

令和 4（2022）年度トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の 管理基準値等に関する研究機関会議資料

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

要 約

令和 4 年度の本系群の資源評価データを用いて、1A ルールの管理規則に従って再生産関係ならびに再生産関係に基づく管理基準値案等を検討したが、本系群では推定された再生産関係およびそれに基づく MSY 等の管理基準値案に式の推定に課題が存在し、現状では選択することが困難であると判断された。そのため、現状の加入状況を考慮し、生物学的管理基準値に基づく 1B ルールの管理規則を適用する。将来予測には、資源評価により推定された 2002～2020 年漁期の加入量を用い、Fmsy の代替値として F30%SPR を適用し算出される SBmsy proxy (577 トン) を目標管理基準値と提案する。限界管理基準値として、SBmin (329 トン) を、禁漁水準として 0 トンを提案する。目標管理基準値案 (SBmsy proxy) を達成する漁獲圧 (Fmsy proxy) は、現状 (2018～2020 年漁期の平均の漁獲係数) の 0.91 倍である。

親魚量 (トン)	現状の 親魚量* ¹ に対する比	初期 親魚量 に対する比	期待できる 平均漁獲量 (トン)	現状の 漁獲圧 に対する比* ²	説 明
目標管理基準値案					
577	1.24	0.30	191	0.91	F30%SPR を Fmsy の代替 値として漁獲を続け平衡 状態となった時に得られる 親魚量 (SBmsy proxy)
限界管理基準値案					
329	0.71	0.17	197	1.46	過去最低親魚量 (SBmin)
禁漁水準案					
0	0	0	—	—	
2021 年漁期					
464	1.00	0.24	190* ³	—	2021 年漁期の値

*¹ 現状の親魚量とは 2021 年漁期の親魚量である。

*² 現状の漁獲圧とは 2018～2020 年漁期の漁獲圧である。現状の漁獲圧に対する比とは、各管理基準値案および水準案を達成する漁獲圧が現状の漁獲圧に対して何倍に相当するかを示す係数である。なお、年齢別選択率は現状の漁獲圧における年齢別選択率に基づく。

*³ 2021 年漁期の漁獲量 (漁期は 4 月～翌年 3 月)。

1. 検討の経緯

トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群では親魚量が非常に少ない水準であった 2002～2006 年、そして親魚量が 399～498 トンまで増加した 2007～2009 年に 50 万尾を超える高い加入を含む 30 万尾以上の高い天然加入が見られた（図 1、図 2）。しかし、親魚量が 434～502 トンの範囲を推移した 2010～2021 年漁期では天然加入は 2015 年の 33 万尾を除いて加入量は 30 万尾を下回った（図 1、図 2）。特に 2015 年以降の天然加入量は減少傾向であり、2020 年漁期は 7.8 万尾、2021 年漁期は 6.9 万尾と推定され、近年の天然加入が過去と比較して極端に低く、過去最低を更新し続けている（平井ほか、2022）。この要因を環境変化等の様々な要因に起因すると考えるかによっても管理基準値の値は大きく変わるが、現状ではこれらを反映するための十分な科学的知見は得られていない。

本系群では、再生産関係として HS 型と RI 型再生産関係式について比較検討を行ったところ（補足資料 1～3）、現状利用可能なデータでは再生産関係の推定に足るデータが得られておらず、再生産関係に基づいた頑健な管理基準値を提案することが困難と判断した。今後資源量推定の精度向上等に努めるとともに、再生産関係の検討を継続する必要がある。これらのことを鑑み、本系群では再生産関係に基づいた頑健な MSY 管理基準値は得られないと判断し、再生産関係に基づかない資源管理規則（1B 系）を適用して F_{msy} の代替値に基づいた管理基準値を提案する

「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」では再生産関係の不確実性が大きいなどの理由により、1A ルールとして、再生産関係から頑健な MSY 管理基準値を得ることが困難であるが、他の管理基準値（ $F\%SPR$ などの生物学的管理基準値など）が比較的高い精度で計算可能な場合は、1B ルールとしてそれらの値をもとに MSY 管理基準値に相当する代替値の提案を可能としている。この基本指針では例として、①再生産関係のパラメータを推定するための親魚量・加入量のデータ数が十分でない場合、②再生産関係のパラメータの推定の不安定性のために頑健な MSY 管理基準値が得ることが出来ない場合、③モデル内で再生産パラメータに仮定をおいているような場合、などが 1B ルールを参考可能な適用条件として挙げられている。

本資源では前述の親魚量と加入量の推移などから、再生産関係の推定にあたり前述の例①で示されている頑健な再生産関係のパラメータを推定するための親魚量・加入量のデータ数が不十分な場合に該当すると考えられる。また、HS 型および RI 型における SB_{msy} や F_{msy} の値には大きな隔たりがあり、②再生産関係のパラメータの推定の不安定性のために頑健な MSY 管理基準値を得ることが出来ない場合とも考えられる。更に、RI 型によって推定された再生産関係は過去最低親魚量以下の値で過去の観察データよりも高い加入を期待する関係を仮定しており、リスク管理の面からも懸念すべき点が見られる。そのため、1B ルールによる MSY 管理基準値に相当する代替値の提案を検討するに値すると考える。

なお、本資源では令和 4（2022）年度トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価（FRA-SA2022-RC03-01）にて資源量が推定されており、生物学的管理基準についても算出されている（FRA-SA2022-RC03-01, 図 24）。そこで本補足資料では、それらの生物学的管理基準値（ SPR 基準および YPR 基準）をもとに MSY 管理基準値に相当する代替値の提案を行い、MSY 管理基準値に相当する代替値案をもとに将来予測を行った。

2. Fmsy の代替値と加入量の仮定

2-1) 使用するデータセット

本資源の Fmsy の代替値の設定は「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」に従い、以下のデータセットを使用して実施した。解析には R パッケージ frasyr（v2.2.0.3）を用いた。frasyr で用いた式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和 4 年度）（FRA-SA2022-ABCWG02-04）」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
資源量・親魚量	令和 4 年トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価（水産庁・水産機構）

なお、1B ルールでは再生産関係を仮定せずに、過去の加入量を参照することで将来予測を行う。本資源の年別加入尾数を図 2 に示す。本系群の資源評価対象期間である 2002 年漁期以降、加入尾数および再生産成功率（RPS、加入尾数/親魚 1kg）は 2005 年漁期に過去最大加入を示し、2002 年漁期、2008 年漁期、2015 年漁期にその他の年と比べてやや高い加入を示したが、経年的な変化としては加入尾数の減少が続き、令和 3（2021）年度および令和 4（2022）年度評価ではそれぞれ過去最低を更新している（平井ほか 2021、2022）。これらのことから、本資料では直近年である 2021 年漁期を除いた加入データ（2002 年漁期～2020 年漁期）対して対数正規分布をあてはめ、その分布に基づいて加入が期待されるという仮定のもとで将来予測を行った。

2-2) 生物学的管理基準値の検討

本資源の管理基準値案の算出および将来予測計算に使用する生物学的管理基準値には、YPR 基準として F_{max} （加入量あたりの漁獲量 YPR を最大にする F ）、 $F_{0.1}$ （YPR 曲線の原点における傾きの 10%の傾きを与えるときの F ）を、SPR 基準として $F_{20\%SPR}$ 、 $F_{30\%SPR}$ （漁獲が無いときの親魚量の 20%、30%を獲り残す F ）を検討した。現状の漁獲圧は、チューニングによる直近年の 0 歳魚の推定尾数の不確実性に起因する F の不確実性を考慮し、直近年を除外した 2018～2020 年漁期の平均漁獲係数（ $F_{2018-2020}$ ）を用いることとした（図 3）。

1B ルールによって推定された各生物学的管理基準による漁獲を行った場合の平衡状態における平均親魚量などを表 1 に示す。平衡状態での平均親魚量は、4 種類の生物学的管理基準値のうち YPR 基準である F_{max} が最も低い 376 トンと推定され、その時の漁獲圧（%SPR）は 19.5%と推定された。また、この親魚量は $F_{20\%SPR}$ では 385 トン、 $F_{30\%SPR}$ では 577 トン、 $F_{0.1}$ では 662 トン（%SPR は 34%）と推定された。なお、漁獲が無いときの親魚量 SB_0 は 1,923 トンと推定された。なお、本試算では各生物学的管理基準によって得られる平衡状態の漁獲量（MSY の代替値）の値は F_{max} で 198 トン、 $F_{0.1}$ で 184 トン、 $F_{20\%SPR}$ で 197 トン、 $F_{30\%SPR}$ で 191 トン、資源量は F_{max} で 806 トン、 $F_{0.1}$ で 1,145 トン、 $F_{20\%SPR}$ で 818 トン、 $F_{30\%SPR}$ で 1,047 トンと推定された（表 1）。

2-3) Fmsy の代替値の候補

本系群の Fmsy の代替値の候補は、「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」の IV「管理基準値と漁獲管理規則（1B 資源）」に基づき算定した。本資源では 1B ルールを適用する理由として、2002～2006 年漁期に過去最低親魚量付近で高い加入が認められるものの、他の漁期年では親魚量の変化が小さく、HS 型および RI 型のいずれを適用した場合でも、資源の将来予測で想定される幅広い親魚量の範囲に対して適切な加入を予測することは困難であることが懸念される。そこで、本資源では現時点で利用可能なデータから、資源および漁獲に対するリスクを考慮し、YPR 基準と SPR 基準を検討した。なお、本系群の令和 4 年度資源評価結果では、現状の F（2018～2020 年漁期の全年齢 F の平均、F2018～2020：0.23）は Fmax（0.32）より小さく、経験的に適正な基準値とされる F30%SPR（F=0.24）と比べて大きな差は認められなかった一方で、直近年の F2021 は Fmax とほぼ変わらず、直近年の F の不確実性は考慮する必要があるものの、現状の F は Fmax に近い可能性も考慮する必要があるとしている（平井ほか、2022、FRA-SA2022-RC03-1、令和 4（2022）年度トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価、図 24 参照）。その一方で、Fmax での漁獲や Fmax と %SPR が近似する F20%SPR での漁獲は、候補となった生物学的管理基準値の中では過去最低親魚量に最も近い親魚量（順に 376 トン、385 トン）を MSY 達成時の親魚量とすることから、管理初期の過程では過去最低親魚量未満の低水準の親魚量を経験することも想定され、加入量の推定が期待通り見込めないことも考えられる。また資源量も減少が続いている 2020 年漁期の資源量（819 トン）に近い資源量（順に 806 トン、818 トン）が MSY 達成時の資源量となることから、これまでの経年的な加入尾数、資源量、漁獲量の減少下では、資源量は平衡状態に至らず、さらなる資源量低下を引き起こす懸念がある。一方、F0.1 での MSY 達成時の資源量は 1,145 トンと推定されるが、これ以上の資源量は 2006 年漁期（1,174 トン）のみであり（2002～2020 年漁期の平均資源量は 1,012 トン）、現在の経年的な加入尾数の減少下では、現実的な目標としては困難であると考えられた。

一方 F30%SPR での MSY 達成時の資源量は 1,047 トンと過去においても存在した資源量（2002 年漁期、2005～2007 年漁期、2009～2010 年漁期）よりも少なく、現状の F は近似するものの、直近年の F は Fmax に近づく傾向が見られ、資源状態に対して高い F となる傾向が認められることから、現実的な目標として選択することは妥当と考えられる。これらの背景から、本系群では F30%SPR を Fmsy の代替値として提案する。選択した生物学的管理基準のパラメータ推定値を表 2 に示した。

3. 管理基準値案

3-1) データセットおよび計算方法

最大持続生産量（MSY）に対応する管理基準値案等の算出、および将来予測は、「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」の IV「管理基準値と漁獲管理規則（1B 資源）」の管理規則に従い、2-3) で提案した F30%SPR について、表 3 に示した令和 4 年度の資源評価に基づく各種設定（自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重）を使用して実施した。年齢別平均体重については、より直近年の資源状態を反映するため 2021 年漁期の値を用いた。ただし現状の漁獲圧としては、チューニン

グによる直近年の 0 歳魚の推定尾数の不確実性に起因する F の不確実性を考慮し、直近年を除外した 2018～2020 年漁期の平均漁獲係数 ($F_{2018-2020}$) を用いることとした (表 3)。管理基準値の算出と将来予測における選択率もこの現状の漁獲圧 ($F_{2018-2020}$) の値を用いた。なお本系群では資源の平衡状態を、平均世代時間 (6.4 年) の 20 倍を基準に将来予測開始から 128 年後と仮定し、 F_{msy} の代替値で漁獲を継続した場合の平衡状態での平均親魚量を SB_{msy} の代替値とした。

3-2) 管理基準値案と禁漁水準案

$F_{30\%SPR}$ を用いて管理基準値案を算出した場合、目標管理基準値 (SB_{target}) として MSY 水準における親魚量 ($SB_{msy\ proxy} : 577$ トン)、限界管理基準値 (SB_{limit}) として過去最低親魚量 ($SB_{min} : 329$ トン)、禁漁水準 (SB_{ban}) として 0 トンを用いることを提案する。これらの基準値案について、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 ($SB_0=1,923$ トン) に対する比、対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量、対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比などを表 4 に示す。目標管理基準値として提案する $SB_{msy\ proxy}$ は SB_0 の 30%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 191 トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧 (MSY を実現する漁獲圧代替値: $F_{msy\ proxy}$) の、現状の漁獲圧に対する比 ($F_{msy\ proxy}/F_{2018-2020}$) は 0.91 で、その時の漁獲割合 ($U_{msy\ proxy}$) は 18%である。限界管理基準値として提案する SB_{min} は SB_0 の 17%である。管理基準値案に対する年齢別漁獲量曲線は図 4 に示した。

3-3) 神戸プロット

目標管理基準値案である $SB_{msy\ proxy}$ と、その時の漁獲圧 $F_{msy\ proxy}$ を基準にした神戸プロットを図 5 に示す。漁獲圧 (F) は、2002 年漁期以降 2020 年漁期まで低下傾向にあり、2021 年漁期には上昇したものの、すべての漁期年で F_{msy} の代替値である $F_{30\%SPR}$ を上回っている。親魚量 (SB) はすべての漁期年で、 F_{msy} の代替値を続けた場合の平衡状態における親魚量 ($SB_{msy\ proxy}$) を下回った。現状の親魚量 (2021 年漁期の親魚量: 464 トン) に対する目標管理基準値案の比は、1.24 であり、限界管理基準値案 (SB_{min}) に対する比は 1.75 である。

3-4) 漁獲管理規則案

本資料で提案する漁獲管理規則は、限界管理基準値案および禁漁水準案となる親魚量を閾値として漁獲管理の基礎となる漁獲係数 (F 値) を変えるルールであり、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げることを定めている。 F 値の上限は F_{msy} に調整係数 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、 SB_{limit} は SB_{min} 、 SB_{ban} は 0 トンの場合) の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を図 6a に示す。これらの漁獲管理規則案で漁獲した場合に期待できる平均的な漁獲量との関係をそれぞれ図 6b に示す。図に例示した漁獲管理規則案は、いずれも β に標準値である 0.7 を用いた。また、また、漁獲量の算出については、加入および選択率を将来予測と同じ仮定を用い (表 2、3)、親魚量の大小に対応する漁獲圧で平

衡状態までシミュレーションした時における年齢組成を用いた。

3-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

(1) 調整係数 β に標準値を用いた場合

限界管理基準値案と禁漁水準案に標準値を用い、調整係数の β を標準値の 0.7 とした漁獲管理規則案（図 6）で将来予測した時の、資源量、親魚量、漁獲量、加入量、漁獲割合および漁獲圧の比の増減率の推移を図 7 に示す。将来予測では、2022 年漁期の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧（F2018-2020）により仮定し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲制御を開始する。また本系群の加入尾数および再生産成功率（RPS）は資源評価対象期間である 2002 年漁期以降では 2005 年漁期に過去最大加入を示し、2002 年漁期、2008 年漁期、2015 年漁期にその他の年と比べてやや高い加入を示したが、経年的な変化としては加入尾数の減少が続き、令和 3（2021）年度および令和 4（2022）年度評価ではそれぞれ過去最低を更新している（平井ほか 2021、2022）。これらのことから、2002 年漁期～近年の低加入の傾向を考慮することがリスクを回避する安全な将来予測に繋がると考え、ここでは近年の低加入シナリオ（近年の低加入が 3 年間継続した後、徐々に加入が好転する仮定）のもとでの加入をバックワード・リサンプリングによって想定し、この仮定のもとで将来予測を行った。

低加入シナリオでの将来の加入量は、2002～2020 年漁期の加入量に対数正規分布を仮定した場合の平均加入量を予測値として、過去の観測値の残差をランダムにリサンプリングして与えた。リサンプリングするデータは 3 年単位に区切り、低加入を仮定した 3 年ブロックのバックワード・リサンプリング（3 年を 1 ブロックとし、将来 3 年までは直近年を除く過去 3 年の残差からリサンプリング、将来 4～6 年は過去 3 年もしくは 4～6 年の残差をリサンプリングというように 3 年ごとに過去に遡った残差を選択する方法）を実施した（図 8）。

- ・将来予測の 1～3 年目（2022～2024 年漁期）は過去 3 年分（2018～2020 年）の残差から重複を許してリサンプリングした。

- ・将来予測の 4～6 年目（2025～2027 年漁期）は過去 3 年分（2018～2020 年）もしくは過去 4～6 年分（2015～2017 年漁期）の残差のいずれかをランダムに選び、選んだ方の 3 年分の残差から重複を許してリサンプリングした。

- ・将来予測の 7 年目（2028 年漁期）以降はこの手順で 3 年区切りの残差をリサンプリングする範囲を追加した。この手順により、短期的には直近の低加入トレンドを反映するような加入を想定し、中長期的にはそれ以前の過去の条件を反映するような加入を想定した。

図 8 では、3 年ずつに区切ったリサンプリング単位を青灰色の破線で示した。このようなリサンプリングのやり方により、短期的には直近の低加入トレンドを反映するような加入を想定し、中長期的にはそれ以前の過去の条件を反映するような加入を想定した。なお、バックワード・リサンプリングによる残差の平均値は年数が経過するにつれて 0 に近づく（図 9）。

F30%SPR による漁獲によって予測される 2023 年漁期の親魚量は限界管理基準値案を上回っているため、漁獲管理規則案に従い、まず β Fmsy proxy での漁獲が行われる。漁獲管理開始後、2024 年漁期、2025 年漁期の親魚量は限界管理基準値案を下回ることが予測され、2025 年漁期には 0.91β Fmsy proxy まで下げた漁獲が行われ、以後、親魚量の回復に伴い、漁獲量も増加し、2038 年漁期以降 β Fmsy proxy での漁獲に回復する。 β Fmsy proxy による漁獲の継続により、漁獲量は資源が平衡状態になった時に F30%SPR により期待される漁獲量付近で推移し、親魚量は SBmsy proxy より高めに推移していくと予測される。 $\beta=0.7$ とした場合、2023 年漁期の平均漁獲量は 68 トン、2033 年漁期に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 16%と予測される。なお、本種は栽培対象種であり、2016～2020 年漁期の 5 年平均では 1,713 千尾の種苗放流が行われている（平均添加効率：0.031）。この放流尾数と添加効率が維持され、かつ $\beta=0.7$ の場合、2023 年漁期の平均漁獲量は 72 トン、2033 年漁期に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 67%と予測される（補足資料 3 参照）。

(2) 調整係数 β を変えた場合

F30%SPR に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測について、調整係数 β を 0.0～1.0 の間で、0.1 間隔で変えた場合の親魚量が目標管理基準値案および限界管理基準値案を上回る確率、および親魚量平均値と漁獲量平均値の推移をそれぞれ表 5～8 に示す。また、まとめた表を表 9 に示した。表 5～8 には、現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。また、 β を変えた場合のそれぞれの値に対応する現状の漁獲圧（F2018-2020）との比も示した。

本資源の親魚量は 2021 年漁期時点で限界管理基準値案を超えており、漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2033 年漁期では、 β が 0.5 以下であれば 59%以上の確率で目標管理基準値案を上回り、 β が 0.7 の時に 2033 年漁期に目標管理基準値を超える確率は 16%と予測された（表 5）。なお、 β が 1.0 以下では親魚量が限界管理基準値を下回らない確率は 67%以上と予測された（表 6）。また、2024 年漁期から 2027 年漁期の間の親魚量は $\beta=0.7$ のときに限界管理基準値（＝過去最低親魚量）を下回ると予測された（表 7）。F30%SPR で漁獲をおこなった場合、 β が 0.7 の場合の平均漁獲量は 2023 年漁期に 68 トンに漁獲抑制開始後、2024 年漁期に 61 トンと最も低くなり、以後、徐々に漁獲量は回復し、2033 年漁期には 110 トンとなる（表 8）。表 9 に、上述の結果を要約したものを示すとともに、親魚量や漁獲量に係るリスクについて評価した結果を示した。リスクについては 10 年間に 1 度でも親魚量が限界管理基準値（＝過去最低親魚量）を下回る確率は β が 0.4 以上で 100%、 β が 0.3 で 34%、 β が 0.2 以下で 0%、なお前年より漁獲量が半減する確率は 0%と予測された。

一方で、現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲を続けた場合、2033 年漁期の漁獲量は 126 トンであり、親魚量は限界管理基準値を下回り 319 トンと推定された（表 7、8）。なお、現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲を続けた場合、2024 年～2032 年漁期の間、親魚量は 50%以上の確率で限界管理基準値を下回る。なお、現状の放流の維持を考慮した場合、 $\beta=0.8$ 以下であれば、2033 年漁期の親魚量は 50%以上の確率で目標管理基準値案を上回る。（補足資料 3 参照）。

4. まとめ

本系群では、令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2022-ABCWG02-01) に基づき、再生産関係を用いない 1B ルールを適用した。1B ルールにおける加入の予測には資源評価で推定された 2002～2020 年漁期の加入量を用い、 F_{msy} の代替値として $F_{30\%SPR}$ を提案する。

目標管理基準値案は、 F_{msy} によって計算される平衡状態における資源水準である 577 トンとすることを提案する。また、限界管理基準値案、禁漁水準案には、標準値である過去最低親魚量 SB_{min} (329 トン)、0 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を下回るが、限界管理基準値案を上回っていると推定される。 $F_{30\%SPR}$ の漁獲割合は 18%、漁獲圧は現状の漁獲圧 ($F_{2018-2020}$) の 0.91 倍である (表 1)。また、2033 年漁期に 50%以上の確率で親魚量が目標管理基準値案を上回る β は 0.5 以下である。

1B ルールを適用し、YPR 基準と SPR 基準よりそれぞれ F_{max} 、 $F_{0.1}$ 、 $F_{20\%SPR}$ 、 $F_{30\%SPR}$ を検討した結果、 $F_{30\%SPR}$ を F_{msy} の代替値として提案するとして管理基準値案および漁獲管理規則の算定を行い、将来予測を行った。1A ルールを用いた将来予測では 2002～2020 年漁期の加入量と親魚量を用いて再生産関係を推定したことに対して、本資料の 1B ルールでも 2002～2020 年漁期の加入量に対数正規分布をあてはめ、その分布に基づいて加入が期待されるという仮定のもとで F_{msy} の代替値を算出するとともに、近年の低加入シナリオ (近年の低加入が 3 年間継続した後、徐々に加入が好転する仮定) のもとでの加入をバックワード・リサンプリングによって想定し将来予測を行った。 $F_{30\%SPR}$ に基づく $SB_{msy proxy}$ は 577 トンと、1A ルールの RI における SB_{msy} (339 トン) と、HS における SB_{msy} (682 トン) に対して中間的な値となった。

なお、再生産関係による加入のみでは、本系群では $\beta=0.7$ の場合、2023 年漁期の平均漁獲量は 68 トン、2033 年漁期に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 16%と予測される。また、 $\beta=0.5$ 以下であれば、2033 年漁期の親魚量は 50%以上の確率で目標管理基準値案を上回る。現状の放流を考慮した場合、 $\beta=0.7$ では、2023 年漁期の平均漁獲量は 72 トン、2033 年漁期に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 67%と予測される。また、 $\beta=0.8$ 以下であれば、2033 年漁期の親魚量は 50%以上の確率で目標管理基準値案を上回る。

5. 今後の検討事項

現状利用可能なデータを用いて本系群の再生産関係を検討した結果、自己相関を考慮した HS 型の再生産関係と、RI 型の双方がそれぞれ再生産関係を表現する有力な候補として検討されたが、現状では問題や課題が残されており、妥当な再生産関係として選択することができなかった。RI 型では、 AIC_c 、ステイプネス h の値についても HS 型よりも RI 型は高い値であり、ガイドラインの診断手順に従っても、RI 型を積極的に採用する理由はモデル診断で得られた数値からは見られなかった。本系群では、現在の資源を主に構成する年齢に相当すると考えられる 2010～2020 年漁期の親魚量は 433 トン (2016 年漁期) ～502 トン (2018 年漁期) の間を推移し、2018 年漁期以降は低下傾向にあるものの、この間の平均親魚量は 469 ± 21 トン ($CV: 4.5\%$) で極めて安定している。一方で、この間の平均天然加入尾数は 21.1 ± 7.0 万尾 ($CV: 33\%$) と変動が大きく、2017 年漁期以降は 20 万尾未満であり、

2020 年漁期は 7.8 万尾と 10 万尾を切っており、親魚量の増加に伴う加入の減少というよりは、一律加入の減少が続いている。一方で、本系群で資源量指標値が得られている産卵場では、産卵期の親魚の CPUE は 2008 年漁期以降低下傾向を示す海域もあり、また産卵水温 (12～16℃) での漁獲日数が減少しており、必ずしも親魚量の増減傾向通りに産卵来遊が行われているわけではない事例も見られている (水産機構、2021)。こうした産卵場における親魚の資源量指標値の動向は本系群では今後重要な産卵ポテンシャルの評価につながる指標となるが、現状では一部の産卵場に情報が限られている。これらのモデル診断結果と既存の生態事例を考慮すると、RI 型のような生態情報を反映した再生産モデルの選択は現状では困難であると判断されるが、今後は各産卵場の資源量指標値の評価は重要な課題と言える。

一方、ホッケ・スティック (HS) 型再生産関係については、再生産関係の決定に関するガイドラインに従い、1 系資源の 1A ルールを適用する上では、最適化手法に最小二乗法を用い、同時推定法により自己相関を考慮した HS 型再生産曲線が第 1 候補となるものの、関係式中の $b=362$ トン以下の親魚量は 2002～2006 年漁期に限定され、加入量も HS 型再生産関係式で得られる信頼区間内のデータは 2 年しか見られず、 $SB < b$ の時の加入の推定は実観察データと合わない可能性がある。一方で、2007 年漁期以降の親魚量は平均で 467 ± 27 トン (399～502 トン、 $CV=5.9\%$) と安定しているが、放流も含めた加入尾数は平均で 31.4 ± 12.6 万尾 (9.8～55 万尾、 $CV=40\%$) と変動が大きく、資源の将来予測で想定される幅広い親魚量の範囲に対して適切な加入を予測することは困難であることが懸念された。ただし、再生産関係を用いないことによる 1B ルールに内包される推定結果の不確実性と、1A ルールの推定結果における課題は共に存在しているため、選択には困難を生じたが、本提案ではより近年の低加入を反映し、乱獲および過剰な漁獲制限をもたらさない可能性が高いと考えられる 1B ルールを提案した。

今後これらの推定精度向上に努めることとし、本系群の再生産関係を十分に説明できる再生産関係データが得られた時点で、再度研究機関会議において再生産関係に基づく MSY 等管理基準値を再度検討していく必要が重要と考える。更に、我が国におけるトラフグでは、分布回遊の変化の可能性などが示唆されており、引き続き検討が必要と考えられる。また、内海と外海を利用する生態から、環境の影響を反映しやすい可能性が示唆されているため、今後も環境変動を考慮したモニタリング体制の充実化も含め、引き続き検討を行う。

6. 引用文献

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

ABCWG (2022) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 4 年度研究機関会議版) (FRA2022-ABCWG02-04)

ABCWG (2022) 再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 4 年度) (FRA-SA-2022-ABCWG02-05)

水産研究・教育機構 (2021)、令和 2 年度資源量推定等高精度化事業報告書 6000 トラフグ 日本海・東シナ海・瀬戸内海系群, 71-83

水産研究・教育機構 (2022)、令和 4 (2022) 年度トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価. FRA-SA2022-RC03-1. (印刷中)

(執筆者：平井慈恵、片町太輔、真鍋明弘)

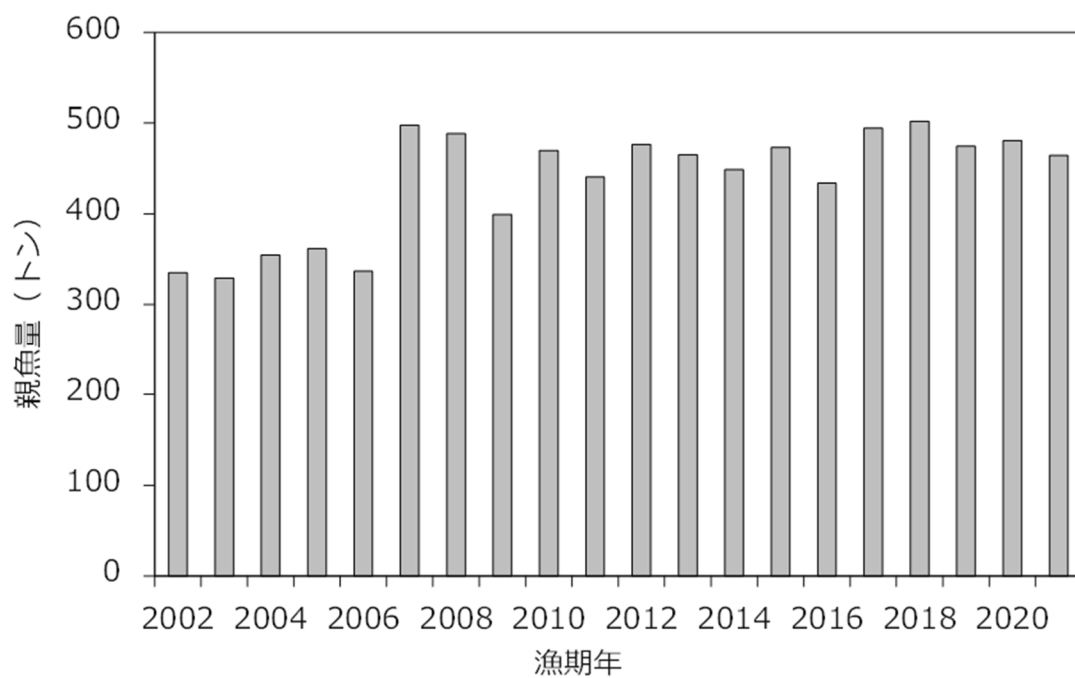


図 1. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価期間における親魚量（トン）

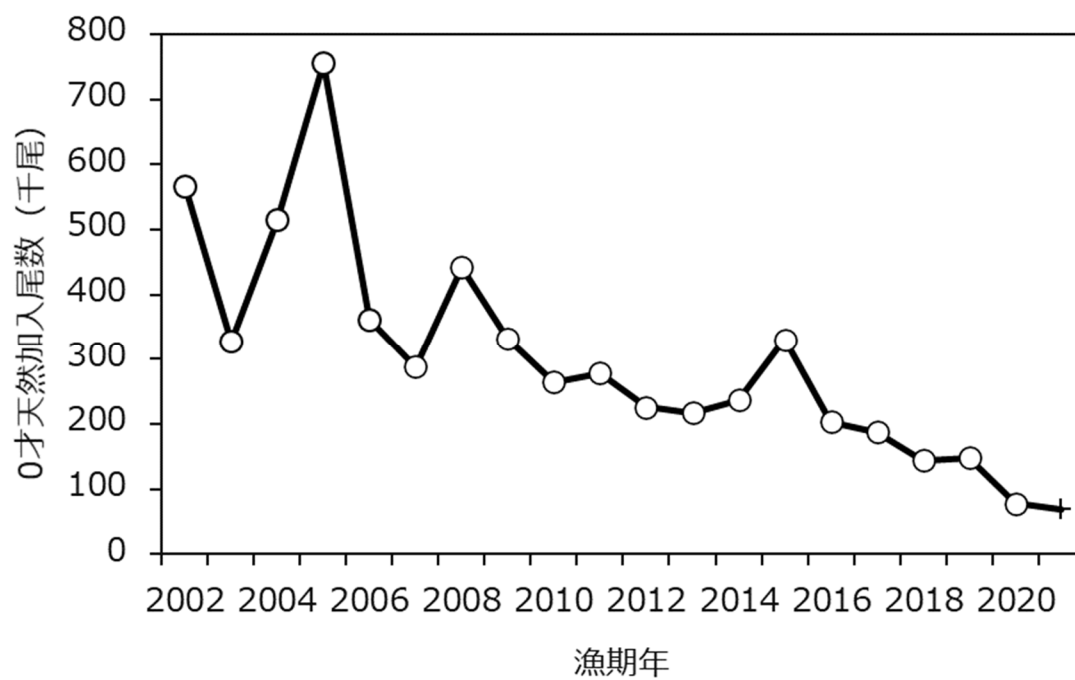


図 2. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価期間における 0 才天然加入尾数（千尾）。バツ（2021 年漁期）は加入尾数の参照に用いないデータを表す。

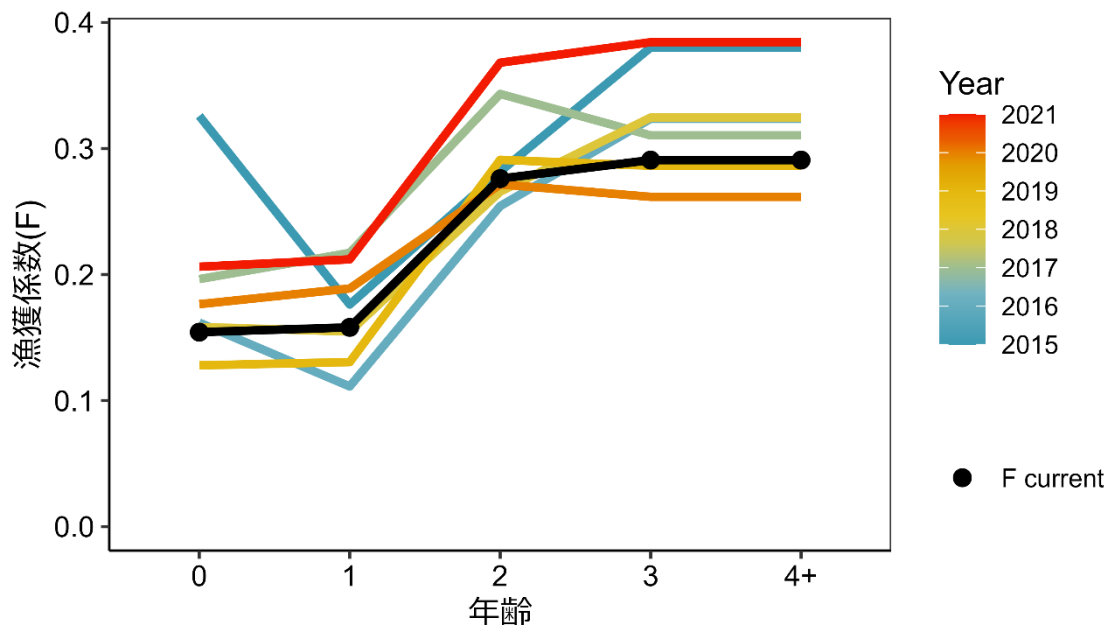


図 3. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

2015 年漁期以降の各年の年齢別 F 値を示す。黒線は現状の漁獲圧 (F2018-2020) である。

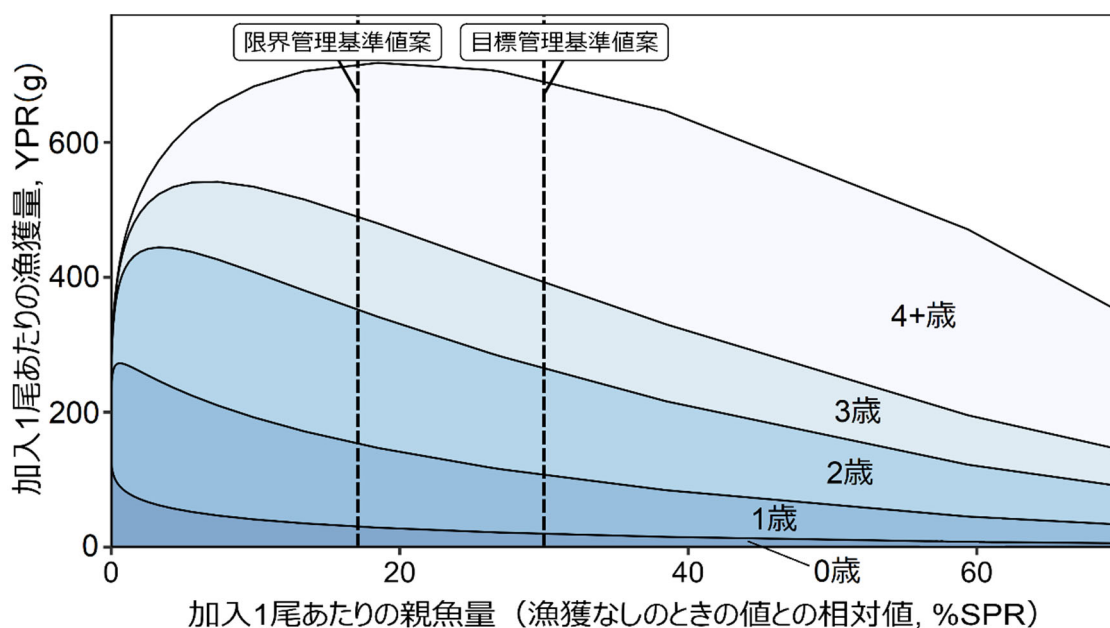


図 4. 管理基準値案と年齢別漁獲量曲線の関係

将来予測シミュレーションにおける平衡状態での%SPR あたりの年齢別 YPR の平均値とそれぞれの管理基準値案の位置関係を示す。灰色の網掛け部分は不確実性を示し、灰色が濃い色ほど不確実性が高いことを表す。目標管理基準値案は F30%SPR であり、限界管理基準値案は SBmin (329 トン) の位置を示す。禁漁水準値案は 0 トンである。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 1,923 トンである。

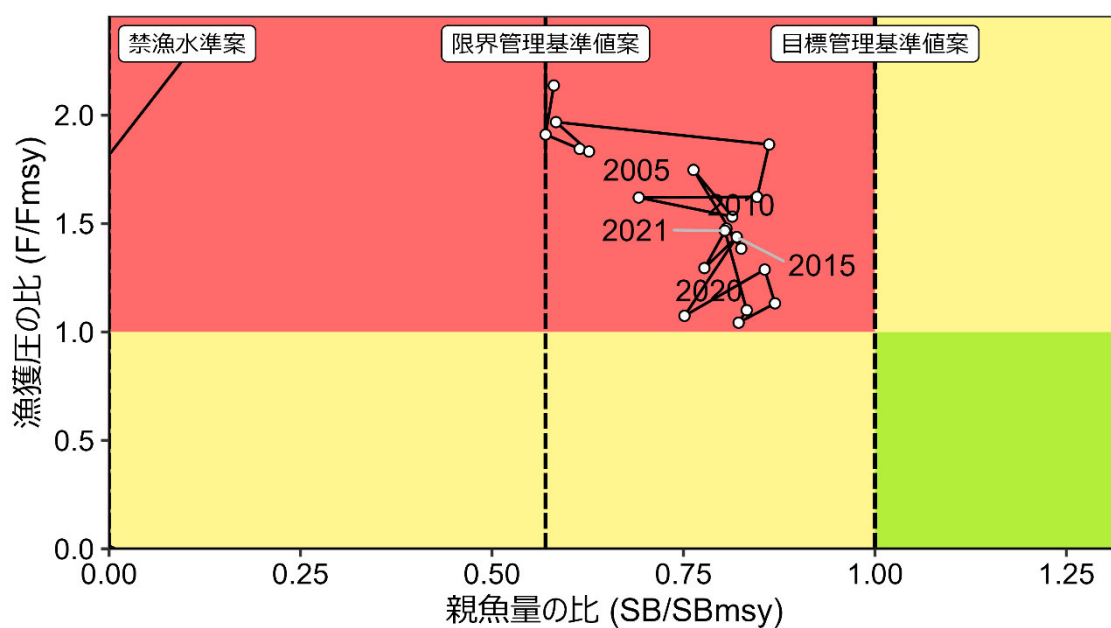
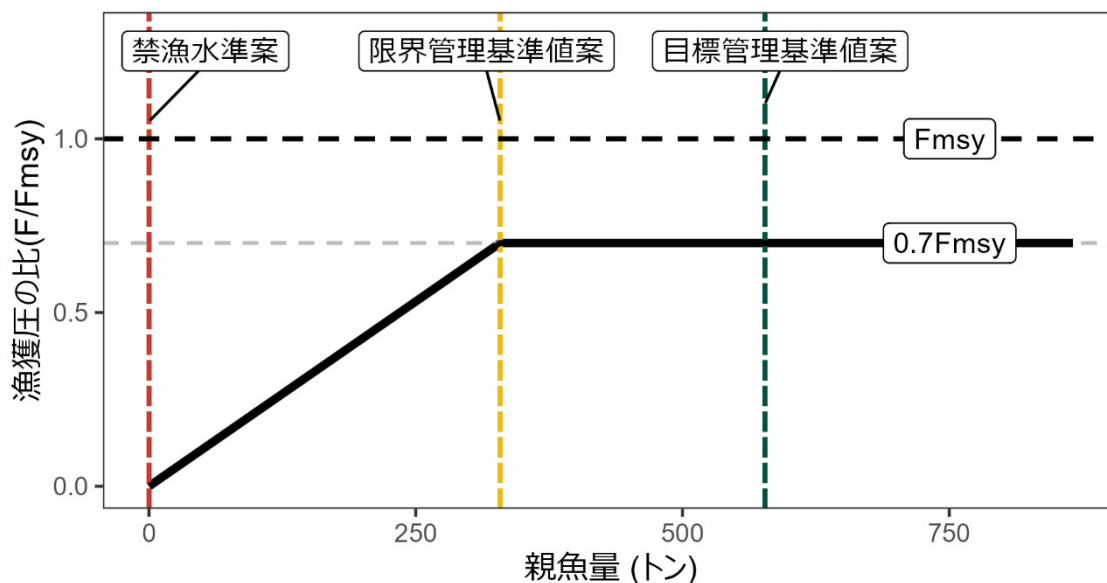


図 5.神戸プロット

縦軸は各年の漁獲圧 F の F_{msy} との比である。図中の目標管理基準値案、限界管理基準値案にはそれぞれ SB_{msy} proxy、過去最低親魚量 SB_{min} を用いた。また、禁漁水準案は 0 トンとした。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

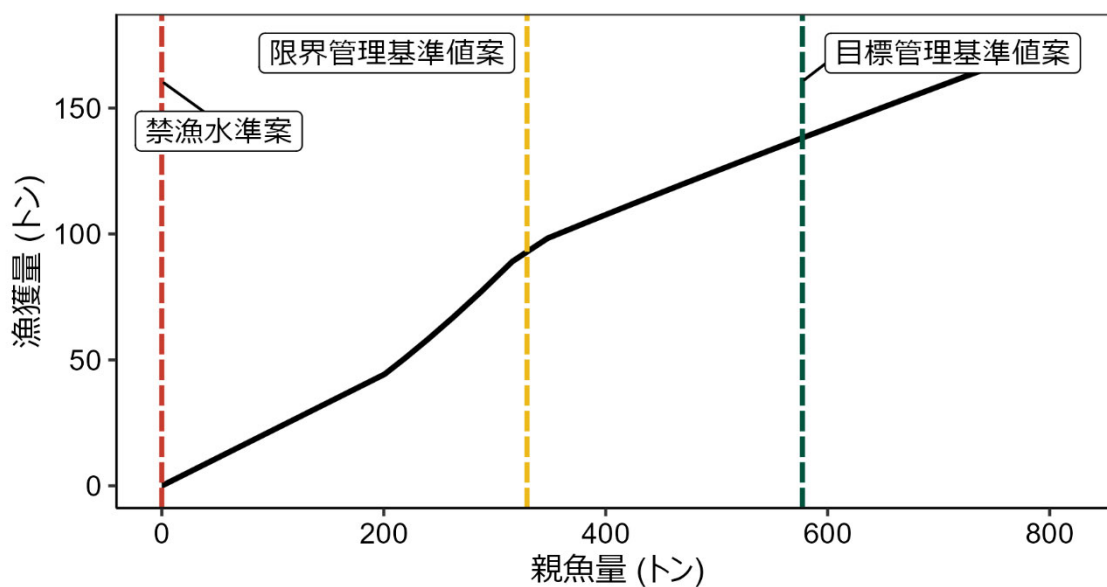
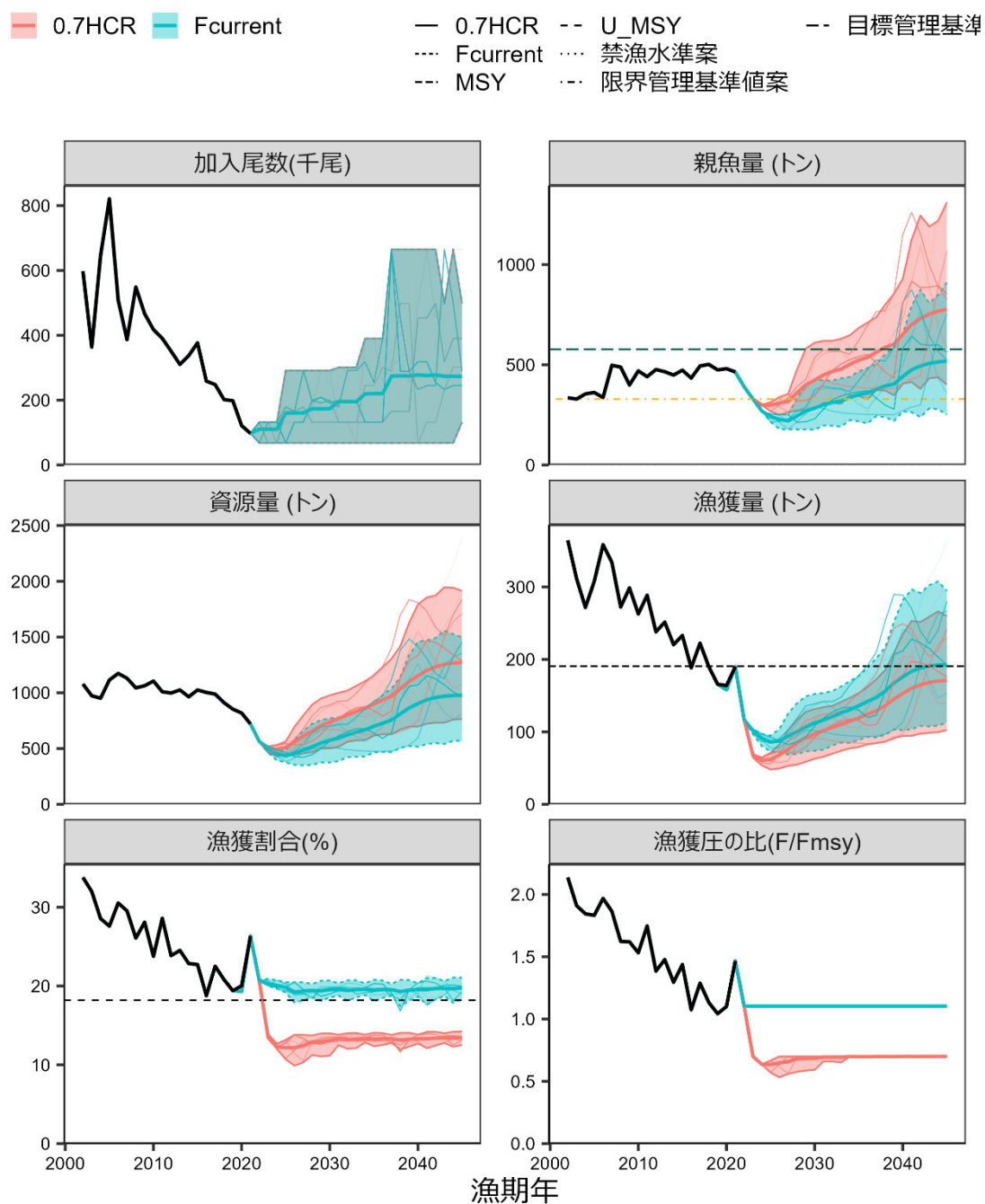


図 6. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は F_{max} による漁獲に基づく算出された親魚量であり、限界管理基準値案 (SBlimit) には過去最低親魚量 ($SB_{min}=329$ トン) を、禁漁水準案 (SB_{ban}) には 0 トンを用いている。調整係数 β には 1B ルールにおける標準値である 0.7 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.7F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。



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

図 7. 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（水色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2022 年漁期の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2018-2020) により仮定し、2023 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案 (図 6) に従うとした。調整係数 β には 0.7 を用いた。

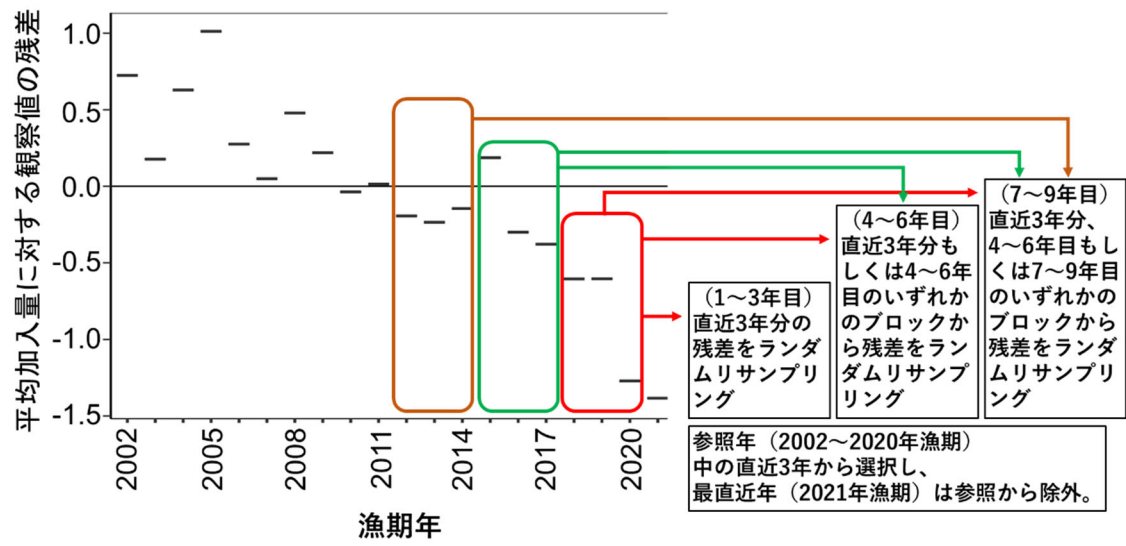


図 8. 近年の加入が過去の平均加入量を下回る状況を考慮した低加入シナリオにおけるバックワード・リサンプリングの概念図

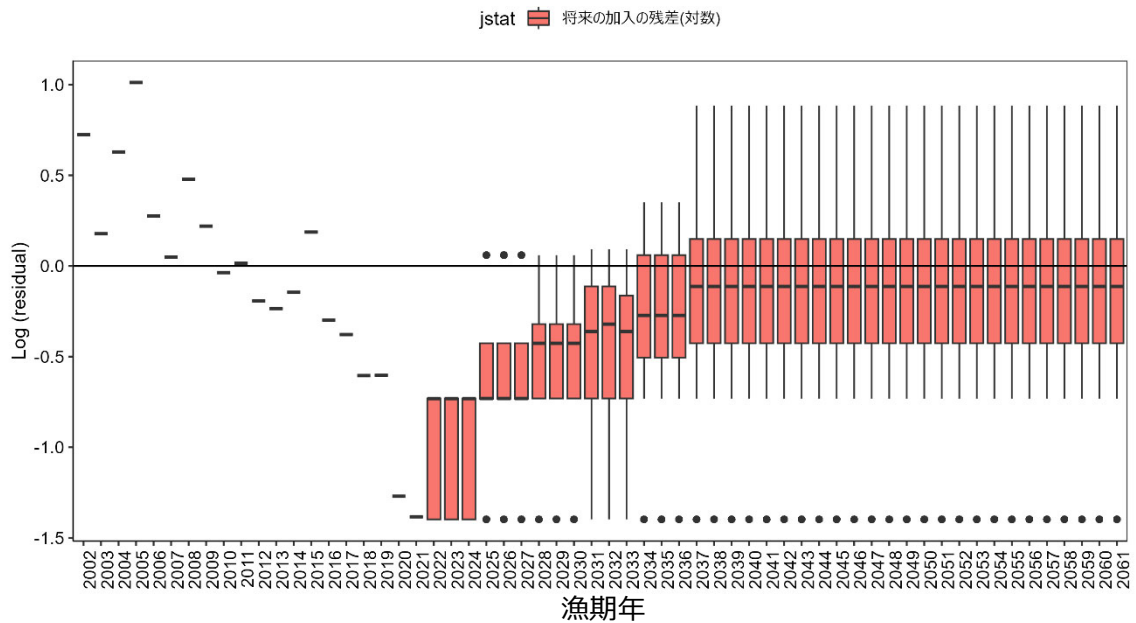


図 9. 平均加入量に対する観測値の残差 (2002~2020 年漁期) と将来予測において用いた残差

表 1. 各生物学的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、および現状の漁獲圧 (F2018-2020) に対する努力量の比の関係

生物学的管理基準値案	親魚量 (トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	努力量 との比
YPR 基準 Fmax	376	0.20	198	0.195	0.24	1.32
F0.1	662	0.34	184	0.344	0.16	0.78
SPR 基準 F20%SPR	385	0.20	197	0.200	0.24	1.30
F30%SPR	577	0.30	191	0.300	0.18	0.91

表 2. 選択した生物学的管理基準のパラメータ推定値

生物学的管理基準	加入参照年 (漁期年)	加入分布	平均(尾)	SD.
F30%SPR	2002～2020	対数正規分布	274,475	0.516

表 3. MSY 管理基準値等の算出および将来予測計算に用いた各種設定

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 (F2018-2020)
0	0.19	0.0	166	0.53	0.154
1	0.25	0.0	1021	0.54	0.158
2	0.25	0.0	1659	0.95	0.276
3	0.25	1.0	2126	1.00	0.291
4+	0.25	1.0	3348	1.00	0.291

自然死亡係数は、0 歳は 7 月起算 (9 か月)、1 歳以上は 4 月起算。平均重量は 2021 年漁期の値。F2018-2020 は 2018～2020 年漁期の F 値の年齢別平均値である。選択率は 3 歳 F2018-2020 に対する比を示す。

表 4. F30%SPR を Fmsy の代替値とした場合の各種管理基準値案における平衡状態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=1,923 トン) に対する比、平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、現状の漁獲圧 (F2018-2020) に対する努力量の比の関係、および MSY を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数 (Fmsy proxy)

管理基準値案	説明	親魚量 (トン)	SB0 に 対する比	漁獲量 (トン)	漁獲圧 (%SPR)	漁獲割合	努力量 の比
目標管理基準値案	SBmsy proxy	577	0.30	191	30	0.18	0.91
限界管理基準値案	SBmin	329	0.17	197	17	0.26	1.46
禁漁水準案	SBban	0	0	0	0	0	0
MSY を実現する 漁獲圧の代替値	Fmsy proxy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4+歳) = (0.14, 0.14, 0.25, 0.26, 0.26)					

表 5. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	43
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	2	52	56
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	3	5	65	69
0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	5	13	11	13	16	77	81
0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	5	21	23	26	36	86	90
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	21	34	37	43	59	93	96
0.4	0	0	0	0	0	0	0	7	27	44	50	66	70	97	98
0.3	0	0	0	0	0	0	0	13	40	49	64	81	80	99	100
0.2	0	0	0	0	0	0	0	28	55	60	83	89	90	100	100
0.1	0	0	0	0	0	0	0	55	76	81	95	96	97	100	100
0	0	0	0	0	0	0	29	79	91	95	99	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	32

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年漁期は現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 6. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	100	0	0	0	0	24	49	49	66	72	67	95	95
0.9	100	100	100	0	0	0	0	38	49	49	75	78	72	98	97
0.8	100	100	100	0	0	0	29	56	64	64	85	86	83	99	99
0.7	100	100	100	0	0	44	44	70	72	72	90	90	89	100	100
0.6	100	100	100	0	0	44	73	86	87	87	96	96	96	100	100
0.5	100	100	100	0	66	67	73	91	95	95	99	99	99	100	100
0.4	100	100	100	0	66	88	89	98	99	99	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	66	88	96	99	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	0	0	0	0	7	26	33	34	40	57	88	89

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年漁期は現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 7. 将来の平均親魚量の推移 (トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	464	390	330	277	264	267	271	308	337	349	364	371	373	567	582
0.9	464	390	330	284	275	279	285	323	354	370	388	398	403	621	642
0.8	464	390	330	292	286	294	300	340	375	395	416	430	438	683	711
0.7	464	390	330	299	298	309	318	361	401	425	450	468	479	756	791
0.6	464	390	330	307	311	327	340	387	432	462	491	513	527	839	883
0.5	464	390	330	315	325	347	365	418	470	505	539	566	584	934	990
0.4	464	390	330	324	340	370	394	454	514	556	596	628	650	1,045	1,116
0.3	464	390	330	332	357	395	427	496	564	614	661	699	726	1,173	1,264
0.2	464	390	330	341	375	423	464	542	622	680	735	780	814	1,324	1,440
0.1	464	390	330	350	394	453	505	595	686	755	820	874	915	1,502	1,653
0	464	390	330	359	414	486	550	653	758	840	917	982	1,033	1,716	1,912
現状の漁獲圧	464	390	330	269	241	228	220	246	271	285	301	313	319	508	523

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年漁期は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

表 8. 将来の平均漁獲量の推移 (トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	190	117	93	73	70	75	84	100	107	111	118	121	123	189	191
0.9	190	117	85	70	68	74	83	96	103	107	114	117	120	183	187
0.8	190	117	76	66	65	72	80	91	98	102	108	112	116	177	181
0.7	190	117	68	61	62	68	76	85	92	97	102	106	110	169	174
0.6	190	117	59	55	58	63	71	79	85	90	95	99	103	158	163
0.5	190	117	49	49	51	57	64	70	77	82	86	90	94	145	151
0.4	190	117	40	41	44	49	55	61	67	71	75	79	82	128	134
0.3	190	117	30	33	35	39	45	49	54	58	62	65	68	106	112
0.2	190	117	21	22	25	28	32	36	39	43	45	48	50	79	84
0.1	190	117	10	12	13	15	17	19	22	23	25	26	28	44	48
0	190	117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
現状の漁獲圧	190	117	102	91	86	88	95	101	107	113	116	121	126	191	194

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年漁期は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

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

β	現状の 漁獲圧 との比	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 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 (=過去最低親 魚量)を下回る	前年より 漁獲量が 半減する
			2028年 漁期	2033年 漁期	2023年 漁期	2028年 漁期	2033年 漁期		
1	0.91	0	308	373	93	100	123	100	0
0.9	0.82	2	323	403	85	96	120	100	0
0.8	0.72	5	340	438	76	91	116	100	0
0.7	0.63	16	361	479	68	85	110	100	0
0.6	0.54	36	387	527	59	79	103	100	0
0.5	0.45	59	418	584	49	70	94	100	0
0.4	0.36	70	454	650	40	61	82	100	0
0.3	0.27	80	496	726	30	49	68	34	0
0.2	0.18	90	542	814	21	36	50	0	0
0.1	0.09	97	595	915	10	19	28	0	0
0	0.00	100	653	1033	0	0	0	0	0

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

*現状の漁獲圧は F2018-2020。

補足資料 1. 再生産関係式の検討およびモデル診断

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

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

1-1) 再生産関係の推定

1-1-1) 使用するデータセット

本資源の再生産関係式の設定は「令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2022-ABCWG02-01)」に従い、以下のデータセットを使用して実施した。解析には R パッケージ frasyr (v2.2.0.3) を用いた。frasyr で用いた式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (令和 4 年度研究機関会議版) (FRA2022-ABCWG02-04)」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
資源量・親魚量	令和 4 年トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価 (水産庁・水産機構)

1-1-2) 再生産関係の検討

最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量の算出および将来予測計算に使用する再生産関係として、ホッケー・スティック (HS ; Clark et al., 1985) 型、ベバートン・ホルト (BH ; Beverton and Holt 1957) 型、およびリッカー (RI ; Ricker 1954) 型の再生産関係式を検討候補とした。 R_y を y 年の加入量、 B_y を y 年当初の親魚量、 A_{min} を加入年齢 (本系群の場合は A_{min} は 0 歳) 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（千尾/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、RI 型、および BH 型の再生産関係式を、最適化方法として、最小二乗法および最小絶対値法により 2002～2020 年漁期の加入量（0 才天然加入尾数）・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、各最適化方法に応じて組み込み方法を選択し 1 つの再生産モデルに対して計 5 通りの条件設定をした（補足図 1-1、詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（FRA-SA-2022-ABCWG02-04）」を参照）。再生産関係の検討に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、最終候補に残った各再生産関係式について補足図 1-2 および補足表 1-2 に示す。

補正赤池情報量基準（AICc）の値の小さいものから順に検討した結果、最も AICc が小さいモデルは、RI 型最小絶対値法（自己相関あり、なし、共に）であった（補足表 1-1）。このモデルとの差（ $\Delta AICc$ ）を比較したところ、HS 型と BH 型のうち、最適化手法に関わらず、自己相関を考慮しない、もしくは 2 段階推定法を用いて自己相関を考慮したケースでは、 $\Delta AICc$ が最小のモデルよりも 10 以上大きい値を示した（補足表 1-1）。「再生産関係の決定に関するガイドライン（FRA-SA2022-ABCWG02-05）、以下、ガイドライン」の基準 a （予測力）に基づき、これらのモデルは予測力の不確実性が高いと判断し、再生産関係の検討候補から除外した。また、AICc が 7 番目に低く算出された自己相関を同時推定し、最小二乗法で最適化された BH 型では計算結果が収束しなかったため、今後の検討から除外した（補足図 1-10c）。

次に、残った RI 型および HS 型再生産関係のスティーブネス h について比較したところ、RI 型の自己相関なし、および自己相関を二段階推定としたモデルでは、最小絶対値法および最小二乗法のいずれの場合でも h が 10 以上と大きな値を示した（補足表 1-1）。 $0.2 \times SB0$ の時の加入量と $SB0$ の時の加入量の比を表すスティーブネス h が大きい場合、極端な密度効果を仮定し、結果的に F_{msy} 推定の不確実性が高くなることがガイドラインの基準 b （生物学的妥当性 or 便宜的仮定）でも指摘されている。そこで、これら 4 つのモデルについて、推定された再生産関係を比較、検討した（補足図 1-3）。その結果、4 モデルとも再生産関係の挙動において極端な密度効果を仮定しており、過去最少親魚量より少ない親魚量で過去最大加入量を超える極めて大きい加入量を仮定したため、ガイドラインの基準 c （観察された最小親魚量以下における加入尾数の外挿）が該当すると考えられ、モデル候補から除外した。

これらの検討の結果、残った候補モデルは共に最小二乗法によって最適化された自己相関を同時推定した HS 型と RI 型再生産関係であった。これらの AICc は HS 型（26.4）、RI 型（27.0）であり、大きな差は認められなかった。HS 型および RI 型では、共に自己相関を同時推定することで、外れ値が解消し、Ljung-Box 検定での有意差は解消した（補足図 1-4）。

また、プロファイル尤度からは、HS 型も RI 型にも局所解などは確認されず、推定が収束していると考えられた（補足図 1-10）。再生産関係式を最小二乗法により当てはめる上での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、HS 型では各パラメータの推定値が安定していたことに対し、RI 型では 2006、2007、2020 年漁期のデータを除いた場合に非常に大きくパラメータ推定値が乱れた（補足図 1-6, 1-7）。HS 型の折れ点が過去最低親魚量に固定されていない（便宜的仮定を用いていない）ことを考慮すると、HS 型の推定値は比較的頑健であると考えられる一方、RI 型のパラメータ推定値の乱れによる挙動は極端な密度効果を想定する場合があります、再生産関係における加入の仮定が数年の観察データに依存した影響を受けやすいことを示唆した（補足図 1-7）。次に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ところ、HS 型および RI 型は同様の結果を示し、推定された自己相関係数の平均と中央値の間に差を認めたものの、他のパラメータに関しては大きな差は見られず、信頼区間の中に納まった（補足図 1-8, 1-9）。

再生産関係によって仮定される加入量は、HS 型では親魚量が 0～362 トンまでの間は直線的に 0 尾から 25.3 万尾まで増加し、親魚量が 362 トンより多い場合は 25.3 万尾で一定という加入を仮定している（補足図 1-11a）。一方、RI 型では親魚量 338 トンの時に最大加入量（26.3 万尾）が得られると仮定しているが、この親魚量よりも小さい親魚量が見られたのは、2002 年漁期の 335 トン（加入 59.8 万尾）、2003 年漁期の 329 トン（加入 36.4 万尾）、2006 年漁期の 337 トン（加入 50.9 万尾）であり、最大加入量を推定した親魚量の 97～99.7%の親魚量に対して、いずれも予測よりも 1.24～2.15 倍の加入実態があった（補足図 1-11b）。HS 型で加入量一定となる 25.3 万尾と同等の加入を RI 型に外挿すると、親魚量は 249 トンと仮定される。なお、親魚量が 249 トンのとき、HS 型では加入量は 17.4 万尾と仮定される。過去最低親魚量が 329 トンであることを考慮すると RI 型は実データに基づかない楽観的な加入を外挿している可能性が考えられる（ガイドライン e: 観察された最小親魚量以下で加入尾数が保守的でない外挿値になるような場合の回避）。RI 型再生産関係に対する残差分布は正規分布を大きく逸脱はしていないものの、このような予測と加入実態の乖離から、分布の平均の左右に高い頻度の残差分布が確認された（補足図 1-5b）。同様に、HS 型では残差分布は正規分布から大きく逸脱はしていないものの、QQ プロット上では理論値の直線状に推定値が配置されることが少ないことが確認された（補足図 1-5a）。

本資源では親魚量が 329～502 トン（平均 436 ± 60 トン、CV14%）という範囲の中で、天然加入が 6.9～75.5 万尾（平均 30.0 ± 16.9 万尾、CV56%）と大きく変動していることが問題として挙げられる。また、HS 型および RI 型では親魚量が 200 トン以上の場合で平均として 20 万尾を超える加入を仮定しているが、2017 年漁期以降は天然加入が 18.8 万尾以下と 20 万尾を上回ることが無く減少傾向にあるため、HS 型では自己相関係数 ρ が 0.859、RI 型では 0.805 と推定されている（補足表 1-1、図 2）。

本系群では、再生産関係の推定を行った結果、BH 型については収束をしていないことから除外し、残った HS 型と RI 型再生産関係について診断を行った。その結果、HS 型および RI 型共に推定値に大きな問題はなかったものの、RI 型再生産関係については推定値が一部

の年のデータに強く依存する傾向が診断され、モデルの推定値の安定度については考慮する必要がある。また、RI 型に関しては観測されたことのない親魚量の範囲で高加入を仮定する傾向があり、「再生産関係の決定に関するガイドライン（令和 4 年度）（FRA-SA2022-ABCWG02-05）」の基準 b（生物学的妥当性）および基準 e（観察された最小親魚量以下で加入尾数が保守的でない外挿値になるような場合の回避）に基づき、RI 型再生産関係を本資源の再生産関係として用いないことが適当と考えられた。

一方、HS 型再生産関係では、折れ点である親魚量 362 トン以下の親魚量は 2002 年漁期から 2006 年漁期に限定され、加入量も HS 型再生産関係式で得られる信頼区間内のデータは 2003、2006 年漁期のみが観測されており、折れ点より親魚量が少ない場合の加入の仮定が実観測データと合わない可能性が示唆されている。一方で、前述の通り本資源の再生産関係は加入の変動が大きく、資源の将来予測で想定される幅広い親魚量の範囲に対して適切な加入を予測することは困難であることが懸念された。

1-1-3) 再生産関係の候補

上述の通り、本系群の再生産関係の候補としては、「再生産関係の決定に関するガイドライン（令和 4 年度）（FRA-SA2022-ABCWG02-05）」の a（予測力）、b（生物学的妥当性または便宜的仮定）、e（観察された最小親魚量以下で加入尾数が保守的でない外挿値になるような場合の回避）および h（自己相関）の基準および過去の資源動態を考慮した結果、最小二乗法で最適化し、自己相関を同時推定した HS 型再生産関係式および RI 型再生産関係式が候補として挙げられたが、選択および提案には至らなかった。この再生産関係の挙動を補足図 1-11 に、パラメータ推定値を補足表 1-1 および 1-2 に示した。

1-2). 候補となる再生産関係を用いた場合の管理基準値

1-2-1) データセットおよび計算方法

最大持続生産量（MSY）に対応する管理基準値案等の算出、および将来予測は、「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」の 1 系資源の管理規則に従い、1-3) で候補とした再生産関係と、令和 4 年度の資源評価（水産機構、2022）における将来予測計算に用いた各種設定（自然死亡係数、成熟率）を使用して実施した。また、年齢別平均体重については直近年である 2021 年漁期の年齢別平均体重を用いた（表 3）。現状の漁獲圧（F2018-2020）には 2018～2020 年漁期の漁獲係数（F 値）の平均値を用いた（図 3、表 3）。本系群では、平均世代時間の 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。

1-2-2) 候補となる再生産関係によって推定された管理基準値案と禁漁水準案

HS 型再生産関係を用いた場合、目標管理基準値（ SB_{target} ）として MSY 水準における親魚量（ SB_{msy} : 682 トン）、限界管理基準値（ SB_{limit} ）として MSY の 60%の漁獲が得られる

親魚量 (SB0.6msy : 233 トン)、禁漁水準 (SBban) として MSY の 10% の漁獲が得られる親魚量 (SB0.1msy : 28 トン) が候補となった (補足表 1-2a)。これらの基準値案について、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する比、対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量、対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比などを補足表 1-2a に示す。目標管理基準値として提案する SBmsy は SB0 の 38% 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 145 トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧 (MSY を実現する漁獲圧 : Fmsy) の、現状の漁獲圧に対する比 (Fmsy/F2018-2020) は 0.62 で、その時の漁獲割合 (Umsy) は 13% である。限界管理基準値として提案する SB0.6msy は SB0 の 13%、禁漁水準として提案する SB0.1msy は SB0 の 1.6% である。これらの基準値案において期待される年齢別の平均漁獲量を漁獲量曲線として補足図 1-12a に示す。

一方、RI 型再生産関係を用いた場合、目標管理基準値 (SBtarget) として MSY 水準における親魚量 (SBmsy : 339 トン)、限界管理基準値 (SBlimit) として MSY の 60% の漁獲が得られる親魚量 (SB0.6msy : 108 トン)、禁漁水準 (SBban) として MSY の 10% の漁獲が得られる親魚量 (SB0.1msy : 13 トン) が候補となった (補足表 1-2b)。これらの基準値案について、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する比、対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量、対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比などを補足表 1-2b に示す。目標管理基準値として提案する SBmsy は SB0 の 38% 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 166 トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧 (MSY を実現する漁獲圧 : Fmsy) の、現状の漁獲圧に対する比 (Fmsy/F2018-2020) は 1.25 で、その時の漁獲割合 (Umsy) は 23% である。限界管理基準値として提案する SB0.6msy は SB0 の 12%、禁漁水準として提案する SB0.1msy は SB0 の 1.5% である。これらの基準値案において期待される年齢別の平均漁獲量を漁獲量曲線として補足図 1-12b に示す。

1-2-3) 神戸プロット

目標管理基準値案である SBmsy と、その時の漁獲圧 Fmsy を基準にした神戸プロットを補足図 1-13 に示す。HS 型を再生産関係とした場合、本系群における漁獲係数 (F 値) は、全ての年で MSY を実現する水準を上回っている。親魚量はすべての年で限界管理基準値案と目標管理基準値案の間にあると判断される (補足図 1-13a)。現状の親魚量 (2021 年漁期の親魚量 : 464 トン) に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案の比は、それぞれ 1.47、0.50 および 0.06 である。一方、RI 型を再生産関係とした場合、本系群における漁獲係数 (F 値) は、多くの年で MSY を実現する水準を下回っている。更に親魚量は 2002、2003、2006 年漁期を除く全ての評価年で SBmsy である目標管理基準値を上回っていると判断された (補足図 1-13b)。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 0.73、0.23 および 0.03 である。

1-2-4) 漁獲管理規則案

候補となる再生産関係によって推定された漁獲管理規則は、限界管理基準値案および禁漁水準案となる親魚量を閾値として漁獲管理の基礎となる漁獲係数（F 値）を変えるルールであり、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げる。F 値の上限は F_{msy} には調整係数 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 は $SB_{0.6msy}$ 、SBban は $SB_{0.1msy}$ の場合）の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を補足図 1-14 に、この漁獲管理規則案で漁獲した場合に期待できる平均的な漁獲量との関係を補足図 1-15 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 を用いた。

1-2-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

(1) 調整係数 β に標準値を用いた場合

HS 型および RI 型を再生産関係とした場合の限界管理基準値案と禁漁水準案に標準値を用い、調整係数の β を標準値の 0.8 とした漁獲管理規則案（補足図 1-14）で将来予測した時の、資源量、親魚量、漁獲量、加入量、漁獲割合および漁獲圧の比の増減率の推移を補足図 1-16 に示す。将来予測では、2022 年漁期の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧（F2018-2020）により仮定し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲制御を開始する。HS 型および RI 型では、予測される 2023 年漁期の親魚量は限界管理基準値案を上回っているため、漁獲管理規則案に従い、まず βF_{msy} での漁獲が行われる。HS 型再生産関係の場合 $\beta=0.8$ は現状の F に対して 0.50、RI 型の場合 $\beta=0.8$ は現状の F に対して 1.00 となる。なお、中長期的にも親魚量は限界管理基準値案を上回ると予測されるため、 βF_{msy} での漁獲となる。HS 型の場合、再生産関係による加入のみを推定した場合では、平均親魚量は 2033 年漁期に 426 トンであり、2043 年漁期には親魚量が 702 トンに達し SB_{msy} を超える（補足図 1-16a）。平均漁獲量は 2023~2033 年漁期は 47~76 トンと低迷するが、親魚および資源の増加に従って漁獲量も増加し、2043 年漁期には 117 トン、2053 年漁期には 133 トンと予測された。一方、RI 型の場合、平均親魚量は 2033 年漁期に 335 トンと SB_{msy} より 3 トン低く、2043 年漁期には 422 トンと SB_{msy} を超えると予測された（補足図 1-16b）。この時の平均漁獲量は 2023~2028 年漁期の間では 90 トンと 100 トンを下回るものの、やがて増加し 2033 年漁期には 131 トン、2043 年漁期には 158 トンと予測された。

(2) 調整係数 β を変えた場合

HS 型および RI 型を再生産関係とした場合の漁獲管理規則案を用いた将来予測について、調整係数 β を 0.0~1.0 の間で、0.1 間隔で変えた場合の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、禁漁水準案を上回る確率、親魚量平均値の推移、漁獲量平均値の推移をそれぞれ補足表 1-3~1-7 に、まとめた表を補足表 1-8 に示す。補足表 1-3~1-7 には、現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲を継続した場合の結果も比較のため示した。

HS 型を選択した場合、本資源の親魚量は 2021 年漁期時点で限界管理基準値案を超えて

おり、再生産関係による加入のみとした場合、漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2033 年漁期では目標管理基準値への到達は困難と予測され、 $\beta=0.1$ であれば 56% の確率で目標管理基準値案（SB_{msy} HS 682 トン）を上回ると予測された（補足表 1-3a）。 $\beta=1.0$ の場合には親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 10% であり、標準値である $\beta=0.8$ でも 15% と予測された。また、2033 年漁期に親魚量が限界管理基準値案（SB_{limit} HS : 233 トン）を上回る確率については、 $\beta=1.0$ で 57%、 $\beta=0.8$ で 70% と推定された（補足表 1-4a）。なお、現状の漁獲圧では 15% の確率で親魚量が限界管理基準値案を上回ると予測され、高い確率で親魚量が 233 トンを下回ると予測された。一方 2033 年漁期に親魚量が禁漁水準案（SB_{ban} HS 28 トン）を上回る確率については、 $\beta=1.0$ 以下の全ての場合において 100% と予測された（補足表 1-5a）。平均親魚量については HCR に基づく漁獲が始まる 2023 年漁期までに 2021 年漁期の 464 トンから 330 トンまで減少し、 $\beta=0.5$ 以上の場合はその後も減少し続けた後に増加に転じる（補足表 1-6a）。2033 年漁期の親魚量は $\beta=1.0$ の場合で 347 トンと目標管理基準値案の約半分と予測された。また、現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合、2033 年漁期の親魚量は 147 トンと予測され、現状の親魚量（464 トン）の 32% まで減少すると予測された。なお、親魚量は 2033 年漁期以降も増加を続け、2043 年漁期には $\beta=1.0$ の場合 577 トン、2053 年漁期には 660 トンと予測された。これらの親魚量によって再生産される資源から期待される平均漁獲量は、HCR による漁獲開始年の 2023 年漁期には $\beta=1.0$ で 63 トン、 $\beta=0.8$ で 52 トン、現状の漁獲圧で 97 トンと予測されたが、HCR に基づいた場合は 2028 年付近を境に増加に転じ 2033 年漁期の漁獲量は $\beta=1.0$ で 76.4 トン、 $\beta=0.8$ で 75.5 トンと予測されたが、現状の漁獲圧の場合は 58 トンと低迷した。なお、親魚量と同様に平均漁獲量は継続して増加し、 $\beta=1.0$ の場合 2043 年漁期および 2053 年漁期にはそれぞれ 125、141 トン、 $\beta=0.8$ の場合は 120、133 トンと予測された（補足表 1-7a）。

RI 型を選択した場合、本資源の親魚量は 2021 年漁期時点で目標管理基準値案を超えているが、漁獲管理規則案での漁獲開始後から親魚量が大きく減少し、2033 年漁期における、目標管理基準値案（SB_{target} RI : 339 トン）を上回る確率は $\beta=0.7$ で 51% と予測された（補足表 1-3b）。また、同確率は $\beta=1.0$ で 21%、 $\beta=0.8$ では 42%、現状の漁獲圧でも 41% と予測された。2033 年漁期に親魚量が限界管理基準値案（SB_{limit} RI : 108 トン）を上回る確率は $\beta=1.0$ 以下の全ての値で 87~100% の確率と予測された（補足表 1-4b）。同様に、2033 年漁期に親魚量が禁漁水準案（SB_{ban} RI : 13 トン）を上回る確率は $\beta=1.0$ 以下の全ての値で 100% の確率で上回ると予測された（補足表 1-5b）。平均親魚量については 2023 年漁期の 330 トンから 2026 年漁期付近まで大きく減少すると予測され、その後増加に転じるも、2033 年漁期の親魚量は $\beta=1.0$ の場合 248 トン、 $\beta=0.8$ の場合 335 トン、現状の漁獲圧の場合も 335 トンと予測された（補足表 1-6b）。なお、2043 年漁期にかけても継続して増加傾向を表し、 $\beta=1.0$ の場合は 2043、2053 年漁期の親魚量はそれぞれ 329、339 トン、 $\beta=0.8$ の場合はそれぞれ 422、429 トンと予測された。これらの親魚量からもたらされる資源から期待される漁獲量は 2026 年漁期付近にかけて減少し、その後増減に転じると示された（補足表 1-7b）。2033 年漁期の漁獲量は $\beta=1.0$ の場合は 127 トン、 $\beta=0.8$ の場合は 130 トン、 $\beta=0.7$ でも 127 トンと予測された。なお、漁獲量は 2043 年漁期にかけても増加を続けるものの、2043、2053 年漁期の平均漁獲量は $\beta=1.0$ であってもそれぞれ 163、167 トンであり、2021 年漁期の漁獲量である 190 トンを下回ったものの、現状の漁獲圧による 2043、2053 年漁期の漁獲量であ

る 151、153 トンを上回ると予測された。

補足表 1-8 に、上述の結果を要約したものを示すとともに、親魚量や漁獲量に係るリスクについて評価した結果を示した。リスク評価として、将来予測の 10 年間の間に 1 度でも親魚量が限界管理基準値を下回る確率について試算を行った。HS 型の場合、限界管理基準値案（SBlimit HS : 233 トン）を下回る確率は $\beta=1$ の場合で 68%と予測され、 $\beta=0.8$ 、 0.7 の場合でもそれぞれ 48%、39%と予測され、親魚量の減少の可能性が示された。一方、RI 型の場合では、限界管理基準値案（SBlimit RI : 108 トン）を下回る確率は $\beta=1.0$ で 26%、 $\beta=0.8$ 、 0.7 の場合でも 8%、4%と予測され、10 年後に目標管理基準値案を 50%以上の確率で上回るとされている $\beta=0.7$ であっても親魚量が極めて低くなる可能性が示された。また、漁獲量の不安定性を示す前年より漁獲量が半減する確率については、HS 型、RI 型共に $\beta=1.0$ 以下の全ての場合で 0%と推定された。

1-3). まとめ

本系群では、資源評価で推定された 2002～2020 年漁期の加入量および親魚量に基づき、再生産関係モデルとして自己相関を同時推定法により考慮した HS 型および RI 型再生産関係式を再生産関係の候補として検討した。HS 型および RI 型の双方ともモデルの診断に残差の偏りやジャックナイフ解析によるパラメータ推定の不安定性を示したが、推定結果に大きな問題は無いと考えられた。しかしながら、RI 型については再生産関係のガイドラインの基準 e（観察された最小親魚量以下における加入尾数の外挿）が懸念された。HS 型と RI 型によって推定された管理基準値は大きく異なり、HS 型では現状の親魚量の 1.47 倍を目標管理基準値案としたことに対して、RI 型では現状の親魚量の 0.73 倍を目標管理基準値案として推定した。すなわち、HS 型では漁獲を抑えることで資源の回復を図り、RI 型では親魚を現状より減少させることで資源の利用を図るべきという結果となった。

HS型を再生産関係とした場合の目標管理基準値案は上記の再生産関係から推定される SBmsy（682トン）、限界管理基準値案、禁漁水準案には、標準値である SB0.6msy（233トン）、SB0.1msy（28トン）と算出された。RI型を再生産関係とした場合の目標管理基準値案は上記の再生産関係から推定される SBmsy（339トン）、限界管理基準値案、禁漁水準案には、標準値である SB0.6msy（108トン）、SB0.1msy（13トン）と算出された。

HS型を再生産関係とした場合、現在の本系群の親魚量は目標管理基準値案を下回るが、限界管理基準値案を上回っていると推定される。MSYを実現する漁獲割合は13%、漁獲圧は現状の漁獲圧（F2018-2020）の0.62倍であり、これは42%SPRに相当する（補足表1-2a）。RI型を再生産関係とした場合、現在の本系群の親魚量は目標管理基準値案および限界管理基準値を上回っていると推定される。MSYを実現する漁獲割合は23%、漁獲圧は現状の漁獲圧（F2018-2020）の1.25倍であり、これは21%SPRに相当する（補足表1-2b）。

人工種苗由来の加入尾数を加味しない場合、50%以上の確率で親魚量が MSY 水準に維持される β は HS 型で 0.1 以下、RI 型で 0.7 以下である。また、現状（2016～2020 年漁期）と同水準の放流を今後 10 年間継続した場合、HS 型では調整係数 β が 0.6、RI 型では調整係数 β が 0.9 以下の漁獲圧であれば、将来的に 50%以上の確率で親魚量が MSY 水準に維持されると予測された（補足資料 3）。

1-4). 今後の検討事項

本資源の資源評価結果では、2010 年漁期以降の親魚量は 2018 年漁期以降、やや減少傾向にあるが、概ね 400～500 トンを推移している。一方で、この間の再生産成功率は 2010～2014 年漁期に 0.47～0.63 尾/kg を推移した後、2015 年漁期の 0.70 尾/kg となって以降は 2020 年漁期に 0.16 尾/kg と低下している（平井ほか 2022）。直近の 2021 年漁期も速報値に基づく放流情報や概数値に基づく漁獲量情報からの結果であるものの、再生産成功率は 0.15 尾/kg と加入量の増加は期待されない。こうした結果からは、一般的な再生産関係が見込まれる魚種・系群と比べて、加入量の実数の増加にはより多くの親魚量の維持が重要であり、年齢を問わない資源管理の取組みが重要である。また、2015 年漁期から 2020 年漁期にかけて、漁獲圧が低下し、親魚量が増加する傾向がある一方で、この間の再生産成功率の低下は顕著であることから、この間は親魚量と再生産成功率の両面における資源状態の向上とは言えない点は留意するべきと思われる。

また、本系群では、現在の資源を主に構成する年齢に相当すると考えられる 2010～2020 年漁期の親魚量は 433 トン（2016 年漁期）～502 トン（2018 年漁期）の間を推移し、2018 年漁期以降は低下傾向にあるものの、この間の平均親魚量は 469 ± 21 トン（CV : 4.5%）で極めて安定している。一方で、この間の平均天然加入尾数は 21.1 ± 7.0 万尾（CV : 33%）と変動が大きく、2017 年以降は 20 万尾未満であり、2020 年漁期は 7.8 万尾と 10 万尾を下回った。これらのことから、本資源における近年の加入の減少は、親魚量の増加に伴うのではなく一律加入の減少が続いていると考えられる。一方で、本系群で資源量指標値が得られている産卵場では、産卵期の親魚の CPUE は 2008 年以降低下傾向を示す産卵海域も観測されている。また、産卵水温（12～16℃）での漁獲日数が減少しており、必ずしも親魚量の増減傾向通りに産卵来遊が行われているわけではない事例も見られている（水産機構、2021）。これらのモデル診断結果と既存の生態事例を考慮すると、現状利用可能なデータから頑健な再生産関係の推定を行うことは困難と考えられる。

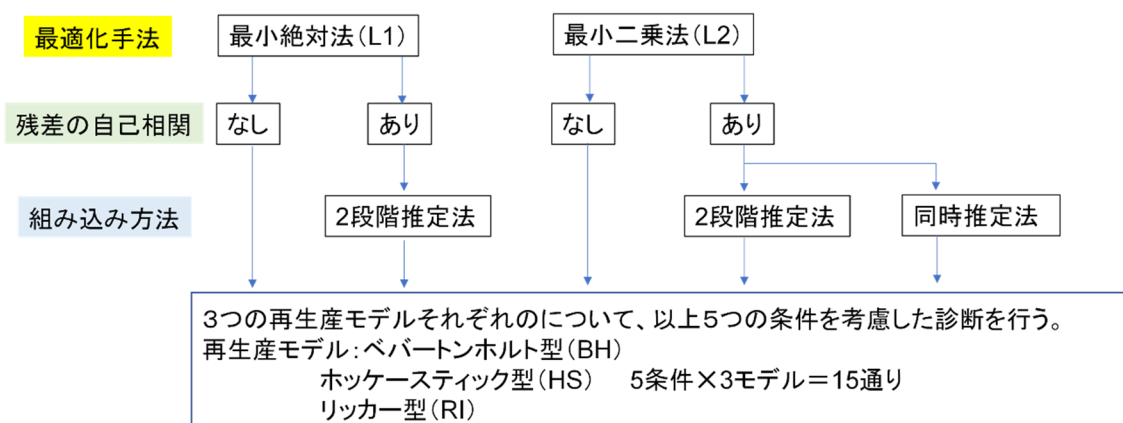
なお、本系群の再生産関係を用いた将来予測結果からは、再生産関係による加入のみでは 10 年後の 2033 年漁期までの目標管理基準値の達成は困難であり、SBmsy の達成は 2043 年漁期になる（調整係数(β)=0.8 の場合）。従来評価において ABC 以外の管理方策として指摘されてきたように現状の種苗放流の維持が管理基準値の早期達成に貢献することが予測される（補足資料 3）。

一方、資源評価の高精度化の観点からは、現状の資源では 4 歳以上のプラスグループにおいて、平均体重の増加が認められる一方で、同グループの資源尾数の低下が認められることから、資源量推定過程における年齢分解の精度向上を図り、より再生産関係の明瞭化を検討することで、より生態に沿った再生産モデルの選択や将来予測の精度向上につなげることが必要と考えられる。

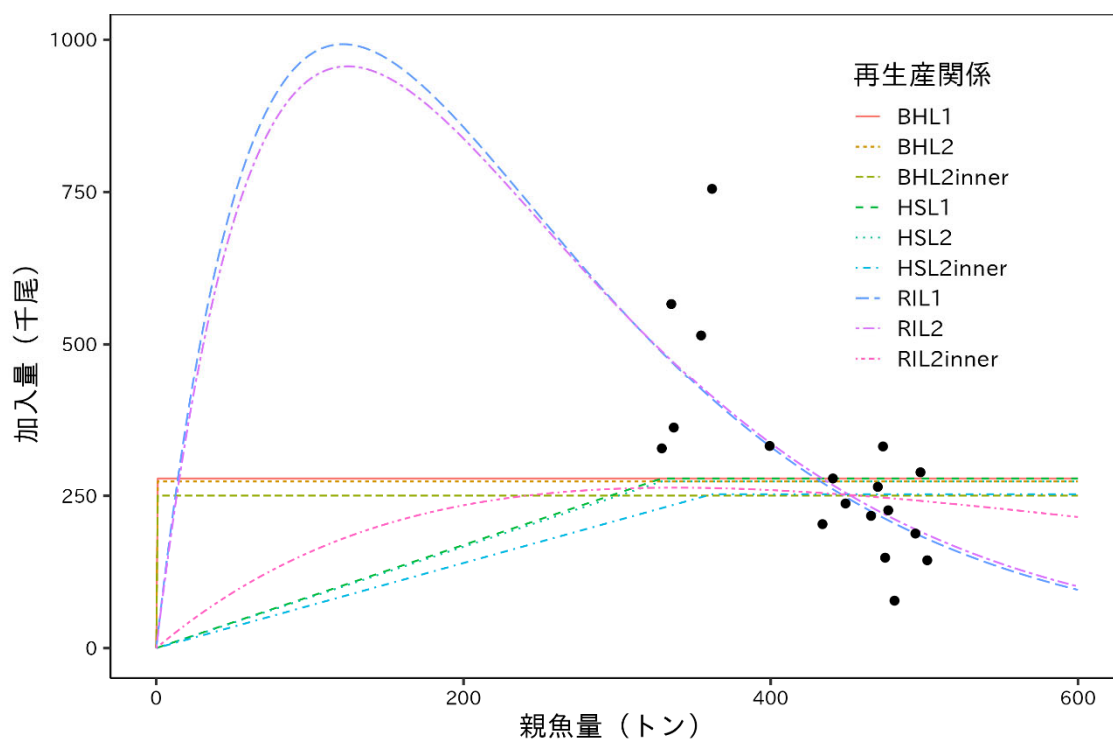
引用文献

ABCWG (2022) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和4年度）. FRA-SA-2022-ABCWG02-04.

- ABCWG (2022) 再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 4 年度) . FRA-SA2022-ABCWG02-05.
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957). On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office , London.
- Clark C. W., A. T. Charles, J. R. Beddington, and M. Mangel (1985). Optimal capacity decisions in a developing fishery. Mar. Resour. Econ., 2, 25-53.
- Ricker W. E. (1954). Stock and recruitment. J. Fish. Res. Board Can., **11**, 559–623.
- 水産研究・教育機構 (2021)、令和 2 年度資源量推定等高精度化事業報告書 6000 トラフグ 日本海・東シナ海・瀬戸内海系群, 71-83.
- 平井慈恵・片町太輔・真鍋明弘 (2022) 令和 4 (2022) 年度トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構,1-76. FRA-SA2022-RC03-1.

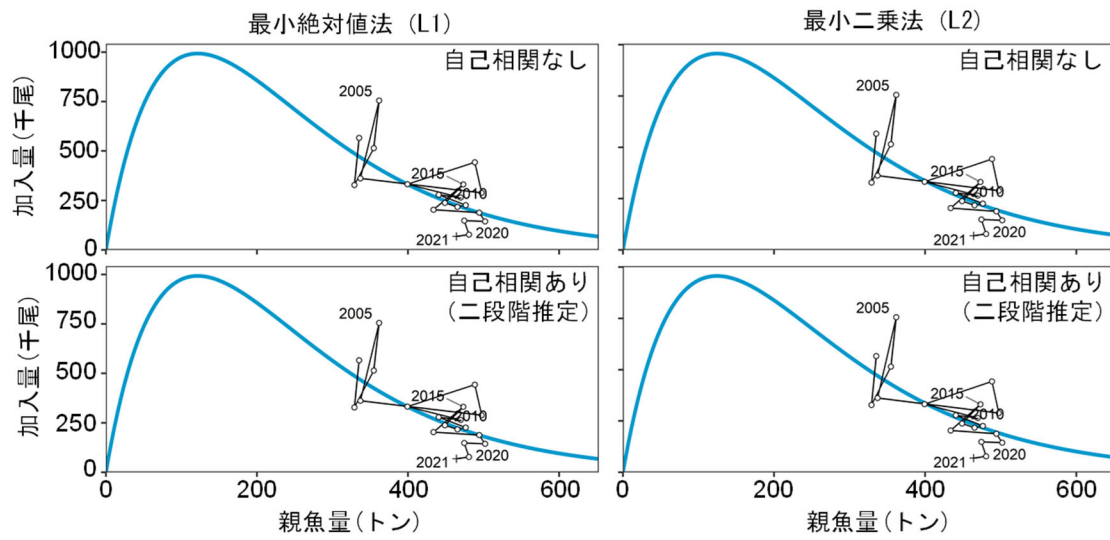


補足図 1-1. 再生産モデルの診断における各条件。1つの再生産モデルにつき、最適化手法、残差の自己相関と自己相関の組み込み方法について、計5つの条件設定を行い、3モデル計15通りの診断を実施した。



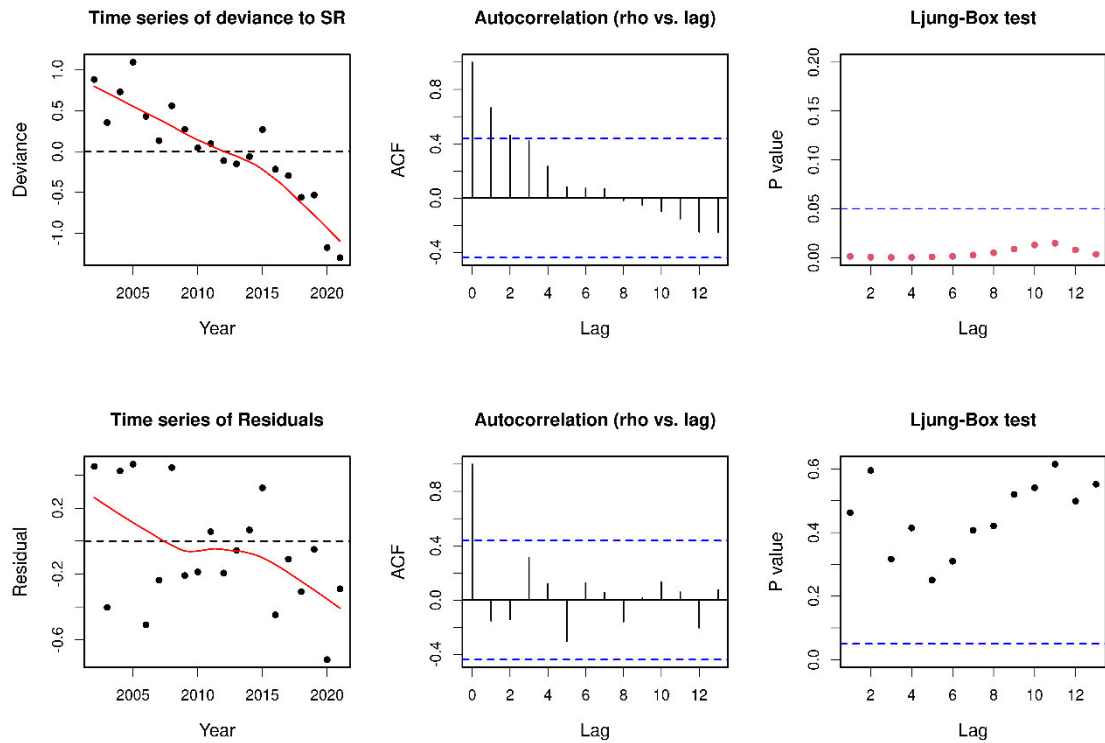
補足図 1-2. 各モデルにおける再生産関係式

ホッケースティック型 (HS)、リッカー型 (RI)、ペバートン・ホルト型 (BH) の再生産関係式を、最小二乗法 (L2) および最小絶対値法 (L1) を用いて推定した。自己相関を同時推定したモデル (inner) についても示した。黒丸は分析に使用した親魚量・加入尾数 (2002～2020 年漁期) である。

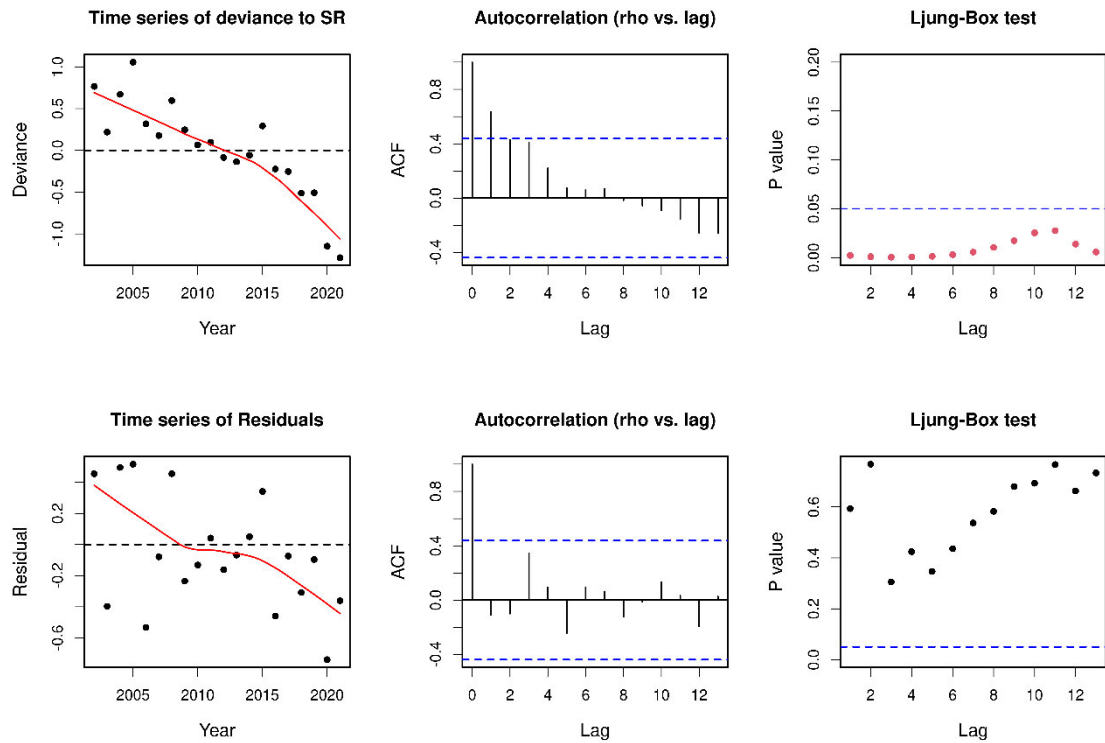


補足図 1-3. スティープネス h が高く推定された RI 型再生産関係における挙動

白丸は再生産関係の推定に利用したデータ、バツは再生産関係の推定に使用しなかったデータを表す。

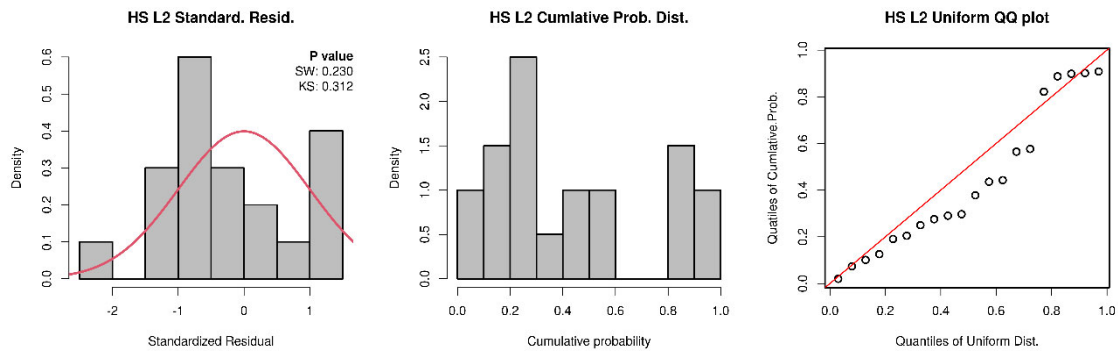


補足図 1-4a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。上段は自己相関を考慮する前、下段は自己相関を考慮した場合を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95% 信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。

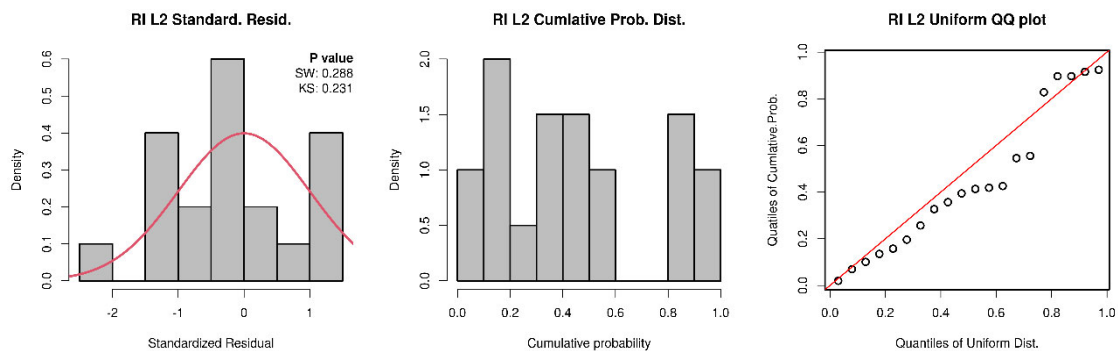


補足図 1-4b. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の、再生産関係との逸脱度 (deviance) および自己相関を同時推定で考慮した残差 (residual) のトレンド (左図)、自己相関プロット (中央図)、および Ljung-Box 検定における P 値 (右図) 残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線を示す。上段は自己相関を考慮する前、下段は自己相関を考慮した場合を示す。自己相関プロットの青色の点線は 95%信頼区間を示す。Ljung-Box 検定における P 値 (縦軸) の青色の点線は 5%水準を表す。

(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式

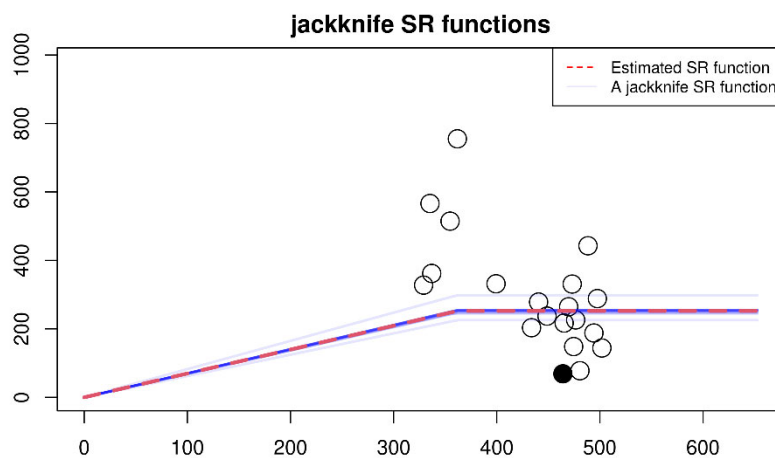


(b) リッカー (RI) 型再生産関係式

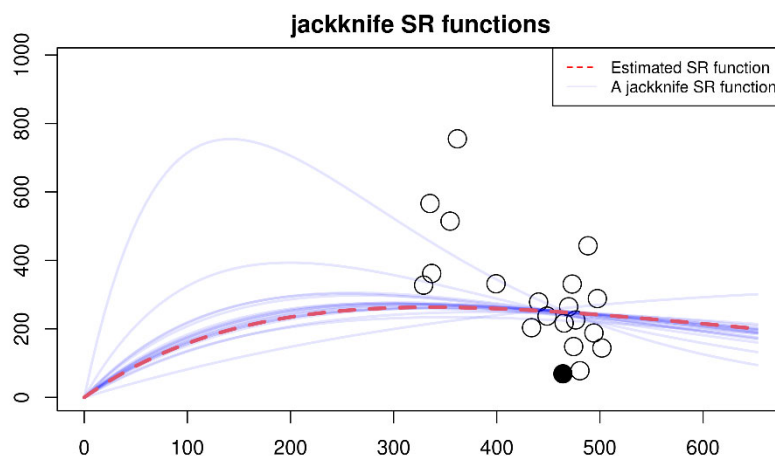


補足図 1-5. (a) ホッケー・スティック型、(b) リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の標準化残差のヒストグラムと正規性テスト結果（左図）、残差の累積確率密度のヒストグラム（中央図）、および一様分布を仮定した QQ プロット（右図）残差のヒストグラムの右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。どちらも、帰無仮説は「正規分布に従っている」である。QQ プロットの赤線は理論値を示している。

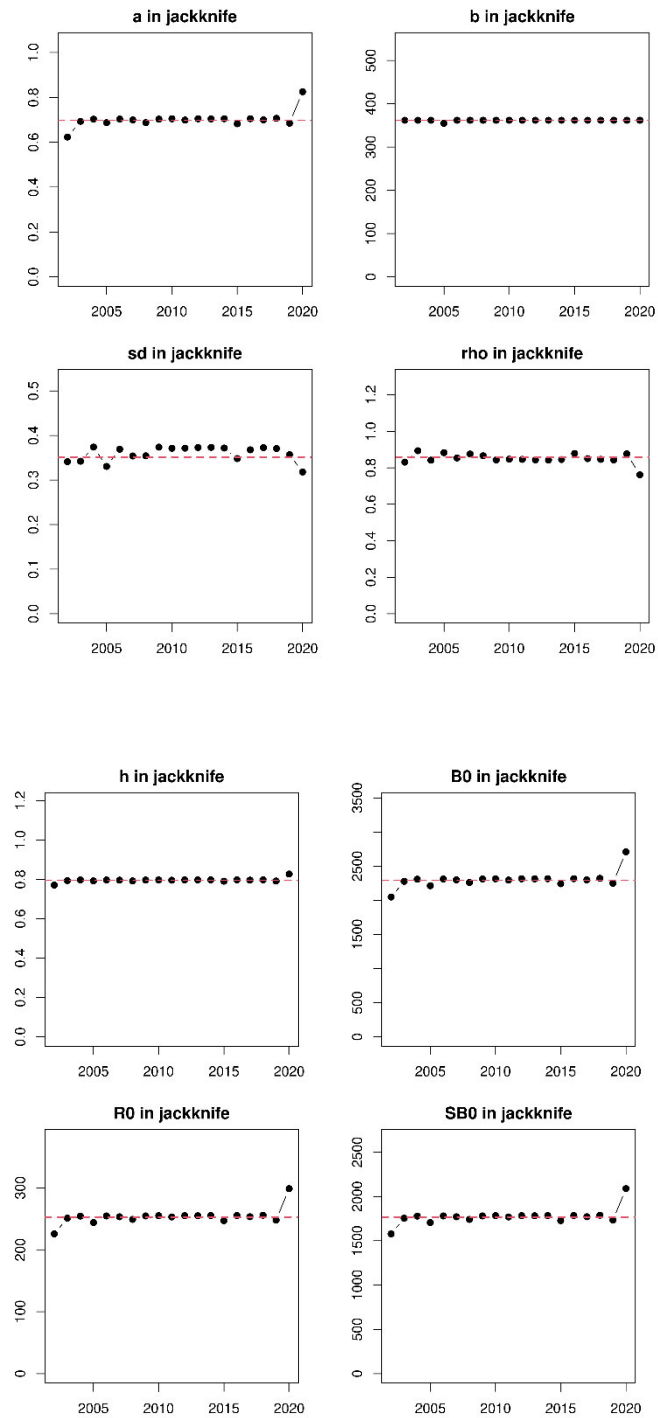
(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式



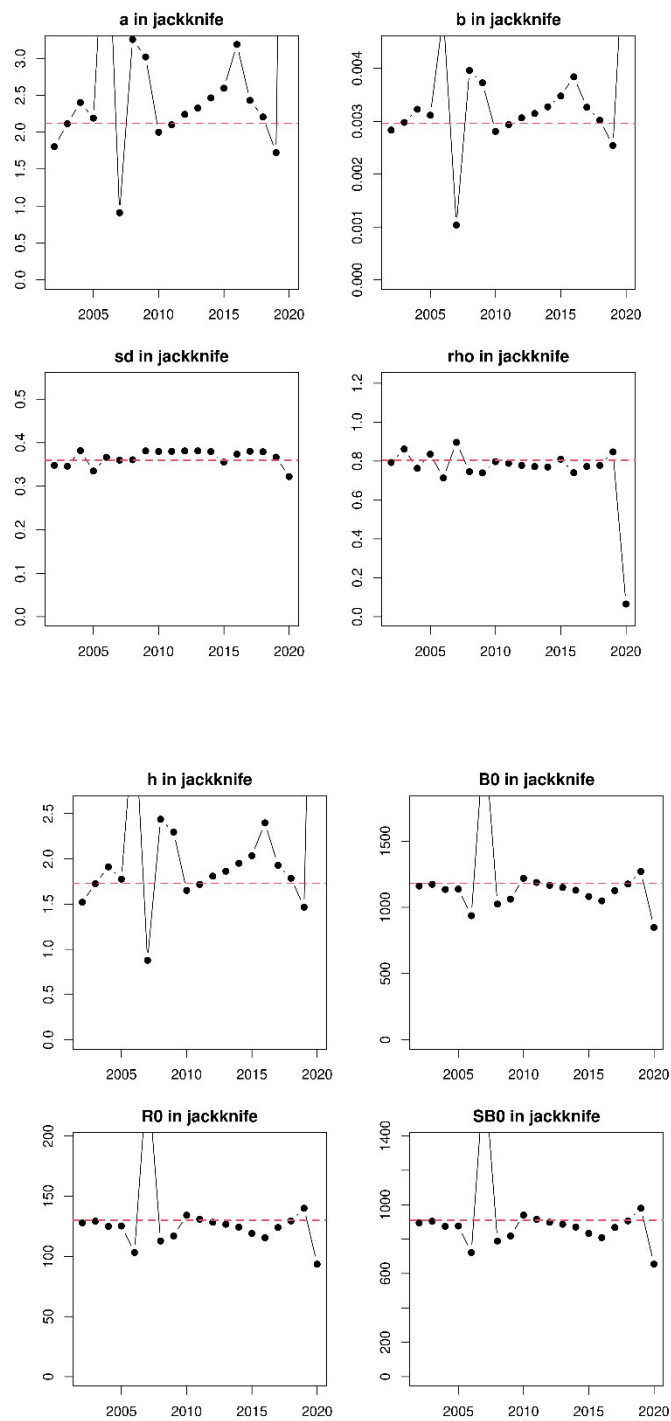
(b) リッカー (RI) 型再生産関係式



補足図 1-6. (a) ホッケー・スティック型、(b) リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析での推定結果
赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用していないデータ期間の最終年（2021 年漁期）を示す。

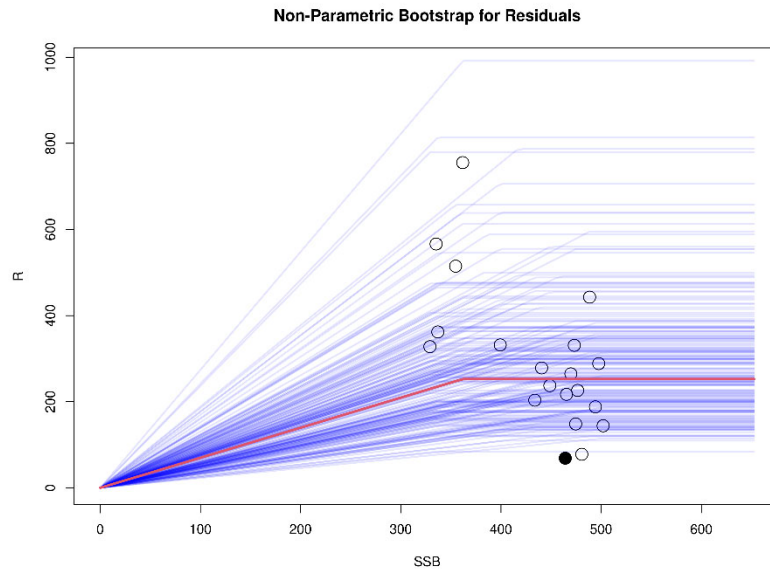


補足図 1-7a. ホッケー・スティック型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

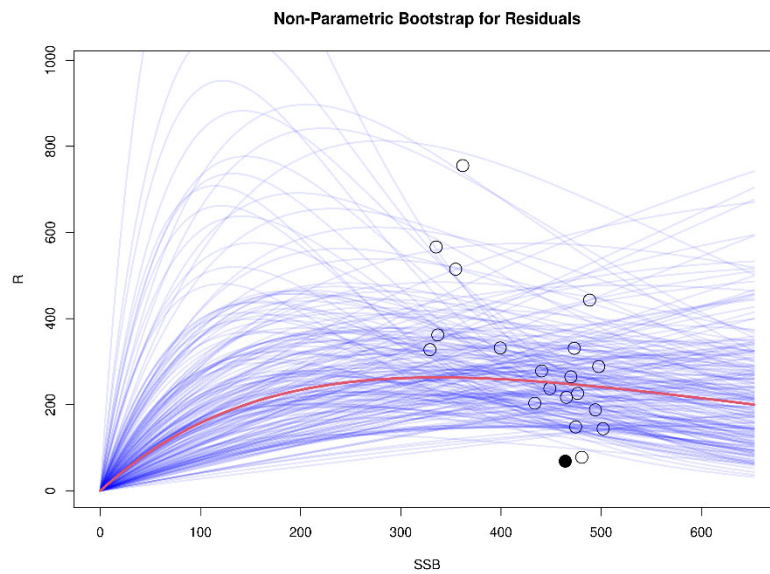


補足図 1-7b. リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

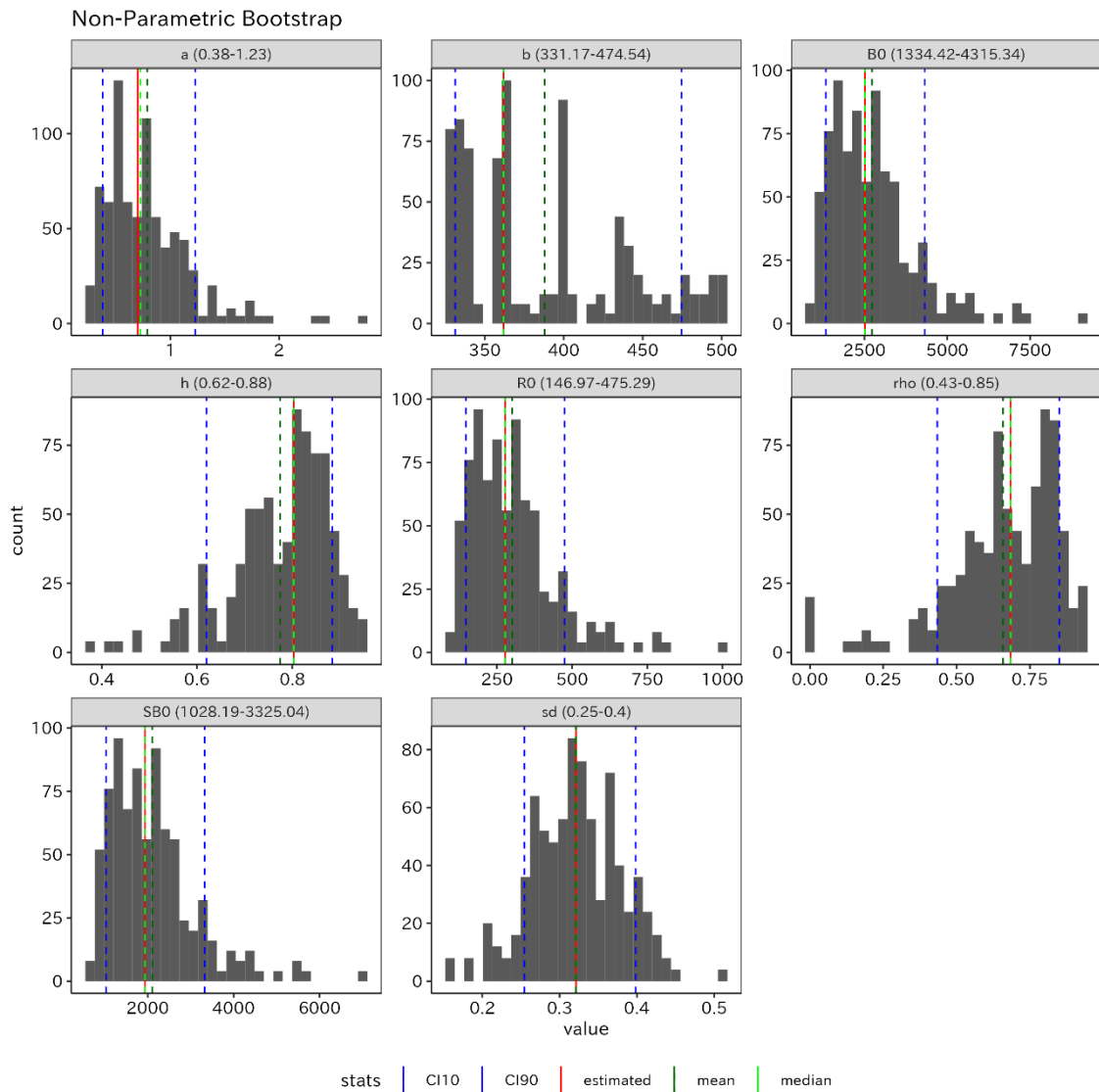
(a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係式



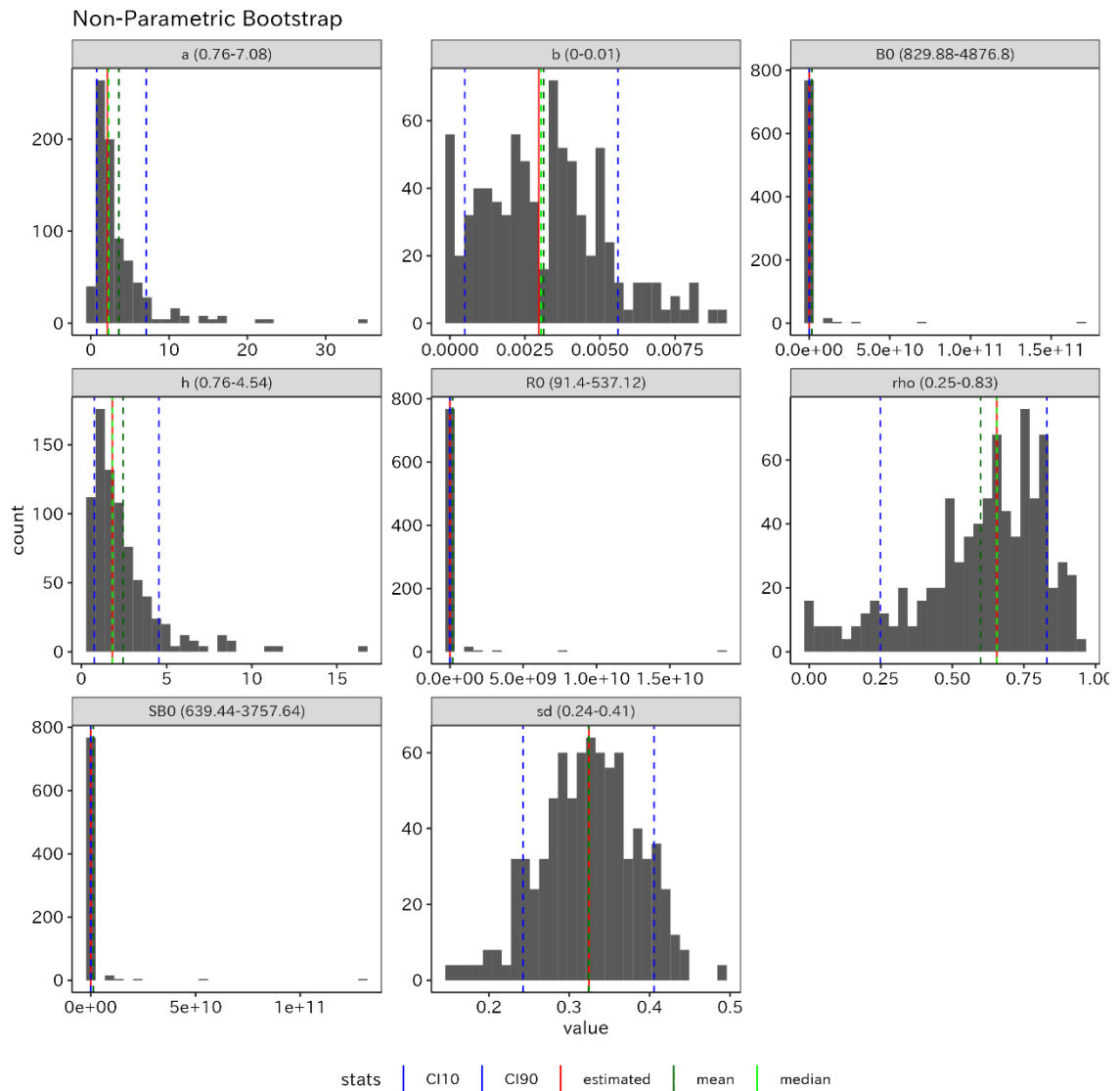
(b) リッカー (RI) 型再生産関係式



補足図 1-8. (a) ホッケー・スティック型、(b) リッカー型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析の結果
赤線は元データでの推定値、青線はノンパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入尾数（尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入尾数であり、黒丸は使用していないデータ期間の最終年（2021 年漁期）を示す。

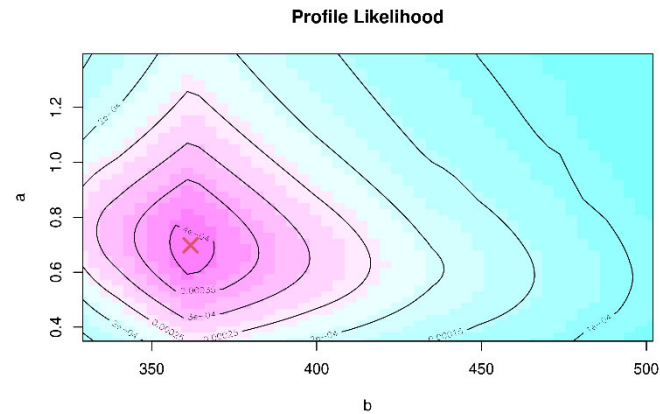


補足図 1-9a. 自己相関を考慮したホッケー・スティック型 (HS) 再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での平均値 (緑点線)、中央値 (黄緑点線) と 90%信頼区間 (青線) 赤線はパラメータの点推定値である。

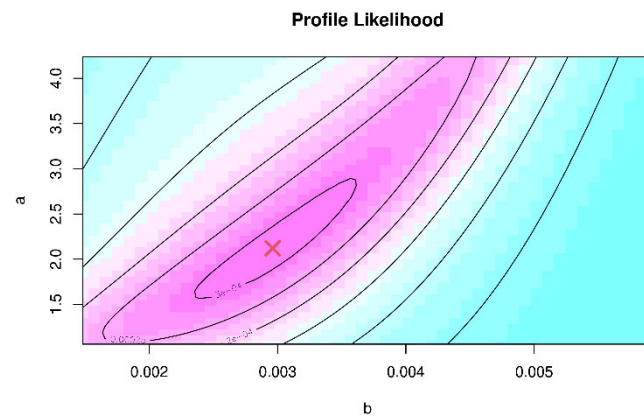


補足図 1-9b. 自己相関を考慮しないリッカー型 (RI) 再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の残差ブートストラップ解析での平均値 (緑点線)、中央値 (黄緑点線) と 90% 信頼区間 (青線) 赤線はパラメータの点推定値である。

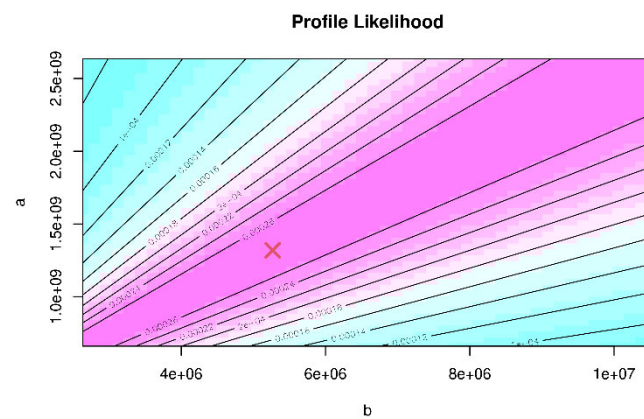
(a) ホッケー・スティック型再生産関係式



(b) リッカー型再生産関係式

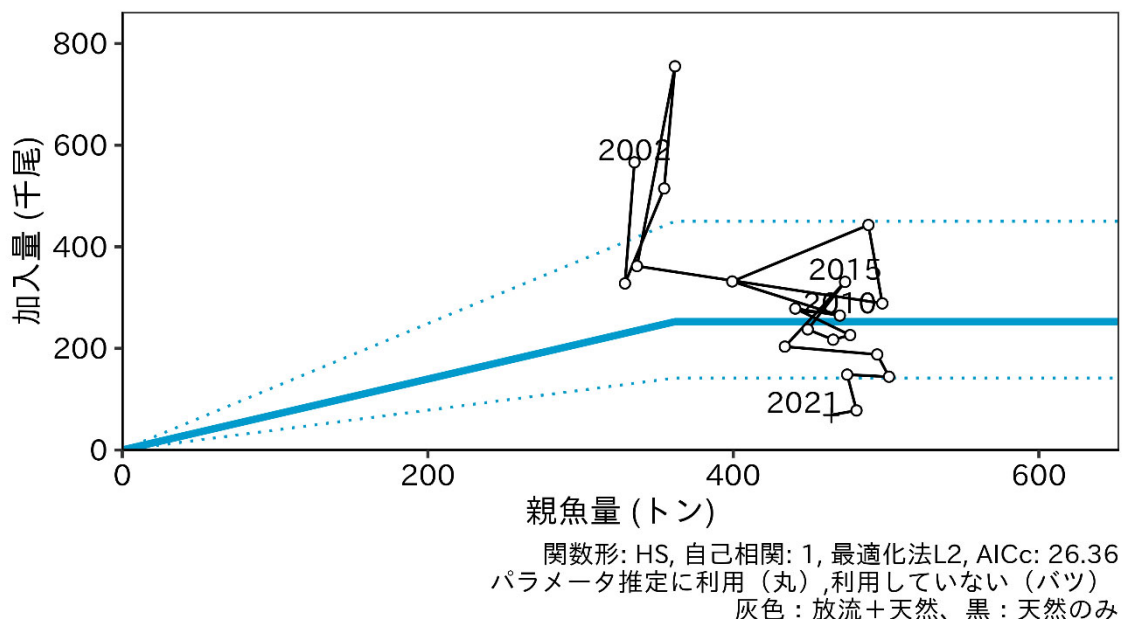


(c) ベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係式

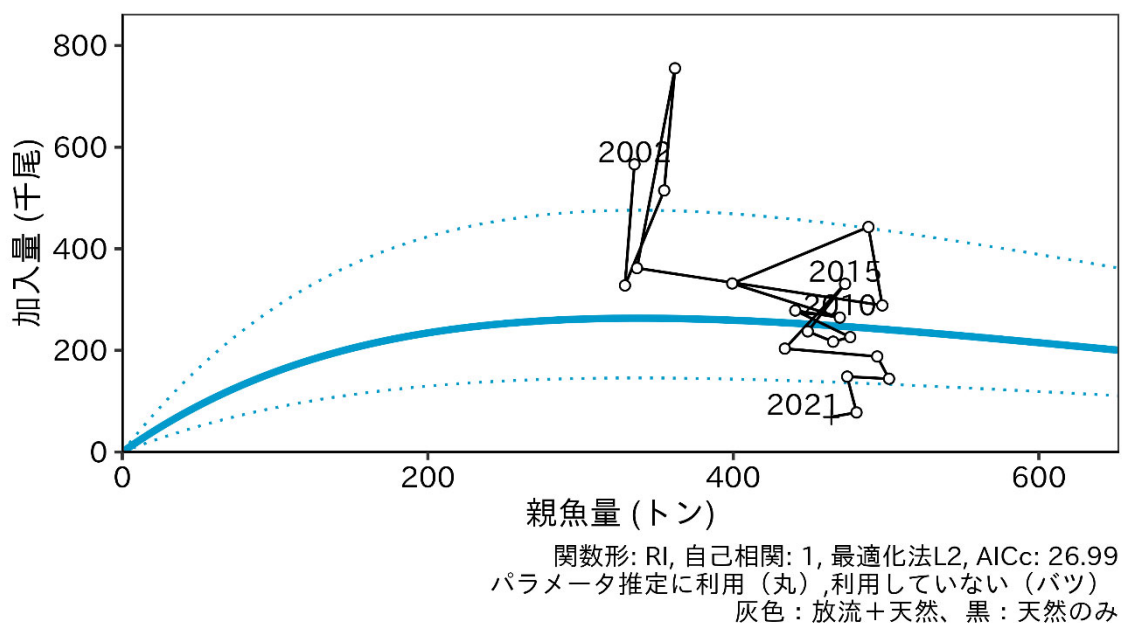


補足図 1-10. (a) ホッケー・スティック型、(b) リッカー型、(c) ベバートン・ホルト型再生産関係式を最小二乗法で当てはめた場合の推定パラメータのプロファイル尤度、×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。

(a) ホッケー・スティック型



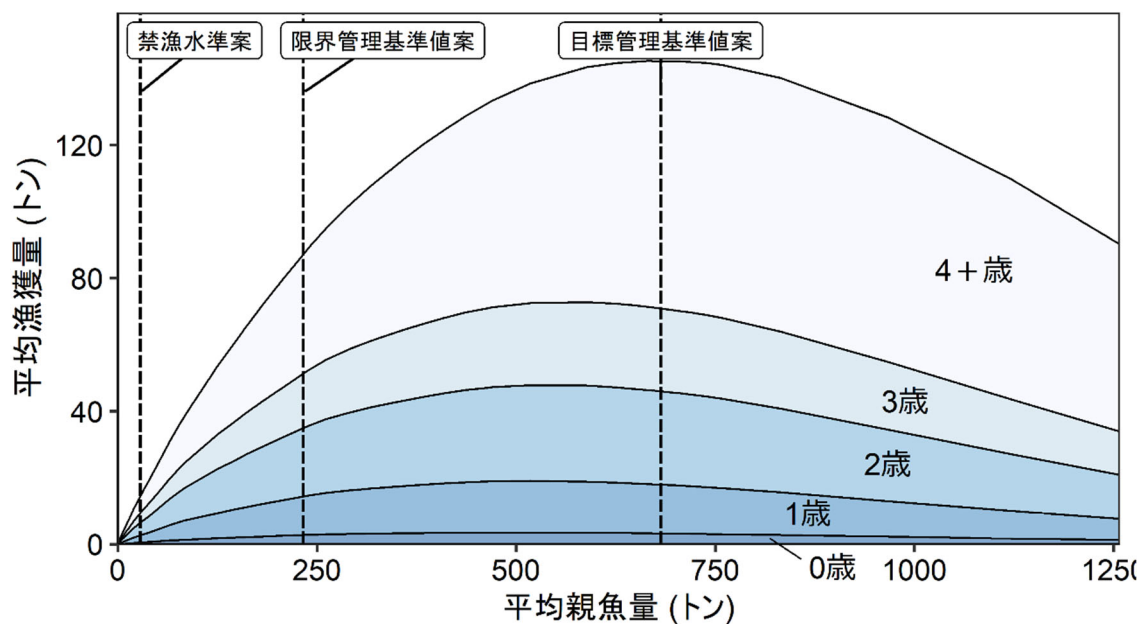
(b) リッカー型



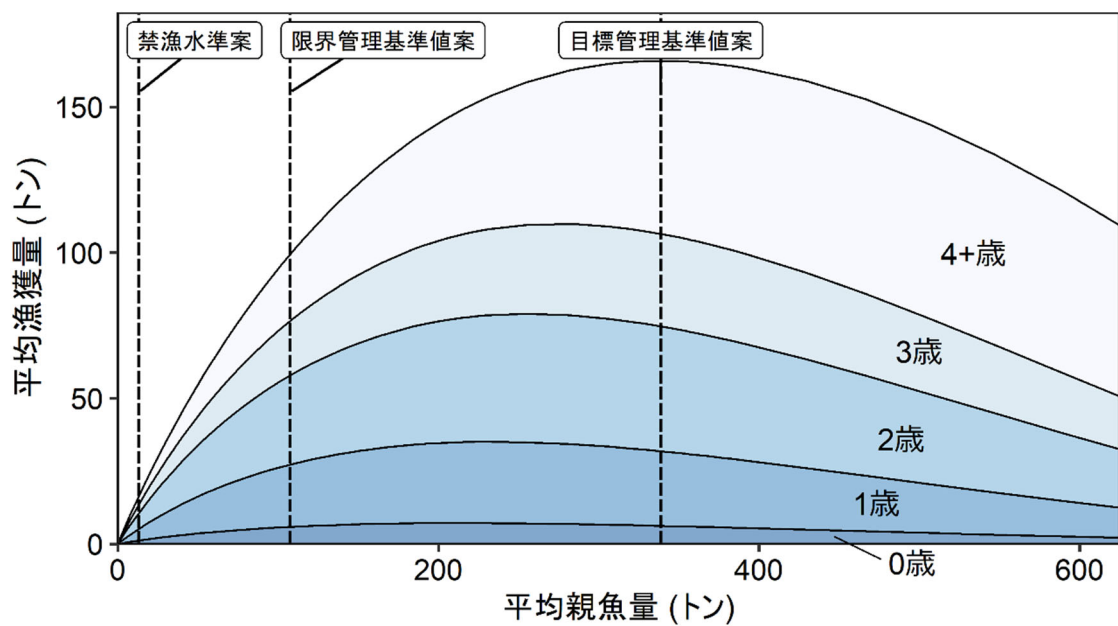
補足図 1-11. (a) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係 および (b) リッカー (RI) 型再生産関係

2002～2020 年漁期における親魚資源量と同年の加入尾数から求めた再生産関係。プロットは最新の資源評価結果から求めたものである。図中の数字は加入した年を示す。パラメータ推定の際は加入尾数の推定値に不確実性の高い直近年である 2021 年漁期のデータ (バツ印) を除いた。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。

(a) ホッケー・スティック型



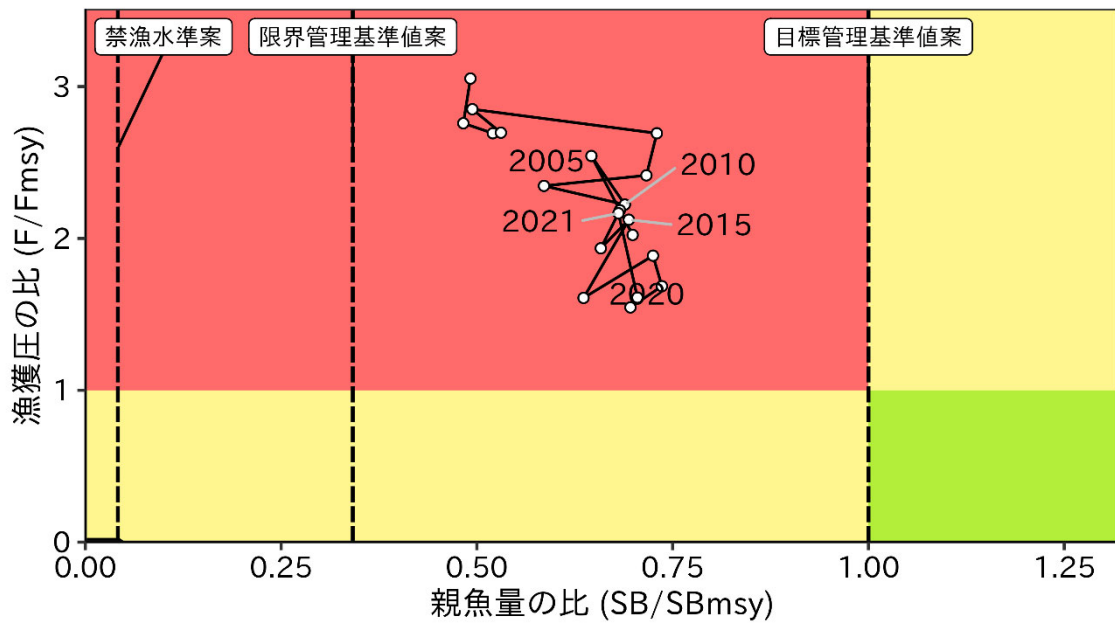
(b) リッカー型



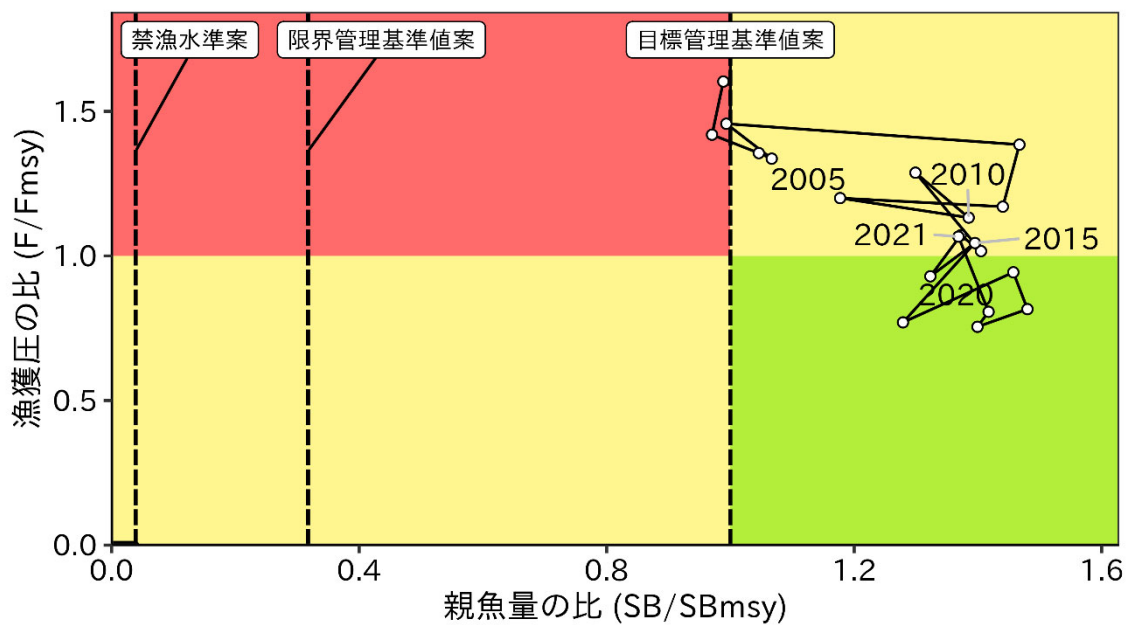
補足図 1-12. a) ホッケー・スティック型 (b) リッカー型再生産関係によって推定された管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値と、それぞれの管理基準値案の位置関係を示す。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は (a) 1,796 トン、(b) 893 トンである

(a) ホッケー・スティック (HS) 型



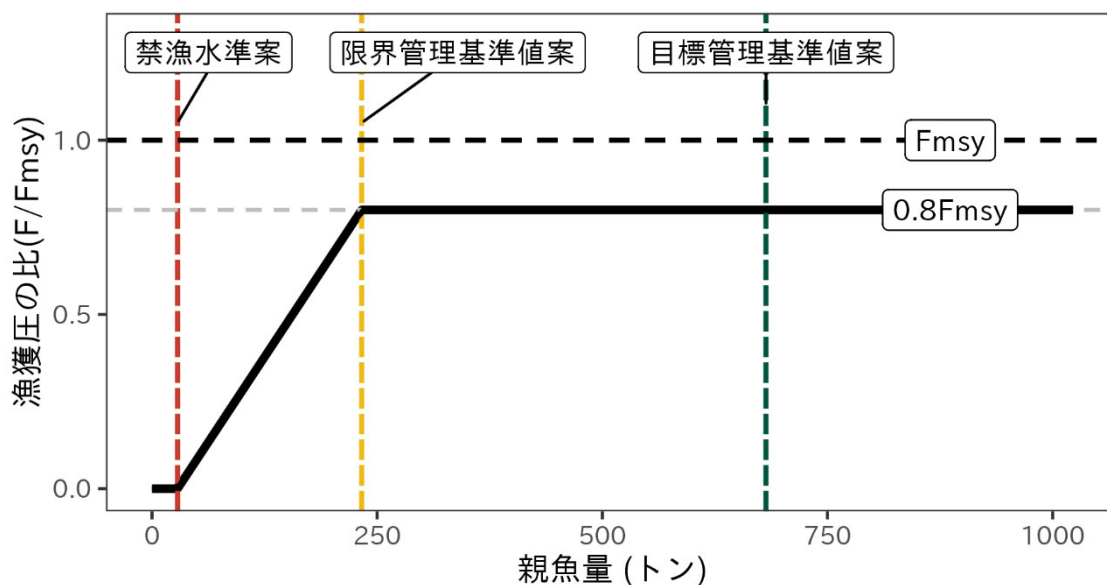
(b) リッカー (RI) 型



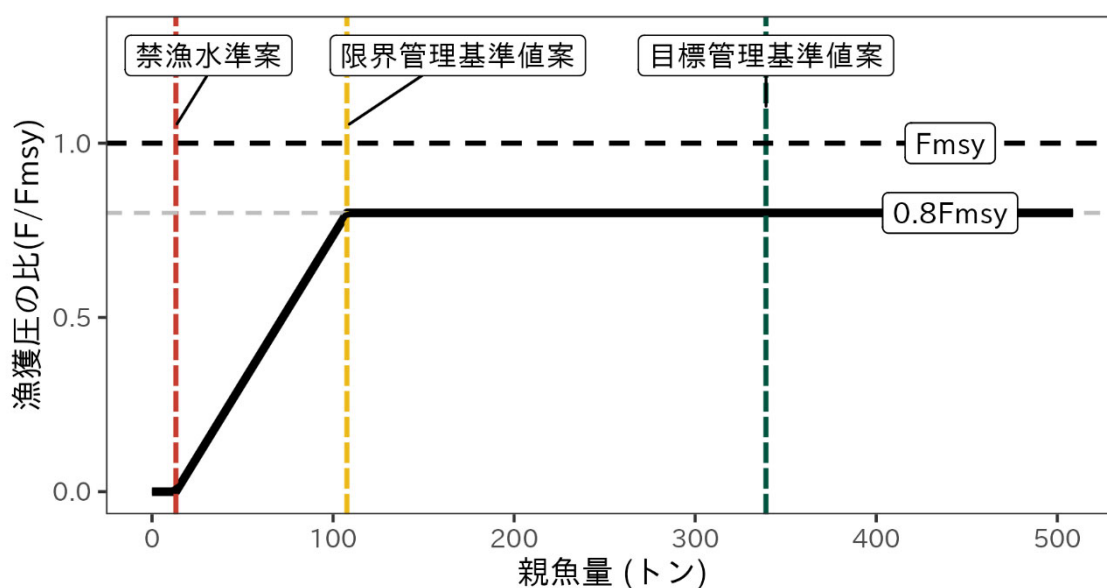
補足図 1-13. 神戸プロット

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

(a) ホッケー・スティック (HS) 型



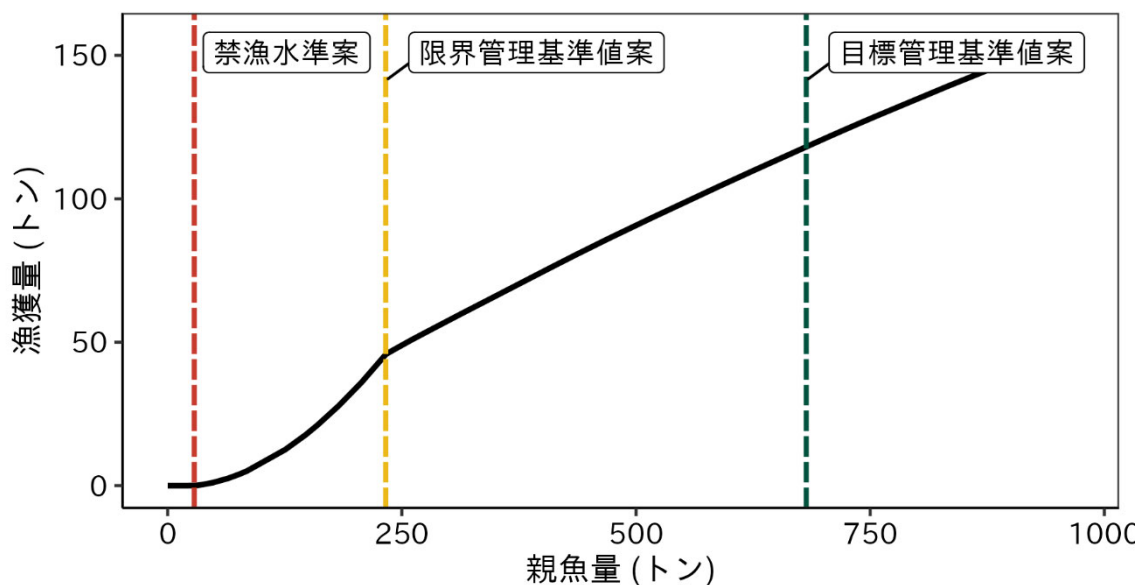
(b) リッカー (RI) 型



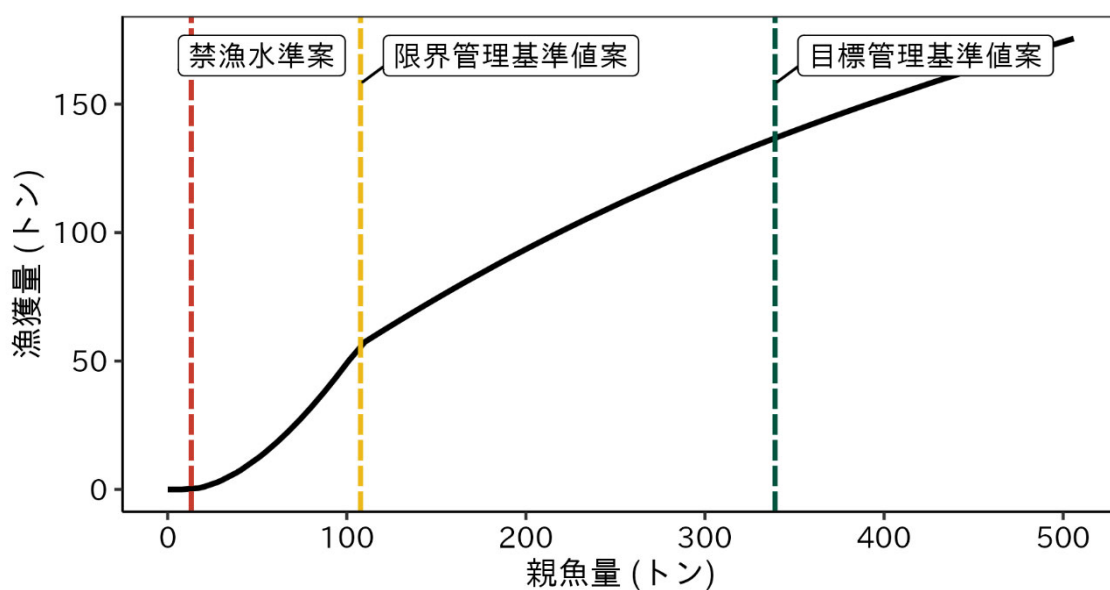
補足図 1-14. ホッケー・スティック型再生産関係およびリッカー型再生産関係に基づいた縦軸を漁獲圧とした漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は HS 再生産関係に基づき算出した SBmsy である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) には、それぞれ標準値を用いている。調整係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。

(a) ホッケー・スティック (HS) 型

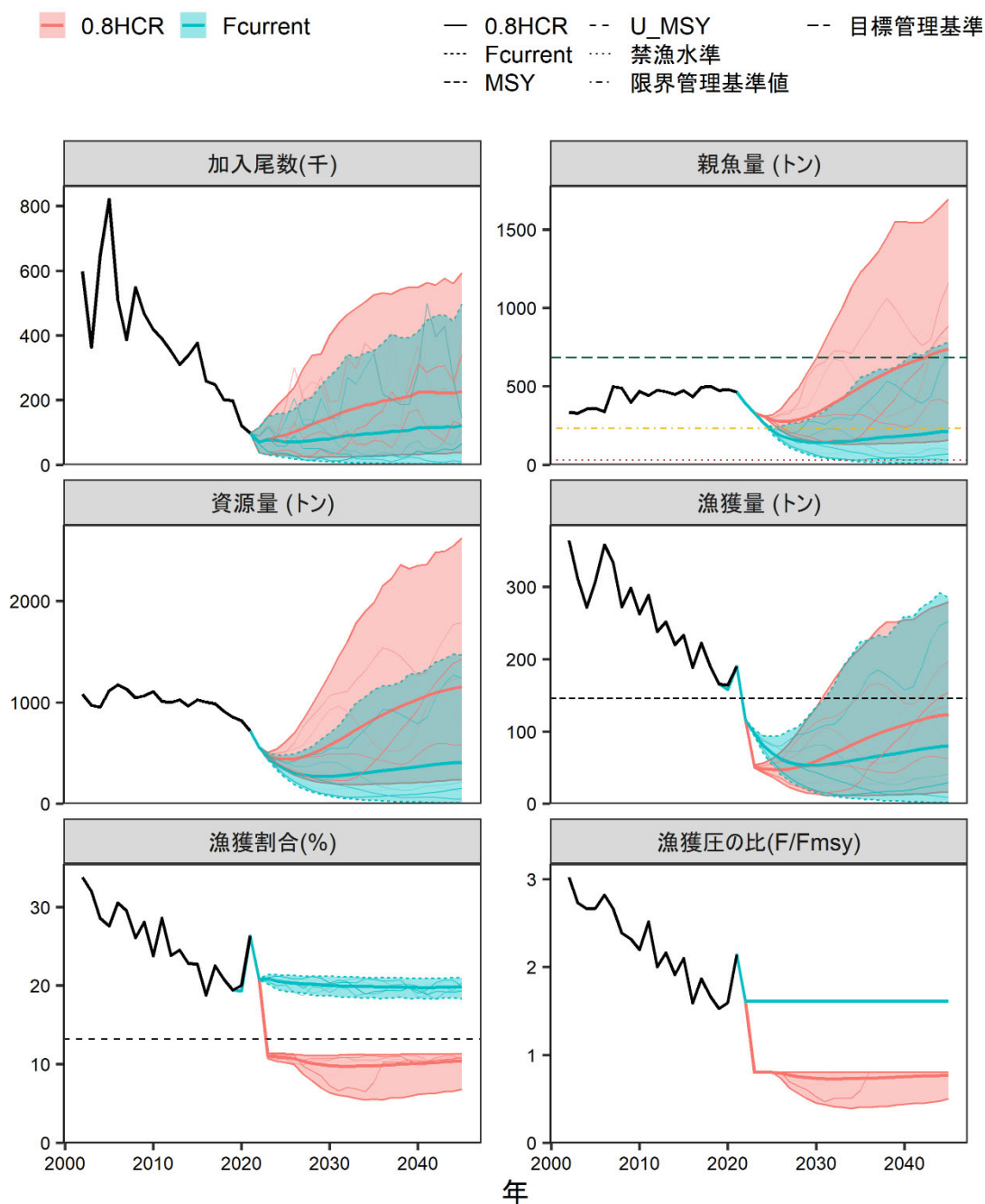


(b) リッカー (RI) 型



補足図 1-15. ホッケー・スティック型再生産関係およびリッカー型再生産関係に基づいた縦軸を漁獲量とした漁獲管理規則案

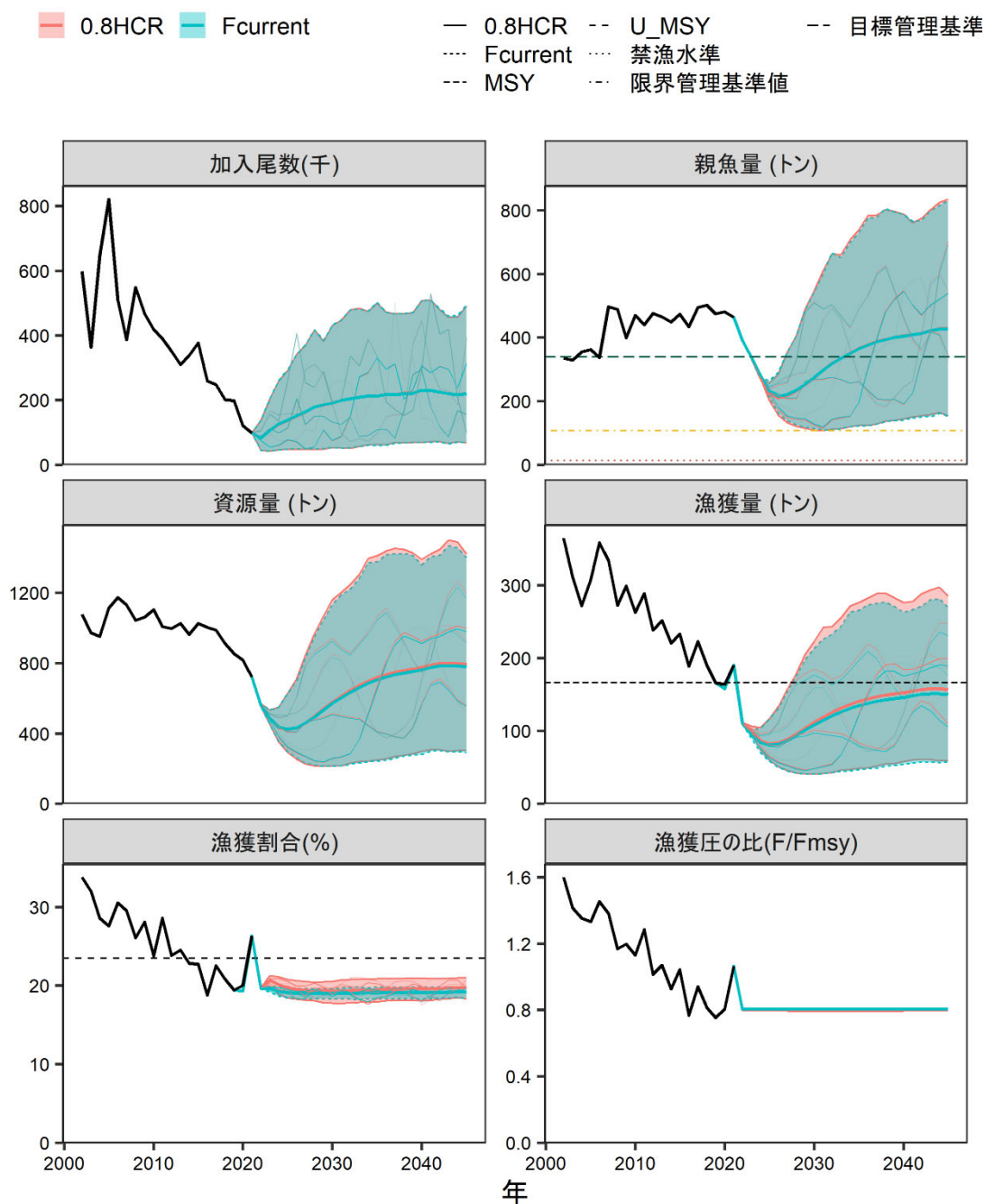
目標管理基準値 (SBtarget) 案は HS 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) には、それぞれ標準値を用いている。調整係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。



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

補足図 1-16a. HS 型再生産関係による管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2022 年漁期の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧（F2018-2020）により仮定し、2023 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 1-12a）に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。



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

補足図 1-16b. RI 型再生産関係による管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2022 年漁期の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧（F₂₀₁₈₋₂₀₂₀）により仮定し、2023 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 1-12b）に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。

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

再生産 関係式	最適 化法	自己 相関	推定法	a	b	S.D.	ρ	h	AICc	$\Delta AICc$
RI	L1	無	-	22.2	8.23×10^{-3}	0.40	-	11.3	25.4	—
RI	L1	有	二段階	22.2	8.23×10^{-3}	0.43	0.48	11.3	25.4	0
RI	L2	無	-	20.9	8.03×10^{-3}	0.39	-	10.8	26.2	0.78
RI	L2	有	二段階	20.9	8.03×10^{-3}	0.42	0.50	10.8	26.2	0.78
HS	L2	有	同時	0.698	362	0.35	0.86	0.80	26.4	0.95
RI	L2	有	同時	2.12	2.96×10^{-3}	0.36	0.80	1.73	27.0	1.57
BH	L2	有	同時	1.62×10^8	6.48×10^5	0.36	0.83	1	27.2	1.81
HS	L2	無	-	0.831	329	0.52	-	0.83	36.5	11.1
HS	L2	有	二段階	0.831	329	0.36	0.88	0.83	36.5	11.1
BH	L2	無	-	4.71×10^7	1.72×10^5	0.52	-	1	36.5	11.1
BH	L2	有	二段階	4.71×10^7	1.72×10^5	0.36	0.88	1	36.5	11.1
HS	L1	無	-	0.846	329	0.52	-	0.83	36.8	11.4
HS	L1	有	二段階	0.846	329	0.36	0.89	0.83	36.8	11.4
BH	L1	無	-	3.86×10^7	1.39×10^5	0.52	-	1	36.8	11.4
BH	L1	有	二段階	3.86×10^7	1.39×10^5	0.36	0.89	1	36.8	11.4

RI：リッカー型、HS：ホッケー・スティック型、BH：ベバートン・ホルト型、L1：最小絶対値法、L2：最小二乗法、

各条件での推定値に関し、補正赤池情報量基準（AICc）の小さい値から順に示す。使用した加入尾数、親魚量についてのデータは、いずれも 2002～2020 年漁期の 19 例である。最終候補となった二つの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 ρ の数値を、自己相関を考慮しない場合はバーで示した。

補足表 1-2. (a) ホッケー・スティック (HS) 型、(b) リッカー (RI) 型を再生産関係と選択した場合の各種管理基準値案における平衡状態のときの平均親魚量、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する比、平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、現状の漁獲圧 (F2018-2020) に対する努力量の比の関係、および MSY を実現する漁獲圧における年齢別漁獲係数 (Fmsy)

(a) ホッケー・スティック型

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	682	0.38	145	42	0.13	0.62
限界管理基準値案	SB0.6msy	233	0.13	87	27	0.20	1.01
禁漁水準案	SB0.1msy	28	0.016	15	20	0.25	1.32
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4+歳) = (0.096, 0.098, 0.17, 0.18, 0.18)					

(b) リッカー型

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	339	0.38	166	21	0.23	1.25
限界管理基準値案	SB0.6msy	108	0.12	99	11	0.33	1.98
禁漁水準案	SB0.1msy	13	0.015	17	7	0.37	2.42
MSY を実現する 漁獲圧	Fmsy	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4+歳) = (0.19, 0.20, 0.34, 0.36, 0.36)					

補足表 1-3. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	5	7	10	31	39
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	6	9	12	37	43
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	9	12	15	43	50
0.7	0	0	0	0	0	0	0	1	4	7	11	15	18	49	55
0.6	0	0	0	0	0	0	0	2	5	9	14	19	24	55	62
0.5	0	0	0	0	0	0	0	2	7	12	18	24	30	62	68
0.4	0	0	0	0	0	0	1	4	10	16	23	30	36	67	75
0.3	0	0	0	0	0	0	1	6	14	21	29	36	42	73	81
0.2	0	0	0	0	0	0	2	10	18	26	36	42	49	79	85
0.1	0	0	0	0	0	0	3	12	23	33	42	50	56	85	89
0	0	0	0	0	0	0	5	16	28	40	50	57	63	88	93
現状の漁獲圧	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	6	9

(b) リッカー (RI) 型

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	0	0	0	0	2	4	7	10	15	18	21	41	42
0.9	100	100	0	0	0	0	3	7	11	15	21	26	31	52	51
0.8	100	100	0	0	0	1	6	12	19	24	31	37	42	62	63
0.7	100	100	0	0	0	3	11	19	27	35	41	47	51	73	73
0.6	100	100	0	0	0	6	18	29	38	47	54	60	62	83	82
0.5	100	100	0	0	1	12	28	40	50	61	67	70	73	89	89
0.4	100	100	0	0	4	25	42	56	67	72	77	80	84	94	93
0.3	100	100	0	0	15	40	60	71	79	84	87	89	91	97	97
0.2	100	100	0	0	42	64	76	84	89	91	93	95	96	98	99
0.1	100	100	0	100	83	84	90	93	95	96	96	98	99	100	100
0	100	100	0	100	100	97	97	97	98	98	99	99	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	0	0	0	1	6	12	19	25	31	36	41	63	63

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年漁期は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。現状の漁獲圧との比は、 F_{msy} に対して調整係数 β を掛け合わせた数値 βF_{msy} の現状の漁獲圧に対する比である。

補足表 1-4. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	100	100	100	61	50	48	48	49	53	55	57	78	86
0.9	100	100	100	100	100	74	62	57	56	58	60	62	63	83	90
0.8	100	100	100	100	100	83	72	67	66	66	68	68	70	87	92
0.7	100	100	100	100	100	92	80	76	74	73	74	74	76	90	94
0.6	100	100	100	100	100	98	89	84	82	80	80	81	81	92	96
0.5	100	100	100	100	100	99	93	90	88	87	86	87	88	94	98
0.4	100	100	100	100	100	100	97	94	92	91	91	91	92	96	98
0.3	100	100	100	100	100	100	99	96	95	94	94	94	94	98	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	98	97	96	96	96	96	99	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	98	98	98	100	100
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	13	9	10	10	11	12	13	15	15	28	35

(b) リッカー (RI) 型

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	100	100	100	100	93	89	86	85	86	86	87	95	96
0.9	100	100	100	100	100	100	97	94	92	91	91	92	92	97	98
0.8	100	100	100	100	100	100	99	97	96	95	95	96	96	99	99
0.7	100	100	100	100	100	100	100	99	98	97	97	98	98	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	100	100	100	98	96	96	96	95	96	98	99

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年漁期は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。現状の漁獲圧との比は、 F_{msy} に対して調整係数 β を掛け合わせた数値 βF_{msy} の現状の漁獲圧に対する比である。

補足表 1-5. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

(a) ホッケー・スティック (HS) 型

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	96	73

(b) リッカー (RI) 型

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年漁期は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。現状の漁獲圧との比は、 F_{msy} に対して調整係数 β を掛け合わせた数値 βF_{msy} の現状の漁獲圧に対する比である。

補足表 1-6. 将来の平均親魚量の推移（トン）

(a) ホッケー・スティック（HS）型

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	464	390	330	300	267	249	247	250	259	276	298	322	347	577	660
0.9	464	390	330	306	276	262	262	268	281	301	327	356	384	637	722
0.8	464	390	330	311	286	275	279	289	306	330	361	394	426	702	789
0.7	464	390	330	317	296	288	296	311	334	363	399	437	472	774	863
0.6	464	390	330	323	306	303	315	336	364	399	441	483	524	853	945
0.5	464	390	330	329	317	317	336	362	397	439	486	535	580	939	1034
0.4	464	390	330	334	328	333	357	391	434	482	536	590	641	1032	1134
0.3	464	390	330	340	339	350	380	422	473	528	588	648	705	1135	1247
0.2	464	390	330	347	351	367	405	455	514	577	644	711	773	1247	1373
0.1	464	390	330	353	363	385	431	490	557	628	703	776	845	1371	1515
0	464	390	330	359	376	405	459	527	603	682	765	846	923	1510	1677
現状の漁獲圧	464	390	330	269	217	186	168	154	145	141	141	144	147	203	231

(b) リッカー（RI）型

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	464	390	338	254	196	174	174	181	191	203	220	235	248	329	339
0.9	464	390	338	263	209	191	194	205	219	236	256	274	289	374	383
0.8	464	390	338	273	224	210	217	232	252	273	297	318	335	422	429
0.7	464	390	338	283	240	230	243	264	289	316	345	368	386	472	478
0.6	464	390	338	293	257	253	272	299	332	365	397	423	441	525	529
0.5	464	390	338	304	275	278	304	339	379	419	456	483	501	579	583
0.4	464	390	338	315	295	306	340	384	433	480	520	548	565	637	640
0.3	464	390	338	326	316	337	381	435	494	548	591	618	632	697	700
0.2	464	390	338	338	338	370	427	493	563	623	669	693	703	762	764
0.1	464	390	338	351	362	408	478	559	641	708	754	775	779	831	831
0	464	390	338	363	388	449	536	633	728	802	847	864	862	906	904
現状の漁獲圧	464	390	338	279	232	215	221	235	254	275	298	318	335	421	429

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年漁期は現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲を続けた場合の結果も示した。現状の漁獲圧との比は、 F_{msy} に対して調整係数 β を掛け合わせた数値 βF_{msy} の現状の漁獲圧に対する比である。

補足表 1-7. 将来の平均漁獲量の推移（トン）

(a) ホッケー・スティック（HS）型

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	190	116	63	58	55	52	51	53	56	60	65	70	76	125	141
0.9	190	116	58	53	51	50	50	52	55	60	65	71	76	123	138
0.8	190	116	52	49	48	47	48	51	54	59	64	70	76	120	133
0.7	190	116	45	44	43	44	45	48	52	57	62	68	73	115	126
0.6	190	116	39	38	39	40	42	45	49	54	59	64	69	107	117
0.5	190	116	33	33	33	35	37	41	45	49	54	59	64	97	106
0.4	190	116	27	27	28	29	32	35	39	43	47	52	56	85	92
0.3	190	116	20	21	22	23	26	29	32	35	39	42	46	69	75
0.2	190	116	14	14	15	16	18	20	23	25	28	31	33	50	55
0.1	190	116	7	7	8	9	10	11	12	14	15	17	18	27	30
0	190	116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
現状の漁獲圧	190	116	97	81	70	62	57	54	53	53	54	55	58	78	87

(b) リッカー（RI）型

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	190	110	121	99	89	88	90	95	101	108	115	122	129	163	167
0.9	190	110	111	93	86	86	90	96	103	111	118	125	131	162	165
0.8	190	110	100	87	82	84	89	96	104	112	119	125	131	158	160
0.7	190	110	89	80	77	80	86	94	102	110	117	123	128	151	152
0.6	190	110	78	71	71	75	82	90	98	106	112	117	122	140	141
0.5	190	110	66	62	64	68	75	83	91	98	104	108	111	126	126
0.4	190	110	53	52	55	59	66	74	81	88	92	95	97	108	108
0.3	190	110	41	41	44	49	55	62	68	73	76	78	80	87	87
0.2	190	110	28	29	32	35	40	46	50	54	56	57	57	62	62
0.1	190	110	14	15	17	19	22	25	28	30	31	31	31	33	33
0	190	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
現状の漁獲圧	190	110	95	84	81	82	87	94	101	108	115	121	126	151	153

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2021 年漁期は現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧（F2018-2020）で漁獲を続けた場合の結果も示した。現状の漁獲圧との比は、 F_{msy} に対して調整係数 β を掛け合わせた数値 βF_{msy} の現状の漁獲圧に対する比である。

補足表 1-8. 予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

再生産 関係	β	現状の 漁獲圧 との比	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 (=過去最低 親魚量)を 下回る	前年より 漁獲量が 半減する
				2028年 漁期	2033年 漁期	2023年 漁期	2028年 漁期	2033年 漁期		
HS型	1	0.62	10	250	347	63	53	76	68	0
	0.9	0.56	12	268	384	58	52	76	59	0
	0.8	0.50	15	289	426	52	51	76	48	0
	0.7	0.43	18	311	472	45	48	73	39	0
	0.6	0.37	24	336	524	39	45	69	28	0
	0.5	0.31	30	362	580	33	41	64	19	0
	0.4	0.25	36	391	641	27	35	56	13	0
	0.3	0.19	42	422	705	20	29	46	8	0
	0.2	0.12	49	455	773	14	20	33	6	0
	0.1	0.06	56	490	845	7	11	18	3.2	0
	0	0.00	63	527	923	0	0	0	1.5	0
RI型	1	1.25	21	181	248	121	95	129	26	0
	0.9	1.13	31	205	289	111	96	131	15	0
	0.8	1.00	42	232	335	100	96	131	8	0
	0.7	0.88	51	264	386	89	94	128	4	0
	0.6	0.75	62	299	441	78	90	122	1	0
	0.5	0.63	73	339	501	66	83	111	0.5	0
	0.4	0.50	84	384	565	53	74	97	0.2	0
	0.3	0.38	91	435	632	41	62	80	0	0
	0.2	0.25	96	493	703	28	46	57	0	0
	0.1	0.13	99	559	779	14	25	31	0	0
	0	0.00	100	633	862	0	0	0	0	0

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した結果をまとめた。漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度（0 年後）の 2023 年漁期の値と、5 年および 10 年管理を行った後の値（2028 年漁期および 2033 年漁期）を示した。現状の漁獲圧との比は、 F_{msy} に対して調整係数 β を掛け合わせた数値 βF_{msy} の現状の漁獲圧に対する比である。

補足資料 2 再生産関係および生物学的管理基準に基づいた管理基準値の違い

仮定する再生産関係および生物学的管理基準による MSY 等管理基準値およびその代替値の違いを把握するため、以下の 9 通りの再生産関係と最適化法および自己相関の考慮の組み合わせ、および 4 通りの生物学的管理基準で、それぞれ MSY 等管理基準値を推定した。比較対象とした組み合わせは、HS 型、RI 型、BH 型すべての再生産関係において最小二乗法または最小絶対値法を用いて最適化し、自己相関を考慮した場合と考慮せず当てはめた場合である。なお自己相関を考慮する場合には“同時推定法”を用い、最小二乗法にのみ適用した。それぞれの再生産関係と最適化方法および生物学的管理基準に基づき推定された MSY 等管理基準値およびその代替値を下表に示す。

再生産関係式	最適化法	自己相関	推定法	SBmsy (トン)	SB0.6msy (トン)	SB0.1msy (トン)	MSY (トン)	Umsy	Fmsy/ 現状の F***
ホッケー・スティック	L2	有	同時	682	233	28	145	0.13	0.62
リッカー	L2	有	同時	339	108	13	166	0.23	1.25
ベバートン・ホルト	L2	有	同時	347	12	1	179	0.24	1.31
ホッケー・スティック	L2	無	—	483	207	32	193	0.22	1.07
リッカー	L2	無	—	158	46	6	486	0.48	3.81
ベバートン・ホルト	L2	無	—	378	13	1	196	0.24	1.32
ホッケー・スティック	L1	無	—	486	208	32	196	0.21	1.07
リッカー	L1	無	—	506	27	4	386	0.30	1.70
ベバートン・ホルト	L1	無	—	384	13	1	199	0.24	1.32
生物学的管理基準	加入参照年			SBmsy proxy (トン)	SBmin (トン)	SBban (トン)	MSY proxy (トン)	Umsy	Fmsy proxy/ 現状の F
Fmax	2002～2020			376	329	0	198	0.24	1.32
F0.1	2002～2020			662	329	0	184	0.16	0.78
F20%SPR	2002～2020			385	329	0	197	0.24	1.30
F30%SPR	2002～2020			577	329	0	191	0.18	0.91

*L2 は最小二乗法による最適化

**L1 は最小絶対値法による最適化

***現状の F（漁獲圧）は F2018-2020

補足資料 3 1B ルール、HS 型再生産関係、RI 型再生産関係を用いた場合の、現状の放流を想定した場合の将来予測と従来評価における算定漁獲量との比較例について

将来予測において、現状の放流を想定し、提案する 1B ルールにおいて仮定された加入動態、および 1A ルールにおいて候補となった再生産関係式（最小二乗法により最適化し自己相関を考慮した HS 型および RI 型）を用いて加入尾数を推定し、これに人工種苗由来の加入尾数を加算して各年の加入量とした場合の結果をここで示す。人工種苗由来の加入尾数（5.31 万尾）は、2016～2020 年漁期における平均放流尾数（171.3 万尾）と 2016～2020 年の添加効率（放流個体が資源に加入する比率）の平均値（0.031）の積として求めた。

現状の放流を想定して、 β の標準値（1Bルール、 $\beta=0.7$ ；HSおよびRI型、 $\beta=0.8$ ）を乗じた漁獲管理規則に基づいて漁獲を行った場合の将来予測について、補足図3-1～3-3に示す。また、現状の放流を想定した場合において予測される親魚量が、各管理基準値案を上回る確率を補足表3-1～3-3に、予測される将来の平均親魚量、平均漁獲量、平均資源量を補足表3-4～3-6に示す。なお、1Bルールでは禁漁水準案（SBban）を0トンとしているため、予測される親魚量が禁漁水準案を上回る確率については算出しない。

また、従来 of 将来予測においては、2017 年度トラフグ資源管理検討会議で 2017 年度資源評価における 2007～2016 年漁期の平均資源量である 840 トンを 2027 年漁期までに達成することを管理目標とされ、以後の資源評価ではこれに基づく ABC の提案も行われてきた。なお、この 2017 年度資源評価において算出した 2007～2016 年漁期の平均資源量は 2022 年度資源評価では上方修正されており 1,037 トンに相当する。このことから、従来 of 将来予測を本年度評価に適用した場合の 2023 年漁期 ABC と新ルールでの目標管理基準値案（SBmsy=682 トンの達成）に対する漁獲管理規則案で管理した場合の 2023 年漁期漁獲抑制案の違いについて比較した。従来 of 管理目標においては、管理目標の試算として以下の 4 パターンを設定した。

- ④ 2027 年漁期までに資源量 840 トンに回復（2017 年度資源評価結果における 2007～2016 年漁期の平均資源量。従来 of 管理目標、目標年）
- ⑤ 2027 年漁期までに資源量 1,037 トン（2022 年度資源評価結果における 2007～2016 年漁期の平均資源量、目標年は従来通りに設定。）
- ⑥ 2033 年漁期までに資源量 840 トンに回復（④の目標資源量を ABC 算定年の 10 年後に達成とした場合）
- ⑦ 2033 年漁期までに資源量 1,037 トンに回復（⑤の目標資源量を ABC 算定年の 10 年後に達成とした場合）

上記 4 パターンについて、過去 5 年間の平均放流尾数、平均添加効率、再生産成功率を適用し、2023 年漁期 ABC 算定漁獲量、目標年の推定親魚量、推定漁獲量を算出した。これを新ルールでの目標管理基準値案（SBmsy=682 トンの達成）に対する漁獲管理規則案で管理した場合の 2023 年漁期漁獲抑制案、SBmsy 達成年、達成年の予測平均親魚量、予測平均漁獲量と比較した。放流の考慮については従来評価で用いてきた現状の放流（過去 5 年間の平均放流尾数、平均添加効率）を適用した場合について示した。

3-1) 1B ルールの場合

1BルールにおいてF30%SPRをFmsyの代替値とした場合、現状の放流を想定し、 $\beta=0.7$ で漁獲を行うと平均親魚量は2024年漁期に299トンと過去最低親魚量を下回る減少をするものの、2025年漁期からは336トンと増加に転じ、2031年漁期に586 トンとSBmsy proxy (577 トン) を超えると予測された（補足図3-1、補足表3-4a）。2033年漁期に親魚量が目標管理基準値案（SBtarget 1B）を上回る確率は $\beta=0.7$ の時に67 %と予測され、 $\beta=1.0$ の場合では6 %と予測された（補足表3-1a）。なお、現状の漁獲圧で漁獲した場合、2033年漁期の平均親魚量は419トンと予測され、目標管理基準値案を1%の確率で上回ると予測された。また、 β が1.0以下の全ての値および現状の漁獲圧において、100%の確率で限界管理基準値案（SBmin）を上回ると予測された（補足表3-2a）。現状の放流を想定して $\beta=0.7$ で漁獲した場合に得られる平均漁獲量は2024年漁期に70トンまで減少するが、やがて増加に転じ2033年漁期には143トン、2043年漁期には202トンと予測された（補足図3-1、補足表3-5a）。

3-2) HS 型再生産関係の場合

HS型再生産関係を再生産関係として選択した場合における将来予測では、現状の放流を想定し、 $\beta=0.8$ で漁獲を行うと平均親魚量は2033年漁期に675トンとSBmsy (682トン) に近い値まで増加すると予測された（補足図3-2、補足表3-4b）。 $\beta=0.6$ 以下の場合、2033年漁期に親魚量が目標管理基準値案（SBtarget）を上回る確率と予測された（補足表3-1b）。なお、現状の漁獲圧で漁獲した場合、2033年漁期の平均親魚量は325トンと予測され、目標管理基準値案を5%の確率で上回ると予測された。また、 β が1.0以下の全ての値で100%の確率で限界管理基準値案（SBmin）および禁漁水準案（SBban）を上回ると予測されたが、現状の漁獲圧で漁獲を行った場合は62%の確率で限界管理基準値案を上回ると予測された（補足表3-2b、3-3a）。現状の放流を想定して $\beta=0.8$ で漁獲した場合に得られる平均漁獲量は2033年漁期に130トン、2043年漁期に200トンと推定され、MSYである145トンを上回ると予測された（補足図3-2、補足表3-5b）。

3-3) RI 型再生産関係の場合

RI型再生産関係を再生産関係として選択した場合における将来予測では、現状の放流を想定し、 $\beta=0.8$ で漁獲を行うと平均親魚量は、2029年漁期には354トンに達すると予測され、SBmsy (339トン) を上回った。また、2033年漁期には450トン、2043年漁期には514トンと予測された（補足図3-3、補足表3-4c）。 $\beta=0.9$ 以下の場合、50%以上の確率で2033年漁期に親魚量が目標管理基準値案（SBtarget）を上回ると予測された（補足表3-1c）。なお、現状の漁獲圧で漁獲した場合、2033年漁期の平均親魚量449トンと予測され、目標管理基準値案を70%の確率で上回ると予測された。また、 β が1.0以下の全ての値および現状の漁獲圧において、100%の確率で限界管理基準値案（SBmin）および禁漁水準案（SBban）を上回ると予測された（補足表3-2c、3-3b）。現状の放流を想定して $\beta=0.8$ で漁獲した場合に得られる平均漁獲量は2025年漁期以降100トンを下回ることが無く、2033年漁期に165トンとMSYである166トンに近似した（補足図3-3、補足表3-5c）。

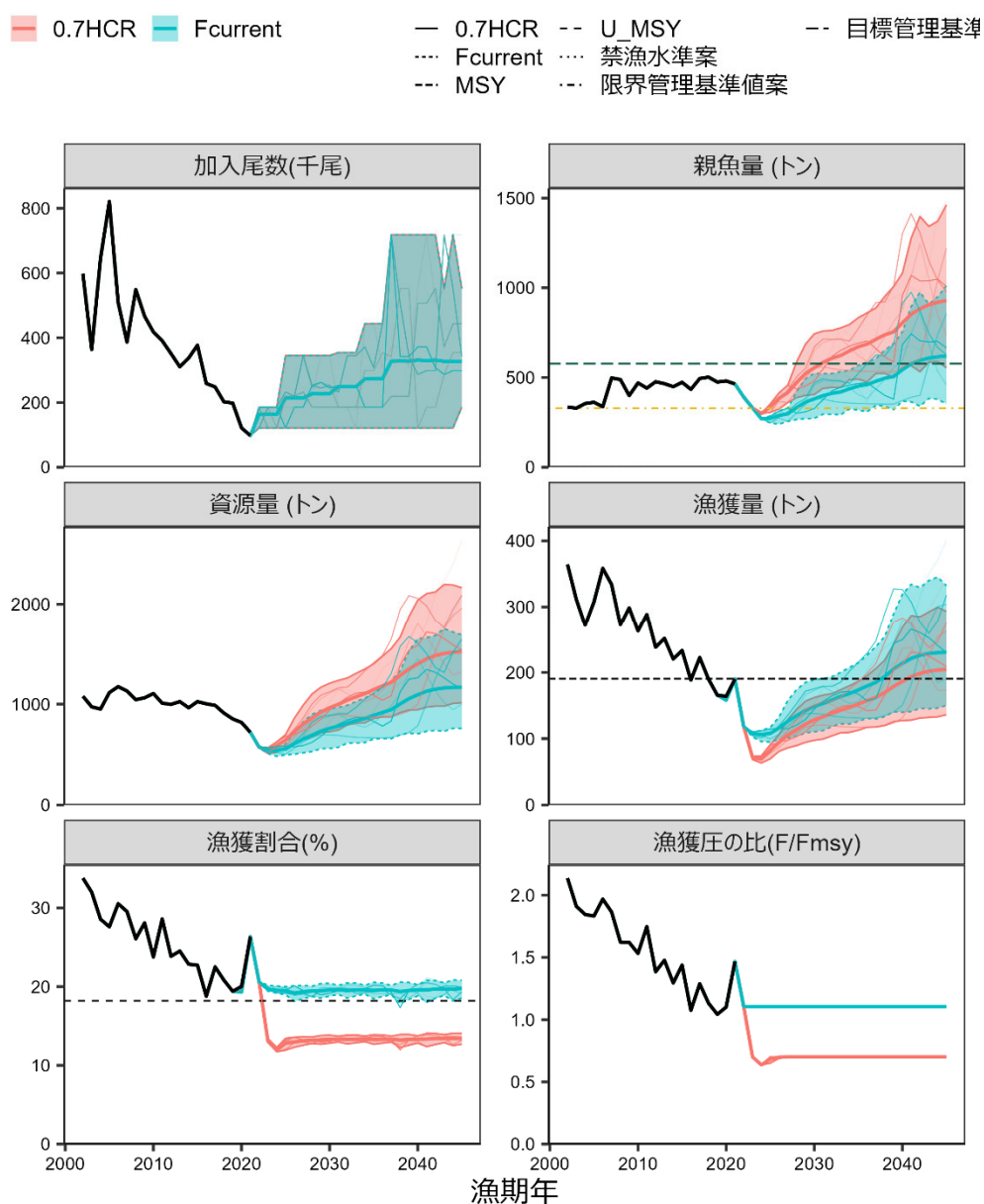
3-4) リスクの評価

親魚量または漁獲量が2023～2033年漁期の間に1度でも各基準を下回るリスクのまとめについて補足表3-6～3-8に示す。現状の放流を想定した場合、1Bルールの場合、 $\beta=0.4$ 以上で、親魚量が過去最低親魚量を下回る確率が100%となった。これはHCRによって漁獲の管理が開始される2023年漁期以前の漁獲圧および親魚量の減少傾向から2024年漁期に親魚が過去最低親魚量を下回るためと考えられる。なお、HS型では再生産のみによる加入を仮定した場合、漁獲抑制開始後10年間に限界管理基準値を下回る確率は、 $\beta=0.9$ 以上において50%以上となったが、現状の放流を想定した場合、 $\beta=0.8\sim 1.0$ において、限界管理基準値を一度でも下回る確率が0.1～2%と推定されたほかは、 $\beta=0.7$ 以下の時は0%であった。RI型では、再生産のみによる加入を仮定した場合、 $\beta=0.4\sim 1.0$ では、限界管理基準値を下回る確率は0.2～26%と変動したが、現状の種苗放流を考慮した場合では、いずれの β の場合でも、0%であった。リスク確率の対象となる限界管理基準値案は、再生産モデル、選択した生物学的基準によって異なるが、いずれの再生産モデル、生物学的基準においても、放流を考慮することによりリスクの軽減が見込まれた。

3-5) 従来評価における算定漁獲量との比較例について

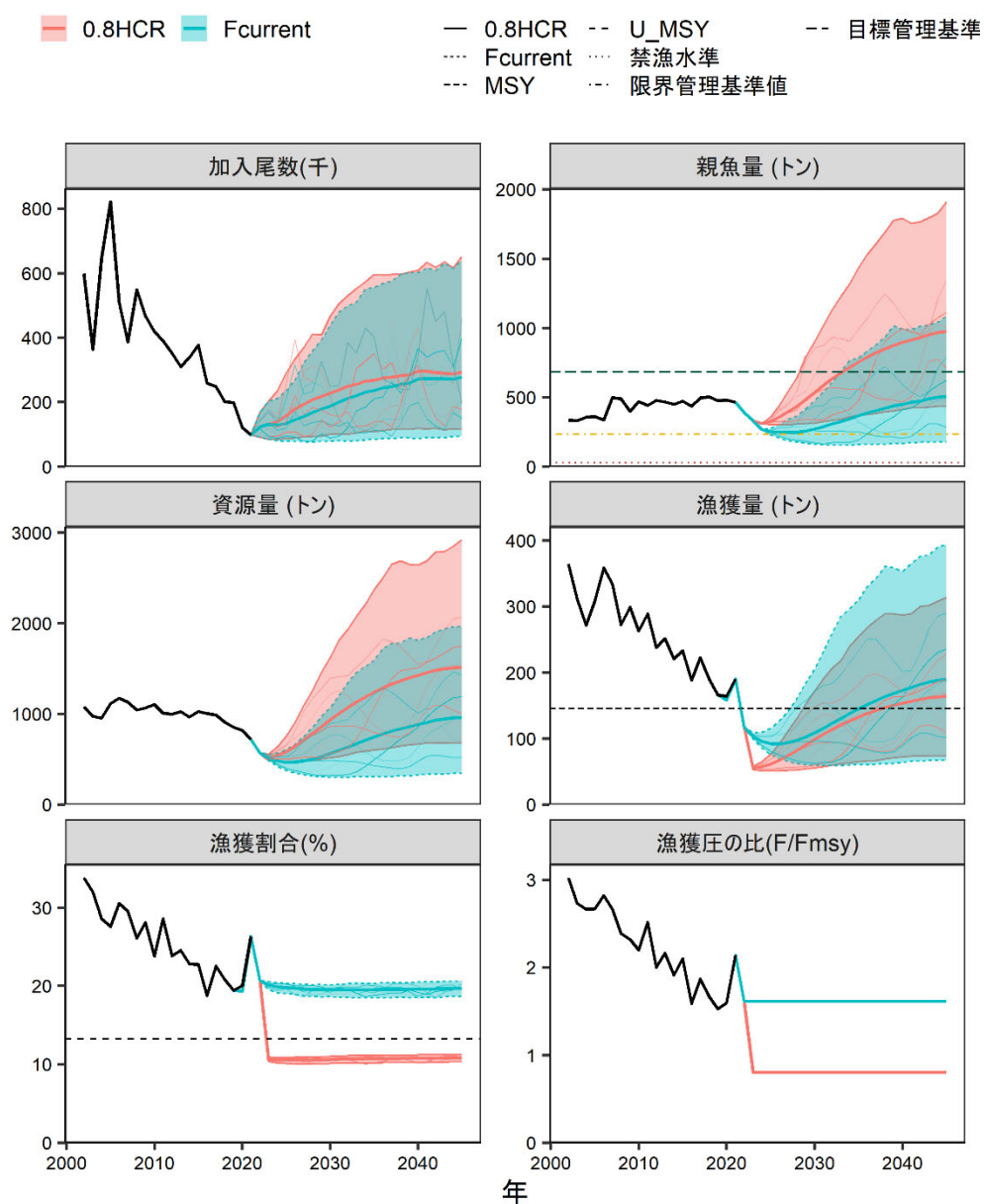
従来評価において、これまで管理目標としてきた条件に加え、試算例として設定した3パターンでの2023年漁期算定漁獲量、目標年の推定親魚量、推定漁獲量を補足表3-9に示す。

従来評価での2023年漁期算定漁獲量については、管理目標としてきた2027年漁期までに資源量840トンに回復した場合でTarget 30トン(Targetはlimitの0.8倍としている)、limit 38トンとなり、前年評価(水産機構、2021)のTarget 57トン、limit 70トンから47%減となった。前年評価では放流数180.9万尾、添加効率0.028(放流加入尾数50,326尾)として算出したが、本年評価に適用した場合放流加入尾数は53,327尾(171.3万尾放流、添加効率0.031)と大きな違いは見られないものの、目標年までの年数は5年から4年に短縮しており、回復に要する年数の短縮が算定漁獲量の大幅削減の原因と考えられる。なお、これを2027年漁期までに現在の資源評価結果から算出した2007～2016年漁期の平均資源量1,037トンまでに回復する試算例では、Target 6トン、Limit 8トンとなった。一方、算定年から10年後の2033年漁期を目標達成年とした場合では、資源量840トン为目标資源量とした場合、Targetは55トン、Limitは67トンと試算された。また算定年から10年後の2033年漁期を目標達成年とし、目標資源量を1,037トンとした場合ではTargetは44トン、Limitは55トンと試算された。このことは、MSYベースでの目標管理基準値案は、1Aルール、1Bルールともに従来評価よりもやや楽観的な結果であり、予測される漁獲量も従来評価よりも多い。しかしながら、従来評価では直近年付近の平均的な放流数や添加効率、再生産成功率を仮定した場合の推定を行っており、推定値の変動幅は考慮されてこなかった。今後はMSYベースの目標管理基準値の提案により、変動幅も踏まえた将来予測の提示は重要な意味を持つ。また、本系群では再生産成功率の低下は続いていることから、今後も再生産成功率が低下する場合には目標の達成年が遅れることや、予測漁獲量を下回る漁獲量となる可能性も考えられるため、放流情報も考慮しながら、加入量の低下に留意した漁獲管理規則の設定が必要となると考えられる。



補足図 3-1. 現状の放流を想定した場合の F30%SPR による管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

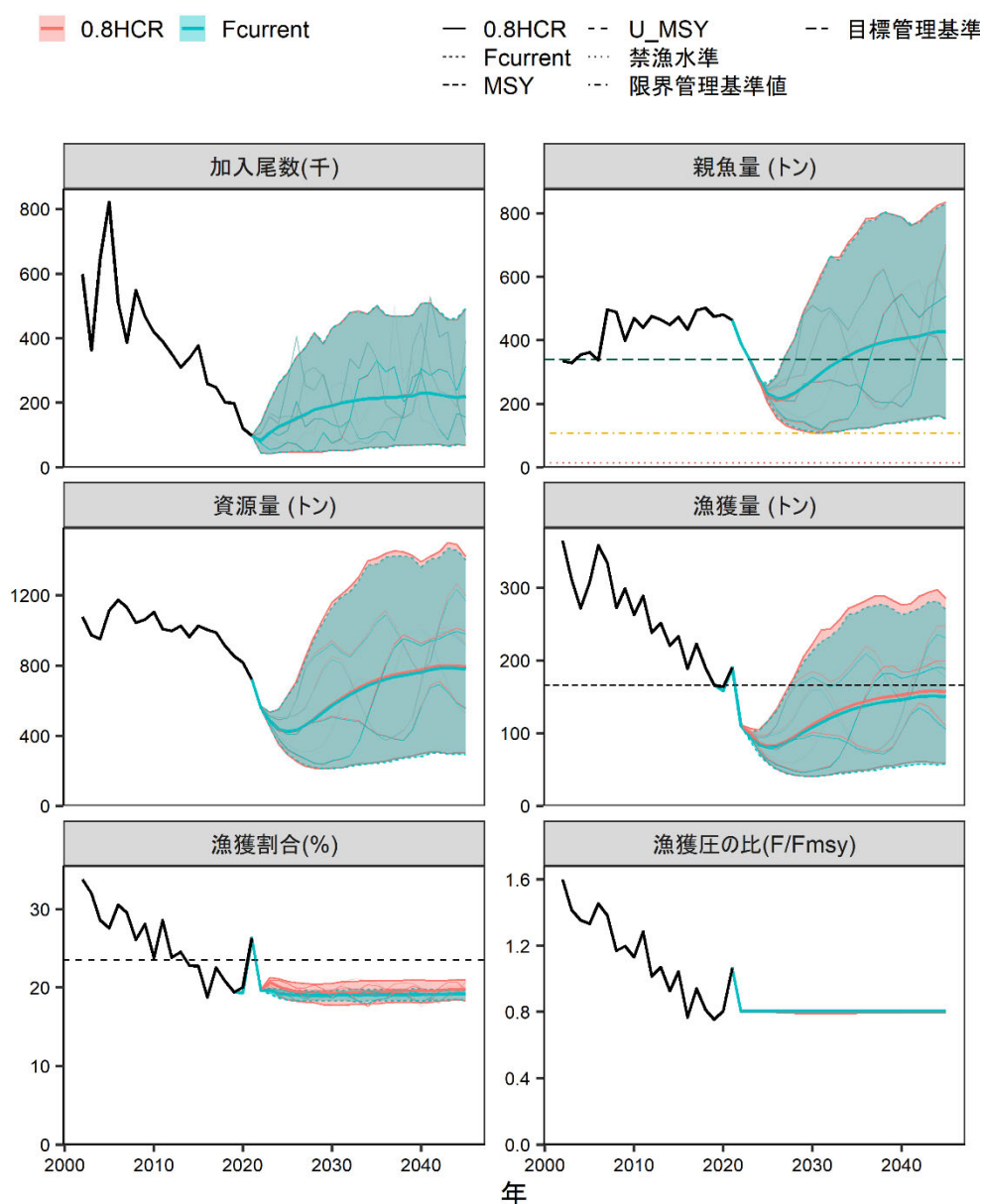
太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2022 年漁期の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧（F2018-2020）により仮定し、2023 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案（図 6）に従うものとした。調整係数 β には標準値の 0.7 を用いた。現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2017～2021 年漁期平均の放流尾数と添加効率の積とした。



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

補足図 3-2. 現状の放流を想定した場合の HS 型による管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2022 年漁期の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧（ $F_{2018-2020}$ ）により仮定し、2023 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 1-12a）に従うものとした。調整係数 β には標準値の 0.8 を用いた。現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2017～2021 年漁期平均の放流尾数と添加効率の積とした。



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

補足図 3-3. 現状の放流を想定した場合の RI 型による管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（緑色）の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2022 年漁期の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 ($F_{2018-2020}$) により仮定し、2023 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 1-12b）に従うものとした。調整係数 β には標準値の 0.8 を用いた。現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2017～2021 年漁期平均の放流尾数と添加効率の積とした。

補足表 3-1. 現状の放流を想定した場合における将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%)

(a) 1B ルール (F30%SPR=Fmsy の代替値)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	5	5	6	67	70
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	5	13	16	19	24	81	83
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	18	33	31	39	53	90	92
0.7	0	0	0	0	0	0	0	7	28	43	49	63	67	96	97
0.6	0	0	0	0	0	0	0	14	44	50	67	80	78	99	99
0.5	0	0	0	0	0	0	0	29	60	66	88	91	91	100	100
0.4	0	0	0	0	0	0	0	64	83	89	97	98	99	100	100
0.3	0	0	0	0	0	0	45	89	96	99	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	0	0	0	74	98	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	0	0	44	96	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	0	0	0	67	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	51	55

(b) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2053	2073
1	0	0	0	0	0	0	0	1	5	9	15	21	26	58	64
0.9	0	0	0	0	0	0	0	2	7	12	19	26	32	66	68
0.8	0	0	0	0	0	0	0	3	10	17	25	33	38	73	74
0.7	0	0	0	0	0	0	1	5	14	23	32	40	45	81	80
0.6	0	0	0	0	0	0	2	9	19	30	40	47	53	86	87
0.5	0	0	0	0	0	0	3	13	25	37	49	56	61	90	92
0.4	0	0	0	0	0	0	5	17	33	47	58	65	70	95	95
0.3	0	0	0	0	0	0	8	25	43	57	68	73	78	97	98
0.2	0	0	0	0	0	0	12	34	53	68	75	81	86	98	99
0.1	0	0	0	0	0	1	18	44	66	78	85	88	92	100	100
0	0	0	0	0	0	2	26	58	77	87	92	94	96	100	100
F2018-2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	5	24	26

(c) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	0	0	0	0	6	13	20	27	34	39	45	65	66
0.9	100	100	0	0	0	3	11	22	30	40	48	52	57	78	77
0.8	100	100	0	0	0	6	21	34	45	56	63	67	70	87	87
0.7	100	100	0	0	1	16	36	52	64	71	76	79	83	94	93
0.6	100	100	0	0	2	30	56	71	80	86	88	91	92	97	98
0.5	100	100	0	0	10	56	78	88	92	94	96	97	98	99	100
0.4	100	100	0	0	34	81	92	96	97	98	99	99	100	100	100
0.3	100	100	0	0	77	97	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	0	0	0	7	21	34	45	56	63	67	70	87	87

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年漁期は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 3-2. 現状の放流を想定した場合における将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

(a) 1B ルール (F30%SPR=Fmsy の代替値)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	100	0	0	44	81	91	91	90	96	96	96	100	100
0.9	100	100	100	0	0	66	89	95	97	97	99	99	99	100	100
0.8	100	100	100	0	67	89	96	98	99	99	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	0	67	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	0	67	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	0	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	0	0	0	19	49	63	63	84	87	83	99	99

(b) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	88	62	53	51	52	56	59	61	63	91	92

(c) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年漁期は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

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

(a) 1B ルール (F30%SPR=Fmsy の代替値)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(b) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(c) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0~1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年漁期は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 3-4. 現状の放流を想定した場合における将来の平均親魚量の推移（トン）

(a) 1B ルール (F30%SPR=Fmsy の代替値)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	464	390	330	277	298	328	343	380	411	428	446	458	466	673	691
0.9	464	390	330	284	310	344	363	406	443	464	486	502	511	741	764
0.8	464	390	330	292	323	363	388	437	480	507	533	551	563	819	848
0.7	464	390	330	299	336	384	416	473	523	556	586	608	623	908	943
0.6	464	390	330	307	350	407	448	513	572	610	646	673	690	1,009	1,054
0.5	464	390	330	315	366	433	483	558	626	672	713	745	767	1,126	1,182
0.4	464	390	330	324	382	461	522	608	686	741	790	828	855	1,260	1,332
0.3	464	390	330	332	400	493	566	664	754	819	877	923	956	1,418	1,508
0.2	464	390	330	341	420	527	614	726	830	907	976	1,031	1,072	1,603	1,719
0.1	464	390	330	350	441	563	666	795	915	1,006	1,088	1,156	1,206	1,822	1,974
0	464	390	330	359	462	603	723	871	1,010	1,119	1,217	1,298	1,362	2,085	2,285
現状の漁獲圧	464	390	330	269	273	289	298	333	364	382	400	412	419	610	624

(b) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	464	390	330	300	304	327	351	378	415	456	498	539	575	861	894
0.9	464	390	330	306	315	343	372	405	448	494	541	585	624	930	966
0.8	464	390	330	311	325	359	394	435	484	535	586	633	675	1,005	1,044
0.7	464	390	330	317	336	376	418	466	522	578	633	684	729	1,088	1,132
0.6	464	390	330	323	348	394	443	499	562	623	683	738	786	1,181	1,229
0.5	464	390	330	329	359	413	470	535	604	671	735	795	848	1,285	1,338
0.4	464	390	330	334	372	433	499	572	648	721	792	857	916	1,401	1,461
0.3	464	390	330	340	384	453	529	612	695	775	852	924	989	1,533	1,601
0.2	464	390	330	347	397	475	562	653	745	833	918	998	1,070	1,683	1,760
0.1	464	390	330	353	411	498	596	698	799	896	990	1,078	1,159	1,854	1,943
0	464	390	330	359	425	521	633	746	857	964	1,069	1,167	1,258	2,051	2,154
現状の漁獲圧	464	390	330	269	248	247	246	247	257	270	288	306	325	535	561

(c) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2,021	2,022	2,023	2,024	2,025	2,026	2,027	2,028	2,029	2,030	2,031	2,032	2,033	2,043	2,053
1	464	390	338	254	223	225	237	254	274	295	318	336	350	419	421
1	464	390	338	263	239	246	264	286	312	337	363	383	398	465	467
1	464	390	338	273	255	270	294	323	354	384	413	434	450	514	516
1	464	390	338	283	273	295	328	364	402	437	468	490	505	566	567
1	464	390	338	293	292	324	366	410	456	496	529	550	563	620	622
1	464	390	338	304	312	355	408	462	516	561	595	615	625	679	680
0	464	390	338	315	333	389	455	521	584	634	668	685	691	741	742
0	464	390	338	326	356	427	508	588	661	715	748	760	762	808	809
0	464	390	338	338	381	469	568	664	748	805	836	843	839	881	881
0	464	390	338	351	408	514	634	749	846	907	935	935	924	962	961
0	464	390	338	363	436	564	709	846	957	1,023	1,047	1,041	1,023	1,052	1,049
現状の漁獲圧	464	390	338	279	262	274	296	323	354	383	412	433	449	514	516

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年漁期は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 3-5. 現状の放流を想定した場合における将来の平均漁獲量の推移（トン）

(a) 1B ルール ($F_{30\%SPR}=F_{msy}$ の代替値)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	190	118	99	85	98	113	126	134	141	147	151	156	160	225	228
0.9	190	118	90	81	95	109	120	128	136	142	146	151	156	219	223
0.8	190	118	81	76	89	102	113	122	130	136	141	145	150	212	216
0.7	190	118	72	70	83	95	106	114	122	129	133	138	143	202	207
0.6	190	118	62	64	75	86	96	105	113	120	124	129	134	190	195
0.5	190	118	52	56	66	76	86	94	102	108	113	117	122	174	180
0.4	190	118	42	48	55	64	74	81	89	94	99	103	107	153	160
0.3	190	118	32	37	43	51	59	66	72	77	81	85	89	128	134
0.2	190	118	22	26	30	36	42	48	53	57	60	63	65	95	100
0.1	190	118	11	13	16	19	23	26	29	31	33	35	36	53	57
0	190	118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
現状の漁獲圧	190	118	108	106	108	116	127	135	143	149	153	158	163	229	232

(b) ホッケー・スティック (HS) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	190	117	67	68	71	76	83	91	99	108	116	124	132	186	192
0.9	190	117	61	63	66	72	79	87	95	104	112	120	127	178	184
0.8	190	117	55	57	61	67	75	82	91	99	107	114	121	170	175
0.7	190	117	48	51	56	62	69	77	85	92	100	106	113	159	164
0.6	190	117	42	45	49	56	63	70	77	84	91	97	103	146	152
0.5	190	117	35	38	43	49	55	62	68	75	81	86	92	131	136
0.4	190	117	28	31	35	41	47	52	58	64	69	74	78	114	118
0.3	190	117	21	24	28	32	37	42	46	51	55	59	63	92	96
0.2	190	117	14	16	19	22	26	29	33	36	39	42	45	67	70
0.1	190	117	7	8	10	12	14	16	18	19	21	23	24	37	38
0	190	117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
現状の漁獲圧	190	117	103	96	92	92	94	97	103	109	116	123	130	200	209

(c) リッカー (RI) 型再生産関係

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	190	111	128	116	114	120	128	138	148	158	166	174	180	206	207
0.9	190	111	117	109	110	117	126	137	148	157	165	172	178	200	201
0.8	190	111	106	102	104	113	123	134	145	154	162	168	173	191	192
0.7	190	111	94	93	98	107	118	130	140	149	155	160	164	180	180
0.6	190	111	82	83	89	100	111	122	132	140	145	149	152	165	165
0.5	190	111	70	73	80	90	101	112	121	128	132	135	137	147	147
0.4	190	111	57	61	68	78	89	99	106	112	115	117	118	125	125
0.3	190	111	43	48	55	64	73	81	88	92	94	95	95	100	101
0.2	190	111	29	33	39	46	54	60	64	67	68	68	68	72	72
0.1	190	111	15	17	21	25	29	33	35	37	37	37	37	38	38
0	190	111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
現状の漁獲圧	190	111	102	99	102	110	120	130	140	148	155	161	165	183	184

漁獲管理規則案での調整係数 β を 0.0～1.0 にて 0.1 刻みで変更した場合の将来予測。2022 年漁期は現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲し、2023 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2018-2020) で漁獲を続けた場合の結果も示した。

補足表 3-6. 1B ルールを用いて F30%SPR を F_{msy} の代替値とした場合の、天然のみによる加入を仮定した場合と現状の放流を仮定した場合に予測される親魚量と漁獲量およびリスク確率のまとめ

加入の仮定	β	現状の 漁獲圧 との比	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 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 (=過去最低親 魚量)を下回る	前年より 漁獲量が 半減する
				2028年 漁期	2033年 漁期	2023年 漁期	2028年 漁期	2033年 漁期		
2002～ 2020年漁 期の天然由 来の加入水 準	1	0.91	0	308	373	93	100	123	100	0
	0.9	0.82	2	323	403	85	96	120	100	0
	0.8	0.72	5	340	438	76	91	116	100	0
	0.7	0.63	16	361	479	68	85	110	100	0
	0.6	0.54	36	387	527	59	79	103	100	0
	0.5	0.45	59	418	584	49	70	94	100	0
	0.4	0.36	70	454	650	40	61	82	100	0
	0.3	0.27	80	496	726	30	49	68	34	0
	0.2	0.18	90	542	814	21	36	50	0	0
	0.1	0.09	97	595	915	10	19	28	0	0
	0	0.00	100	653	1033	0	0	0	0	0
現状の種苗 放流による 加入も仮定 した場合	1	0.91	6	380	466	99	134	160	100	0
	0.9	0.82	24	406	511	90	128	156	100	0
	0.8	0.72	53	437	563	81	122	150	100	0
	0.7	0.63	67	473	623	72	114	143	100	0
	0.6	0.54	78	513	690	62	105	134	100	0
	0.5	0.45	91	558	767	52	94	122	100	0
	0.4	0.36	99	608	855	42	81	107	100	0
	0.3	0.27	100	664	956	32	66	89	0	0
	0.2	0.18	100	726	1072	22	48	65	0	0
	0.1	0.09	100	795	1206	11	26	36	0	0
	0	0.00	100	871	1362	0	0	0	0	0

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

補足表 3-7. ホッケ－・スティック型再生産関係に基づく、再生産のみによる加入を仮定した場合と現状の放流を仮定した場合に予測される親魚量と漁獲量およびリスク確率のまとめ

加入の仮定	β	現状の 漁獲圧 との比	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 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 (=過去最低親 魚量)を下回る	前年より 漁獲量が 半減する
				2028年 漁期	2033年 漁期	2023年 漁期	2028年 漁期	2033年 漁期		
再生産のみ による加入 を仮定した 場合	1	0.62	10	250	347	63	53	76	68	0
	0.9	0.56	12	268	384	58	52	76	59	0
	0.8	0.50	15	289	426	52	51	76	48	0
	0.7	0.43	18	311	472	45	48	73	39	0
	0.6	0.37	24	336	524	39	45	69	28	0
	0.5	0.31	30	362	580	33	41	64	19	0
	0.4	0.25	36	391	641	27	35	56	13	0
	0.3	0.19	42	422	705	20	29	46	8	0
	0.2	0.12	49	455	773	14	20	33	6	0
	0.1	0.06	56	490	845	7	11	18	3	0
	0	0	63	527	923	0	0	0	2	0
現状の種苗 放流による 加入も仮定 した場合	1	0.62	26	378	575	67	91	132	2	0
	0.9	0.56	32	405	624	61	87	127	1	0
	0.8	0.50	38	435	675	55	82	121	0.1	0
	0.7	0.43	45	466	729	48	77	113	0	0
	0.6	0.37	53	499	786	42	70	103	0	0
	0.5	0.31	61	535	848	35	62	92	0	0
	0.4	0.25	70	572	916	28	52	78	0	0
	0.3	0.19	78	612	989	21	42	63	0	0
	0.2	0.12	86	653	1070	14	29	45	0	0
	0.1	0.06	92	698	1159	7	16	24	0	0
	0	0	96	746	1258	0	0	0	0	0

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

補足表 3-8. リッカー型再生産関係に基づく、再生産のみによる加入を仮定した場合と現状の放流を想定した場合に予測される親魚量と漁獲量およびリスク確率のまとめ

加入の仮定	β	現状の 漁獲圧 との比	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 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 (=過去最低親 魚量)を下回る	前年より 漁獲量が 半減する
				2028年 漁期	2033年 漁期	2023年 漁期	2028年 漁期	2033年 漁期		
再生産のみ による加入 を仮定した 場合	1	1.25	21	181	248	121	95	129	26	0
	0.9	1.13	31	205	289	111	96	131	15	0
	0.8	1.00	42	232	335	100	96	131	8	0
	0.7	0.88	51	264	386	89	94	128	4	0
	0.6	0.75	62	299	441	78	90	122	1	0
	0.5	0.63	73	339	501	66	83	111	0.5	0
	0.4	0.50	84	384	565	53	74	97	0.2	0
	0.3	0.38	91	435	632	41	62	80	0	0
	0.2	0.25	96	493	703	28	46	57	0	0
	0.1	0.13	99	559	779	14	25	31	0	0
	0	0	100	633	862	0	0	0	0	0
現状の種苗 放流による 加入も仮定 した場合	1	1.25	45	254	350	128	138	180	0	0
	0.9	1.13	57	286	398	117	137	178	0	0
	0.8	1.00	70	323	450	106	134	173	0	0
	0.7	0.88	83	364	505	94	130	164	0	0
	0.6	0.75	92	410	563	82	122	152	0	0
	0.5	0.63	98	462	625	70	112	137	0	0
	0.4	0.50	100	521	691	57	99	118	0	0
	0.3	0.38	100	588	762	43	81	95	0	0
	0.2	0.25	100	664	839	29	60	68	0	0
	0.1	0.13	100	749	924	15	33	37	0	0
	0	0	100	846	1023	0	0	0	0	0

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

補足表 3-9. 従来の管理目標での算定漁獲量（トン）を適用した場合の試算結果。放流・添加効率・再生産成功率は従来評価での将来予測で用いてきた過去 5 年平均（2016～2020 年漁期）を考慮した。

管理目標	管理基準	Target /Limit	2023年漁期 算定漁獲量 (トン)	漁獲割合 (%)	目標年の 推定親魚量 (トン)	目標年の 推定漁獲量 (トン)
2027年漁期までに 資源量840トン	0.33F2018-2020	Target	30	6	507	51
		Limit	38	7	476	60
2027年漁期までに 資源量1,037トン	0.06F2018-2020	Target	6	1.1	621	12
		Limit	8	1.4	604	19
2033年漁期まで 資源量840トン	0.62F2018-2020	Target	55	10	600	109
		Limit	67	12	472	108
2033年漁期までに 資源量1,037トン	0.50F2018-2020	Target	44	8.3	726	106
		Limit	55	10	596	109

補足資料 4 1B ルールにおける代替漁獲管理規則（上限下限ルール）の試算結果

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

令和 2 年度の漁獲管理方針に関する検討会において、漁獲量の変動を緩和するルールの検討が求められ、直近数年のみ漁獲量を一定にしたり、例外措置を適用したりするような代替ルールが考案された。代替ルールは、漁業活動上の必要性和資源状態の維持の両立を目的として検討を行う必要があり、代替ルールを用いたとしても管理期間 10 年後に目標が達成されるように設計する必要がある。

本案では 1B ルール下での推定結果から、漁獲管理規則案はまず β に標準値である 0.7 による提案したが、Fmsy proxy/F2018-2020 は 0.91 と推定されており、天然加入に基づき漁獲管理をした場合、2033 年漁期に目標管理基準値案（577 トン）を上回る確率は 16%、現状の放流の考慮により、同確率は 67% と示されており、種苗放流の実施により早期の目標達成が想定される。一方、トラフグでは海域による漁期規制や産卵期の親魚や成育期の当歳魚など、特定の時期、サイズのみを漁獲対象とされる漁業者が多く、今後の漁獲管理においては複数の選択肢を参照したい要請が研究機関会議においてもあった。そこで、研究機関会議では管理を開始する年の漁獲量の削減率およびその後の年々の漁獲量の変動幅（以降、CV と呼ぶ）を一定範囲以内とする代替漁獲管理規則（上限下限ルール）を試算した。なお、代替漁獲管理規則に関するガイドラインは FRA-SA2022-ABCWG02-06 にまとめられている。

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

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

C_t の制限期間は 2023 年漁期から 10 年間（10y）を設定し、それ以降は通常の漁獲管理規則に従う管理を検討した。漁獲量の変動幅（CV）については、前年比 $\pm 5\%$ 以内（CV5: $U=1.05, L=0.95$ ）、 $\pm 10\%$ 以内（CV10: $U=1.10, L=0.90$ ）、 $\pm 20\%$ 以内（CV20: $U=1.20, L=0.80$ ）の 3 通りを検討した。標準値である $\beta=0.7$ および $\beta=0.8$ 、 $\beta=0.9$ をベースとして将来予測のシミュレーションを行い、基本的漁獲管理規則等の結果を比較した。

それぞれの漁獲管理規則における将来予測の結果を補足図 4-1～3 に示した。また、各年漁期における平均親魚量、平均漁獲量を補足表 4-1～4 に示した。管理規則導入期間を通じた漁獲量の指標として、1 年目（2023 年漁期）、2～5 年目（2024～2027 年漁期）、および 6～10 年目（2028～2032 年漁期）の漁獲量の期間中の平均値を、基本的漁獲管理規則と変動

幅の異なる3つの代替漁獲管理規則（10y_CV5、10y_CV10、10y_CV20）の三者で比較した（補足表4-5、4-6）。放流なしの場合、10y_CV5、10y_CV10、10y_CV20ともに、1年目の平均漁獲量は基本とされている漁獲管理規則（ $\beta=0.7$ 、 $\beta=0.8$ もしくは $\beta=0.9$ で一定）を適用した漁獲管理規則を適用した場合より高く、2～5年目では、CV20では同等、もしくは漁獲管理規則を適用した場合より高くなったが、6～10年目ではCV20ではやや減、CV5、CV10では低くなった。放流ありの場合も、10y_CV5、10y_CV10、10y_CV20ともに、1年目の平均漁獲量は基本とされている漁獲管理規則（ $\beta=0.7$ 、 $\beta=0.8$ もしくは $\beta=0.9$ で一定）を適用した漁獲管理規則を適用した場合より高くなったが、2～5年目では、CV10、CV20は同等、6～10年目ではCV20では同等、CV5、CV10では低くなった。

資源の持続性を示す指標として、管理開始から5年後（2028年漁期）と10年後（2033年漁期）の平均親魚量を比較した（補足表4-5、4-6）。放流なしの場合、いずれの代替漁獲管理規則でも2028年漁期と2033年漁期の平均親魚量は基本的漁獲管理規則の値を下回った。放流ありの場合は、5年後はCV20で基本的漁獲管理規則と同等、10年後はCV5で最も多く、CV10、CV20では基本的漁獲管理規則と同等であった。

10年後の平均親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は、放流なしの場合、基本的漁獲管理規則では2～16%、CV5で14～18%、CV10で26～38%、CV20で7～25%であった。 $\beta=0.7$ 、0.8の場合、放流ありでは、いずれの管理規則であっても50%を上回った（補足表4-5、4-6）。また資源が望ましくない状態に陥るリスクの指標として、管理規則が導入された10年間で1度でも限界管理基準値案、禁漁水準案を下回る確率を比較したところ、 $\beta=0.7$ 、 $\beta=0.8$ 、0.9のいずれの場合でも、漁獲管理規則も含めて親魚量が限界管理基準値案を下回る確率は100%であった。なお、10年後に目標管理基準値案を上回る確率は、CV10で最も高く（26～38%）、次いでCV20、CV5であり、漁獲管理規則が最も低かった。しかしながら、 $\beta=0.7$ において、天然のみの場合では限界管理基準値案（＝過去最低親魚量）を下回る親魚量は漁獲管理規則での漁獲抑制開始後から4年、CV5で8年、CV10で6年、CV20で4年となる。また、現状の放流を考慮した場合では、限界管理基準値案を下回るのはいずれのケースでも100%であるが、 $\beta=0.7$ では、漁獲管理規則での漁獲抑制開始後から、1年、CV5で4年、CV10で3年、CV20で2年に短縮する（補足表4-7）。

管理期間10年間で予測される漁獲量の変動の指標として、平均年変動（AAV: annual average variation）、最低漁獲量（MinC: minimum catch）を各漁獲管理規則の間で比較したところ、放流なしで $\beta=0.7$ では、AAVは基本的漁獲管理規則では0.10～0.12であるのに対し、代替漁獲管理規則10y_CV5では0.05、10y_CV10では0.10、10y_CV20では0.13～0.15であった。さらにMinCは基本的漁獲管理規則で58～64トンであるのに対し、CV5では77～79トン、CV10では、62～65トン、CV20では54～63トンとなった（補足表4-5）。

放流を考慮した場合、AAVは基本的漁獲管理規則では0.09であるのに対し、代替漁獲管理規則10y_CV5では0.05、10y_CV10では0.09、10y_CV20では0.11ないし0.10であった。さらにMinCは基本的漁獲管理規則で70～80トンであるのに対し、CV5では90～95トン、CV10では、80～87トン、CV20では71～80トンとなった（補足表4-6）。

加えて、将来予測の結果では、管理1年目（2023年漁期）の平均漁獲量は前年比の変動幅が5%以内、10%以内、20%以内のすべての場合で基本的漁獲管理規則案より高いが、2029年漁期以降、すべての緩和措置で基本的漁獲管理案より低くなった。（補足図4-1～3）。ま

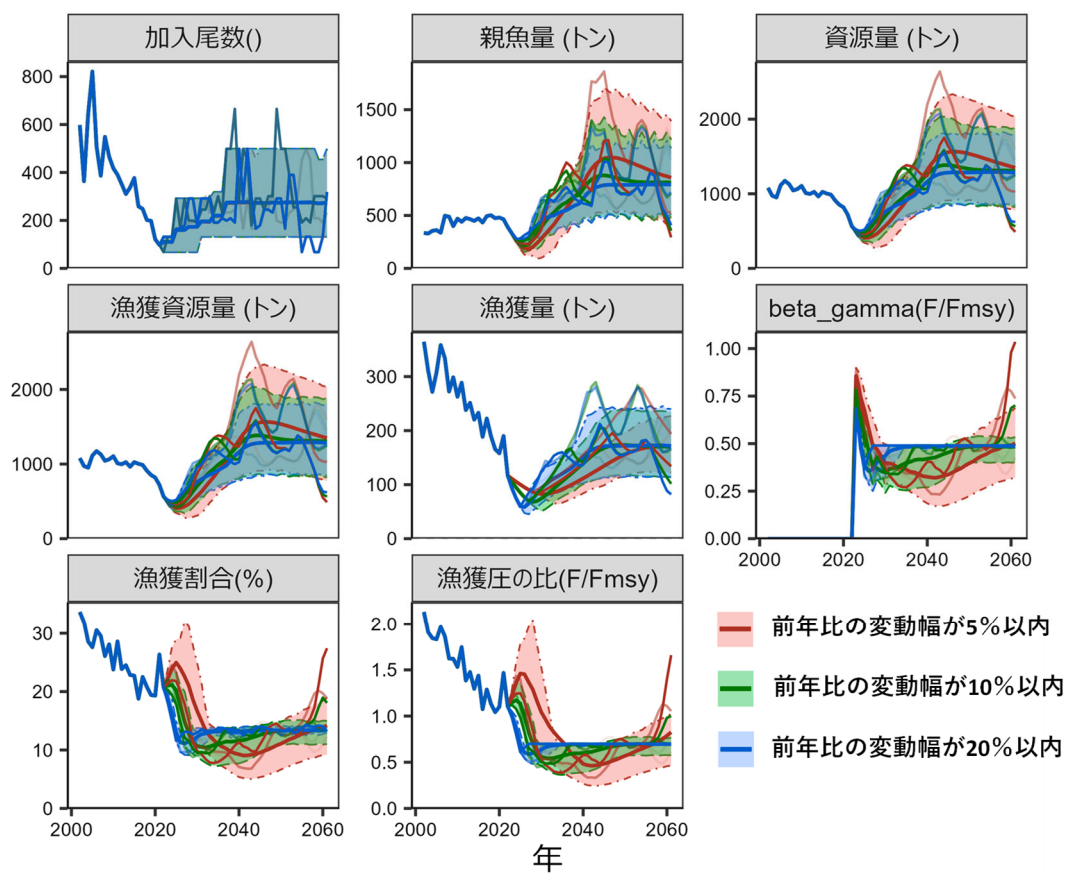
た、累積漁獲量は、放流なしの場合、CV5 では前半 5 年の漁獲量が多いものの、後半 5 年は逆転した。放流ありの場合、この傾向はさらに顕著で、 $\beta=0.7\sim0.9$ のいずれでも前半 5 年の漁獲量は CV5 が最も高いが、後半 5 年は最も少なくなり、10 年間の合計でも基本的漁獲管理規則か、CV20、 $\beta=0.7$ のときが最も多くなった。

以上の結果をもとに、代替漁獲管理規則に関するガイドライン (FRA-SA2022-ABCWG02-06) にもとづき代替漁獲管理規則のカテゴリ分けを行なった (補足表 4-5、4-6)。天然のみの場合、いずれの調整係数、漁獲管理方策案においても、カテゴリは 0 (管理目標に合わない) となった。現状の放流を考慮した場合、基本的漁獲管理規則では $\beta=0.7$ 、0.8 のすべてのシナリオでカテゴリ 3 (目標達成確率が 50% 以上かつリスクが $\beta=0.7$ の値以下)、 $\beta=0.9$ では CV5 でカテゴリ 3 となった。

なお、1B ルールに基づく漁獲管理規則では過去の経験した加入量から生物学的管理基準を用いた推定を行っている。このため、上限下限ルールの適用により、過去経験しない低水準の親魚量を経験することで、実際に起こりえた加入量の情報が、元々推定していた加入状況が反映しないような低水準の加入となる場合も想定される。実際に CV5 では、予測最小親魚量が 178 トンと過去最低親魚量の 54% にすぎない親魚量を経験することが予測されることから (補足表 4-7)、必ずしも高加入が期待できるものではない。実際に低水準の加入が生じた場合は、将来の加入の推定は見直しを要するべきである点は留意する必要もあると考えられる。

引用文献

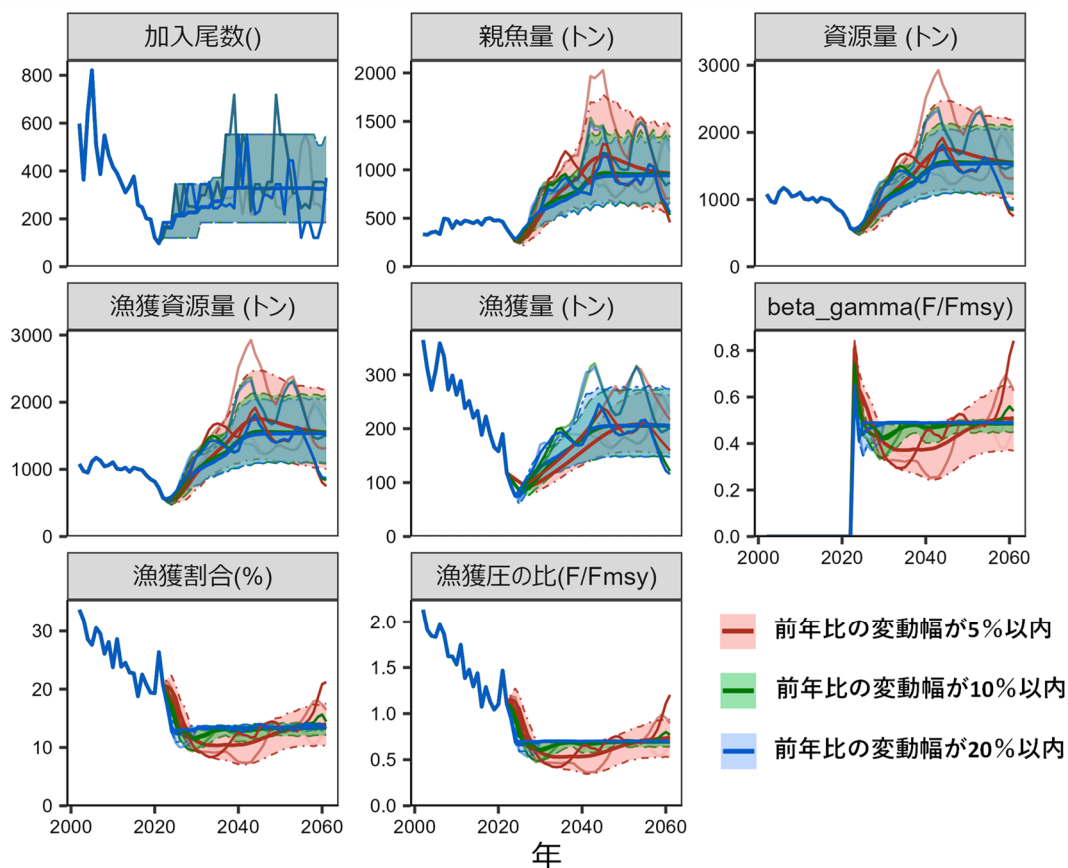
- 市野川桃子・西嶋翔太・向 草世香・黒田啓行・大下誠二 (2022) 改正漁業法下での様々な代替漁獲管理規則の検討: マイワシ 2 系群を例に. 日本水産学会誌, **88(4)**, 239-255.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisan/88/4/88_21-00041/_pdf/-char/ja
- Deroba, J. & Bence, J. (2008) A Review of Harvest Policies: Understanding Relative Performance of Control Rules. Fisheries Research. 94. 210-223. 10.1016/j.fishres.2008.01.003



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

補足図 4-1(a). CV5, CV10, CV20 を 10 年間固定した場合(10y)の将来予測結果 ($\beta=0.7$ の場合、放流なし)

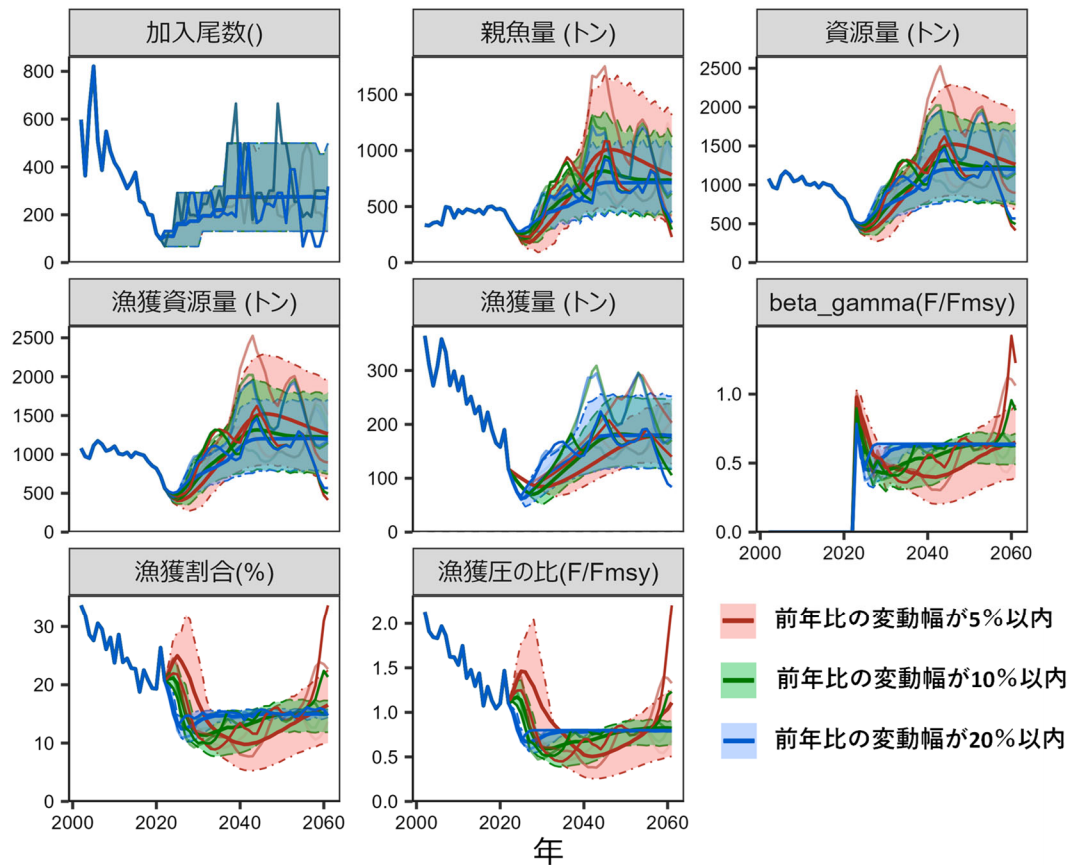
太線は平均値、網かけはシミュレーション結果の 80%が含まれる 80%予測区間を示す。
赤色は CV5、緑色は CV10、青色は CV20 の結果を示す。



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

補足図 4-1(b). CV5, CV10, CV20 を 10 年間固定した場合(10y)の将来予測結果 ($\beta=0.7$ の場合、現状の放流を考慮)

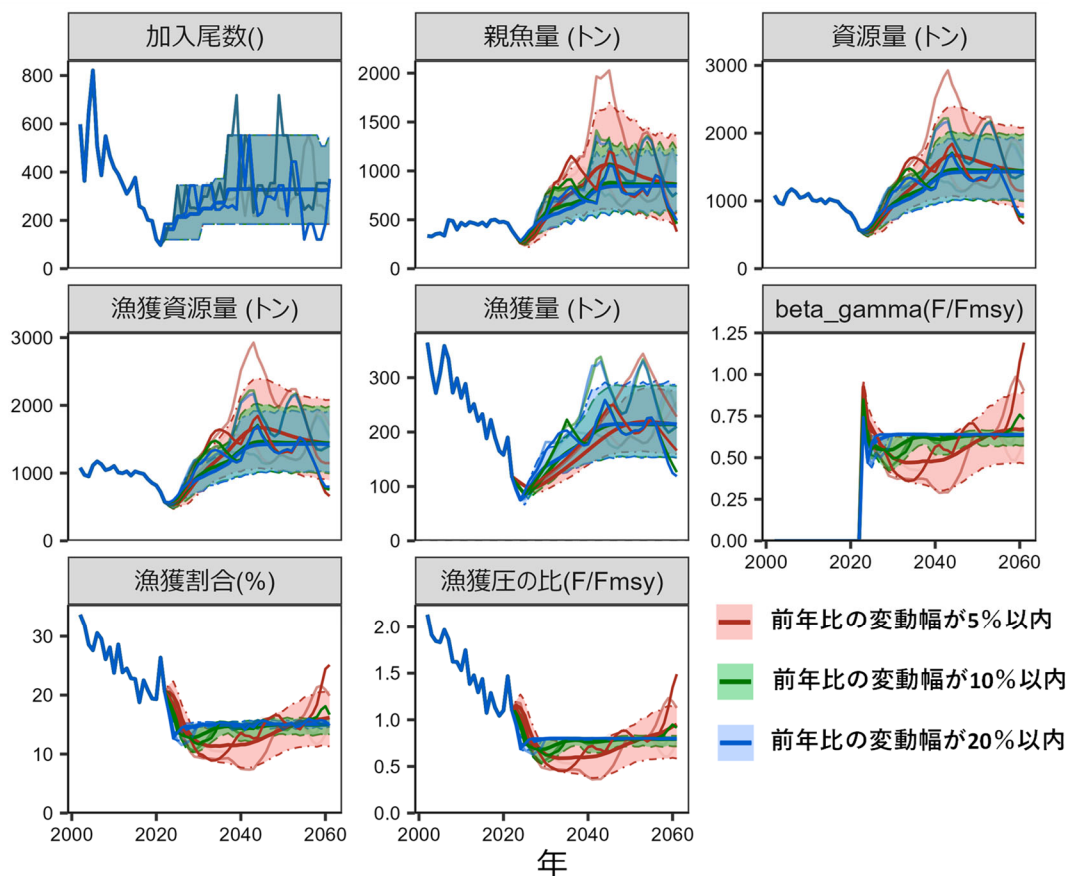
太線は平均値、網かけはシミュレーション結果の 80%が含まれる 80%予測区間を示す。
赤色は CV5、緑色は CV10、青色は CV20 の結果を示す。



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

補足図 4-2(a). CV5, CV10, CV20 を 10 年間固定した場合(10y)の将来予測結果 ($\beta=0.8$ の場合、放流なし)

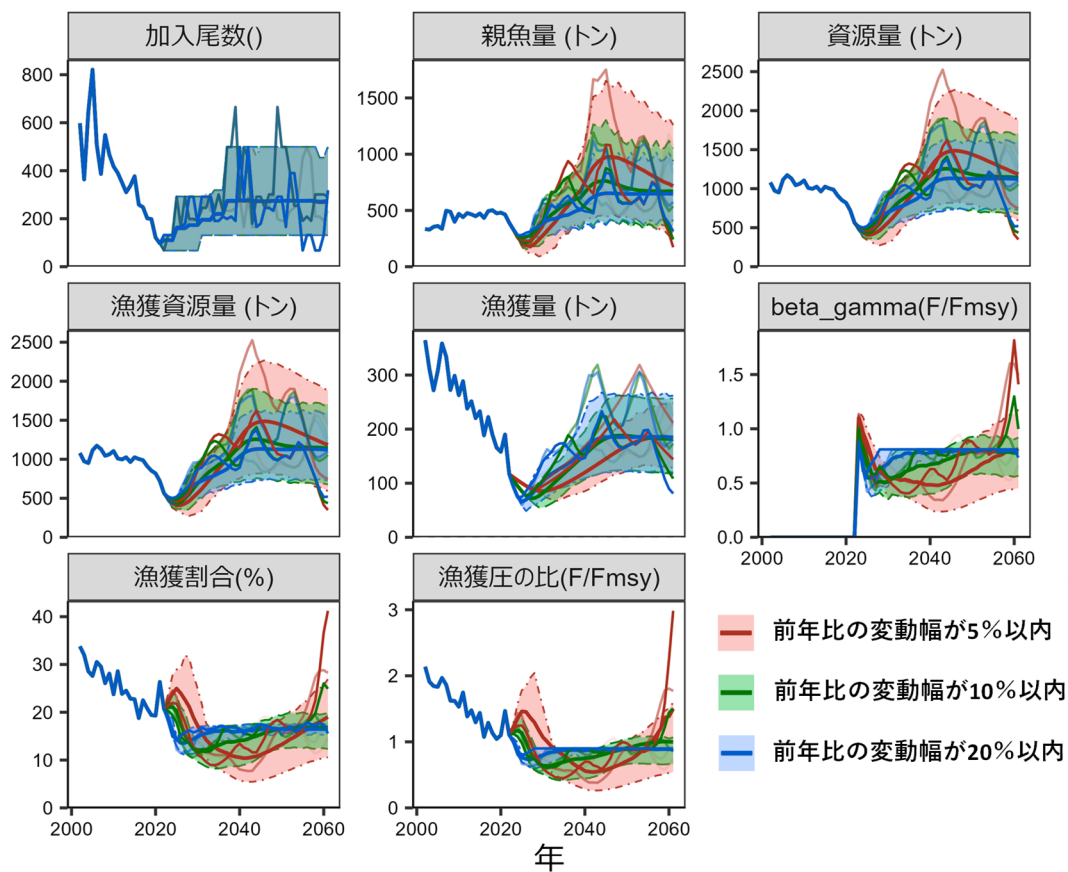
太線は平均値、網かけはシミュレーション結果の 80%が含まれる 80%予測区間を示す。
赤色は CV5、緑色は CV10、青色は CV20 の結果を示す。



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

補足図 4-2(b). CV5, CV10, CV20 を 10 年間固定した場合(10y)の将来予測結果 ($\beta=0.8$ の場合、現状の放流を考慮)

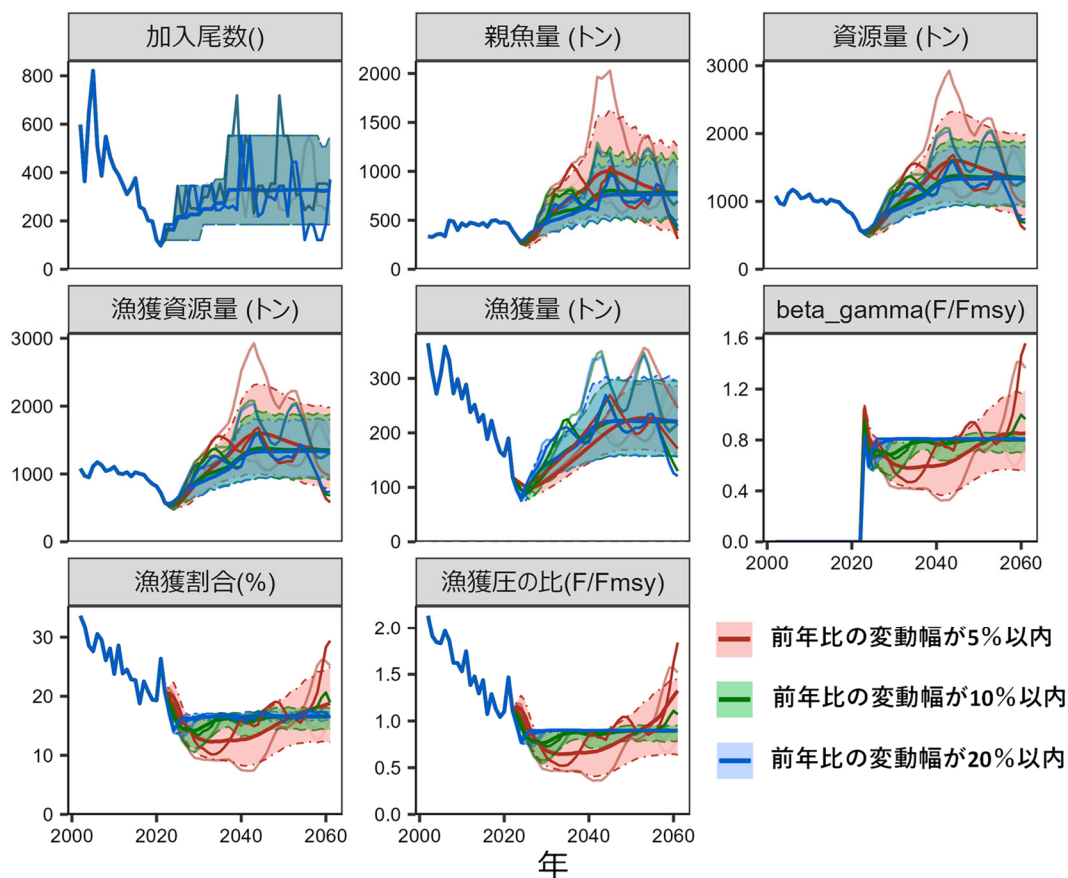
太線は平均値、網かけはシミュレーション結果の 80%が含まれる 80%予測区間を示す。
赤色は CV5、緑色は CV10、青色は CV20 の結果を示す。



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

補足図 4-3(a). CV5, CV10, CV20 を 10 年間固定した場合(10y)の将来予測結果 ($\beta=0.9$ の場合、放流なし)

太線は平均値、網かけはシミュレーション結果の 80%が含まれる 80%予測区間を示す。
赤色は CV5、緑色は CV10、青色は CV20 の結果を示す。



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

補足図 4-3(b). CV5, CV10, CV20 を 10 年間固定した場合(10y)の将来予測結果 ($\beta=0.9$ の場合、現状の放流を考慮)

太線は平均値、網かけはシミュレーション結果の 80%が含まれる 80%予測区間を示す。
赤色は CV5、緑色は CV10、青色は CV20 の結果を示す。

補足表 4-1. 代替漁獲管理規則（上限下限ルール）適用時の各年漁期における平均親魚量一覧（放流なし）

2033年までの10年間に1度でも限界管理基準値案を下回る確率																72%	2%	100%
2033年に親魚量が目標管理基準値案（577トン）を上回る確率																		
2033年に親魚量が限界管理基準値案（329トン）を上回る確率																		
漁獲管理規則	β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	カテゴリー			
基本ルール	0.9	464	390	330	284	275	279	284	322	353	369	387	398	403	0			
	0.8	464	390	330	292	286	294	300	339	374	394	415	429	438	0			
	0.7	464	390	330	299	298	309	318	360	400	424	449	467	479	0			
上限下限ルール （±5%）	0.9	464	390	330	261	220	194	178	203	239	277	319	361	401	0			
	0.8	464	390	330	261	220	194	178	203	240	279	322	365	407	0			
	0.7	464	390	330	261	220	194	178	203	240	280	325	370	414	0			
上限下限ルール （±10%）	0.9	464	390	330	266	235	222	223	270	326	375	423	462	489	0			
	0.8	464	390	330	266	235	222	223	271	329	381	433	475	507	0			
	0.7	464	390	330	266	235	222	223	271	332	388	444	491	526	0			
上限下限ルール （±20%）	0.9	464	390	330	277	262	268	277	322	364	389	410	423	427	0			
	0.8	464	390	330	277	262	272	285	336	384	413	439	454	460	0			
	0.7	464	390	330	277	262	274	292	350	406	442	472	491	501	0			

補足表 4-2. 代替漁獲管理規則（上限下限ルール）適用時の各年漁期における平均漁獲量一覧（放流なし）

2023～2033年漁期累積漁獲量														
漁獲管理規則	β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
基本ルール	0.9	190	117	85	70	68	73	82	95	102	107	114	117	120
	0.8	190	117	76	66	65	72	80	91	97	102	108	112	116
	0.7	190	117	68	61	62	68	76	85	92	97	102	106	110
上限下限ルール ($\pm 5\%$)	0.9	190	117	111	105	100	95	90	87	86	86	86	88	91
	0.8	190	117	111	105	100	95	90	87	85	84	85	86	88
	0.7	190	117	111	105	100	95	90	86	84	83	82	83	86
上限下限ルール ($\pm 10\%$)	0.9	190	117	105	95	85	77	72	72	76	82	89	96	103
	0.8	190	117	105	95	85	77	71	70	73	78	85	91	99
	0.7	190	117	105	95	85	77	70	68	70	74	80	86	93
上限下限ルール ($\pm 20\%$)	0.9	190	117	93	75	66	69	76	86	95	104	111	117	122
	0.8	190	117	93	75	62	64	71	80	90	99	106	112	117
	0.7	190	117	93	75	60	58	65	74	84	93	100	106	112

補足表 4-3. 代替漁獲管理規則（上限下限ルール）適用時の各年漁期における平均親魚量一覧（現状の放流を考慮）

2033年漁期までの10年間に1度でも限界管理基準値案を下回る確率																	
2033年漁期に親魚量が目標管理基準値案（577トン）を上回る確率																	
2033年漁期に親魚量が限界管理基準値案（329トン）を上回る確率																	
漁獲管理規則	β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	カテ ゴリ		
基本ルール	0.9	464	390	330	284	310	344	363	406	442	463	485	502	513	0	99%	24%
	0.8	464	390	330	292	322	363	388	437	480	506	532	552	565	3	100%	54%
	0.7	464	390	330	299	336	384	416	473	523	554	585	609	624	3	100%	68%
上限下限ルール （±5%）	0.9	464	390	330	266	268	290	315	377	444	500	554	599	634	3	99%	65%
	0.8	464	390	330	266	268	290	317	382	454	515	574	624	664	3	100%	70%
	0.7	464	390	330	266	268	290	317	386	462	528	593	649	693	3	100%	74%
上限下限ルール （±10%）	0.9	464	390	330	271	283	318	349	412	472	513	547	569	578	0	99%	45%
	0.8	464	390	330	271	283	320	357	428	496	544	585	613	627	3	100%	64%
	0.7	464	390	330	271	283	320	361	438	514	570	619	654	675	3	100%	73%
上限下限ルール （±20%）	0.9	464	390	330	280	307	343	365	412	451	472	492	507	515	0	99%	25%
	0.8	464	390	330	280	311	355	386	442	490	517	540	558	569	3	100%	55%
	0.7	464	390	330	280	311	361	402	468	527	562	592	614	628	3	100%	69%

補足表 4-4. 代替漁獲管理規則（上限下限ルール）適用時の各年漁期における平均漁獲量一覧（現状の放流を考慮）

2023～2033年漁期累積漁獲量														
漁獲管理規則	β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
基本ルール	0.9	190	118	90	81	94	108	120	128	136	142	147	151	156
	0.8	190	118	81	76	89	102	113	122	130	136	141	145	150
	0.7	190	118	72	70	83	95	106	114	122	129	133	138	143
上限下限ルール ($\pm 5\%$)	0.9	190	118	112	106	101	99	100	104	108	113	118	124	130
	0.8	190	118	112	106	101	97	97	99	103	108	113	118	124
	0.7	190	118	112	106	101	96	94	95	98	102	107	112	117
上限下限ルール ($\pm 10\%$)	0.9	190	118	106	96	89	94	102	111	120	130	139	149	157
	0.8	190	118	106	96	86	88	95	103	112	122	132	141	150
	0.7	190	118	106	96	86	83	89	96	105	114	123	132	140
上限下限ルール ($\pm 20\%$)	0.9	190	118	94	80	92	105	117	127	137	143	148	152	157
	0.8	190	118	94	75	83	97	109	119	130	137	142	147	151
	0.7	190	118	94	75	76	87	99	110	120	129	135	139	144

補足表 4-5. 代替漁獲管理規則（上限下限ルール）のパフォーマンス評価（放流なし）

カテ ゴリ	漁獲管理方 策案	β	予測平均漁獲量 (トン)			予測平均親魚量 (トン)		管理目標 10年後に 目標管理 基準値案 を上回る	リスク (10年間に1度でも 起きる確率)			管理期間10年間（2023-2032年）で 予測される漁獲量の変動		
			1年目	2～6年目平均	6～10年平均	6年後	11年後		親魚量が 限界管理	漁獲量が 半減する	平均年変 動AAV※	平均減少 率ADR※	最大減少 率MDR※	最低漁獲 量(トン) MinC※
			2023年 漁期	2024～2028 年漁期	2028～2032 年漁期	2028年 漁期	2033年 漁期		基準値案 を下回る					
0 Base		0.9	85	78	112	322	403	2%	100%	0%	0.12	-0.10	-0.18	64
0 Base		0.8	76	75	107	339	438	5%	100%	0%	0.11	-0.09	-0.14	62
0 Base		0.7	68	70	101	360	479	16%	100%	0%	0.10	-0.07	-0.11	58
0 10y_CV5		0.9	111	96	87	203	401	14%	100%	0%	0.05	-0.05	-0.05	79
0 10y_CV5		0.8	111	96	86	203	407	16%	100%	0%	0.05	-0.05	-0.05	78
0 10y_CV5		0.7	111	95	84	203	414	18%	100%	0%	0.05	-0.05	-0.05	77
0 10y_CV10		0.9	105	80	89	270	489	26%	100%	0%	0.10	-0.10	-0.10	65
0 10y_CV10		0.8	105	79	85	271	507	31%	100%	0%	0.10	-0.10	-0.10	64
0 10y_CV10		0.7	105	79	81	271	526	38%	100%	0%	0.10	-0.10	-0.10	62
0 10y_CV20		0.9	93	74	110	322	427	7%	100%	0%	0.13	-0.12	-0.20	63
0 10y_CV20		0.8	93	71	105	336	460	13%	100%	0%	0.14	-0.14	-0.20	58
0 10y_CV20		0.7	93	66	99	350	501	25%	100%	0%	0.15	-0.16	-0.20	54

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

補足表 4-6. 代替漁獲管理規則（上限下限ルール）のパフォーマンス評価（現状の放流を考慮）

カテ ゴリ	漁獲管理方 案	β	予測平均漁獲量 (トン)			予測平均親魚量 (トン)		管理目標	リスク (10年間に1度でも 起きる確率)		管理期間10年間（2023-2032年）で 予測される漁獲量の変動			
			1年目	2～6年目平均	6～10年平均	6年後	11年後		親魚量が 限界管理	漁獲量が 半減する	平均年変 動AAV※	平均減少 率ADR※	最大減少 率MDR※	最低漁獲 量(トン) MinC※
			2023年 漁期	2024～2028 年漁期	2028～2032 年漁期	2028年 漁期	2033年 漁期	10年後に 目標管理 基準値案 を上回る	基準値案 を下回る					
0 Base		0.9	90	106	147	406	511	24%	100%	0%	0.09	-0.08	-0.10	81
3 Base		0.8	81	101	140	437	563	54%	100%	0%	0.09	-0.05	-0.06	76
3 Base		0.7	72	93	133	473	623	68%	100%	0%	0.09	-0.03	-0.03	70
3 10y_CV5		0.9	112	102	119	377	634	65%	100%	0%	0.05	-0.05	-0.05	95
3 10y_CV5		0.8	112	100	113	382	664	70%	100%	0%	0.05	-0.05	-0.05	93
3 10y_CV5		0.7	112	98	107	386	693	74%	100%	0%	0.05	-0.05	-0.05	90
0 10y_CV10		0.9	106	98	139	412	578	45%	100%	0%	0.09	-0.08	-0.10	87
3 10y_CV10		0.8	106	94	131	428	627	64%	100%	0%	0.09	-0.09	-0.10	83
3 10y_CV10		0.7	106	90	123	438	675	73%	100%	0%	0.09	-0.09	-0.10	80
0 10y_CV20		0.9	94	104	147	412	515	25%	100%	0%	0.10	-0.10	-0.15	80
3 10y_CV20		0.8	94	97	141	442	569	55%	100%	0%	0.11	-0.14	-0.20	74
3 10y_CV20		0.7	94	89	133	468	628	69%	100%	0%	0.11	-0.15	-0.20	71

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

補足表 4-7. 代替漁獲管理規則（上限下限ルール）適用時の累積漁獲量と過去最小親魚量未満の年数、および漁獲管理開始後 11 年間（2023～2033 年漁期）の予測最小親魚量。

放流なし（天然加入のみ）								現状の放流を継続							
シナリオ	β	累積漁獲量(トン)				SBmin未満 の年数	予測最小 親魚量 (トン)	シナリオ	β	累積漁獲量(トン)				SBmin未満 の年数	予測最小 親魚量 (トン)
		1年目 (2023年漁 期)	2～6年目 (2024～ 2028年漁 期)	7～11年目 (2029～ 2033年漁 期)	11年間漁獲 量 (2023～ 2033年漁 期)					1年目 (2023年漁 期)	2～6年目 (2024～ 2028年漁 期)	7～11年目 (2029～ 2033年漁 期)	11年間漁獲 量 (2023～ 2033年漁 期)		
Base	0.9	85	389	560	1,034	8	178	Base	0.9	90	532	733	1,354	2	284
10y_CV5		111	478	436	1,025	5	275	10y_CV20		94	521	737	1,352	2	280
10y_CV20		93	372	550	1,015	5	262	10y_CV10		106	491	695	1,293	3	271
10y_CV10		105	401	445	951	6	222	10y_CV5		112	510	593	1,215	4	266
10y_CV5	0.8	111	478	428	1,017	8	178	Base	0.8	81	503	702	1,286	2	292
Base		76	373	536	985	4	286	10y_CV20		94	483	707	1,285	2	280
10y_CV20		93	353	526	972	4	262	10y_CV10		106	468	657	1,231	3	271
10y_CV10		105	397	426	928	6	222	10y_CV5		112	500	567	1,179	4	266
10y_CV5	0.7	111	477	418	1,007	8	178	10y_CV20	0.7	94	447	667	1,209	2	280
Base		68	352	507	926	4	298	Base		72	467	665	1,204	1	299
10y_CV20		93	331	495	920	5	222	10y_CV10		106	449	614	1,169	3	271
10y_CV10		105	394	403	902	4	262	10y_CV5		112	492	537	1,141	4	266