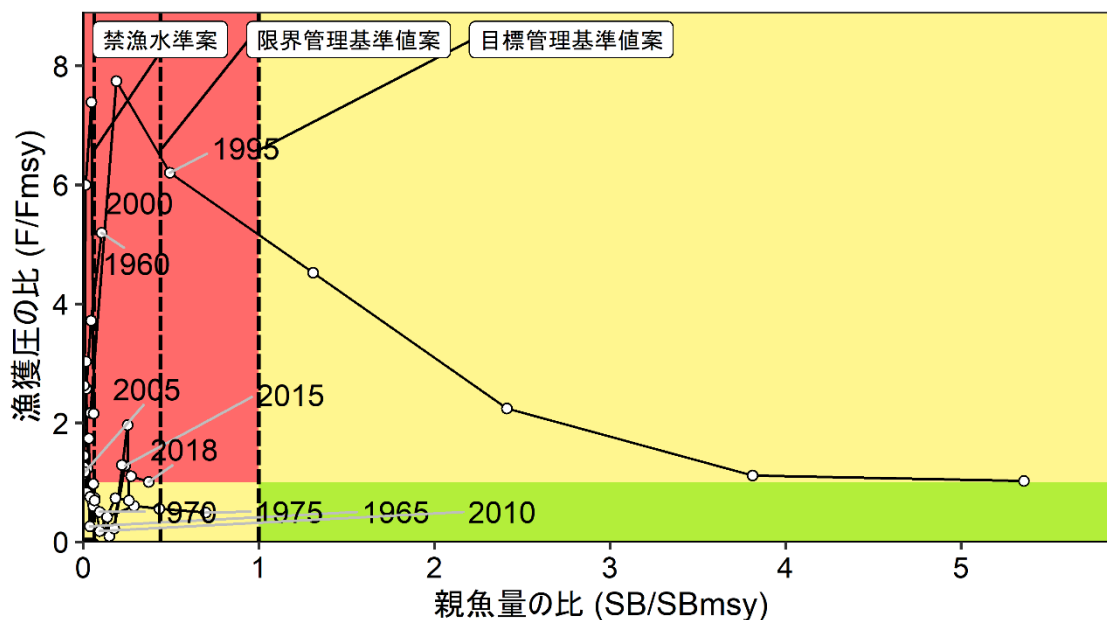


補足図 4-3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

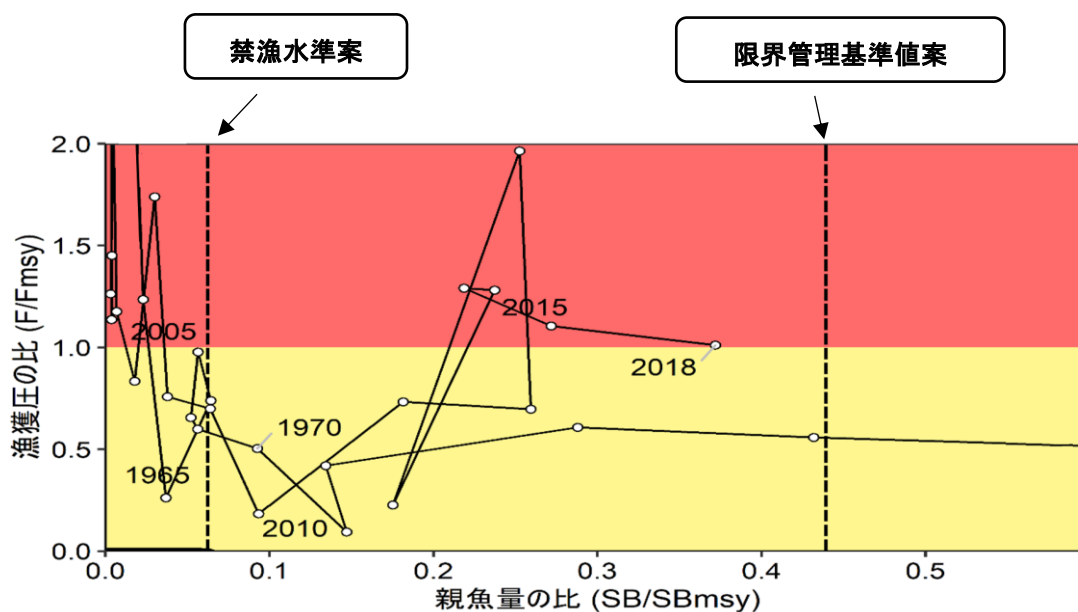
移行期を除く通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）再生産関係を適用した場合の将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、平均親魚量に対する年齢別平均漁獲量と、管理基準値案および禁漁水準案の位置関係を示す。赤線は資源評価により推定された親魚量と漁獲量の推移を、緑線は提示する漁獲管理規則（HCR）案で漁獲を行った場合の将来予測での平均親魚量と平均漁獲量の推移を示す。過去の親

魚量と漁獲量の一部は範囲外である（最高値：親魚量 5,111 千トン、漁獲量 1,605 千トン）。HCR 案で使用した安全係数 β は 0.8 である。なお、漁獲がなかった場合を仮定した初期親魚量（SB0）は 1,722 千トンである。

a-1) 縦軸を漁獲圧の比（ F/F_{msy} ）で示した場合

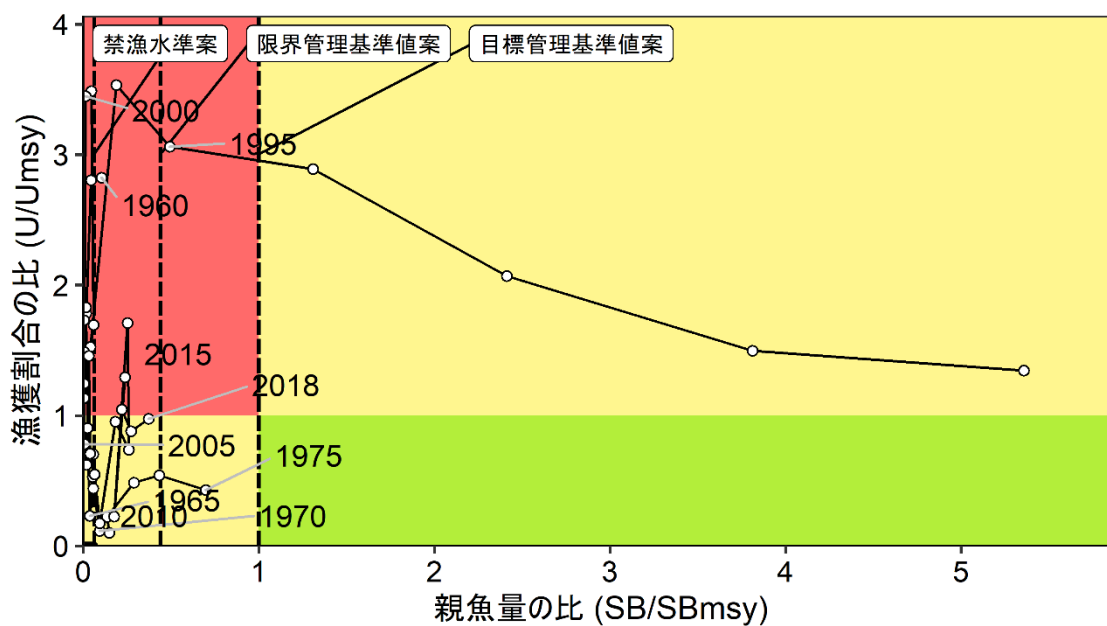


a-2) 拡大図

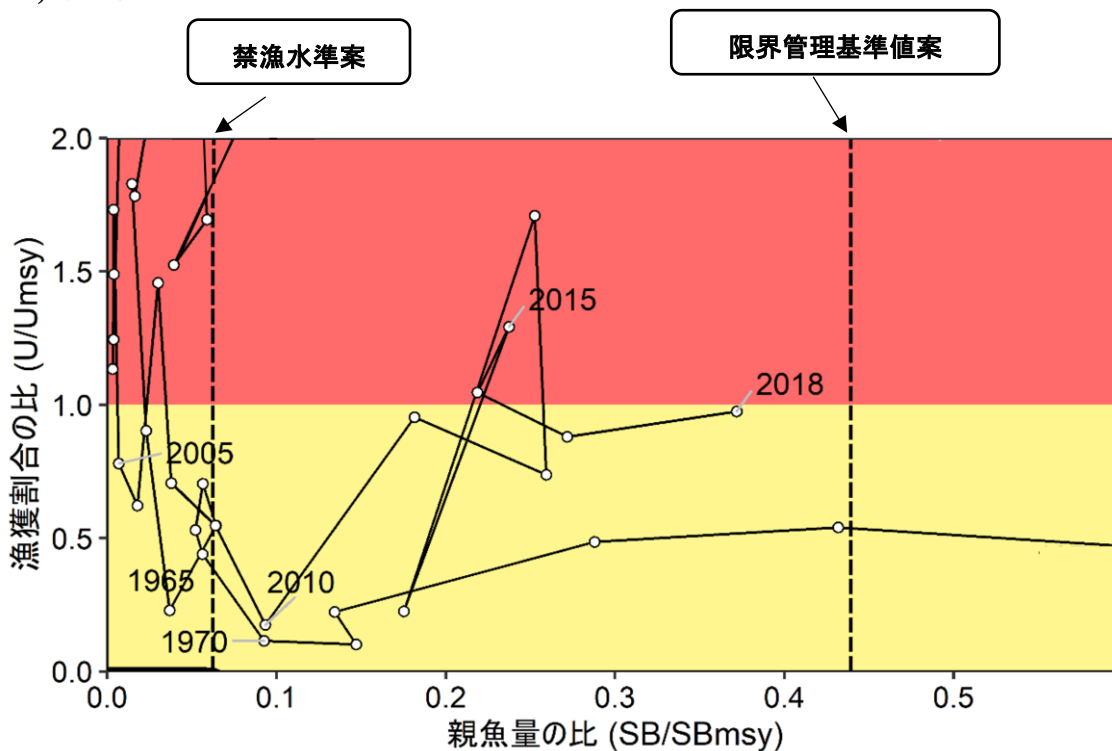


補足図 4-4. 神戸プロット（4 区分）

（a-1）縦軸に漁獲圧の比を用いた場合と（a-2）その拡大図。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、それぞれ移行期を除く通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）の状況を仮定した SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ および $SB_{0.1msy}$ を用いた。

b-1) 縦軸を漁獲割合の比 (U/U_{msy}) で示した場合

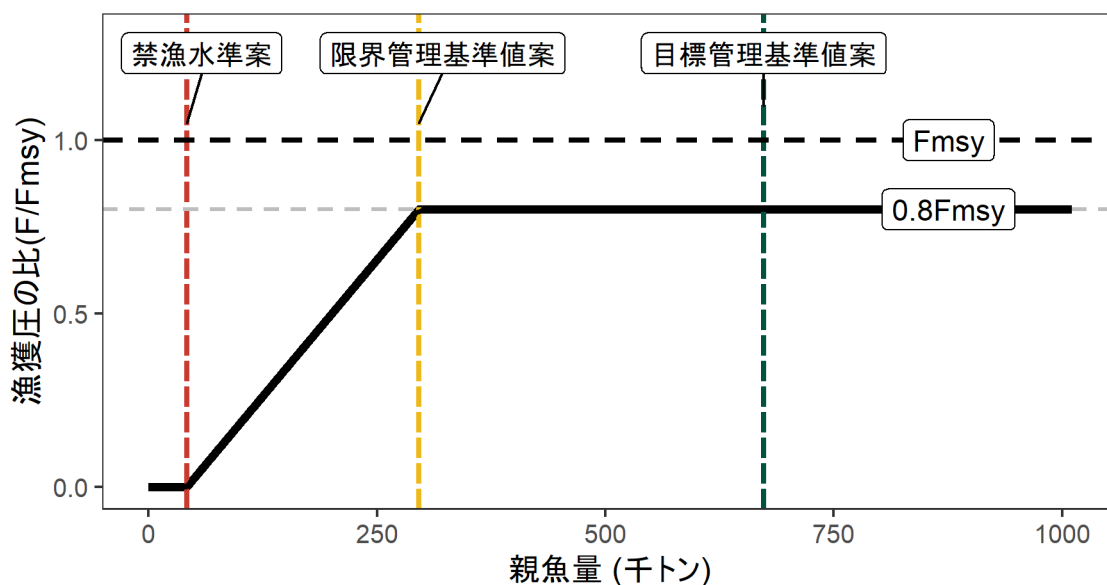
b-2) 拡大図



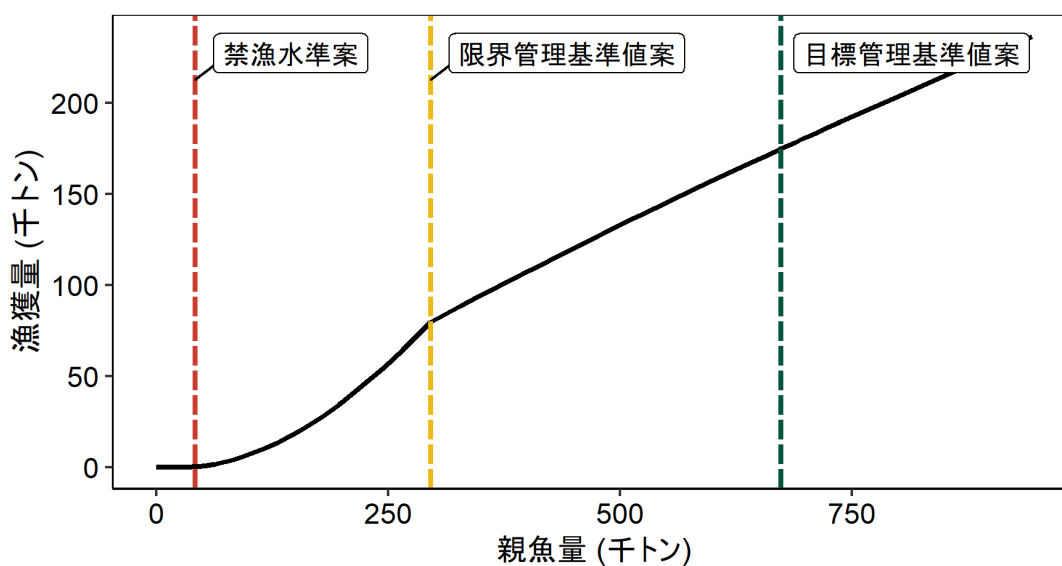
補足図 4-4 (続き) . 神戸プロット (4 区分)

(b-1) 漁獲割合の比を用いた場合と (b-2) その拡大図。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、それぞれ移行期を除く通常加入期 (1960～1975 年および 1991～2017 年) の状況を仮定した SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ および $SB_{0.1msy}$ を用いた。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合

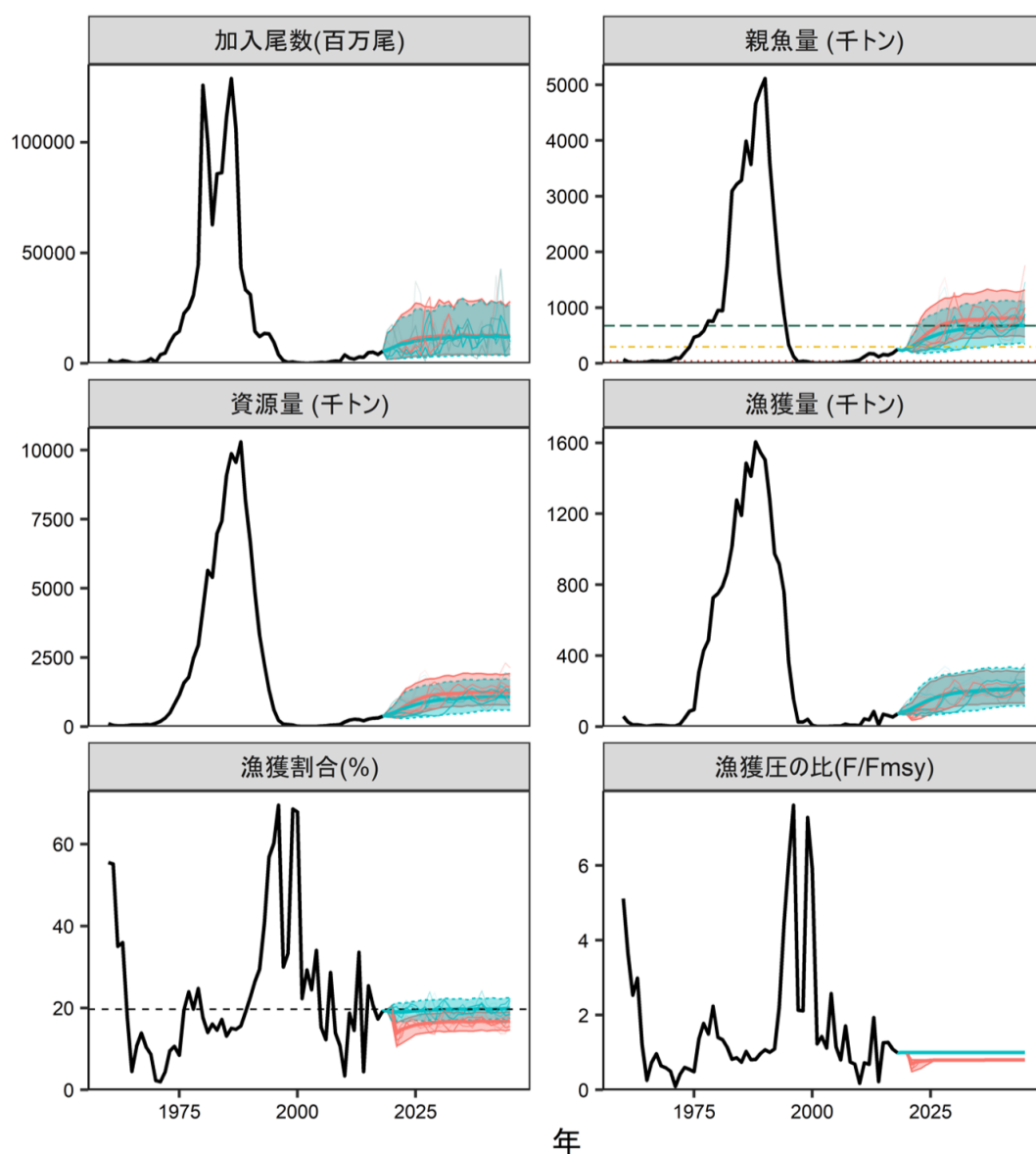


b) 縦軸を漁獲量にした場合



補足図 4-5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値（SBtarget）案は移行期を除く通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）の状況を仮定した HS 型再生産関係に基づき算出した SBmsy である。限界管理基準値（SBlimit）案および禁漁水準（SBban）案には、それぞれ標準値を用いている。安全係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧の比にした場合、b) は縦軸を漁獲量にした場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。



補足図 4-6. 移行期を除く通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）の再生産関係を適用した場合における、漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄点線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2019 年と 2020 年の漁獲量は予測される資源量と $F_{current}$ により仮定し、2021 年以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 2-5）に基づく。安全係数 β には 0.8 を用いた。

補足表 4-1. 管理基準値案および禁漁水準案に対応する漁獲量や漁獲圧など

管理基準値案	説明	親魚量 (千トン)	SB0 に 対する比 ※	漁獲量 (千トン) ※※	漁獲圧 (%SPR) ※※※	漁獲 割合 ※※ ※※	現状の 漁獲圧 に対する比 ※※※ ※
目標管理基準値案（移行期を除く通常加入期）	SBmsy	674	0.39	217	40.5	0.20	1.00
限界管理基準値案（移行期を除く通常加入期）	SB0.6msy	296	0.17	127	31.5	0.25	1.38
禁漁水準案（移行期を除く通常加入期）	SB0.1msy	42	0.02	21	27.1	0.28	1.63
MSY を実現する漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4+歳) = (0.254, 0.146, 0.249, 0.429, 0.429)					

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

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

※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧を%SPR に換算した値

※※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲割合

※※※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比

補足表 4-2. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の、移行期を除く通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（補足図 4-5）での将来予測の結果を示す。2019、2020 年は F_{current} で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	1	3	7	13	16	22	28	30	32	35	36	45	44
0.9	0	0	1	3	8	16	22	30	37	40	44	47	49	55	56
0.8	0	0	1	3	10	21	29	37	45	50	56	60	64	67	69
0.7	0	0	1	4	12	25	36	49	56	64	68	72	74	80	78
0.6	0	0	1	4	14	31	45	57	66	75	78	82	84	88	87
0.5	0	0	1	4	16	36	52	67	76	83	86	89	92	94	94
0.4	0	0	1	5	19	42	61	75	84	89	93	95	96	97	98
0.3	0	0	1	6	22	49	68	82	91	94	97	98	98	99	99
0.2	0	0	1	6	27	54	76	89	95	97	99	99	99	100	100
0.1	0	0	1	7	31	61	82	93	97	99	100	100	100	100	100
0.0	0	0	1	7	37	68	87	96	98	99	100	100	100	100	100

補足表 4-3. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の、移行期を除く通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（補足図 4-5）での将来予測の結果を示す。2019、2020 年は F_{current} で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	8	41	61	72	79	84	89	91	92	94	96	96	99	99
0.9	0	8	41	63	77	82	89	92	94	96	97	98	98	100	100
0.8	0	8	41	66	80	87	92	96	97	98	98	99	99	100	100
0.7	0	8	41	69	82	90	95	98	98	99	99	100	100	100	100
0.6	0	8	41	72	86	93	97	99	99	99	100	100	100	100	100
0.5	0	8	41	75	88	94	98	99	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	8	41	77	91	96	99	99	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	8	41	79	92	97	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	8	41	81	93	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	8	41	84	95	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	8	41	85	96	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足表 4-4. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の、移行期を除く通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（補足図 4-5）での将来予測の結果を示す。2019、2020 年は F_{current} で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
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

補足表 4-5. 将来の平均親魚量の推移 (千トン)

安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の移行期を除く通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（補足図 4-5）での将来予測の結果を示す。2019、2020 年は F_{current} で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	232	262	300	354	408	458	495	529	562	586	605	620	631	685	686
0.9	232	262	300	362	426	487	535	577	617	646	668	685	696	748	749
0.8	232	262	300	370	444	519	578	630	677	711	735	753	764	813	814
0.7	232	262	300	378	464	553	625	687	742	781	808	826	837	882	883
0.6	232	262	300	386	485	589	676	750	812	856	885	904	915	958	959
0.5	232	262	300	395	508	628	731	817	889	938	969	989	1,000	1,044	1,044
0.4	232	262	300	404	531	670	791	891	972	1,026	1,062	1,084	1,095	1,142	1,142
0.3	232	262	300	413	556	715	855	971	1,063	1,125	1,165	1,189	1,203	1,255	1,256
0.2	232	262	300	422	582	764	925	1,059	1,165	1,235	1,282	1,310	1,327	1,389	1,389
0.1	232	262	300	432	609	815	1,002	1,156	1,277	1,359	1,415	1,450	1,471	1,548	1,549
0	232	262	300	442	638	871	1,084	1,263	1,403	1,500	1,568	1,613	1,641	1,741	1,743

補足表 4-6. 将来の平均漁獲量の推移 (千トン)

安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した場合の移行期を除く通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案（補足図 4-5）での将来予測の結果を示す。2019、2020 年は F_{current} で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	81	89	93	114	130	145	159	169	178	186	191	196	200	215	216
0.9	81	89	85	107	125	141	156	168	177	186	191	196	199	212	213
0.8	81	89	77	99	118	135	152	164	174	183	188	193	195	206	207
0.7	81	89	68	90	109	128	145	158	168	176	182	186	188	197	198
0.6	81	89	59	81	99	118	135	148	159	167	172	176	178	185	186
0.5	81	89	50	70	88	106	123	136	146	154	158	162	163	170	170
0.4	81	89	40	58	74	91	107	119	129	136	140	143	145	150	150
0.3	81	89	31	45	59	74	87	98	107	113	117	119	121	125	125
0.2	81	89	21	31	42	53	64	72	79	84	87	89	90	94	94
0.1	81	89	11	16	22	28	35	40	44	47	48	50	50	53	53
0	81	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足表 4-7. 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

移行期を除く通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）の状況を仮定した漁獲管理規則案を用いた場合について、安全係数 β を 0.0～1.0 で 0.1 刻みで変更した結果を示す。

β	10 年後 (2031 年) の平 均親魚量 (千ト ン)	10 年後 (2031 年) に親魚量が 目標管理基 準値案を上 回る確率	0 年後 (2021 年) の予測漁獲 量 (千ト ン)	5 年後 (2026 年) の予測漁獲 量 (千ト ン)	10 年後 (2031 年) の予測漁獲 量 (千ト ン)	10 年後 (2031 年) に親魚量が 限界管理基 準値案を上 回る確率
1	631	36%	93	169	200	96%
0.9	696	49%	85	168	199	98%
0.8	764	64%	77	164	195	99%
0.7	837	74%	68	158	188	100%
0.6	915	84%	59	148	178	100%
0.5	1,000	92%	50	136	163	100%
0.4	1,095	96%	40	119	145	100%
0.3	1,203	98%	31	98	121	100%
0.2	1,327	99%	21	72	90	100%
0.1	1,471	100%	11	40	50	100%
0	1,641	100%	0	0	0	100%

移行期の取り扱いに対する管理戦略評価（MSE）

本提案では、通常加入期は 1960～1975 年および 1988～2017 年としている。しかし、1988～1990 年を移行期として通常加入期から除いた場合の漁獲管理規則案では親魚量が少ない場合の漁獲圧は高くなる（表 3 および補足表 4-3）。真の再生産関係が通常加入期のものであるにもかかわらず、移行期を除いた通常加入期を漁獲量計算に適用した場合、漁獲量を過大に設定し、資源量が回復しないリスクが考えられる。

また、加入様態の仮定の選択が誤っており、真の再生産関係が全期間のものであるにも関わらず、移行期を除いた通常加入期を漁獲量計算に適用した場合、資源量が回復しないリスクが増大する恐れがある。

そこで、簡易的な管理戦略評価（MSE）により、真の再生産関係と漁獲量計算用に選択した再生産関係が異なった場合の影響を評価した。MSE における漁獲シナリオは「簡易的 MSE を用いた複数の管理基準値の頑健性の比較・HCR の検討（FRA-SA2020-BRP01-7）」に基づき、シミュレーション回数は 300 回とした。

【1】移行期の扱いにともなう資源量回復遅れのリスク

真の再生産関係は通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）のデータに最小二乗法により当てはめた HS 型として、漁獲量計算には移行期を除いた通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）のデータに最小二乗法により当てはめた HS 型再生産関係を用いた（補足表 4-9～4-11）。漁獲量計算も通常加入期の再生産関係に基づいた場合の結果（表 4-8）と比較し、移行期の扱いが誤っていた場合に生じる資源量回復が遅れるリスクを検討した。

漁獲量計算には移行期を除いた通常加入期を適用した場合、 β が 0.8 のとき、管理開始 10 年後の 2031 年に予測される平均親魚量が真の管理基準値（通常加入期の場合 990 千トン）を上回る確率は 54%（補足表 4-8）、真の限界管理基準値（454 千トン）を上回る確率は 91%（補足表 4-9）であった。また、2021 年に予測される平均漁獲量は 76 千トン（補足表 4-11）であった。

ちなみに、漁獲量計算も通常加入期を適用した場合、 β が 0.8 のとき 2031 年に目標管理基準値案を上回る確率は 58%（表 4）、限界管理基準値案を上回る確率は 99%（表 5）、2021 年に予測される平均漁獲量は 54 千トン（表 8）であった。

移行期の扱いが誤っていた場合、2021 年の漁獲量は増加するが、資源の回復が遅れるリスクが認められる。

【2】加入様態の仮定の選択に伴う資源量回復遅れのリスク

真の再生産関係は全期間（1960～2017 年）のデータに最小二乗法・自己相関同時推定法で当てはめた HS 型として、漁獲量計算には移行期を除いた通常加入期（1960～1975 年および 1991～2017 年）のデータに最小二乗法により当てはめた HS 型再生産関係を用いた（補足表 4-12～4-15）。漁獲量計算を通常加入期（1960～1975 年および 1988～2017 年）の再生産関係に基づいた場合の結果（補足表 3-1～3-4）と比較し、加入様態の仮定の選択が誤っていた場合に生じる資源量回復が遅れるリスクを検討した。

漁獲量計算には移行期を除いた通常加入期による管理基準値案を適用した場合、 β が 0.8 のとき、管理開始 10 年後の 2031 年に予測される平均親魚量が真の目標管理基準値案（全期間の場合 2114 千トン）を上回る確率は、41%（補足表 4-12）、真の限界管理基準値案（806 千トン）を上回る確率は 71%（補足表 4-9）であった。

漁獲量計算に通常加入期による管理基準値案を適用した場合、 β が 0.8 のとき 2031 年に目標管理基準値案を上回る確率は 41%（補足表 3-1）、限界管理基準値案を上回る確率は 72%（補足表 3-2）であった。

移行期の扱いが誤っていた場合、資源量が限界管理値を上回らないリスクは若干認められ、加入様態の仮定の選択にともなう資源量回復遅れのリスクは生じる。

補足表 4-8. 将来の親魚量が真の再生産関係の目標管理基準値案を上回る確率 (%)

真の再生産関係は通常加入期、漁獲量計算の再生産関係は移行期を除いた通常加入期の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	0	0	3	5	10	12	12	18	22	27	34	41	50
0.9	0	0	0	1	3	7	11	15	16	23	29	36	42	53	61
0.8	0	0	0	1	3	8	12	19	23	30	35	48	54	68	74
0.7	0	0	0	1	3	10	16	23	31	38	49	61	65	79	83
0.6	0	0	0	1	4	11	20	29	40	50	64	70	77	92	91
0.5	0	0	0	1	5	12	24	33	49	63	77	83	88	96	97
0.4	0	0	0	1	5	16	27	44	61	75	86	91	94	99	99
0.3	0	0	0	1	5	20	32	56	73	86	91	95	97	100	100
0.2	0	0	0	1	7	22	40	65	82	91	95	98	98	100	100
0.1	0	0	0	1	7	24	49	75	89	93	98	99	99	100	100

補足表 4-9. 将来の親魚量が真の再生産関係の限界管理基準値案を上回る確率 (%)

真の再生産関係は通常加入期、漁獲量計算の再生産関係は移行期を除いた通常加入期の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	5	17	26	34	42	51	54	61	66	69	74	92	95
0.9	0	0	5	17	27	36	48	57	65	71	77	81	85	97	99
0.8	0	0	5	18	29	38	55	65	73	78	84	88	91	99	100
0.7	0	0	5	20	33	48	63	73	82	88	91	94	95	100	100
0.6	0	0	5	21	37	54	71	81	88	92	94	97	98	100	100
0.5	0	0	5	22	40	61	80	89	92	94	97	98	98	100	100
0.4	0	0	5	23	46	72	86	91	94	98	99	99	99	100	100
0.3	0	0	5	26	51	82	91	95	98	98	99	100	100	100	100
0.2	0	0	5	27	59	85	95	97	98	99	100	100	100	100	100
0.1	0	0	5	29	66	90	96	98	99	100	100	100	100	100	100

補足表 4-10. 将来の平均親魚量の推移 (千トン)

真の再生産関係は通常加入期、漁獲量計算の再生産関係は移行期を除いた通常加入期の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	232	261	295	343	397	458	533	587	646	692	726	809	880	989	1,058
0.9	232	261	295	351	414	487	576	643	716	777	825	920	1,002	1,117	1,165
0.8	232	261	295	359	432	519	624	706	796	875	936	1,045	1,136	1,229	1,261
0.7	232	261	295	367	451	553	677	778	888	986	1,060	1,179	1,275	1,335	1,358
0.6	232	261	295	375	472	590	735	857	989	1,106	1,194	1,319	1,417	1,445	1,463
0.5	232	261	295	384	493	630	798	945	1,101	1,237	1,335	1,464	1,562	1,565	1,580
0.4	232	261	295	393	516	674	868	1,043	1,225	1,378	1,484	1,616	1,715	1,698	1,715
0.3	232	261	295	402	540	720	944	1,150	1,358	1,529	1,643	1,780	1,881	1,851	1,870
0.2	232	261	295	411	566	771	1,027	1,269	1,504	1,692	1,816	1,960	2,065	2,033	2,052
0.1	232	261	295	420	593	825	1,118	1,398	1,662	1,868	2,005	2,158	2,270	2,250	2,272

補足表 4-11. 将来の平均漁獲量の推移 (千トン)

真の再生産関係は通常加入期、漁獲量計算の再生産関係は移行期を除いた通常加入期の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	81	88	92	109	124	140	160	175	190	205	213	229	250	282	299
0.9	81	88	84	102	119	136	158	175	192	208	219	236	257	288	299
0.8	81	88	76	95	113	131	155	173	191	209	221	240	261	284	291
0.7	81	88	67	87	105	124	148	168	188	207	220	239	259	273	278
0.6	81	88	58	78	96	115	139	160	180	200	214	231	249	257	260
0.5	81	88	49	68	85	104	127	148	168	188	202	217	232	236	238
0.4	81	88	40	56	72	90	111	131	151	169	182	194	207	208	210
0.3	81	88	30	44	58	73	91	109	127	142	153	163	174	173	175
0.2	81	88	21	31	41	52	67	81	95	107	115	122	129	129	130
0.1	81	88	10	16	22	28	37	45	53	60	65	69	73	73	74

補足表 4-12. 将来の親魚量が真の再生産関係の目標管理基準値案を上回る確率 (%)

真の再生産関係は全期間、漁獲量計算の再生産関係は移行期を除いた通常加入期の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	0	0	3	6	11	14	19	21	24	28	30	35	38
0.9	0	0	0	0	3	7	12	14	20	23	27	30	35	40	43
0.8	0	0	0	0	3	8	12	17	21	27	28	34	41	45	48
0.7	0	0	0	0	3	8	13	18	25	29	32	39	45	50	53
0.6	0	0	0	0	3	9	14	20	27	34	37	44	49	58	61
0.5	0	0	0	0	3	10	15	22	29	38	44	50	55	64	70
0.4	0	0	0	0	3	10	18	24	35	42	49	55	60	73	77
0.3	0	0	0	0	3	11	20	27	38	45	56	61	63	81	81
0.2	0	0	0	0	4	12	22	32	41	52	62	69	72	86	87
0.1	0	0	0	0	4	14	23	37	47	57	67	73	77	90	92

補足表 4-13. 将来の親魚量が真の再生産関係の限界管理基準値案を上回る確率 (%)

真の再生産関係は全期間、漁獲量計算の再生産関係は移行期を除いた通常加入期の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	0	0	0	6	17	25	33	39	44	50	55	59	61	73	78
0.9	0	0	0	6	18	27	35	42	45	54	59	62	65	77	83
0.8	0	0	0	6	20	28	37	45	50	58	61	66	71	82	88
0.7	0	0	0	7	21	30	40	47	54	60	64	71	74	89	94
0.6	0	0	0	7	21	32	43	50	58	63	70	74	77	94	97
0.5	0	0	0	8	23	33	45	54	62	68	74	78	81	96	99
0.4	0	0	0	9	24	36	48	59	65	73	77	81	85	99	99
0.3	0	0	0	9	25	38	49	61	69	75	81	85	89	100	99
0.2	0	0	0	9	26	41	54	67	75	81	87	91	93	100	100
0.1	0	0	0	10	28	43	59	71	81	87	90	94	95	100	100

補足表 4-14. 将来の平均親魚量の推移 (千トン)

真の再生産関係は全期間、漁獲量計算の再生産関係は移行期を除いた通常加入期の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	232	259	293	377	512	711	949	1,146	1,292	1,411	1,497	1,687	1,900	2,038	2,108
0.9	232	259	293	385	529	744	1,002	1,220	1,389	1,532	1,633	1,838	2,063	2,231	2,312
0.8	232	259	293	392	548	778	1,059	1,301	1,496	1,662	1,781	2,001	2,239	2,436	2,512
0.7	232	259	293	400	567	816	1,122	1,390	1,616	1,807	1,948	2,185	2,436	2,664	2,735
0.6	232	259	293	408	587	856	1,190	1,490	1,748	1,969	2,137	2,393	2,661	2,913	2,971
0.5	232	259	293	416	609	899	1,264	1,598	1,893	2,148	2,345	2,623	2,911	3,180	3,219
0.4	232	259	293	424	631	946	1,345	1,718	2,054	2,346	2,576	2,878	3,191	3,467	3,498
0.3	232	259	293	433	655	996	1,432	1,849	2,233	2,570	2,835	3,168	3,505	3,788	3,800
0.2	232	259	293	441	680	1,049	1,528	1,995	2,433	2,821	3,125	3,491	3,858	4,153	4,148
0.1	232	259	293	450	707	1,107	1,632	2,156	2,656	3,101	3,454	3,858	4,260	4,579	4,561

補足表 4-15. 将来の平均漁獲量の推移 (千トン)

真の再生産関係は全期間、漁獲量計算の再生産関係は移行期を除いた通常加入期の場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	80	89	88	108	136	177	233	284	322	354	374	409	462	507	525
0.9	80	89	80	102	129	170	226	277	317	351	374	409	460	509	528
0.8	80	89	72	94	122	162	216	268	309	345	369	403	453	504	521
0.7	80	89	64	86	113	152	205	255	297	335	360	394	440	492	505
0.6	80	89	56	77	102	139	190	239	281	318	345	378	421	470	480
0.5	80	89	47	67	90	124	171	218	259	295	322	353	393	437	443
0.4	80	89	38	56	76	106	148	191	229	263	289	317	352	390	395
0.3	80	89	29	43	61	86	120	157	190	220	243	267	297	327	330
0.2	80	89	20	30	43	61	87	115	141	164	183	201	223	246	246
0.1	80	89	10	16	23	33	47	63	78	92	103	114	126	139	139