

平成 31（2019）年度スケトウダラ日本海北部系群の 管理基準値等に関する研究機関会議報告書

担当水研：北海道区水産研究所、中央水産研究所

要 約

本系群における再生産関係および管理基準値等の検討は、平成 30 年度スケトウダラ日本海北部系群の資源評価における各種データを用いて行った。当該資源評価における本系群の資源状態は、1980 年漁期以降の親魚量から資源水準は低位、最近 5 年間（2013～2017 年漁期）の親魚量の推移から資源動向は増加と判断されている。また豊度が比較的高い 2012 年級群および調査船調査から高い豊度が期待される 2015、2016 年級群の加入により、今後も親魚量の増加が予測されている。本系群の再生産関係式の候補としては最小二乗法により最適化されたホッカー・スティック型再生産曲線（HS）の適用を、目標管理基準の候補としては SBmsy（382 千トン）、限界管理基準の候補としては SB0.6msy（171 千トン）、禁漁水準の候補としては SB0.1msy（25 千トン）を提案する。MSY を達成するときの漁獲圧は現状の漁獲圧（Fcurrent、2015～2017 年漁期平均漁獲圧）の 0.92 倍である。本系群は世代時間が約 8 年と長いこと、また将来予測において平均的に得られる親魚量当たりの加入量が比較的小さいことから資源の回復速度は遅く、10 年以内に目標管理基準へ回復する確率は、漁獲を 0 とした場合でも約 14%と推定された。

1. 再生産関係

1-1) 使用するデータセット

データセット	基礎情報、関係調査等
資源量・親魚量	平成 30 年度我が国周辺水域の漁業資源評価（水産庁・水研機構）

1-2) 再生産関係の検討

本系群の再生産関係として挙げられる各候補（補足資料 4）について、モデル選択に関するパラメータを下表に示す。なおデータとしては利用可能な 1980～2015 年級群の全ての値を用いた。本系群の再生産関係においては、親魚量と加入量との間に強い直線の関係が見られ、リッカー型再生産曲線（RI）およびベバートン・ホルト型再生産曲線（BH）においても密度効果が検出されないため（補足資料 1）、HS、RI、BH の全てにおいてほぼ同じ値が推定される。ただし、HS に関しては変曲点が観測範囲にない場合は親魚量の最大値に設定できる。このため、当系群の再生産関係式としては HS が適していると判断される。最適化方法に関しては、最小二乗法を用いた場合の方が最小絶対値法を用いた場合より AIC は小さくなる。残差の自己相関に関しては有意であったが（補足図 1-4）、この自己相関係数の有意性は 1988 年級群以前の加入尾数・親魚資源量の推定値に大きく依存しており、1989 年級群以降の残差では自己相関は検出されなかった（補足図 2-2）。このため、管理基準値計算のための再生産関係式において残差の自己相関は考慮しないこととした。

再生産関係式	最適化法	AICc	ΔAIC	ΔAIC の順位	S.D.	データ数
HS	最小二乗法	93.9	0	1	0.812	36
RI	最小二乗法	93.9	0.0	3	0.812	36
BH	最小二乗法	93.9	0	1	0.812	36
HS	最小絶対値法	98.1	4.2	4	0.925	36
RI	最小絶対値法	98.1	4.2	4	0.925	36
BH	最小絶対値法	98.1	4.2	4	0.925	36

※ 候補として推奨する再生産関係を太字とした

1-3) 再生産関係の候補

上述の通り、本系群の再生産関係としては最小二乗法で最適化した自己相関を用いない HS (図 1) を候補として提案する。

2. 管理基準値

2-1) データセットおよび計算方法

MSY 管理基準値の算出および将来予測には、1-3) で候補とした再生産関係と、平成 30 年度我が国周辺水域の漁業資源評価(水産庁・水研機構)での将来予測計算に用いた各種設定を使用した。すなわち、再生産関係は資源評価で推定された 1980～2015 年級群の加入量および親魚量に基づく HS 型とし、自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重および漁獲の選択率をシミュレーションの条件付けに用いた。ここで、選択率は各年齢の漁獲係数 (F 値) の 2013～2017 年漁期の平均値に基づくものであり、現状の漁獲圧 (F_{current}) はこの選択率下で各年齢の F 値の単純平均値が 2015～2017 年漁期の平均と等しくなる値 (図 2)、漁獲物の平均体重は 2013～2017 年漁期における平均値である (下表)。

年齢	自然死亡係数	成熟率	資源の平均体重 (g)	漁獲物の平均体重 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (F _{current})
2	0.30	0.00	134	98	0.18	0.02
3	0.25	0.00	229	202	0.36	0.04
4	0.25	0.31	326	287	0.60	0.08
5	0.25	0.89	425	370	0.81	0.10
6	0.25	0.99	485	442	1.15	0.14
7	0.25	1.00	545	489	1.24	0.16
8	0.25	1.00	570	548	1.31	0.16
9	0.25	1.00	578	607	1.00	0.13
10 歳以上	0.25	1.00	688	680	1.00	0.13

以上の条件および使用した再生産関係の下で将来予測を行い、平衡状態における漁獲量の最大値を最大持続生産量 (MSY)、MSY が達成されるとき親魚量を SB_{msy} とした。なお本系群では平衡状態を、世代時間 (8.19 年) の 50 倍を基準に将来予測開始から約 400 年

後とした。また将来予測計算で与える加入量の誤差には残差を確率分布に従う値として与えた。この誤差を残差の観測値からのランダムリサンプリングとした場合の結果は補足資料 3 に示す。ここで残差の仮定による差異はほぼ認められないことから、本系群の将来予測においては残差は確率分布に従う値を用いることとした。

2-2) 使用する再生産関係

再生産関係式としては最小二乗法で最適化した自己相関を用いない HS を用いた。各パラメータは下表に、過去の親魚量、加入量の観測値との関係は図 1 に示す。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.
ホッケー・スティック型	最小二乗法	無	1.805	341,742	0.812

ここで、a は HS の折れ点までの再生産曲線の傾き (尾/kg)、b は HS の折れ点となる親魚量 (トン) である。

2-3) 管理基準値

本系群の目標管理基準値 (SBtarget) には MSY 水準における親魚量 (SBmsy)、限界管理基準値 (SBlimit) には MSY の 60% の漁獲が得られる親魚量 (SB0.6msy)、禁漁水準 (SBban) には MSY の 10% の漁獲が得られる親魚量 (SB0.1msy) を用いた。これらはいずれも ABC 算定規則における標準値である。また本系群ではこれまでの資源管理において、禁漁水準として過去最低親魚量をもとに 3 万トンを設定してきたため、この値を禁漁水準とした場合についても検討を行う。各水準における親魚量は下表に示す。

管理基準値	親魚量	基準
目標管理基準値	382 千トン	SBmsy
限界管理基準値	171 千トン	SB0.6msy
禁漁水準	25 千トン	SB0.1msy
禁漁水準の代替値 1	30 千トン	過去の親魚量最小値をもとに設定

各基準値について、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、平衡状態の時の平均漁獲量、漁獲量の変動係数、漁獲率、現状の漁獲圧に対する乗数の関係を表 1 に示す。また、様々に F 値を変えた場合の将来予測での平衡状態における親魚量、およびこれに対する年齢別漁獲量の平均値を図 3 に示す。ここで、高い親魚量水準においては漁獲における高齢魚の比率もやや高くなる傾向となっているが、5 歳魚以上の割合は SBmsy で 0.79 に対し SB0.1msy でも 0.75 であり、その差は非常に小さい。

2-4) 目標管理基準値と漁獲割合

目標管理基準値 SBmsy と、その時の漁獲率 Umsy および漁獲圧 Fmsy を基準にした神戸プロットを図 4 に示す。本系群における漁獲圧 (F) は、直近年 (2017 年漁期) 以外においては MSY を与える水準を越えていたと判断される。また現状の親魚量は目標管理基準

値を大きく下回り、限界管理基準値も下回っているが、禁漁水準は上回っている。

2-5) 漁獲管理規則

漁獲管理規則 (HCR) は、限界管理基準値、および禁漁水準となる親魚量を閾値として、漁獲管理の基礎となる漁獲係数 (F 値) を変えるルールであり、親魚量が限界管理基準値を下回ると禁漁水準まで直線的に漁獲圧を下げることを定めている。F 値の上限となる F_{msy} には安全係数となるチューニングパラメータ β を乗じる。目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準に 2-3) で示した値 (すなわち、 $SB_{limit}=SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{ban}=SB_{0.1msy}$ または SB3 万トン) を用い、 β に標準値である 0.8 を用いた場合の漁獲管理規則における親魚量と漁獲係数の関係を図 5 に示す。

2-6) 漁獲管理規則に基づく資源の将来予測

(1) チューニングパラメータ β に標準値を用いた場合

目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準に 2-3) で示した値を用い、 β に標準値である 0.8 を用いた場合の資源量、親魚量、漁獲量、加入量、および努力量の削減率 ($F_{current}$ からの削減率) の推移を図 6 に示す。なお、漁獲の制御は 2020 年漁期から開始し、2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量 (6,300 トン) であるとした。

直近年の親魚量は限界管理基準値を下回るため、漁獲圧が βF_{msy} から引き下げられる。そのため、漁獲量は $F_{current}$ を下回る水準で推移する。また親魚量、資源量は良い加入が期待されている 2015、2016 年級群の加入により増加した後は、平均的には緩やかに増加していくと予測される。ただしその変動は大きく、80%信頼区間の幅は非常に広い。また B_{ban} に代替値を用いても、標準値を用いた場合とほぼ同じ結果であった。

(2) チューニングパラメータ β を変えた場合

将来予測において β を 0~1 の間で変えた場合の、目標管理基準値への回復確率、限界管理基準値への回復確率、平均親魚量の推移、平均漁獲量の推移を表 2~5 にそれぞれ示す。本系群における親魚量の増加は緩やかであるため目標管理基準値への回復確率は低く推移し、2030 年漁期以前では β を 0 とした場合 (すなわち禁漁とした場合) でも 50%を越えない。2050 年漁期においては、 β が 0.6 以下の場合で目標管理基準値への回復確率は 50%を超えるが、予測における信頼区間の幅は広く (図 6、図 7)、不確実性は高いと考えられる。限界管理基準値への回復確率は、 β が 0.7 以下の場合においては 2030 年漁期に 50%を上回る。親魚量はどの時点においても β の値が低い方が多くなる。また漁獲量は β の値が高い方が多くなる傾向にあり、特に 2030 年漁期以前では $\beta = 1.0$ 、2050 年漁期においても $\beta = 0.9$ で最も高くなった。また B_{ban} に代替値を用いた場合、管理開始直後の漁獲量はやや低く、親魚量はやや多くなるが、その後の推移はほぼ同様であり管理基準値への回復確率なども標準値を用いた場合とほぼ同じ結果であった。

3. まとめ

本系群の再生産関係および管理基準値等の検討には、平成 30 年度スケトウダラ日本海北

部系群の資源評価におけるデータを用いた。当該資源評価における本系群の資源状態は、1980年漁期以降の親魚量の推移から資源水準は低位、最近5年間（2013～2017年漁期）の親魚量の推移から資源動向は増加と判断されている。また豊度が比較的高い2012年級群、および調査船調査から高い豊度が期待される2015、2016年級群の加入により、今後も親魚量の増加が予測されている。しかし、これらの増加を見込んでも親魚量は歴史的に見た水準において低い値であること、また親魚量と加入量には正の相関が見られることから、資源を安全かつ有効に利用するためには資源の十分な回復が必要であると考えられる。

本系群の再生産関係については、データの観測範囲内に密度効果が認められないことから自己相関を考慮しないHSとし、最適化法としてはAICをもとに最小二乗法を用いた。各管理基準については、目標管理基準値はMSYを達成する資源水準と定められていることから、この再生産関係から推定されるSBmsy（382千トン）を用い、限界管理基準値には標準値であるSB0.6msy（171千トン）、禁漁水準にはSB0.1msy（25千トン）または経験的な代替値（30千トン）をそれぞれ設定した。ここで、MSYを達成するときの漁獲率は7%、漁獲圧はFcurrentの0.92倍である。また禁漁水準に代替値を用いることが将来予測に与える影響は非常に軽微であることから、本系群の禁漁水準には標準値であるSB0.1msyを提案する。

このほか、将来の加入を推定する際の年限や管理基準値にこれまでの管理において用いていた設定を用いた場合の試算結果を補足資料2に示す。ここで、再生産曲線の傾きは良い加入の年代が除外されることからやや低くなり予測は悲観的となる。しかし、近年の再生産成功率（加入尾数/親魚量）は過去の良い年代と近い値も得られていることから、本系群の管理にはこれまでの基準は用いず、全年のデータからの推定値を用いることとした。

以上の提案を基にした本系群の将来予測においては、 β が小さいほど親魚量は早くに回復すると予測された。ただし平均的に期待される加入量は概して低いことから、資源の回復は非常に緩やかであり、10年以内では漁獲を0とした場合においても親魚量が目標管理基準値まで回復する確率は14%と低い値に留まる。また、禁漁水準からの回復に要する年数は、漁獲を0とした場合でも20年以上と推測された（補足資料5）。

漁獲率は現状の漁獲圧であっても10%未満の低い水準（2015～2017年漁期）であるがFmsyにおいても7%と推定されるため、漁獲が資源に与える影響は限定的であり、今後20～30年間における漁獲量は概ね調整係数 β を1.0とした場合において最も大きくなると予測される。このため、資源量の増加に関しては β を低く設定することが望ましいが、漁獲量の短期的～長期的な挙動においては β を低くするメリットは小さいと考えられる。

4. 今後の検討事項

本系群の再生産関係においては、HSの折れ点を過去最大親魚量として設定した。ここで、本系群のデータは大半が資源減少期のものであるため、今後資源増加期のデータが追加されることで再生産曲線の式が変化する点には注意が必要である。

（執筆者：山下夕帆、境 磨、千村昌之、石野光弘）

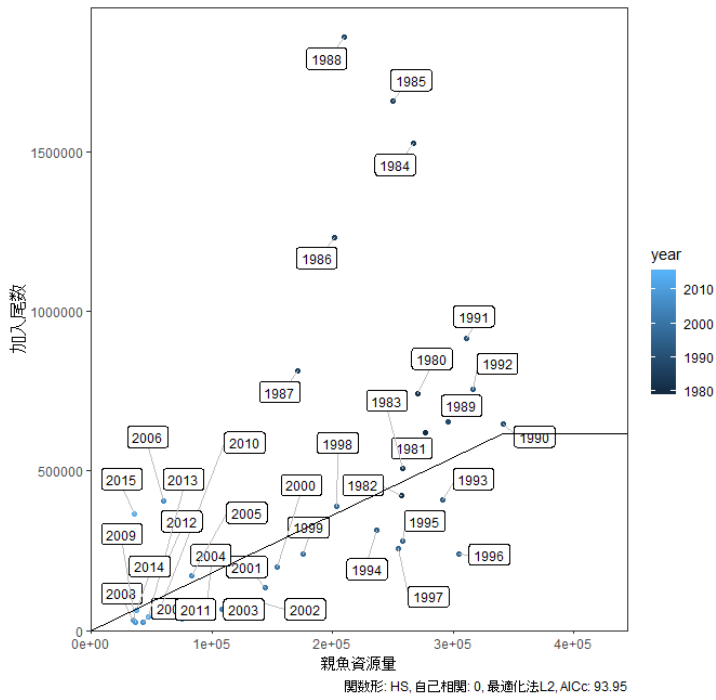


図 1. 再生産関係

図中の数字は年級群を示す。再生産曲線にはホッケー・スティック型 (HS) を用い、自己相関を考慮しない最小二乗法によりパラメータ推定を行った。

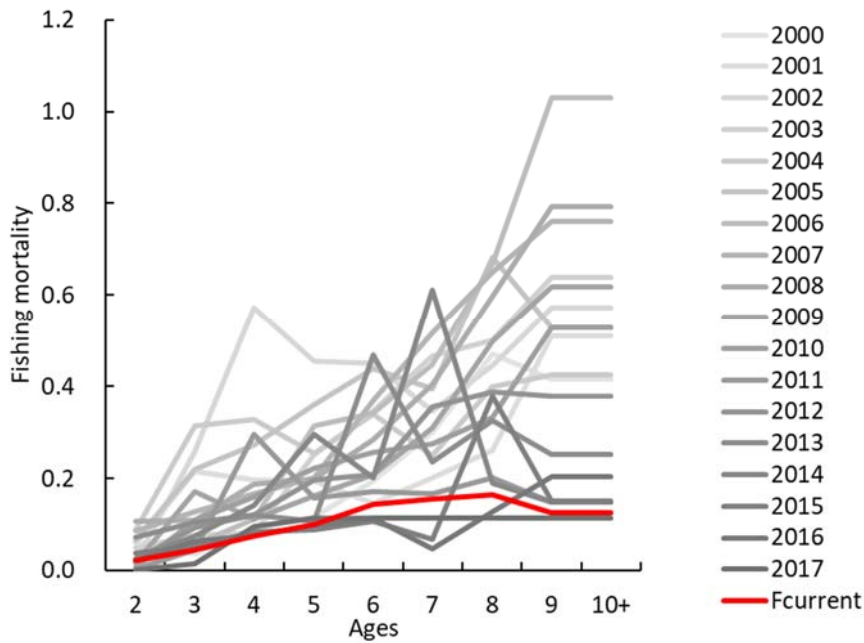


図 2. 年齢別 F 値

現状の漁獲圧 (Fcurrent) を示す年齢別 F 値を赤線で、2000 年漁期以降の各年の F 値を灰色線で示した。

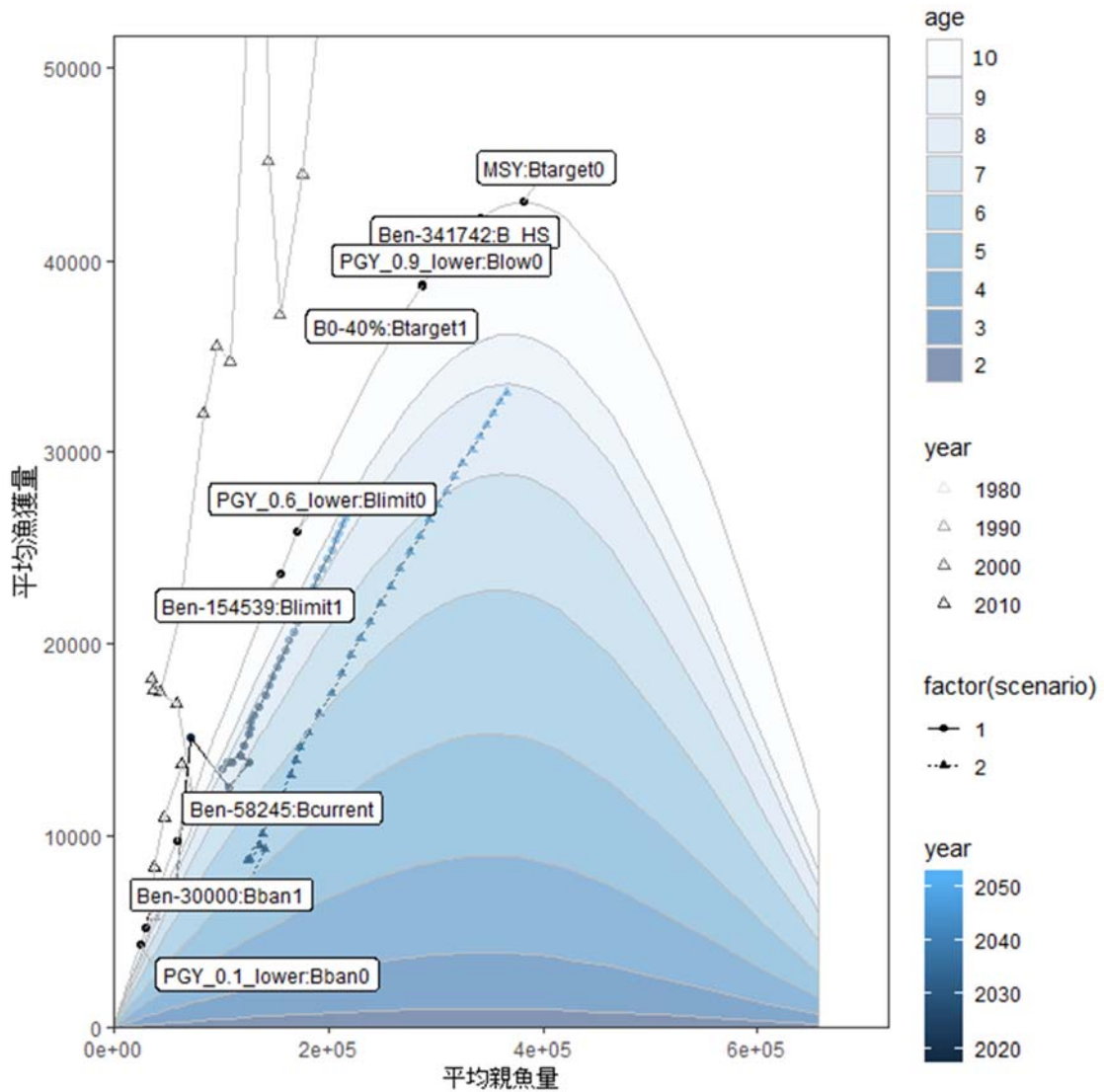


図3. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線の関係

仮定された再生産関係を用いた将来予測での平衡状態における親魚量（トン）に対する年齢別漁獲量（トン）の平均値を面で、漁獲量と親魚量の観測値（△）と将来予測（●:Fcurrent による漁獲、▲:標準値を用いた漁獲管理規則（HCR）による漁獲）における推移を折れ線で示した。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量（SB0）は718千トンである。

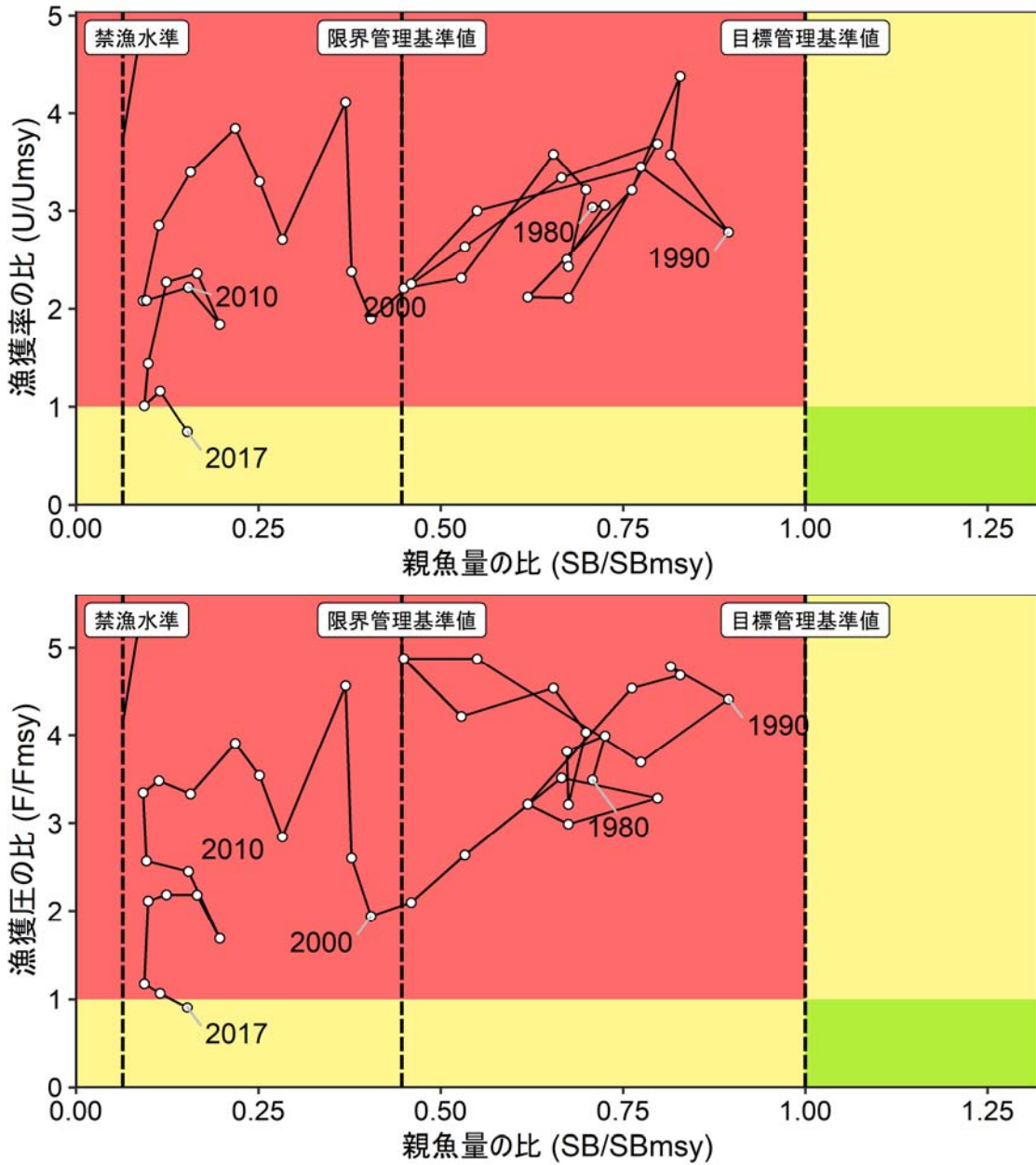


図4. 漁獲率（上図）および漁獲圧（下図）に基づく神戸プロット（4区分）

図中の B_{target} 、 B_{limit} 、および B_{ban} はそれぞれ親魚量に対する管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、および SB_{ban} を示す。これらの基準値には、それぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。

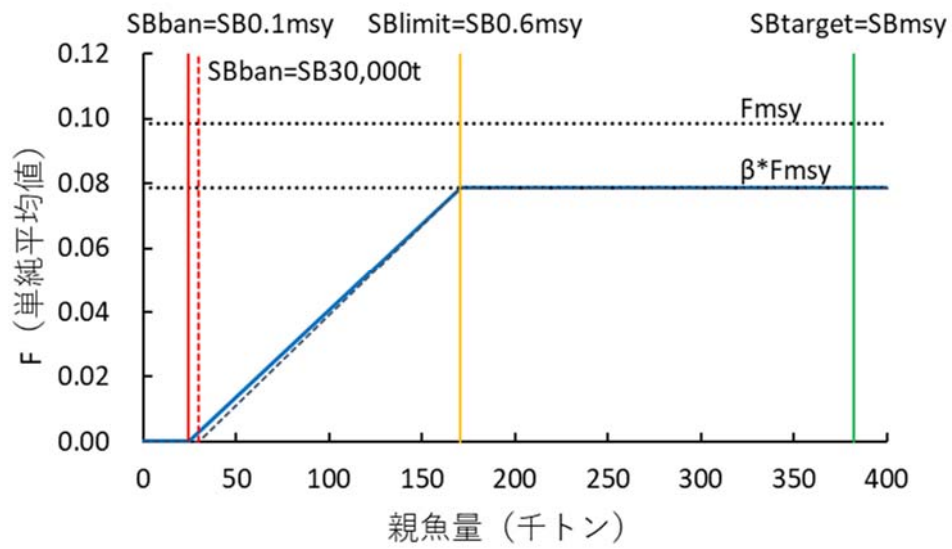
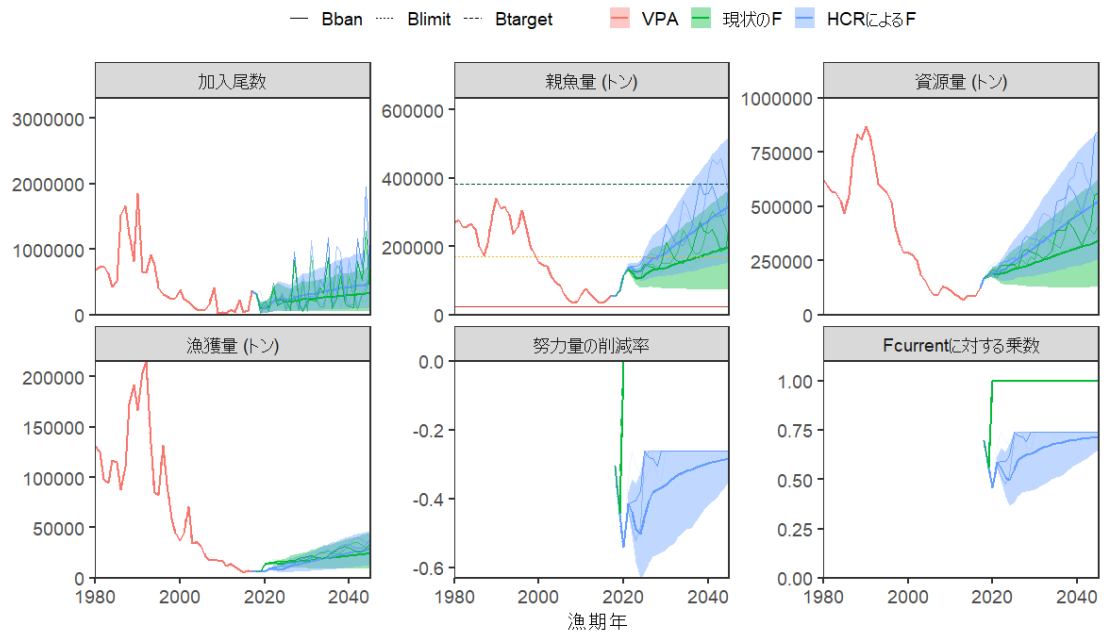


図 5. 漁獲管理規則 (HCR)

親魚量に対する管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、および SB_{ban} には、それぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ または代替値 ($SB_{30,000t}$) を用い、標準値による HCR は青実線で、代替値による HCR は青破線で示した。チューニングパラメータ β には標準値である 0.8 を用いた。

a) 管理基準値に SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた場合



b) 管理基準値に SBmsy、SB0.6msy、SB3 万トン (代替値) を用いた場合

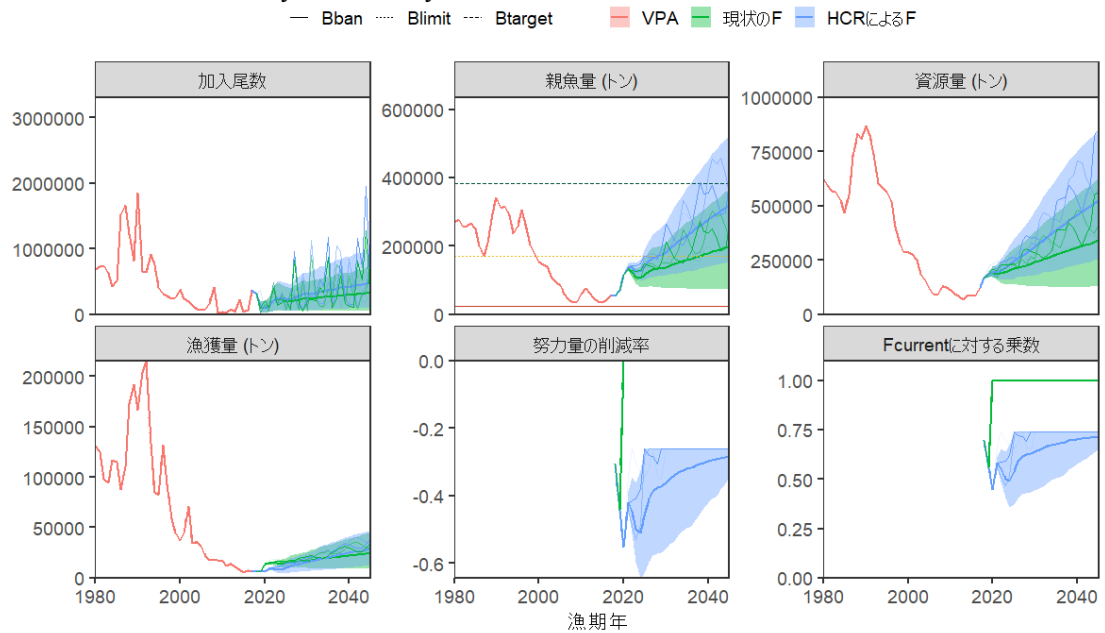


図 6. 漁獲管理規則による将来予測の平均値 (実線) と 80%信頼区間

漁獲管理規則の管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban を a) SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy とした場合および b) SBban を代替値 (SB3 万トン) とした場合について、加入尾数 (千尾)、親魚量 (トン)、資源量 (トン)、漁獲量 (トン)、努力量の削減率および Fcurrent に対する乗数の推移を示す。親魚量の図中の緑破線は目標管理基準値、黄点線は限界管理基準値、赤線は禁漁水準である。漁獲管理規則での漁獲は 2020 年漁期から行い、2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。βには標準値である 0.8 を用いた。

表 1. 各種管理基準値と、平衡状態のときの平均親魚量（トン）、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（トン）、漁獲量の変動係数、漁獲率、および現状の漁獲圧（Fcurrent）に対する努力量の乗数の関係

管理基準値	親魚資源量	SB0に対する比	漁獲量	漁獲量の変動係数	漁獲率	努力量の乗数
SBtarget0 (SBmsy)	382,000	0.53	43,000	0.40	0.07	0.92
SBlow0 (SB0.9msy)	288,000	0.40	39,000	0.54	0.08	1.10
SBlimit0 (SB0.6msy)	171,000	0.24	26,000	0.87	0.09	1.24
SBban1 (30,000t)	30,000	0.04	5,000	2.39	0.10	1.43
SBban0 (SB0.1msy)	25,000	0.03	4,000	2.71	0.10	1.45

管理基準値の末尾に 0 が付記されているものはデフォルトルールでの値、1 が付記されているものはその他の基準における値を示す。

表 2. 将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率（%） $\beta = 0.1 \sim 1.0$ とし、漁獲管理規則の管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban を a) SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy とした場合、および b) SBban を代替値（SB3 万トン）とした場合の推移を示す。

a) 管理基準値にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた場合

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	10	22
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	13	28
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	18	37
0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	24	46
0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	30	55
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	38	65
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	46	75
0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	7	54	83
0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	6	9	63	89
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	5	7	11	72	94
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	6	9	14	79	97

漁獲管理規則で 2020 年漁期から漁獲した場合の将来予測結果に基づく。2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。

b) 管理基準値にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB3 万トン（代替値）を用いた場合

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	10	22
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	14	29
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	18	37
0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	24	46
0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	30	56
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	38	65
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	46	75
0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	7	54	83
0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	6	9	63	89
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	5	7	11	72	94
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	6	9	14	79	97

漁獲管理規則で 2020 年漁期から漁獲した場合の将来予測結果に基づく。2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。

表 3. 将来の親魚量が限界管理基準値を上回る確率 (%) $\beta = 0.1 \sim 1.0$ とし、漁獲管理規則の管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban を a) SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy とした場合、および b) SBban を代替値 (SB3 万トン) とした場合の推移を示す。

a) 管理基準値にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた場合

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	0	0	0	0	3	3	5	12	23	29	31	32	36	66	79
0.9	0	0	0	0	4	3	5	14	25	32	35	37	41	72	85
0.8	0	0	0	0	4	4	6	15	28	35	39	41	46	78	90
0.7	0	0	0	0	4	5	7	18	31	40	44	47	51	83	94
0.6	0	0	0	1	5	5	8	20	34	44	49	52	57	87	96
0.5	0	0	0	1	6	6	10	22	38	48	54	58	63	92	98
0.4	0	0	0	1	6	7	11	25	42	53	60	64	69	95	99
0.3	0	0	0	1	7	9	13	29	46	58	65	69	75	97	100
0.2	0	0	0	1	8	10	16	33	51	63	70	75	80	98	100
0.1	0	0	0	1	10	12	19	37	56	68	75	80	85	99	100
0.0	0	0	0	1	11	15	22	42	62	74	81	85	89	100	100

漁獲管理規則で 2020 年漁期から漁獲した場合の将来予測結果に基づく。2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。

b) 管理基準値にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB3 万トン (代替値) を用いた場合

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	0	0	0	0	3	3	5	12	23	29	32	33	36	66	80
0.9	0	0	0	0	4	3	5	14	25	32	36	37	41	72	86
0.8	0	0	0	0	4	4	6	16	28	36	40	42	46	78	90
0.7	0	0	0	0	4	5	7	18	31	40	44	47	52	83	94
0.6	0	0	0	1	5	5	8	20	35	44	49	52	57	88	96
0.5	0	0	0	1	6	6	10	22	38	48	54	58	63	92	98
0.4	0	0	0	1	6	7	11	25	42	53	60	64	69	95	99
0.3	0	0	0	1	7	9	13	29	46	58	65	70	75	97	100
0.2	0	0	0	1	8	10	16	33	51	63	70	75	80	98	100
0.1	0	0	0	1	10	12	19	37	56	68	75	80	85	99	100
0.0	0	0	0	1	11	15	22	42	62	74	81	85	89	100	100

漁獲管理規則で 2020 年漁期から漁獲した場合の将来予測結果に基づく。2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。

表 4. 将来の親魚量(千トン)の推移 $\beta = 0.1 \sim 1.0$ とし、漁獲管理規則の管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban を a) SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy とした場合、および b) SBban を代替値 (SB3 万トン) とした場合の平均値を示す。

a) 管理基準値にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた場合

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	55	71	115	139	133	122	120	133	148	155	159	161	166	235	291
0.9	55	71	115	140	135	124	122	136	151	160	164	167	173	254	321
0.8	55	71	115	141	136	127	125	139	155	165	170	174	181	276	354
0.7	55	71	115	141	138	129	128	142	159	170	176	181	190	301	389
0.6	55	71	115	142	140	132	131	146	163	175	183	189	199	328	427
0.5	55	71	115	143	142	134	134	149	168	181	191	198	210	359	467
0.4	55	71	115	144	144	137	137	153	173	188	199	208	221	392	508
0.3	55	71	115	145	146	140	141	158	179	195	207	219	233	429	551
0.2	55	71	115	146	148	143	145	162	185	202	217	230	247	470	596
0.1	55	71	115	146	150	147	149	167	191	210	227	243	262	513	642
0	55	71	115	147	152	150	153	173	198	219	238	256	278	560	689

漁獲管理規則で 2020 年漁期から漁獲した場合の将来予測結果に基づく。2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。

b) 管理基準値にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB3 万トン (代替値) を用いた場合

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	55	71	115	139	133	122	120	133	148	156	159	161	167	236	292
0.9	55	71	115	140	135	124	122	136	152	160	165	168	174	255	322
0.8	55	71	115	141	137	127	125	139	155	165	171	174	182	277	355
0.7	55	71	115	142	139	129	128	142	159	170	177	182	190	302	390
0.6	55	71	115	142	140	132	131	146	164	176	184	190	200	329	428
0.5	55	71	115	143	142	135	134	150	168	182	191	199	210	359	467
0.4	55	71	115	144	144	137	138	154	173	188	199	208	221	393	509
0.3	55	71	115	145	146	140	141	158	179	195	208	219	234	430	552
0.2	55	71	115	146	148	143	145	163	185	203	217	230	247	470	596
0.1	55	71	115	146	150	147	149	168	191	211	227	243	262	513	642
0	55	71	115	147	152	150	153	173	198	219	238	256	278	560	689

漁獲管理規則で 2020 年漁期から漁獲した場合の将来予測結果に基づく。2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。

表 5. 将来の漁獲量(千トン)の推移 $\beta = 0.1 \sim 1.0$ とし、漁獲管理規則の管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban を a) SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy とした場合、および b) SBban を代替値 (SB3 万トン) とした場合の平均値を示す。

a) 管理基準値にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた場合

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	6.3	6.3	7.9	11.2	11.1	10.1	9.9	11.5	13.5	14.8	15.5	16.0	16.8	25.6	32.4
0.9	6.3	6.3	7.1	10.2	10.3	9.4	9.3	10.8	12.7	14.0	14.8	15.4	16.2	25.3	32.5
0.8	6.3	6.3	6.3	9.2	9.4	8.8	8.7	10.1	11.8	13.1	13.9	14.6	15.4	24.8	32.0
0.7	6.3	6.3	5.6	8.2	8.5	8.0	8.0	9.2	10.9	12.0	12.9	13.6	14.4	23.8	30.9
0.6	6.3	6.3	4.8	7.2	7.5	7.2	7.2	8.3	9.8	10.9	11.7	12.4	13.2	22.5	29.2
0.5	6.3	6.3	4.0	6.1	6.5	6.3	6.3	7.3	8.5	9.5	10.3	11.0	11.8	20.6	26.6
0.4	6.3	6.3	3.2	4.9	5.4	5.2	5.3	6.1	7.2	8.0	8.8	9.4	10.1	18.1	23.2
0.3	6.3	6.3	2.4	3.8	4.2	4.1	4.2	4.8	5.7	6.4	7.0	7.5	8.1	14.9	18.9
0.2	6.3	6.3	1.6	2.6	2.9	2.9	3.0	3.4	4.0	4.5	4.9	5.3	5.8	10.9	13.6
0.1	6.3	6.3	0.8	1.3	1.5	1.5	1.6	1.8	2.1	2.4	2.6	2.8	3.1	5.9	7.3
0	6.3	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

漁獲管理規則で 2020 年漁期から漁獲した場合の将来予測結果に基づく。2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。

b) 管理基準値にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB3 万トンを (代替値) 用いた場合

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	6.3	6.3	7.7	11.1	11.0	9.9	9.8	11.4	13.5	14.8	15.5	16.1	16.9	25.7	32.5
0.9	6.3	6.3	7.0	10.2	10.2	9.3	9.2	10.8	12.7	14.0	14.8	15.4	16.2	25.4	32.6
0.8	6.3	6.3	6.2	9.2	9.4	8.7	8.6	10.0	11.8	13.1	13.9	14.6	15.4	24.8	32.1
0.7	6.3	6.3	5.4	8.2	8.5	7.9	7.9	9.2	10.8	12.0	12.9	13.6	14.4	23.9	31.0
0.6	6.3	6.3	4.7	7.1	7.5	7.1	7.1	8.3	9.8	10.9	11.7	12.4	13.2	22.5	29.2
0.5	6.3	6.3	3.9	6.0	6.4	6.2	6.3	7.2	8.5	9.5	10.3	11.0	11.8	20.6	26.6
0.4	6.3	6.3	3.1	4.9	5.3	5.2	5.3	6.1	7.2	8.0	8.8	9.4	10.1	18.1	23.2
0.3	6.3	6.3	2.4	3.7	4.1	4.1	4.2	4.8	5.7	6.4	7.0	7.5	8.1	14.9	18.9
0.2	6.3	6.3	1.6	2.5	2.8	2.9	2.9	3.4	4.0	4.5	4.9	5.3	5.8	10.9	13.6
0.1	6.3	6.3	0.8	1.3	1.5	1.5	1.6	1.8	2.1	2.4	2.6	2.8	3.1	5.9	7.3
0	6.3	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

漁獲管理規則で 2020 年漁期から漁獲した場合の将来予測結果に基づく。2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。

補足資料 1 再生産関係式のモデル診断結果について

スケトウダラ日本海北部系群の再生産関係について、1980 年漁期以降のデータを用いた HS を適用した。このモデルへのデータの適合について各種診断結果を以下に示す。

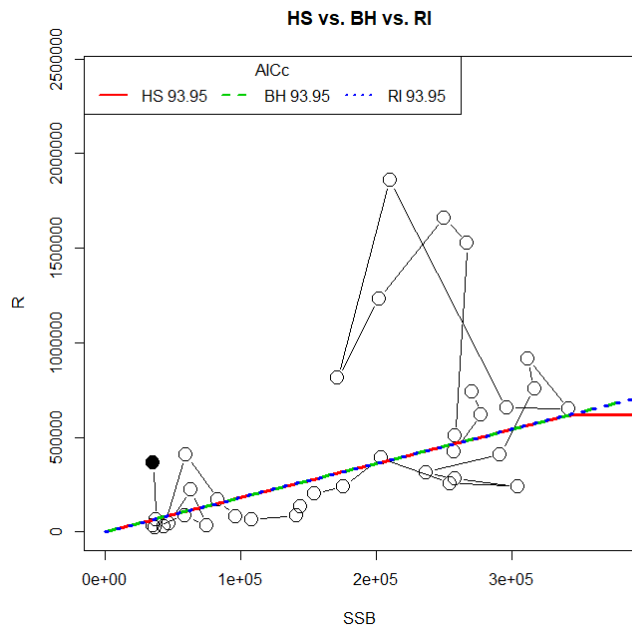
補足図 1-1 に HS、BH、RI の各モデルにおける再生産曲線をそれぞれ示した。なおこれらのモデルは最小二乗法により最適化した。ここで、観測範囲内においてこれら 3 曲線は重複しており、AIC も同値である。ただし HS では最大親魚量に折れ点を設定できるため、ここ以上の範囲においては加入量は一定と仮定できる。

この HS 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度および残差ブートストラップにおける 80%信頼区間、ジャックナイフ解析における推定値を補足図 1-2 に示す。ここで、パラメータ b の値の上限は観測最大値で途切れ、また b が小さくなっても尤度の変化は比較的小さい。

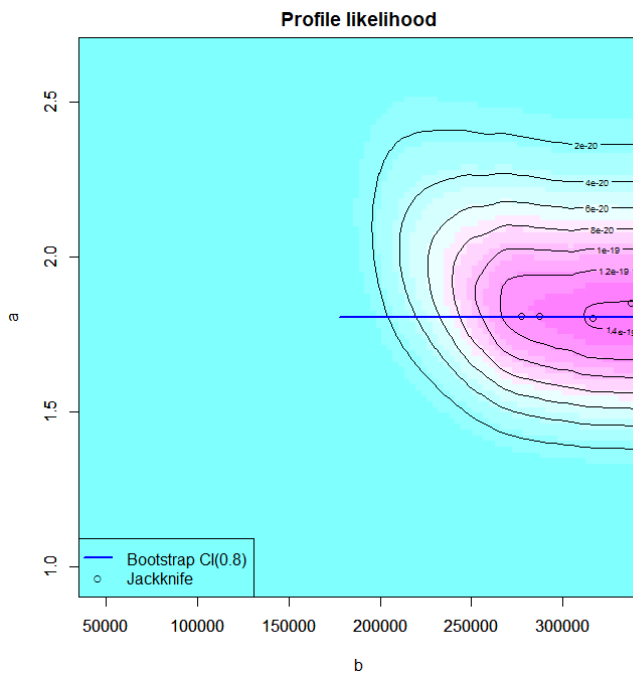
モデルに対する残差の正規性（補足図 1-3）では、Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定の双方において有意な逸脱は検出されなかった。残差の経年的なトレンド（補足図 1-4）では、残差は 2005 年頃にかけて低下傾向を示したのち直近年に向けては増加傾向を示しており、明確なパターンは認められない。自己相関については 1 年の Lag では有意であり（補足図 1-4）、この時の自己相関係数（rho）は 0.40 と推定された。

パラメータ推定の信頼性について、残差ブートストラップを行い検証した（補足図 1-5、1-6）。ここで、 a および σ については推定値の中央値と点推定値がほぼ一致したが、 b については信頼区間がやや広く中央値は点推定値よりやや低くなった。

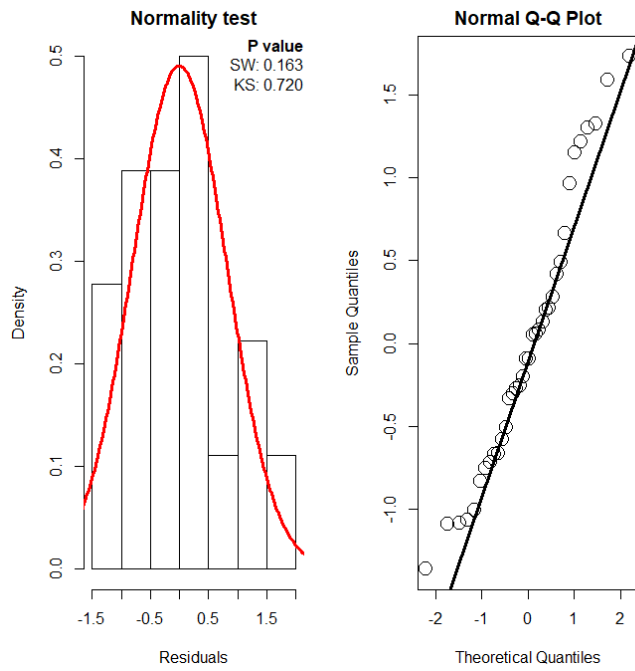
パラメータ推定の頑健性の確認のため、データを一点ずつ除きジャックナイフ解析を行った（補足図 1-7、1-8）。ここで、 b については 1992～1994 年（1990～1992 年級群）のデータの影響が強く、特に 1993 年（1991 年級群）のデータを除くと b の推定値が小さくなることが示された。このうち、1992 年（1990 年級群）は過去最大の親魚量であるが、1993 年（1991 年級群）を除いた時に折れ点が最も小さくなることから、この年の影響が比較的大きいと考えられる。 a および σ については推定値の変化量は小さく、各データの除去に対して比較的頑健であった。



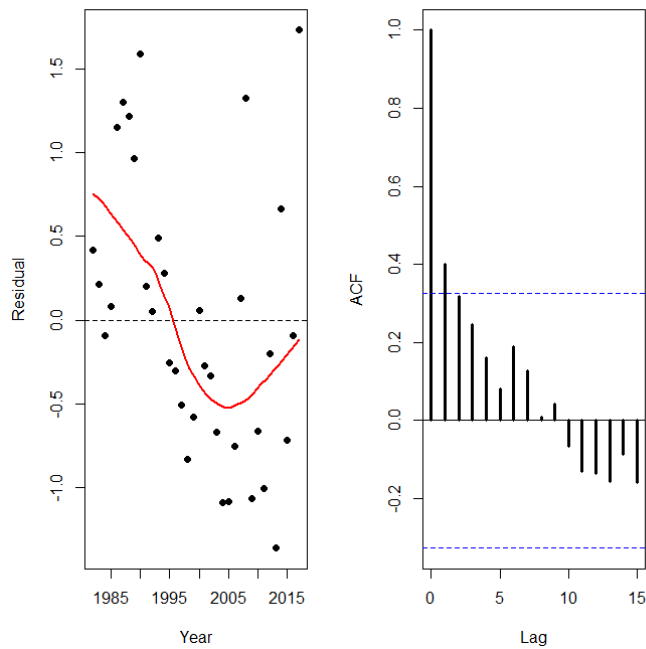
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産曲線 ●は最近年（2015 年級群）を示し、赤線はホッケー・スティック型再生産曲線（HS）、緑線はベバートン・ホルト型再生産曲線（BH）、青線はリッカー型再生産曲線（RI）での推定値をそれぞれ示す。



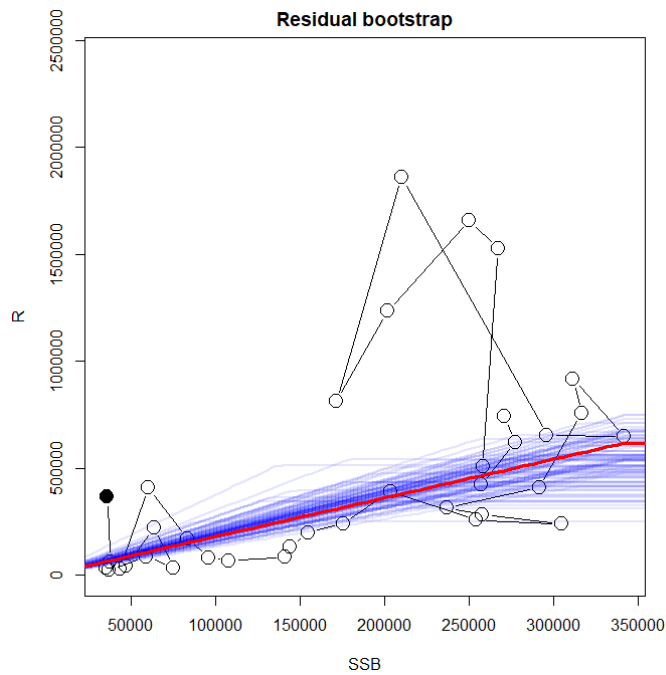
補足図 1-2. HS 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度 残差ブートストラップにおける 80%信頼区間（青線）とジャックナイフ解析における推定値（○）を併せて示した。



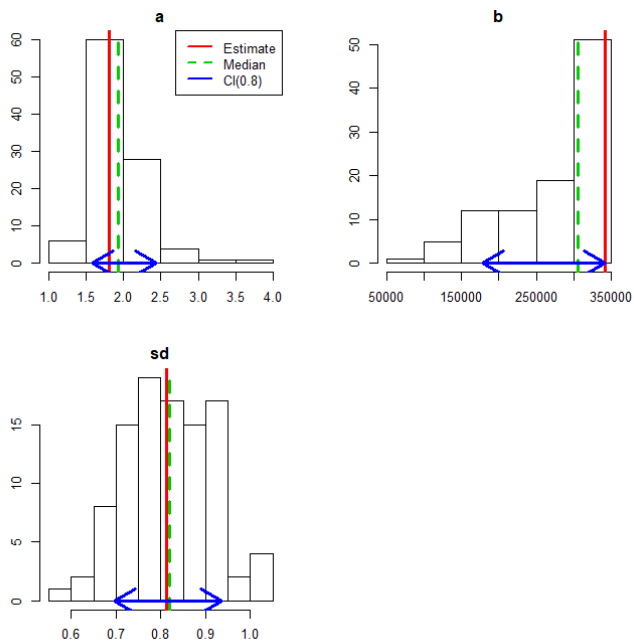
補足図 1-3. 残差分布の正規性テスト結果（左）と QQ プロット（右）



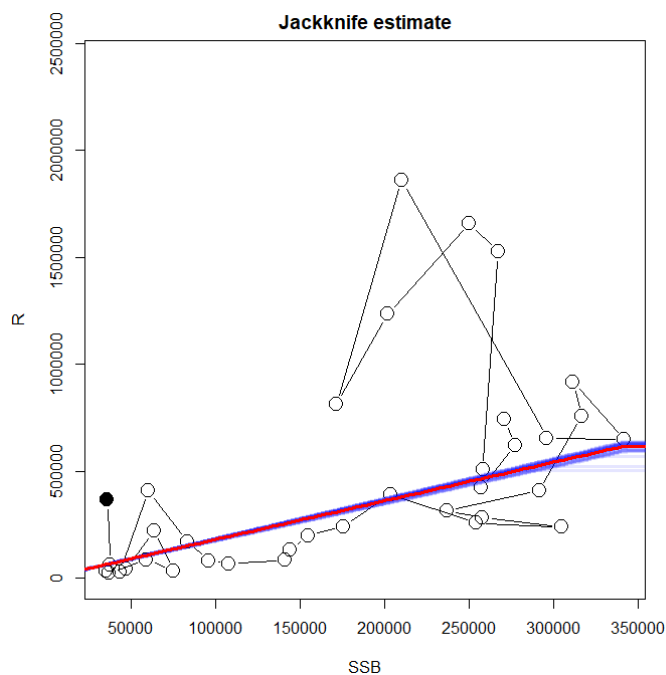
補足図 1-4. 残差のトレンド（左）と自己相関係数（右）



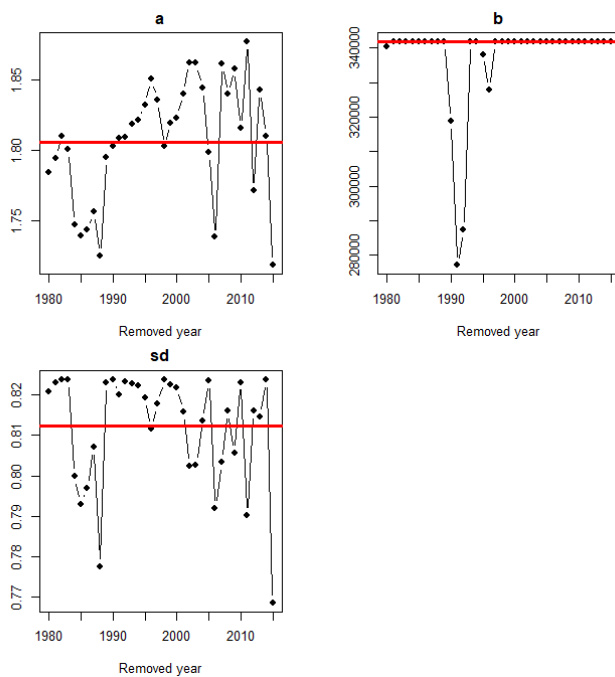
補足図 1-5. 残差ブートストラップにおける HS 曲線の推定結果 ●は最近年(2015 年級群)を示し、赤線は元データでの推定値、青線は各ブートストラップでの推定値を示す。



補足図 1-6. 残差ブートストラップにおける HS 曲線のパラメータ推定値 傾き (a)、折れ点 (b)、残差 (c) についてのヒストグラムと元データでの推定値 (赤線)、中央値 (緑破線)、80%信頼区間 (青線範囲) を示す。



補足図 1-7. ジャックナイフ解析における HS 曲線の推定結果 ●は最近年（2015 年級群）を示し、赤線は全データでの推定値、青線は各年を除外した場合の推定値を示す。



補足図 1-8. ジャックナイフ解析における HS 曲線のパラメータ推定値 傾き (a)、折れ点 (b)、残差 (c) について各年を除外した場合の推定値 (折れ線) と全データでの推定値 (赤線) を示す。

補足資料2 過去の基準に基づく再生産関係と将来予測について

これまでの資源評価における ABC の推定においては、将来の加入量は 1989 年級群以降の平均 RPS を用いて推定し、Blimit は 2000 年親魚量、Bban は 3 万トンと設定されている。ここで、新ルールにおいてこれらの設定を用いた場合の試算結果を示す。

1989 年級群以降のみのデータを用いた場合のモデル選択に関するパラメータは下表に示す。

再生産関係式	最適化法	AICc	Δ AIC	Δ AIC の順位	S.D.	データ数
HS	最小二乗法	65.6	0	1	0.715	27
RI	最小二乗法	65.6	0.0	3	0.715	27
BH	最小二乗法	65.6	0	1	0.715	27
HS	最小絶対値法	65.8	0.25	4	0.773	27
RI	最小絶対値法	65.8	0.25	4	0.773	27
BH	最小絶対値法	65.8	0.25	6	0.773	27

1989 年級群以降の再生産関係を用いた場合においても、全データでの推定と同様に観測範囲内に密度効果は認められないため（補足図 2-1、2-2）、再生産曲線としては折れ点を観測最大値とする HS を用いることとした。また最適化方法に最小二乗法を用いた場合で AIC が最も小さくなった。残差の自己相関は有意ではなく（補足図 2-2）、またこの場合の自己相関係数も 0.096 と低い値であった。

以上の結果から、1989 年級群以降のみのデータを用いる場合においても、最小二乗法で最適化した自己相関を用いない HS を再生産関係式として用いることとした。各パラメータは下表に示す。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.
ホッケー・スティック型	最小二乗法	無	1.401	341,743	0.715

ここで、a は HS の折れ点までの再生産曲線の傾き（尾/kg）、b は HS の折れ点となる親魚量（トン）である。

この場合におけるプロファイル尤度の変化は a、b 共に比較的小さく（補足図 2-3）、ジャックナイフ解析においても推定値は概ね安定しており各データの除去に対して比較的頑健であると判断される（補足図 2-4、2-5）。

ここで、目標管理基準値には標準値である MSY 水準における親魚量 (SBmsy) を設定し、限界管理基準値および禁漁水準にはこれまでと同じ 2000 年漁期親魚量 (SB2000) と親魚量水準 3 万 t (SB30,000t) を用いた。各水準における資源量は次表に示す。

管理基準値	親魚量	基準
目標管理基準値 SBtarget	342 千トン	SBmsy
限界管理基準値 SBlimit	154 千トン	SB2000
禁漁水準 SBban	30 千トン	SB30,000t

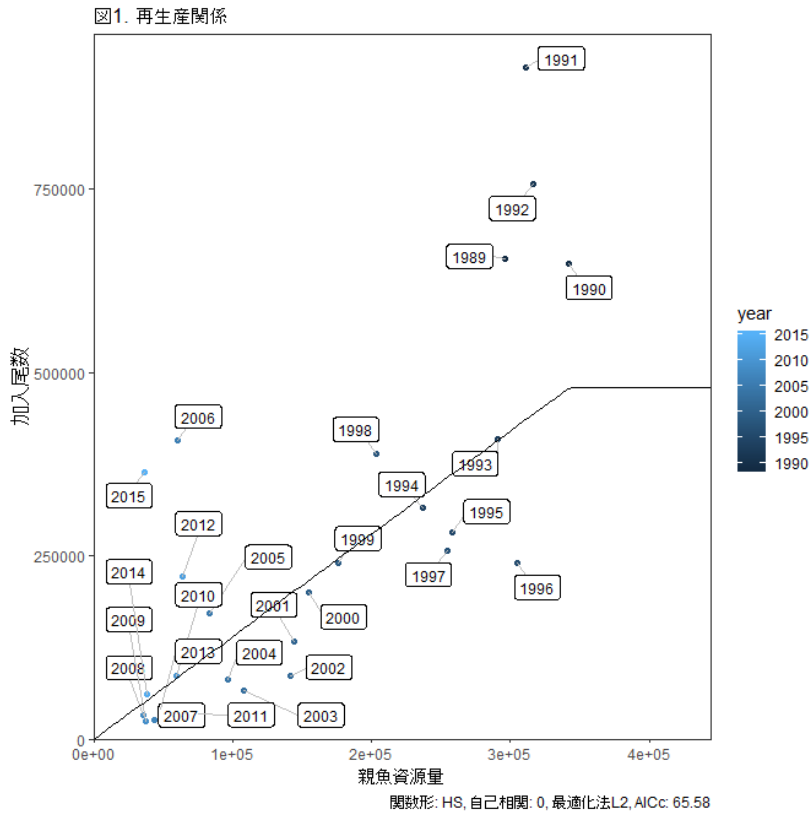
本系群における各基準値は補足表 2-1 に示す。ここで、SBmsy は過去最大親魚量をやや下回る値となったが、これは再生産曲線の傾きが低くかつ残差のばらつきが大きいことに起因していると考えられる。

上表の目標管理基準値を用いた神戸プロットを補足図 2-6 に示す。本系群における漁獲割合は常に Fmsy を越えおり、また現状の親魚量は目標管理基準値を大きく下回っていると判断される。目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準を用いた漁獲管理規則における親魚量と漁獲係数の関係は補足図 2-7 に示す。

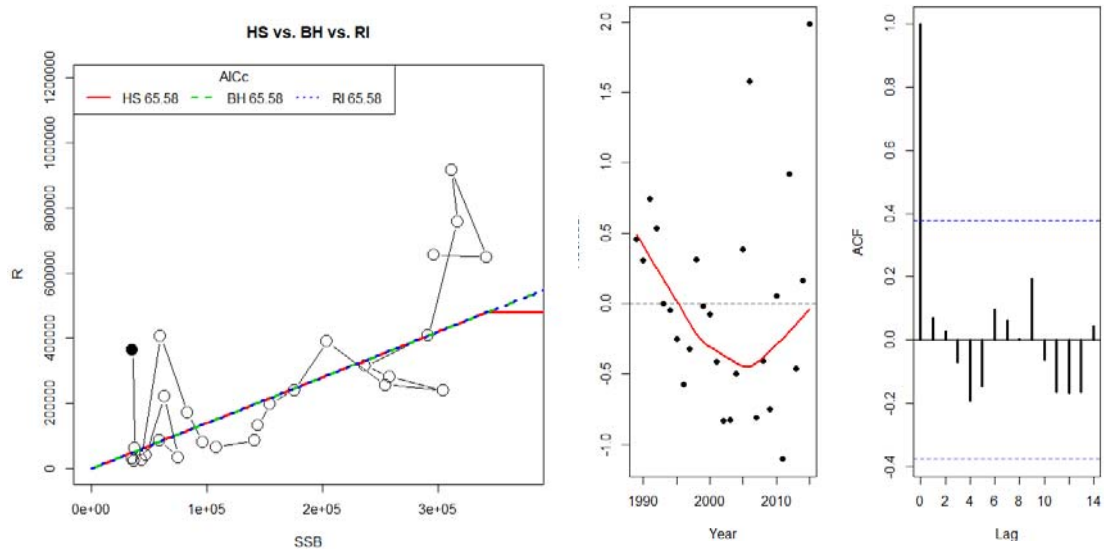
目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準に上表で示した値を用い、 β にも標準値である 0.8 を用いた場合の資源量、親魚量、漁獲量、加入量、および努力量の削減率 (Fcurrent からの削減率) の推移を補足図 2-8 に示す。漁獲の制御は 2020 年漁期から開始し、2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量 (6.3 千トン) であるとした。ここでも漁獲量は Fcurrent を下回って推移し、2020 年漁期の漁獲量は約 4.3 千トンである。また 90%信頼区間の幅は非常に広いが、Fcurrent では資源は減少する可能性が高いと考えられる。

将来予測において β を 0~1 の間で変えた場合の、目標管理基準値へ回復した確率、平均親魚量の推移、平均漁獲量の推移を補足表 2-2~2-4 にそれぞれ示す。全データでの結果と同様に β が高いほど親魚量は少なく、漁獲量は多くなる。ただし Btarget への回復確率は非常に低く、2040 年漁期以前では β を 0 とした場合でも 50%を越えない。

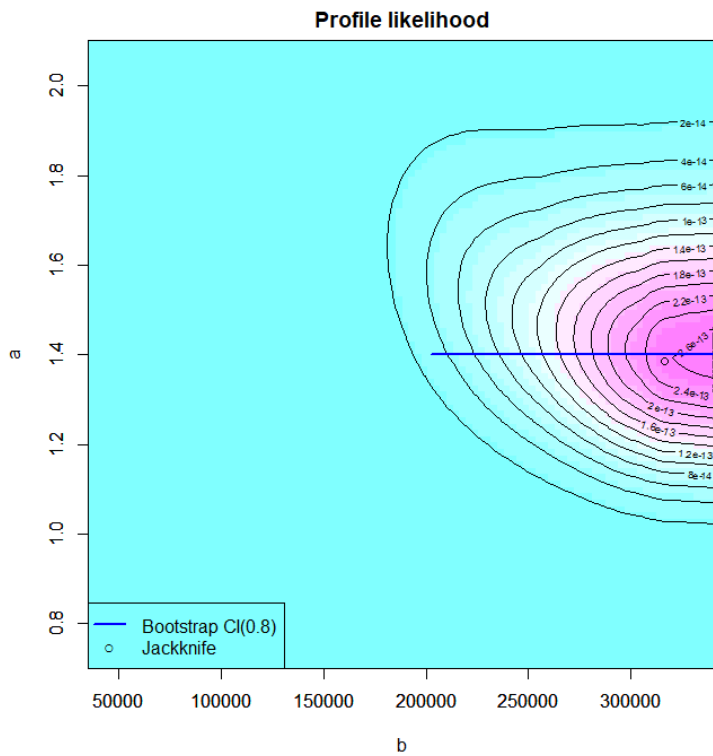
以上の結果から、再生産関係の推定に用いるデータを 89 年級群以降とした場合、全てのデータを用いたものよりも親魚量や漁獲量は低い値で推移する。これは高い加入が得られていた 1984~1988 年級群の情報を除外することに起因していると考えられる。ただし、本系群の近年の再生産成功率 (RPS) においては、2006 年級群として高い RPS が観測されたことに続き、2012 年級群の RPS も比較的高く、また各種調査から 2015 年級群および 2016 年級群においても高い RPS となることが期待されている。これらの状況から、本系群における加入状況は好転してきていると考えられるため、再生産関係の推定には良い加入が得られている 1980 年代も含めた全てのデータを用いることとした。



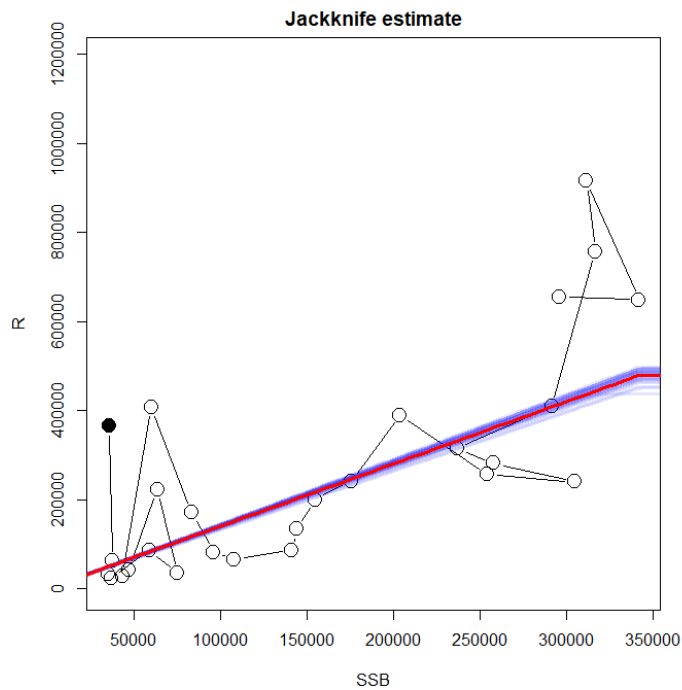
補足図 2-1. 1989 年級群以降の再生産関係 図中の数字は年級群を示す。再生産曲線にはホッケー・スティック型 (HS) を用い、自己相関は考慮しない最小二乗法によりパラメータ推定を行った。



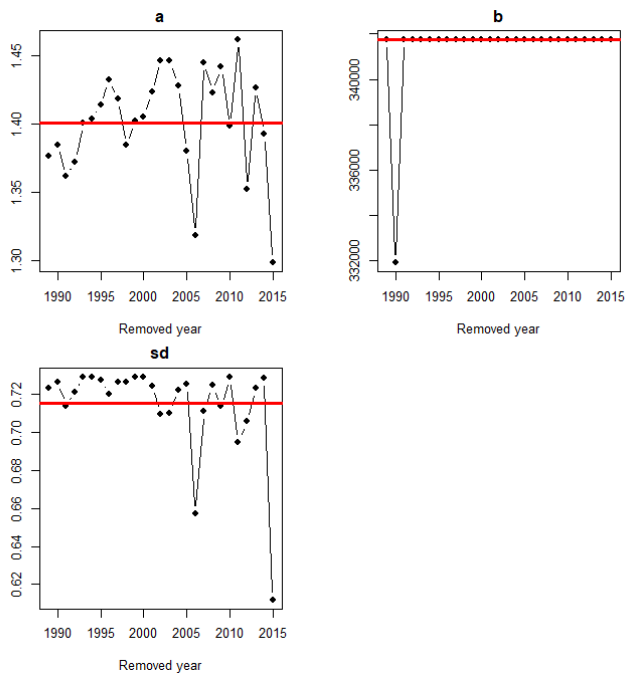
補足図 2-2. 各モデルにおける 1989 年級群以降の再生産曲線 (左)、HS における残差のトレンド (中) および自己相関係数 (右) ●は最近年 (2015 年級群)、左図の赤線はホッケー・スティック型再生産曲線 (HS)、緑線はベバートン・ホルト型再生産曲線 (BH)、青線はリッカー型再生産曲線 (RI) での推定値。



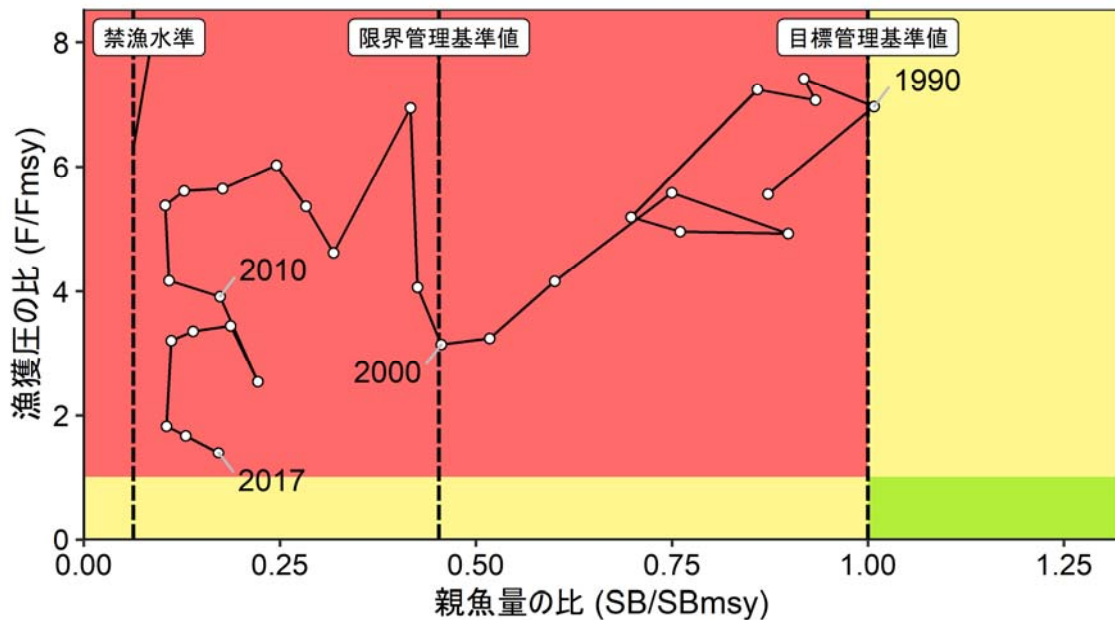
補足図 2-3. 1989 年級群以降の HS 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度 残差 ブートストラップにおける 80%信頼区間（青線）とジャックナイフ解析における推定値（○）を併せて示した。



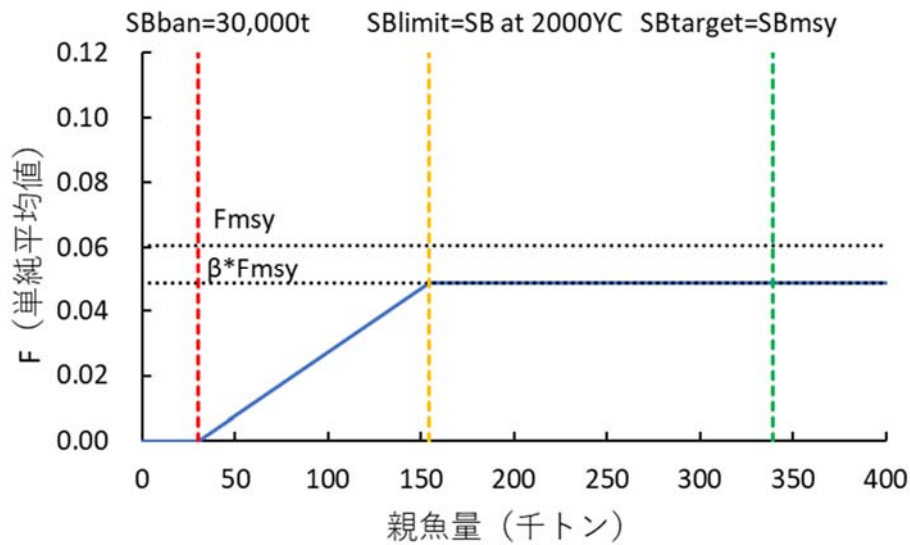
補足図 2-4. ジャックナイフ解析における 1989 年級群以降の HS 曲線の推定結果 ●は最近年（2015 年級群）を示し、赤線は全データでの推定値、青線は各年を除外した場合の推定値を示す。



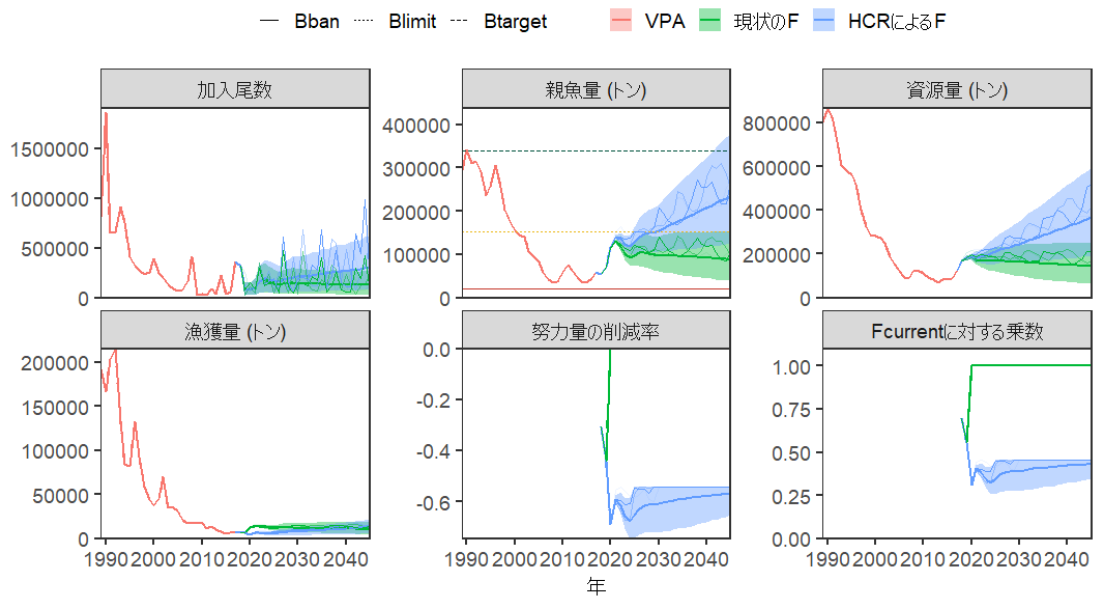
補足図 2-5. ジャックナイフ解析における 1989 年級群以降の HS 曲線のパラメータ推定値傾き (a)、折れ点 (b)、残差 (c) について各年を除外した場合の推定値 (折れ線) と全データでの推定値 (赤線) を示す。



補足図 2-6. 1989 年級群以降の再生産関係を用いた場合の神戸プロット (4 区分) 管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、 SB_{ban} にはそれぞれ SB_{msy} 、2000 年漁期親魚量、親魚量 3 万トンを用いた。



補足図 2-7. 1989 年級群以降の再生産関係を用いた場合の漁獲管理規則 親魚量に対する管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、2000 年漁期親魚量、親魚量 3 万トンを用い、 β には標準値である 0.8 を用いた。



補足図 2-8. 漁獲管理規則による将来予測の平均値（実線）と 80%信頼区間 管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にそれぞれ SBmsy、2000 年漁期親魚量、親魚量 3 万トンを用いた場合の加入尾数（千尾）、親魚量（トン）、資源量（トン）、漁獲量（トン）、努力量の削減率および Fcurrent に対する乗数を示す。2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6,300 トンとした。 β には標準値である 0.8 を用いた。

補足表 2-1. 1989 年級群以降の再生産関係を用いた場合の各種管理基準値と、平衡状態のときの平均親魚量（トン）、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（トン）、漁獲率および現状の漁獲圧に対する努力量の乗数の関係

管理基準値	親魚資源量	SB0に対する比	漁獲量	漁獲量の変動係数	漁獲率	努力量の乗数
SBtarget0 (SBmsy)	339,000	0.61	24,000	0.37	0.05	0.57
SBlow0 (SB0.9msy)	260,000	0.47	21,000	0.53	0.05	0.67
SBlimit1 (SB2000)	155,000	0.28	14,000	0.86	0.06	0.75
SBlimit0 (SB0.6msy)	154,000	0.28	14,000	0.86	0.06	0.76
Bban1 (30,000t)	30,000	0.05	3,000	2.03	0.07	0.88
Bban0 (SB0.1msy)	21,000	0.04	2,000	2.32	0.07	0.90

管理基準値の末尾に 0 が付記されているものはデフォルトルールでの値、1 が付記されているものはその他の基準における値を示す。

補足表 2-2. 1989 年級群以降の再生産関係を用いた場合の将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率（%） $\beta = 0.1 \sim 1.0$ とし、漁獲管理規則の管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban を SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy とした場合の推移を示す。

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	13
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	17
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	22
0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11	28
0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	14	35
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	18	43
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	23	52
0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	29	60
0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	35	68
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	42	76
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	4	49	83

漁獲管理規則で 2020 年漁期から漁獲した場合の将来予測結果に基づく。2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。

補足表 2-3. 1989 年級群以降の再生産関係を用いた場合の将来の親魚量が限界管理基準値を上回る確率（%） $\beta = 0.1 \sim 1.0$ とし、漁獲管理規則の管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban を SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy とした場合の推移を示す。

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	0	0	0	1	5	3	4	11	22	28	30	31	33	58	70
0.9	0	0	0	1	5	3	4	12	24	31	33	34	37	63	76
0.8	0	0	0	1	6	4	5	14	26	34	37	38	41	69	81
0.7	0	0	0	2	7	5	6	15	29	37	41	42	46	74	86
0.6	0	0	0	2	8	6	7	18	32	41	45	47	51	79	90
0.5	0	0	0	2	9	7	8	20	35	44	49	52	56	83	93
0.4	0	0	0	2	10	8	10	22	39	48	54	57	61	87	96
0.3	0	0	0	3	12	9	11	25	42	52	58	62	66	91	97
0.2	0	0	0	3	14	11	13	28	46	57	63	66	71	94	98
0.1	0	0	0	3	16	13	15	32	50	61	67	71	76	96	99
0.0	0	0	0	4	18	15	18	36	56	66	72	76	80	97	100

漁獲管理規則で 2020 年漁期から漁獲した場合の将来予測結果に基づく。2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。

補足表 2-4. 1989 年級群以降の再生産関係を用いた場合の将来の親魚量（千トン）の推移
 $\beta = 0.1 \sim 1.0$ とし、漁獲管理規則の管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban を SBmsy、
 SB0.6msy、SB0.1msy とした場合の平均値を示す。

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	55	71	115	140	134	121	116	124	135	141	142	143	145	185	222
0.9	55	71	115	141	135	123	117	126	138	143	146	147	150	196	240
0.8	55	71	115	141	136	125	119	128	140	147	150	151	155	208	260
0.7	55	71	115	142	137	126	121	131	143	150	153	156	160	221	282
0.6	55	71	115	142	139	128	123	133	146	153	158	160	165	236	306
0.5	55	71	115	143	140	130	126	136	149	157	162	165	171	252	332
0.4	55	71	115	144	141	132	128	138	152	161	167	171	177	269	360
0.3	55	71	115	144	143	134	130	141	155	165	172	177	184	289	389
0.2	55	71	115	145	144	136	133	144	159	169	177	183	191	309	419
0.1	55	71	115	145	146	138	136	147	163	174	182	189	199	332	450
0	55	71	115	146	147	141	138	150	167	179	188	196	207	356	481

漁獲管理規則で 2020 年漁期から漁獲した場合の将来予測結果に基づく。2018 年漁期および
 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。

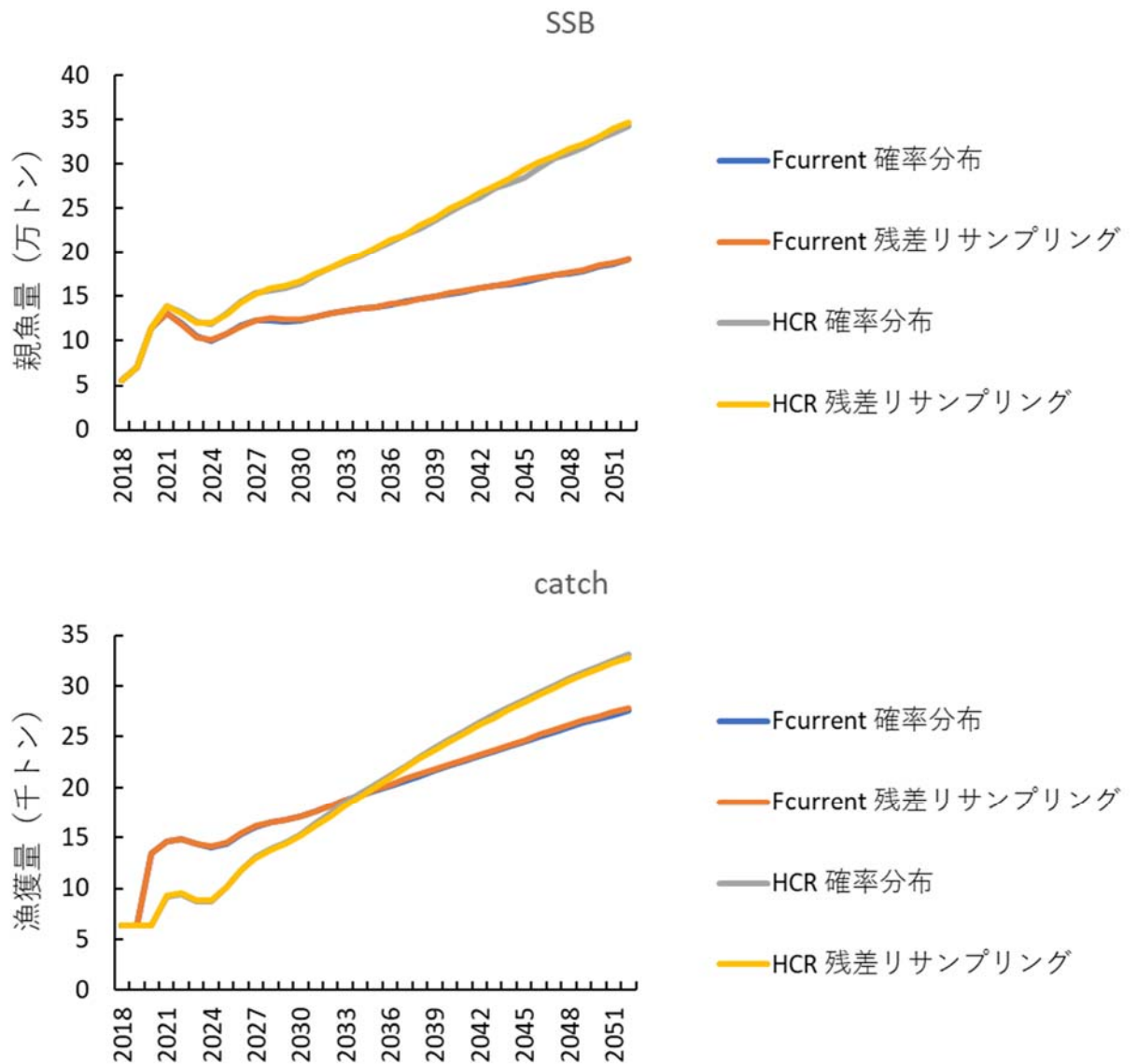
補足表 2-5. 1989 年級群以降の再生産関係を用いた場合の将来の漁獲量（千トン）の推移
 $\beta = 0.1 \sim 1.0$ とし、漁獲管理規則の管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban を SBmsy、
 SB0.6msy、SB0.1msy とした場合の平均値を示す。

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	6.3	6.3	5.3	7.8	7.7	6.7	6.1	6.7	7.7	8.2	8.6	8.7	8.9	12.2	15.0
0.9	6.3	6.3	4.8	7.1	7.1	6.2	5.7	6.3	7.2	7.7	8.0	8.2	8.5	11.8	14.8
0.8	6.3	6.3	4.3	6.4	6.4	5.7	5.3	5.8	6.6	7.1	7.5	7.7	7.9	11.3	14.4
0.7	6.3	6.3	3.8	5.7	5.8	5.2	4.8	5.2	6.0	6.5	6.8	7.0	7.3	10.6	13.8
0.6	6.3	6.3	3.2	4.9	5.0	4.6	4.3	4.7	5.3	5.8	6.1	6.3	6.6	9.8	12.9
0.5	6.3	6.3	2.7	4.1	4.3	4.0	3.7	4.0	4.6	5.0	5.3	5.5	5.8	8.8	11.7
0.4	6.3	6.3	2.2	3.4	3.5	3.3	3.1	3.4	3.8	4.2	4.4	4.6	4.8	7.6	10.2
0.3	6.3	6.3	1.6	2.5	2.7	2.5	2.4	2.6	3.0	3.2	3.5	3.6	3.8	6.1	8.2
0.2	6.3	6.3	1.1	1.7	1.8	1.8	1.7	1.8	2.1	2.3	2.4	2.5	2.7	4.4	5.9
0.1	6.3	6.3	0.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	2.4	3.2
0	6.3	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

漁獲管理規則で 2020 年漁期から漁獲した場合の将来予測結果に基づく。2018 年漁期および
 2019 年漁期の漁獲量は TAC 数量である 6.3 千トンとした。

補足資料3 将来予測の誤差に残差リサンプリングを用いた場合について

本評価の将来予測において加入の誤差としては確率分布に従う残差を設定したが、この設定の妥当性の確認のため、実際に観測された残差を与えた場合の将来予測結果を補足図3-1に示す。親魚量および漁獲量の将来予測結果は、 $F_{current}$ で漁獲した場合とHCRに従い漁獲した場合のいずれの条件においてもほぼ同じであった。



補足図 3-1. 将来予測シミュレーションにおける親魚量中央値(上)および漁獲量平均値(下)
 β には標準値である 0.8 を用いた。

補足資料 4 検討に供した再生産関係式

管理基準値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・スティック型再生産関係 (HS ; Barrowman and Myers 2000)、ベバートン・ホルト型再生産関係 (BH ; Beverton and Holt 1957) およびリッカー型再生産関係 (Ricker 1954) を検討対象の候補とした。それぞれの再生産関係式の数式は以下の通りである ;

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

ここで R_y は y 年の加入量、 B_y は y 年の親魚量である。いずれの再生産関係式でも、推定するパラメータは a および b の 2 つである。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。

引用文献

- Barrowman N. J., and R. A. Myers (2000). Still more spawner-recruitment curves: the hockey stick and its generalizations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57: 665–676.
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957). On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Ricker W. E. (1954). Stock and recruitment. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 11: 559–623.

補足資料5 Bban シミュレーション

水産政策の改革における新たな資源管理システムの構築では、限界管理基準を下回った場合には原則として10年以内に目標管理基準まで回復するための資源再建計画を立てて実行すると説明されている。本系群でHS型再生産関係を最小二乗法で当てはめた場合、禁漁水準の標準値(SB0.1msy)は25千トンと算出されるが、本資料では、まず、この禁漁水準の標準値から資源回復を図った場合に、どの程度の確率で目標管理基準値や限界管理基準値まで回復するかを検討した。更に、10年間で目標管理基準もしくは限界管理基準値まで50%の確率で親魚量を回復できる親魚量水準の推定として、回復期間に許容する漁獲の強度を漁獲管理規則の β を標準値である0.8とした場合、および禁漁($\beta=0$)とした場合について検討した。

検討のシミュレーションでは、回復開始時点の個体群の年齢組成を1980~2015年漁期の観察値からランダムに選び、漁獲管理規則に従った漁獲の下で親魚量の予測計算を行った。試行回数は漁獲シナリオや回復開始時点の親魚量水準(すなわち禁漁水準の標準値や仮定値)ごとに10000回である。漁獲管理規則に用いた限界管理基準はSB0.6msy(171千トン)、禁漁水準は回復開始時点の親魚量水準として設定した値である。ここで、回復開始時点の親魚量が禁漁水準であるため、シミュレーションの初年度は禁漁となる。また設定する禁漁水準が限界管理基準を上回る場合は、禁漁水準と限界管理基準は同じであるとした。

1) 禁漁水準の標準値(SB0.1msy)からの回復シミュレーション

禁漁水準の標準値から回復を開始した場合について、漁獲管理規則の β を0~1の間で変えた漁獲シナリオごとに、管理開始後30年間で親魚量が目標管理基準値(SBmsy)および限界管理基準値(SB0.6msy)を上回る確率を経過年数別に補足表5-1および補足表5-2にそれぞれ示した。ここで、禁漁水準の標準値から10年間禁漁した場合($\beta=0$)に親魚量が目標管理基準値へ回復する確率は0%であり、限界管理基準値へ回復する確率も10%未満である。また30年間で目標管理基準値へ50%以上の確率で回復させるには β を0.2以下にする必要がある。

2) 10年間で目標管理基準・限界管理基準へ回復を条件とした禁漁水準候補の探索

回復を開始する親魚量を10千トン刻みで変化させ、これらをそれぞれ漁獲管理規則の禁漁水準とした漁獲管理で資源回復を図った場合に、目標管理基準または限界管理基準への回復確率が50%以上となる年数を補足表5-3および5-4に示す。 β を標準値である0.8として漁獲管理規則に従った漁獲を行う場合、10年間で目標管理基準値に回復する親魚量の閾値は220千トンであり、10年間禁漁することで目標管理基準値に回復する親魚量の閾値は120千トンである。また同様に10年間で限界管理基準値に回復する親魚量の閾値は、漁獲管理規則に従う漁獲を行う場合($\beta=0.8$)では80千トンであり、禁漁の場合では60千トンである。以上の結果から、これらの基準に従い管理を行う場合には長期間にわたる非常に厳しい管理が必要となると考えられる。

補足表 5-1. 禁漁水準の標準値 (SB0.1msy) から目標管理基準値への経過年別回復確率
回復開始からの経過年数ごとの、目標管理基準値までの回復確率 (%) を示
す。βは0~1の間を0.1刻みで検討した。

β	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	9
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	12
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	15
0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	20
0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	25
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	31
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	37
0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	44
0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	51
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	59
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	66

補足表 5-2. 禁漁水準の標準値 (SB0.1msy) から限界管理基準値への経過年別回復確率
回復開始からの経過年数ごとの、限界管理基準値までの回復確率 (%) を示
す。βは0~1の間を0.1刻みで検討した。

β	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	23	54
0.9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	26	59
0.8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	30	65
0.7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	33	71
0.6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	4	37	76
0.5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	4	41	80
0.4	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	45	84
0.3	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	5	49	87
0.2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	6	53	90
0.1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	7	57	92
0.0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	7	61	94

補足表 5-3. 親魚量が目標管理基準を50%以上の確率で上回るのに要する年数 禁漁水準
を110千トン~230千トンとした場合の結果を示す。βは0.8または0とした。

β	110 千トン	120 千トン	130 千トン	140 千トン	150 千トン	160 千トン	170 千トン	180 千トン	190 千トン	200 千トン	210 千トン	220 千トン	230 千トン
0.8	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	10	8
0.0	>10	10	10	9	8	7	6	6	5	5	4	3	3

補足表 5-4. 親魚量が限界管理基準を50%以上の確率で上回るのに要する年数 禁漁水準
を50千トン~170千トンとした場合の結果を示す。βは0.8または0とした。

β	50 千トン	60 千トン	70 千トン	80 千トン	90 千トン	100 千トン	110 千トン	120 千トン	130 千トン	140 千トン	150 千トン	160 千トン	170 千トン
0.8	>10	>10	>10	9	8	6	3	2	2	1	1	1	1
0.0	>10	9	8	6	5	3	3	2	2	1	1	1	1