

平成 31（2019）年度マサバ太平洋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：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を、平成 30（2018）年度マサバ太平洋系群の資源評価における各種データを用いて検討した。本系群の資源水準は 1970 年漁期以降の親魚量から中位、動向は最近 5 年間（2013～2017 年）の親魚量の推移から増加と判断されている。本系群の再生産関係式の候補として、加入の残差の自己相関を考慮したホッケ－・スティック型（HS）再生産曲線を最小二乗法で推定したものを、目標管理基準の候補として SBmsy（1,540 千トン）を、限界管理基準の候補として SB0.6msy（560 千トン）を、禁漁水準の候補として SB0.1msy（70 千トン）をそれぞれ提案する。MSY を達成するときの漁獲率（漁獲量/資源量）は 10%であり、MSY を達成するときの漁獲圧は現状（Fcurrent、2015～2017 年漁期の平均漁獲圧）の 0.43 倍である。

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 1970～2017 年の値を用いた。最小二乗法と最小絶対値法の両方において、ホッケ－・スティック型（HS）の方が、リッカー型（RI）およびベバートン・ホルト型（BH）に比べて AICc はやや小さかった。BH や RI では密度効果が弱いことため SBmsy がこれまでの親魚量推定値を大幅に上回ることから、現実的な目標設定を行うために以下の解析では HS を使用した。最小絶対値法の方が最小二乗法よりも AICc は低かったが、再生産関係の診断を行った結果、最小二乗法を使用した場合でも大きな問題は見られなかったため（補足図 1-2）、最小二乗法の結果を以下の解析で使用した。残差の自己相関係数が有意であったため、残差から自己相関係数を推定した再生産関係を検討した。自己相関係数は 0.38、自己相関以外の加入変動の SD は 0.84 だった。

再生産 関係式	最適化法	AICc	Δ AIC	SD	データ 数
HS	最小絶対値法	128.48	0.00	0.93	48
RI	最小絶対値法	129.35	0.88	0.93	48
BH	最小絶対値法	129.36	0.88	0.93	48
HS	最小二乗法	130.91	2.44	0.88	48
BH	最小二乗法	131.34	2.87	0.89	48
RI	最小二乗法	131.35	2.87	0.89	48

* 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

本系群の再生産関係としては、最小二乗法で最適化したホッケー・スティック型（図 1）で、残差に自己相関を考慮したもの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

資源計算手法や 1970～2017 年漁期における年齢別の資源尾数、漁獲係数、成熟率、自然死亡係数、平均体重等および将来予測における年齢別の選択率、成熟率、自然死亡係数、平均体重等は平成 30 年度我が国周辺水域の漁業資源評価（水産庁・水研機構）における値を用いた。将来予測における選択率は過去 10 年間（2008～2017 年漁期）における平均漁獲係数に基づいた。本系群の平成 30 年度資源評価における $F_{current}$ は過去 3 年間の平均（2015～2017 年漁期）を使用した。これは外国漁船による漁獲量の増大を考慮したものである。しかし、外国漁船による漁獲量の年齢組成は不明であるため、近年の選択率の不確実性は大きいと考えられる。 SB_{msy} などの管理基準値は中長期的な目標となるため、過去 10 年間の年齢別漁獲尾数の平均から選択率を求めた。この際、 $F_{current}$ は、%SPR が平成 30 年度資源評価と一致するように調整した。その結果、 $F_{current}$ における年齢別漁獲係数は 0 歳から 6+にかけて滑らかに大きくなった（図 2）。

成熟率と平均体重は 2018 年の値を使用した。本系群は資源量の増加とともに平均体重の減少と成熟の遅れが見られており、 MSY を達成する資源量や親魚量の水準においても同様の傾向が予想されるため、直近年の値を用いた。

年齢	平均体重 (g)	成熟率	漁獲係数	選択率
0	94	0	0.03	0.04
1	202	0	0.11	0.14
2	264	0.2	0.23	0.29
3	316	0.8	0.42	0.53
4	349	1	0.44	0.55
5	529	1	0.80	1.00
6	645	1	0.80	1.00

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、平衡状態において期待される漁獲量が最大となる漁獲係数 F_{msy} を推定した。将来予測開始から約 50 年後を平衡状態とし、 F_{msy} で漁獲したときに期待される漁獲量を MSY （最大持続生産量）、親魚量の期待値を SB_{msy} とした。加入量の残差を対数正規分布で与え、加入量の平均補正を行ったシミュレーションを 5000 回繰り返し、50 年後の期待漁獲量が最大となる F_{msy} を推定した。

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考慮したホッケー・スティック型 (HS) を用い、加入量 (R)、親魚量 (SB)、および各パラメータの関係は以下の式で表される。

$$\hat{R}_y = \begin{cases} a \times SB_y & \text{if } SB_y < b \\ a \times b & \text{if } SB_y \geq b \end{cases}$$

$$\log(R_y) = \begin{cases} \log(\hat{R}_y) + \varepsilon_y & \text{if } y = 1970 \\ \log(\hat{R}_y) + \rho \times [\log(R_{y-1}) - \log(\hat{R}_{y-1})] + \varepsilon_y & \text{if } y > 1970 \end{cases}$$

各パラメータは下表に、過去の親魚量（トン）、加入量（百万尾）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	SD	ρ
HS	最小二乗法	有	0.00758	1,056,000	0.837	0.375

ここで、パラメータ a は原点から折れ点までの HS 再生産曲線の傾き（百万尾/トン）、 b は折れ点における親魚量（トン）である。

2-3) 管理基準値

本系群の目標管理基準値には標準値である MSY 水準における親魚量 (SB_{msy})、限界管理基準値には MSY の 60%の漁獲が得られる親魚量 ($SB_{0.6msy}$)、禁漁水準には MSY の 10%の漁獲が得られる親魚量 ($SB_{0.1msy}$) を用いた。各水準における資源量は下表に示す。

管理基準値	親魚量	基準
目標管理基準値 (SBtarget)	1,540 千トン	SBmsy
限界管理基準値 (SBlimit)	560 千トン	SB0.6msy
禁漁水準 (SBban)	70 千トン	SB0.1msy

本系群における各基準値を表 1 に、再生産関係を用いた将来予測での平衡状態 (50 年後) 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。目標管理基準値は過去最大親魚量 1,400 千トンよりもやや高い値となったが、近年の卓越年級の発生により過去最大親魚量は更新される予測となっている。目標管理基準値は漁獲がない状態で平衡状態となる親魚量 (SB0) の 46%相当となった。限界管理基準値は現行の 450 千トンよりもやや高いが、大きな乖離はない。禁漁水準は 70 千トンであり、過去最少の親魚量 44 千トン (2002 年漁期) よりも大きくなった。感度分析として、Fcurrent やシミュレーションを行う年数、再生産関係を変えた場合の管理基準値を計算した結果を補足資料 2 に示す。

2-4) 目標管理基準値と漁獲割合

目標管理基準値を標準値とした場合の神戸プロットを図 4 に示す。本系群においては、1970 年漁期以降のいずれの年においても目標管理基準値 SBmsy を下回る親魚量であり、2014 年漁期以外のすべての年で MSY を達成する Umsy を越える漁獲割合であった。

2-5) 漁獲管理規則

目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準に標準値を使用し、 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) 管理基準値に標準値を用いた場合

目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準に標準値を用い、 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、および漁獲割合の推移を図 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 年漁期の漁獲量は漁獲係数が Fcurrent の場合のときの暫定的な値である。

近年の卓越年級の発生により、親魚量は大きく増加し、SBtarget を上回る見込みとなっている。Fcurrent で漁獲を行う 2018・2019 年漁期では漁獲量は大幅に増加するが、漁獲管理規則が適用される 2020 年漁期以降は漁獲量が大幅に減少する。ただし、2020 年漁期の漁獲量は、2018・2019 年漁期の漁獲量に依存する (補足資料 3 参照)。近年の卓越年級群が成熟するのに伴い、親魚量は大きく増加し、その後、親魚量の期待値は緩やかに減少する。

(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 0.1~1.0 の間で変えた場合の目標管理基準値を達成する確率、限

界管理基準値を達成する確率、平均親魚量、平均漁獲量の推移を表 2～5 にそれぞれ示す。親魚量は β が高い方が期待される漁獲量は大きくなるが、目標達成確率は低くなる。2030 年時点における目標管理基準値の達成確率は β が 1 のとき 49%であったが、 β が 0.9 以下であれば 50%を上回った ($\beta=0.9$: 53%、 $\beta=0.8$: 58%)。なお、 $\beta=1.0$ のときに 50%を下回るのは、 F_{msy} で漁獲した場合における親魚量の確率分布は右に裾が伸びるため、中央値よりも平均値 (SB_{msy}) の方が高いからである。

3. まとめ

本系群の再生産関係については、データの観測範囲内に弱い密度効果しか認められないこと、自己相関の影響が大きいことから、最適化法としては最小二乗法を使用し、残差に自己相関を考慮した HS を用いた。各管理基準については、目標管理基準値 SB_{target} 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 SB_{msy} を使い、限界管理基準値、禁漁水準には標準値である $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ をそれぞれ設定した。 SB_{msy} は過去最大親魚量を上回っており、資源評価が開始された 1970 年漁期以降 SB_{msy} を達成したことはない。 MSY を達成するときの漁獲割合 U_{msy} は 10%であり、2014 年漁期以外のすべての年で漁獲割合は U_{msy} よりも高かった。 MSY を達成するためには現状の漁獲圧（努力量）を 43%程度にまで減少させる必要がある。この管理基準値をもとにした将来予測をしたところ、 F_{msy} に対かける乗数 β が標準値の 0.8 であれば、漁獲管理規則を適用してから 10 年後に目標管理基準値を上回る確率が 50%以上となる予測となった。

4. 今後の検討事項

本系群は北太平洋漁業委員会 (NPFC) の資源評価対象魚種となっており、今後、外国船による漁獲量の詳細が明らかになることで近年の年齢別漁獲尾数等のデータが変更される可能性がある。また、年齢別漁獲尾数の不確実性や、近年の加入量の推定値の不確実性が高いことから、現在の資源評価手法が状態空間資源評価モデルへと移行する可能性も考えられる。これらの変更が再生産関係や管理基準値に与える影響については今後の検討事項である。

執筆者：西嶋翔太、由上龍嗣、井須小羊子、上村泰洋、古市生

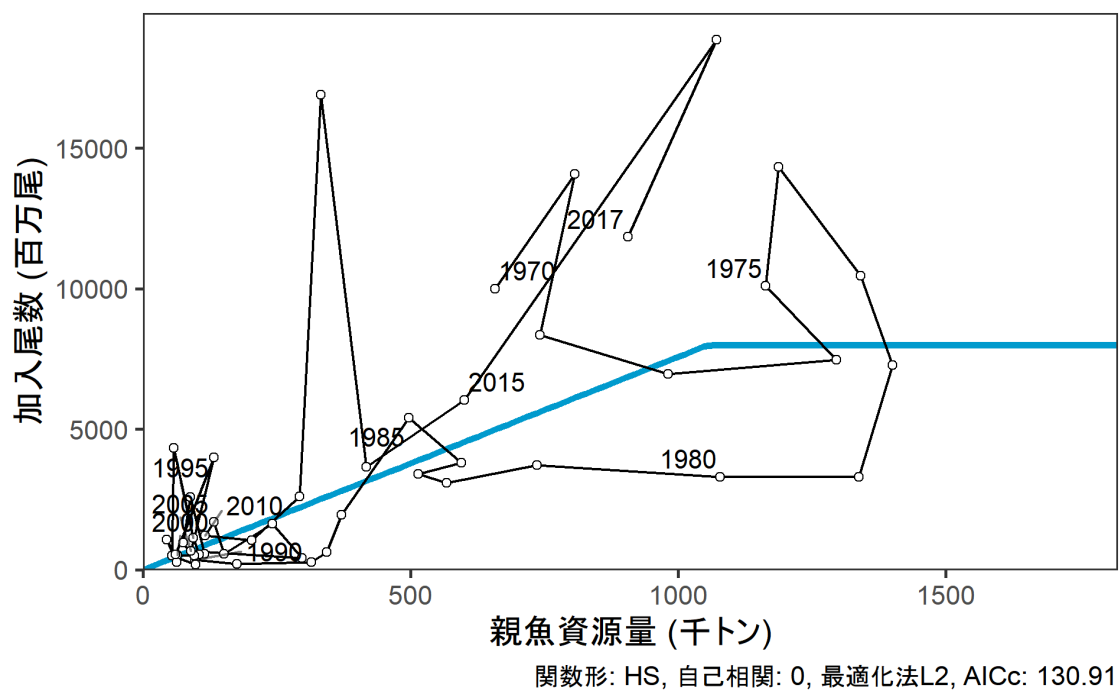


図 1. 再生産関係

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、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。

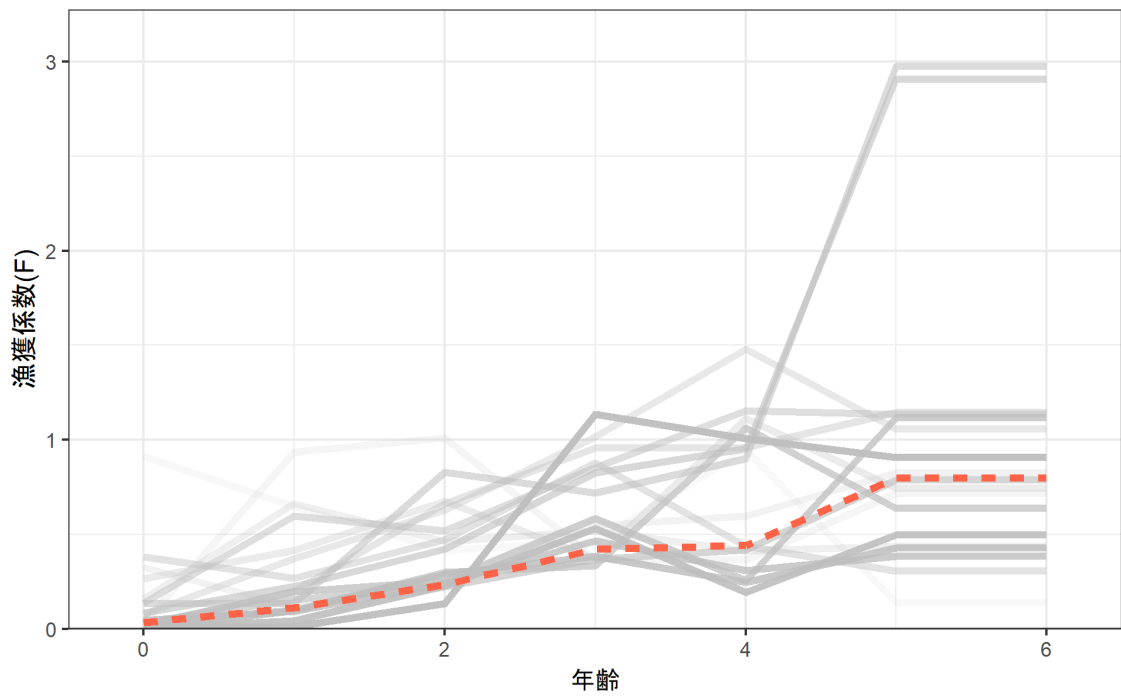


図 2. 年齢別 F 値

赤点線は将来予測に用いた値、灰色の実線は 2002～2017 漁期年における各年の値である。

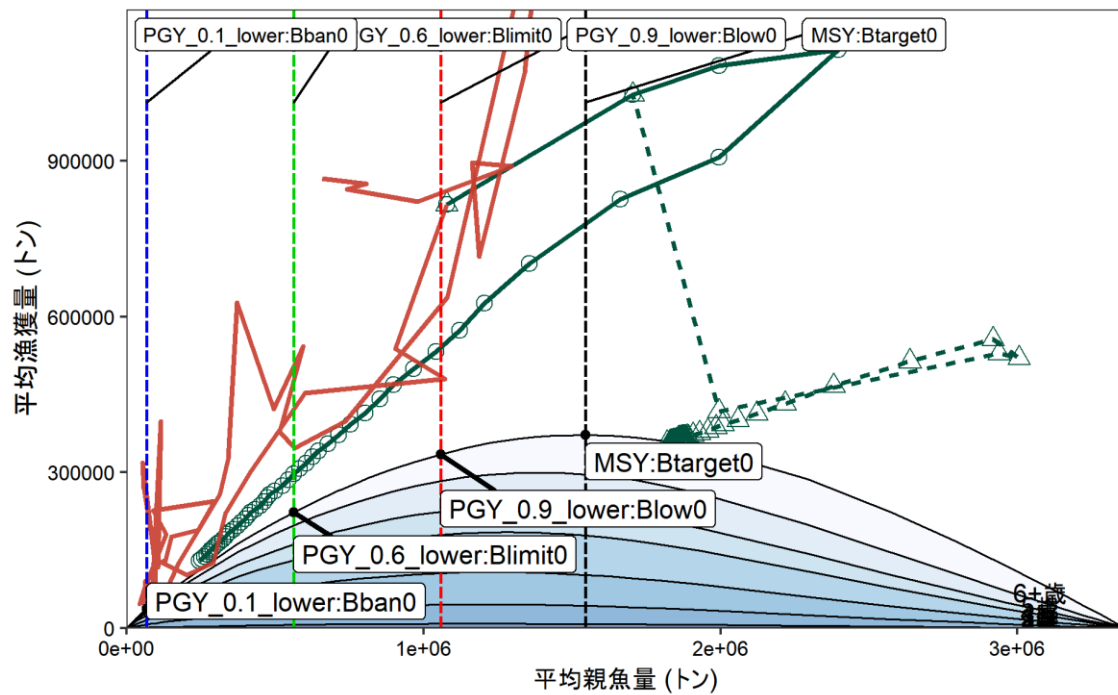
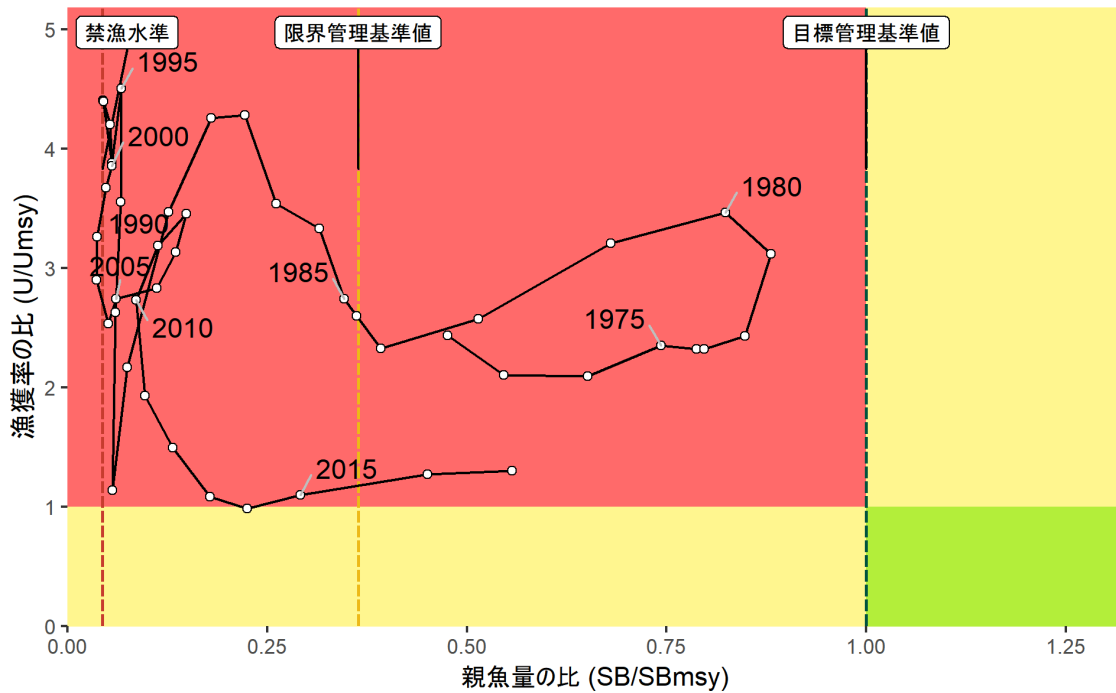


図 3. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線の関係

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に対する年齢別漁獲量の平均値を面で、漁獲量と親魚量の観測値（赤実線）と将来予測（○：Fcurrent による漁獲、△：標準値を用いた HCR による漁獲）における推移を折れ線で示した。

(a) 縦軸を漁獲率の比 (U/U_{msy}) にした場合



(b) 縦軸を漁獲圧の比 (F/F_{msy}) にした場合

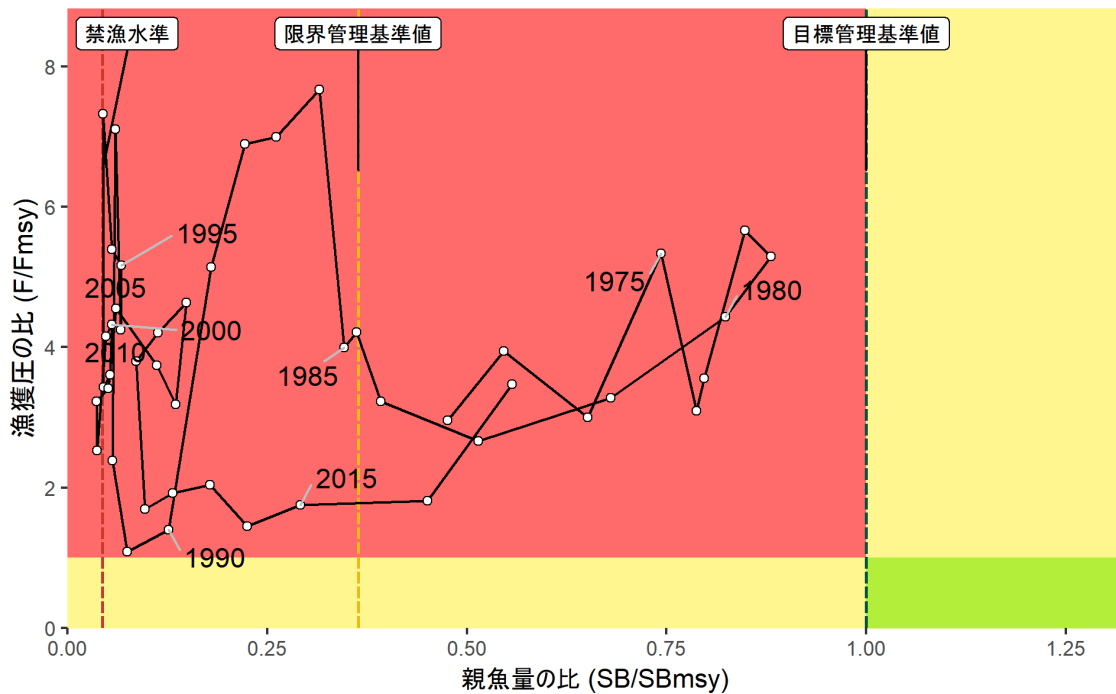


図 4. 神戸プロット (4 区分)

図中の目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準にはそれぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。

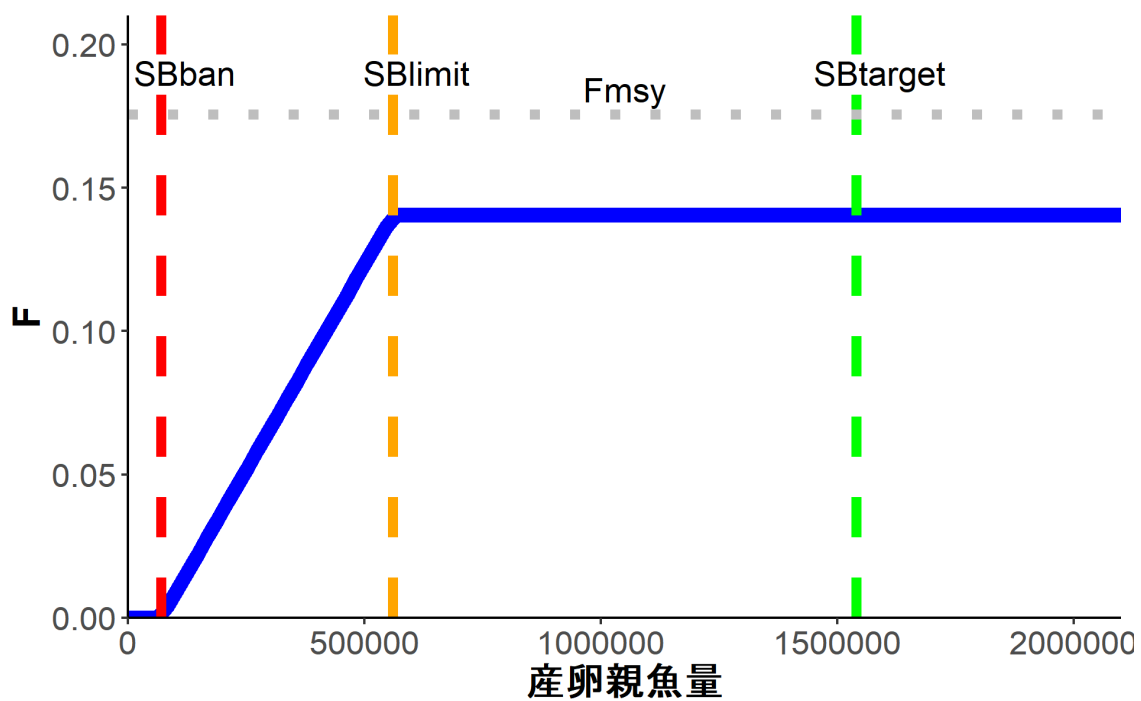


図 5. 漁獲管理規則における産卵親魚量（トン）と F （単純平均）の関係

管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、 SB_{ban} にそれぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。 β には標準値である 0.8 を用いた。

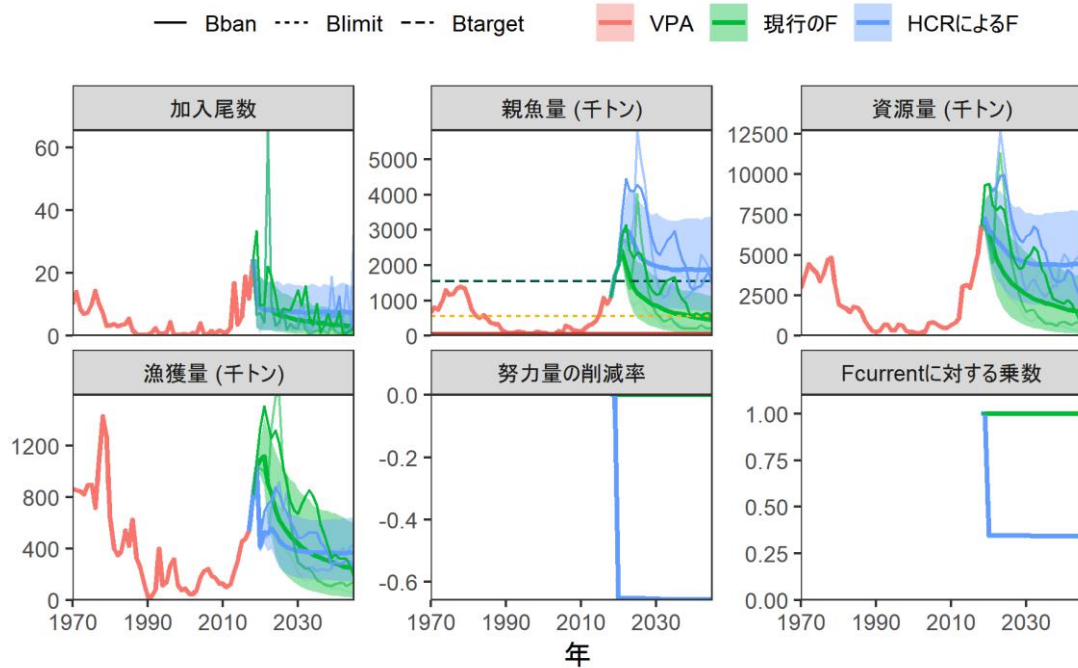


図 6. 漁獲管理規則による将来予測の平均値（実線）と 90%信頼区間
 管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、 SB_{ban} にはそれぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用い、 β には標準値である 0.8 とした。2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲係数は $F_{current}$ を仮定し、2020 年漁期から漁獲管理規則に従う場合（赤）と $F_{current}$ の場合（青）を示した。

表 1. 各種管理基準値と、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、平均資源量、漁獲率、平均漁獲量、漁獲量の変動係数、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(トン)	SB0 に対する比	資源量(トン)	漁獲率	漁獲量(トン)	漁獲量の変動係数	努力量の乗数
SBtarget	1,540,000	0.46	3,810,000	0.10	370,000	0.67	0.43
SBlimit	560,000	0.17	1,630,000	0.14	220,000	1.27	0.74
SBban	70,000	0.02	220,000	0.17	40,000	3.45	1.04

表 2. 将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	0	100	100	100	100	99	80	65	57	53	51	49	48
0.9	0	100	100	100	100	100	85	70	62	57	55	53	53
0.8	0	100	100	100	100	100	89	75	67	62	59	58	57
0.7	0	100	100	100	100	100	94	81	72	67	64	63	62
0.6	0	100	100	100	100	100	97	85	77	73	69	68	67
0.5	0	100	100	100	100	100	99	90	82	78	74	73	71
0.4	0	100	100	100	100	100	100	93	87	83	80	78	76
0.3	0	100	100	100	100	100	100	96	92	87	85	83	82
0.2	0	100	100	100	100	100	100	99	95	92	90	88	87
0.1	0	100	100	100	100	100	100	100	97	96	94	92	91

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた漁獲管理規則で 2020 年から漁獲した場合の将来予測結果。2018 年および 2019 年は Fcurrent による漁獲とした。

表 3. 将来の親魚量が限界管理基準値を上回る確率 (%)

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98	97	96
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98	97
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	98
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.5	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
0.3	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
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた漁獲管理規則で 2020 年から漁獲した場合の将来予測結果。2018 年および 2019 年は Fcurrent による漁獲とした。

表 4. 将来の平均親魚量（トン）の推移

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	1078000	1705000	1994000	2858000	2840000	2692000	2386000	2136000	1987000	1904000	1844000	1794000	1769000
0.9	1078000	1705000	1994000	2898000	2921000	2802000	2508000	2254000	2097000	2008000	1946000	1897000	1872000
0.8	1078000	1705000	1994000	2938000	3006000	2918000	2638000	2382000	2218000	2122000	2058000	2008000	1984000
0.7	1078000	1705000	1994000	2979000	3093000	3041000	2779000	2521000	2350000	2249000	2181000	2129000	2105000
0.6	1078000	1705000	1994000	3021000	3184000	3170000	2930000	2674000	2497000	2389000	2317000	2263000	2238000
0.5	1078000	1705000	1994000	3063000	3278000	3306000	3093000	2841000	2660000	2545000	2468000	2410000	2384000
0.4	1078000	1705000	1994000	3106000	3376000	3450000	3268000	3024000	2840000	2720000	2638000	2576000	2548000
0.3	1078000	1705000	1994000	3149000	3477000	3603000	3457000	3225000	3041000	2917000	2830000	2763000	2732000
0.2	1078000	1705000	1994000	3194000	3582000	3763000	3662000	3446000	3266000	3139000	3048000	2977000	2942000
0.1	1078000	1705000	1994000	3239000	3691000	3934000	3883000	3689000	3517000	3391000	3297000	3222000	3183000

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた漁獲管理規則で 2020 年から漁獲した場合の将来予測結果。2018 年および 2019 年は Fcurrent による漁獲とした。

表 5. 将来の平均漁獲量（トン）の推移

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	816000	1027000	514000	633000	604000	629000	570000	514000	477000	455000	441000	431000	424000
0.9	816000	1027000	466000	582000	564000	595000	544000	492000	456000	436000	423000	414000	407000
0.8	816000	1027000	417000	529000	520000	556000	514000	466000	433000	413000	401000	393000	387000
0.7	816000	1027000	368000	474000	473000	512000	478000	436000	405000	386000	375000	368000	363000
0.6	816000	1027000	318000	415000	421000	463000	437000	400000	372000	355000	345000	338000	334000
0.5	816000	1027000	267000	354000	364000	407000	388000	358000	334000	319000	310000	303000	299000
0.4	816000	1027000	215000	290000	303000	343000	332000	308000	289000	276000	268000	262000	259000
0.3	816000	1027000	162000	222000	236000	272000	267000	250000	235000	225000	218000	213000	210000
0.2	816000	1027000	109000	152000	164000	192000	191000	180000	170000	163000	159000	155000	153000
0.1	816000	1027000	55000	78000	85000	102000	102000	98000	93000	89000	87000	85000	84000

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた漁獲管理規則で 2020 年から漁獲した場合の将来予測結果。2018 年および 2019 年は Fcurrent による漁獲とした。

補足資料 1 再生産関係のモデル診断結果

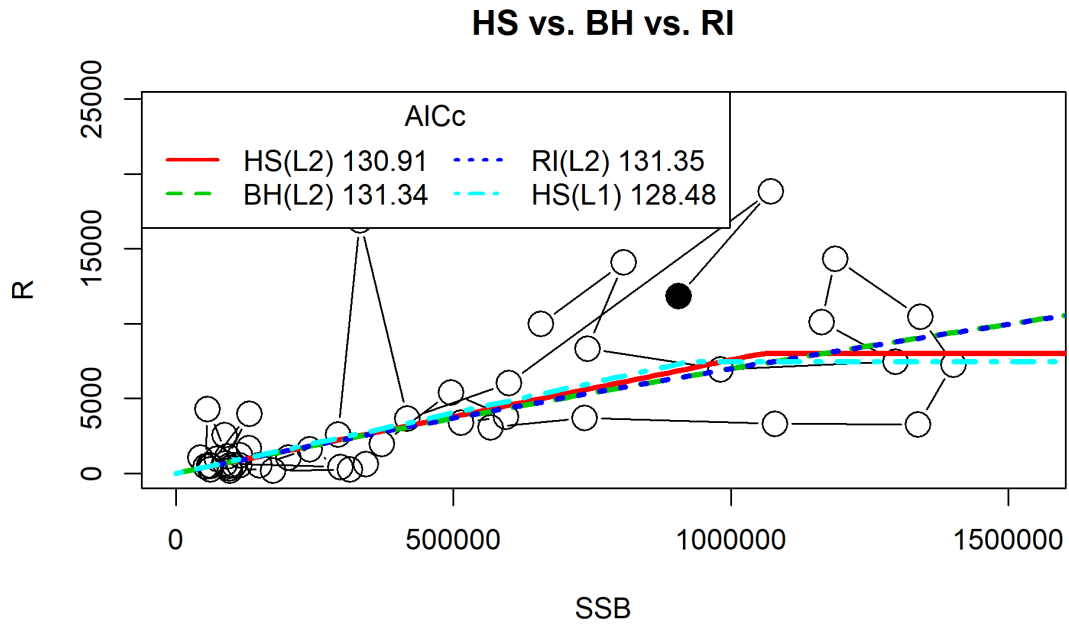
当系群の再生産関係における各種診断結果を以下に示す。最小二乗法で推定された HS を採用したが、最小絶対値法で推定した場合でも再生産関係の変化は小さかった（補足図 1-1）。また、BH や RI 型では密度効果が明瞭ではなく、親魚量に対して直線的に加入量が増加する傾向になった（補足図 1-1）。

QQ プロットでは端の方で予測線から逸脱する傾向がみられたが、Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定を用いて残差の正規性を検定したところ、いずれも有意差は検出されなかった（補足図 1-2）。加入量と再生産関係の残差の自己回帰係数は 1 年のラグで有意差が検出され、残差は 1970 年代では正に、1980 年代から 2000 年代前半にかけては負に、それ以降は再び正に出るパターンが観察された（補足図 1-3）。

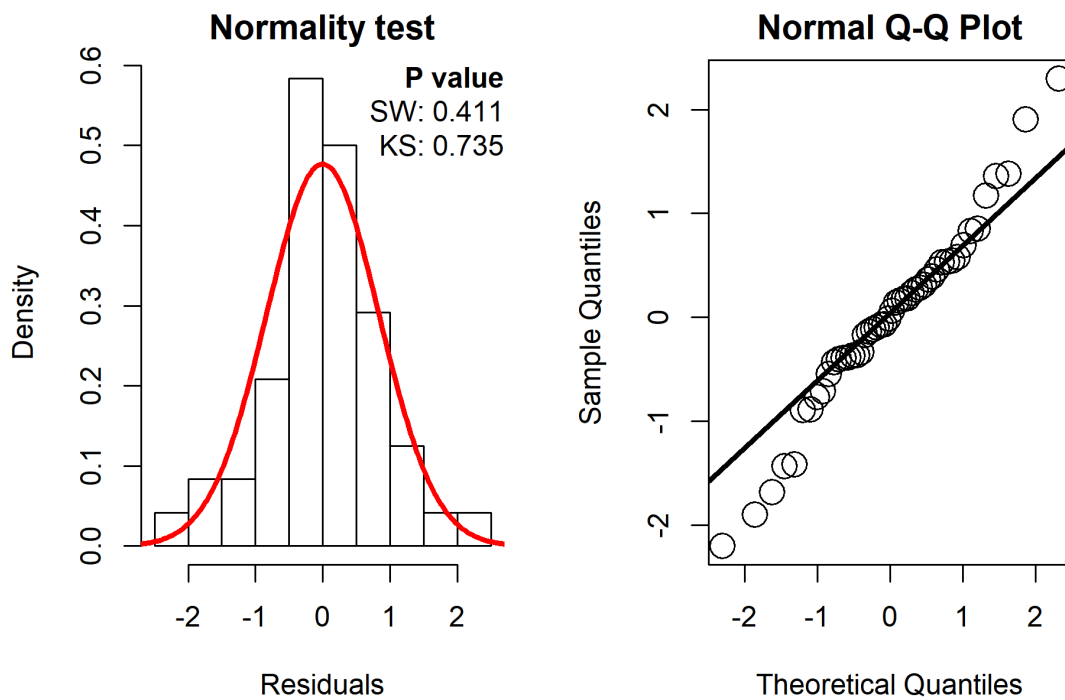
残差のパラメトリックブートストラップを 1000 回行ったところ、パラメータ a , b , SD ではバイアスはほとんど見られなかったが、自己相関係数 ρ にはやや過小評価の傾向がみられた（bias = 3% (a), 2% (b), -1% (SD), -19% (ρ))（補足図 1-4）。また、各パラメータの変動係数はそれぞれ 21% (a), 31% (b), 11% (SD), 45% (ρ) であった（補足図 1-4）。パラメータ a , b にはバイアスが見られなかったため、実際のデータから推定された再生産関係はブートストラップデータを用いた再生産関係のおおよそ中心に位置していた（補足図 1-5）。

データを 1 年ずつ除くジャックナイフ解析を行ったところ、各パラメータの推定値に大きな変化は見られず、推定された再生産関係は頑健であった（補足図 1-6, 1-7）。また、パラメータ a , b を変化させた場合のプロファイル尤度は推定値で最大になっていることが確認された（補足図 1-8）。

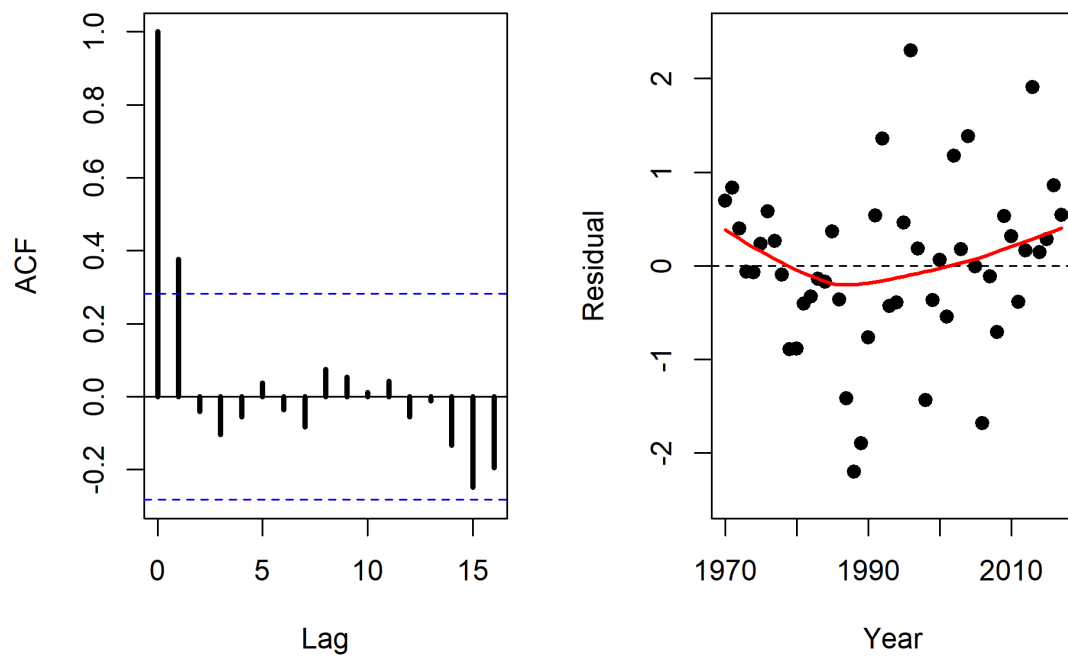
これらの診断の結果、本再生産関係を用いることに大きな問題はないと判断した。ただし、自己相関係数が過小評価傾向にあることと、自己相関を考慮しても残差の時系列パターンがみられることが明らかとなったため、再生産関係では説明できない時間変動のパターンをより正確に推定することが今後の課題である。



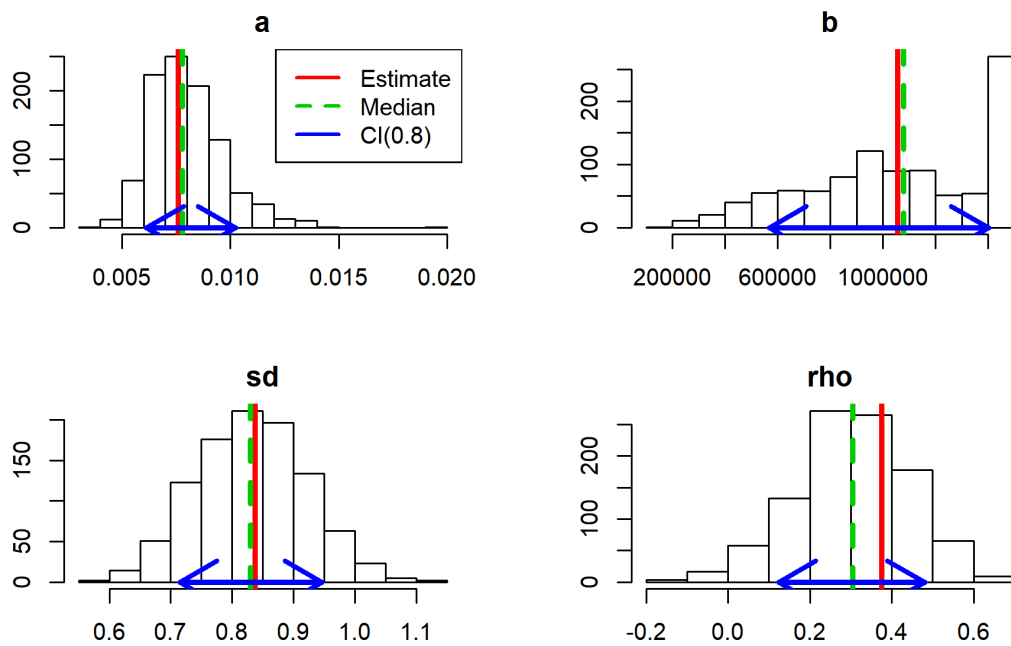
補足図 1-1. 最小二乗法で推定した HS の場合（赤実線）、最小二乗法で推定した BH の場合（緑破線）、最小二乗法で推定した RI の場合（青点線）、最小絶対値法で推定した HS の場合（水色点破線）の再生産関係。



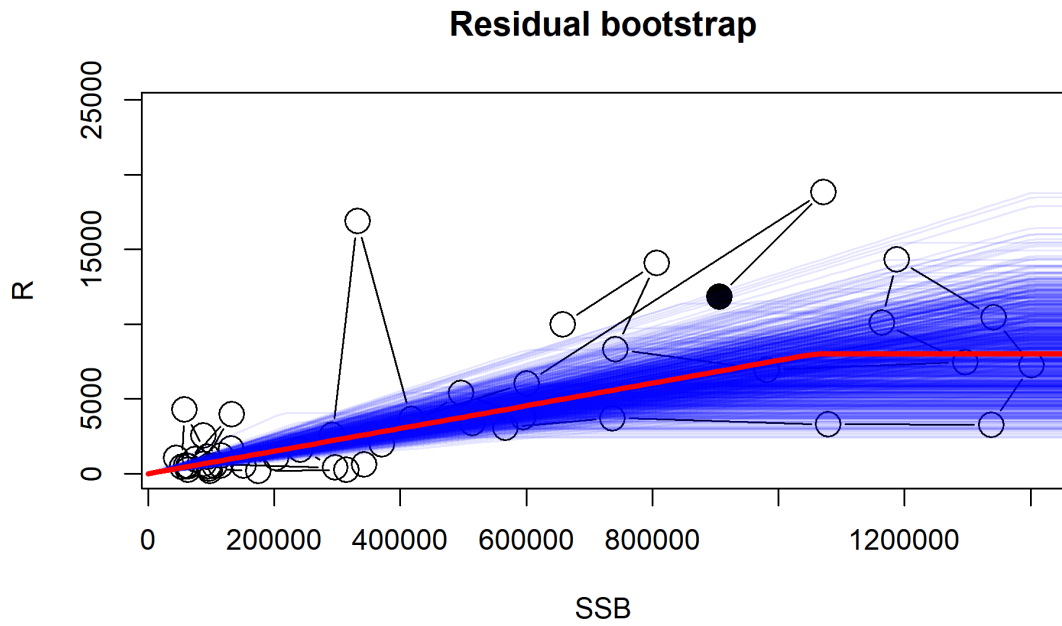
補足図 1-2. 再生産関係の残差のヒストグラム（左）と QQ プロット（右）。



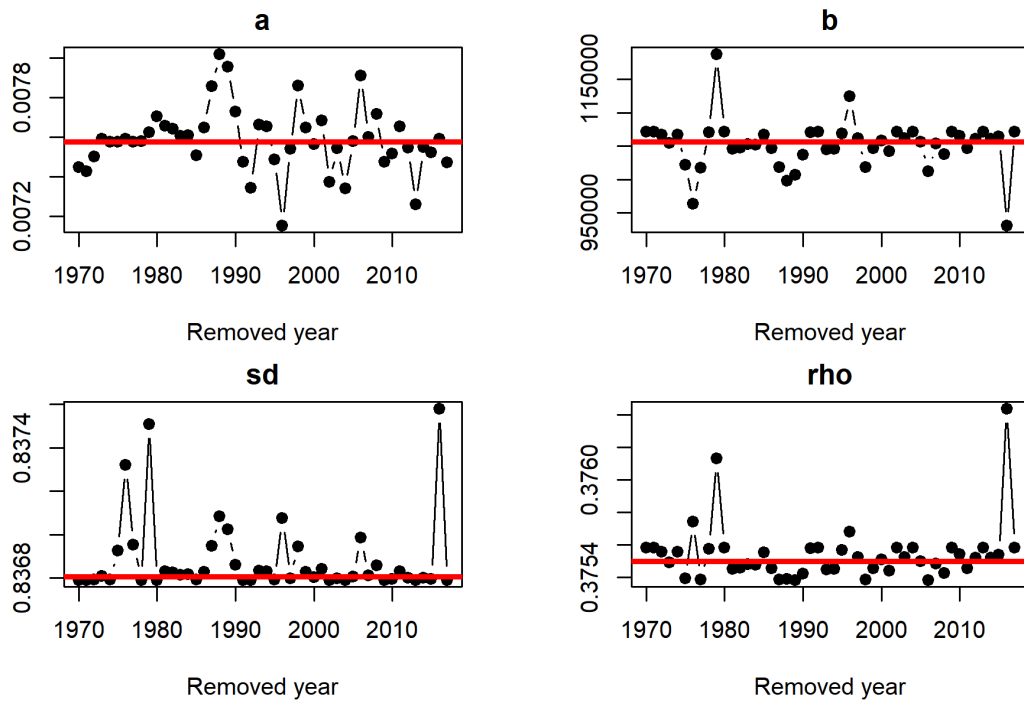
補足図 1-3. 再生産関係の残差の自己回帰係数（左）と残差の時系列プロット（右）。



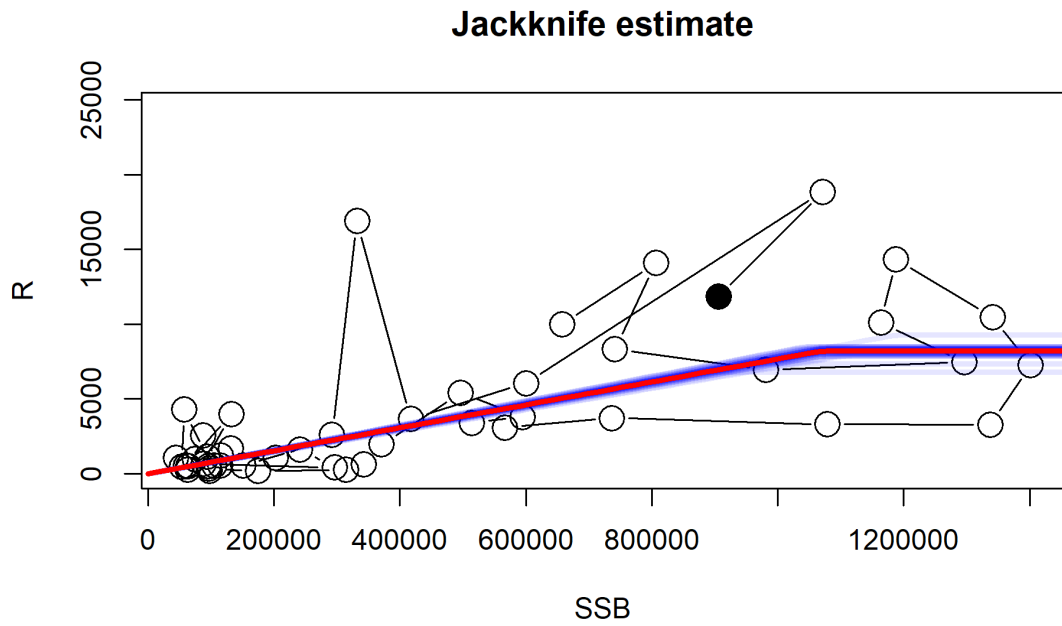
補足図 1-4. 残差パラメトリックブートストラップを 1000 回したときの各パラメータのヒストグラム。赤実線は点推定値、緑点線はブートストラップ中央値、青矢印は 80%信頼区間を示す。



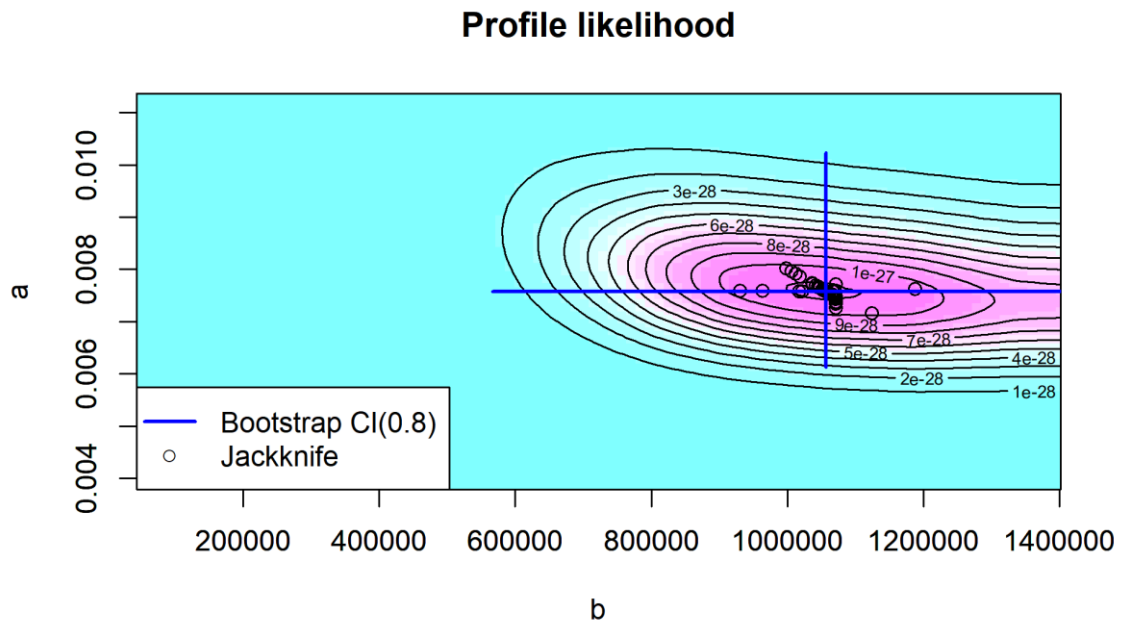
補足図 1-5. 残差ブートストラップを 1000 回した場合の再生産関係。



補足図 1-6. ジャックナイフ解析における各パラメータの変化。



補足図 1-7. ジャックナイフ解析における再生産関係。



補足図 1-8. パラメータ a, b を変化させた際のプロフィール尤度。

補足資料 2 管理基準値の感度分析

管理基準値の感度分析を以下の 6 つのシナリオで行った：(1) $F_{current}$ を平成 30 年度資源評価と同様の 3 年平均にする（選択率 3 年シナリオ）、(2) シミュレーションで管理基準値を計算する年を 100 年後とする（100 年後シナリオ）、(3) 再生産関係に BH を用いる（BH シナリオ、最小二乗法で自己相関を考慮）、(4) 再生産関係に RI を用いる（RI シナリオ、最小二乗法で自己相関を考慮）、(5) 最小二乗法で HS 再生産関係を推定し、自己相関を考慮しない（AR0 シナリオ）(6) 最小絶対値法で HS 再生産関係を推定し、自己相関を考慮する（L1 シナリオ）。

まず、選択率 3 年シナリオと 100 年後シナリオでは、管理基準値は本文のシナリオ（標準シナリオとする）とほとんど変わらなかった（補足表 2-1）。したがって、50 年後で十分に平衡状態に達しており、標準シナリオは選択率に対して頑健であることが示唆された。BH や RI 型の再生産関係を使用した場合、 SB_{msy} がそれぞれ 7,450 千トン、4,740 千トンとなり、過去最大親魚量（1,400 千トン）を大幅に上回った（補足表 2-1）。そのため、これらの再生産関係を基に目標管理基準値を設定することは、非現実的であると考えられた。自己相関を除いた AR0 シナリオでは、親魚量の管理基準値の値は標準シナリオと大きくは変わらなかったが、 MSY やそのときの漁獲割合が標準シナリオに比べて高くなった。これは、再生産関係に自己相関があるのが真である場合に、それを仮定しないで管理基準値や漁業管理規則を定めると過剰漁獲になる可能性を示唆している。最大絶対値法で再生産関係を推定した L1 シナリオでは、親魚量の管理基準値 (SB_{target} , SB_{limit} , SB_{ban}) は減少した。 MSY は標準シナリオからやや減少するが、その時の漁獲割合や高くなった。

補足表 2-1. 感度分析における各シナリオの管理基準値およびそれに付随する各項目の値

管理基準値	項目	シナリオ						
		標準	選択率3年	100年後	BH	RI	AR0	L1
$SB_{target}=SB_{msy}$	親魚量 (トン)	1540000	1530000	1540000	7450000	4740000	1460000	1400000
	SBref/SB0	0.459	0.456	0.459	0.403	0.453	0.434	0.445
	資源量 (トン)	3810000	3840000	3810000	16830000	11070000	3860000	3530000
	漁獲割合	0.098	0.095	0.098	0.074	0.083	0.112	0.103
	漁獲量 (トン)	370000	370000	370000	1250000	920000	430000	360000
	漁獲量の変動係数	0.669	0.725	0.669	0.788	0.726	0.483	0.667
	Fref/ $F_{current}$	0.433	0.441	0.433	0.294	0.345	0.539	0.471
$SB_{limit}=SB_{0.6msy}$	親魚量 (トン)	560000	560000	560000	2290000	1580000	580000	510000
	SBref/SB0	0.167	0.166	0.167	0.124	0.151	0.171	0.162
	資源量 (トン)	1630000	1650000	1630000	6200000	4380000	1780000	1520000
	漁獲割合	0.137	0.133	0.137	0.121	0.127	0.146	0.144
	漁獲量 (トン)	220000	220000	220000	750000	550000	260000	220000
	漁獲量の変動係数	1.265	1.334	1.265	1.238	1.247	0.950	1.255
	Fref/ $F_{current}$	0.738	0.737	0.738	0.599	0.646	0.836	0.799
$SB_{ban}=SB_{0.1msy}$	親魚量 (トン)	70000	70000	70000	250000	180000	80000	60000
	SBref/SB0	0.020	0.020	0.020	0.013	0.017	0.022	0.020
	資源量 (トン)	220000	230000	220000	790000	570000	250000	210000
	漁獲割合	0.167	0.160	0.167	0.158	0.161	0.173	0.173
	漁獲量 (トン)	40000	40000	40000	120000	90000	40000	40000
	漁獲量の変動係数	3.453	3.592	3.453	2.900	3.105	2.574	3.431
	Fref/ $F_{current}$	1.042	1.038	1.041	0.940	0.973	1.086	1.118

補足資料 3 2018・2019 年漁期の漁獲量の設定を変えたときの将来予測

本文における将来予測の計算では、2018・2019 年漁期の漁獲係数が F_{current} であることを仮定した（標準シナリオとする）。その結果、2018・2019 年漁期における漁獲量は 816 千トン、1,027 千トンとなり、漁獲量が大きくなるという結果を得た。その仮定に対する将来予測結果の頑健性を調べるため、2018・2019 年漁期の漁獲量が 2017 年漁期の漁獲量（538 千トン）と等しいと仮定した場合のシナリオを検討した。

解析の結果、親魚量が目標管理基準値を達成する確率は 2023 年漁期まで、標準シナリオと同様に 100%であり、それ以降 2～3 年は標準シナリオよりも数%達成確率は高かった（補足表 3-1）。2027 年以降の達成確率は標準シナリオと同等であり、 β が 0.9 以下で 2030 年時点での達成確率が 50%以上となった（補足表 3-1）。2 つのシナリオで達成確率の変化が小さかったのは、平均親魚量は標準シナリオよりも高くなるものの、近年の卓越年級の発生により、いずれの場合でも SB_{msy} を大きく上回ることが期待されるからである（補足表 3-3）。2024 年漁期頃までの平均漁獲量については、標準シナリオよりも高くなる傾向にあった。例えば、 $\beta=0.8$ としたときの 2020 年漁期の平均漁獲量は、標準シナリオで 417 千トンであったのに対し、ここで検討シナリオでは 498 千トンであった。したがって、新しい漁業管理規則を適用してから数年の漁獲量は 2018・2019 年漁期の漁獲量に依存する。

補足表 3-1. 将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	0	100	100	100	100	100	86	68	58	54	51	49	48
0.9	0	100	100	100	100	100	90	74	63	58	56	54	53
0.8	0	100	100	100	100	100	94	79	69	63	60	58	57
0.7	0	100	100	100	100	100	97	84	74	69	65	63	62
0.6	0	100	100	100	100	100	99	89	79	74	70	68	67
0.5	0	100	100	100	100	100	100	93	84	79	75	73	72
0.4	0	100	100	100	100	100	100	96	90	84	81	78	77
0.3	0	100	100	100	100	100	100	98	93	89	86	84	82
0.2	0	100	100	100	100	100	100	100	97	94	91	89	87
0.1	0	100	100	100	100	100	100	100	99	97	95	93	92

補足表 3-2. 将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	97	96
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98	97
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
0.5	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
0.3	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
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足表 3-3. 将来の平均親魚量 (トン) の推移

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	1078000	1889000	2515000	3341000	3169000	2893000	2492000	2188000	2012000	1916000	1852000	1801000	1774000
0.9	1078000	1889000	2515000	3389000	3265000	3017000	2625000	2313000	2126000	2023000	1956000	1903000	1878000
0.8	1078000	1889000	2515000	3439000	3365000	3148000	2768000	2449000	2252000	2140000	2069000	2015000	1990000
0.7	1078000	1889000	2515000	3489000	3469000	3287000	2922000	2598000	2391000	2270000	2194000	2137000	2111000
0.6	1078000	1889000	2515000	3540000	3576000	3434000	3089000	2762000	2545000	2415000	2332000	2272000	2244000
0.5	1078000	1889000	2515000	3592000	3688000	3589000	3268000	2941000	2716000	2577000	2486000	2421000	2391000
0.4	1078000	1889000	2515000	3645000	3804000	3754000	3462000	3139000	2907000	2759000	2661000	2590000	2556000
0.3	1078000	1889000	2515000	3699000	3925000	3928000	3672000	3356000	3121000	2965000	2859000	2781000	2743000
0.2	1078000	1889000	2515000	3754000	4050000	4113000	3900000	3597000	3360000	3198000	3085000	3000000	2956000
0.1	1078000	1889000	2515000	3810000	4180000	4309000	4147000	3862000	3629000	3463000	3344000	3253000	3203000

補足表 3-4. 将来の平均漁獲量 (トン) の推移。

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1	538000	538000	613000	733000	674000	676000	596000	526000	483000	458000	443000	433000	425000
0.9	538000	538000	556000	675000	630000	641000	570000	505000	463000	439000	425000	415000	408000
0.8	538000	538000	498000	614000	583000	601000	539000	479000	440000	417000	403000	394000	388000
0.7	538000	538000	439000	551000	531000	555000	503000	449000	412000	390000	377000	369000	364000
0.6	538000	538000	379000	483000	474000	502000	461000	414000	380000	360000	347000	339000	334000
0.5	538000	538000	319000	413000	411000	443000	411000	371000	341000	323000	312000	305000	300000
0.4	538000	538000	257000	338000	343000	375000	353000	321000	296000	280000	270000	264000	259000
0.3	538000	538000	194000	260000	268000	298000	284000	260000	241000	228000	220000	215000	211000
0.2	538000	538000	131000	178000	187000	211000	204000	188000	175000	166000	161000	156000	154000
0.1	538000	538000	66000	91000	97000	112000	110000	103000	96000	91000	88000	86000	84000

平成 31（2019）年度ゴマサバ太平洋系群の 管理基準値等に関する研究機関会議報告書

担当水研：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を、平成 30（2018）年度ゴマサバ太平洋系群の資源評価における各種データを用いて検討した。本系群の資源水準は 1995 年漁期以降の資源量から中位、動向は最近 5 年間（2013～2017 年漁期）の資源量の推移から減少と判断されている。本系群の再生産関係式の候補として、最小絶対値法により最適化されたリッカー型（RI）再生産曲線を、目標管理基準の候補として SBmsy（158 千トン）を、限界管理基準の候補として SB0.6msy（50 千トン）を、禁漁水準の候補として SB0.1msy（6 千トン）をそれぞれ提案する。MSY を達成するときの漁獲率（漁獲量/資源量）は 27%であり、MSY を達成するときの漁獲圧は現状（Fcurrent、2013～2017 年漁期の平均漁獲圧）の 1.15 倍である。

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 1995～2017 年の全ての値を用いた。本系群では、ホッケー・スティック型再生産曲線（HS）、ベバートン・ホルト型再生産曲線（BH）、リッカー型（RI）再生産関係式を検討した。再生産関係の選択において、過去の最低親魚量よりも低親魚量側に再生産関係を外挿する場合に、乱獲のリスクを軽減するためには、加入量推定値が低い再生産関係を選択することが有効である。本系群において、AICc は BH および HS で低かったものの、BH は親魚量 38 千トン以下では、加入量の傾きが適切に推定できなかった（補足図 1-1）。RI は HS と比較して AICc が高かったものの、親魚量 38 千トン以下の加入量の傾きが緩やかであった（補足図 1-1）。HS と RI で管理した場合の乱獲のリスクを検討した結果、RI が推奨される結果が得られたことから、RI を選択した（補足資料 2）。最適化方法に関しては、最小絶対値法を用いた場合の方が最小二乗法を用いた場合より AIC は小さくなった。推奨されたモデルにおいて計算された残差の自己相関は有意でなかったため（補足図 1-4）、本系群においては自己相関を反映させないこととした。

再生産 関係式	最適化法	AICc	$\Delta AICc$	$\Delta AICc$ の順位	S.D.	データ数
RI	最小絶対値法	38.0	6.5	3	0.51	23
BH	最小絶対値法	31.5	0.0	1	0.44	23
HS	最小絶対値法	31.6	0.1	2	0.44	23
HS	最小二乗法	39.3	7.8	4	0.49	23
BH	最小二乗法	39.3	7.8	5	0.49	23
RI	最小二乗法	44.2	12.7	6	0.54	23

* 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絶対値法で最適化した自己相関を用いない RI (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 1995～2017 年級群の加入量および親魚量に基づく RI 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、現状の漁獲圧($F_{current}$ 、図 2)は 2013～2017 年漁期の漁獲係数(F 値)の平均値、将来予測における選択率は $F_{current}$ の選択率を用いた(下表)。

年齢	自然死亡係数	成熟率	平均体重 (g)	選択率	現状の漁獲係数 ($F_{current}$)
0	0.4	0.00	129	0.25	0.19
1	0.4	0.00	287	0.36	0.27
2	0.4	1.00	417	0.54	0.41
3	0.4	1.00	476	1.00	0.76
4 歳以上	0.4	1.00	580	1.00	0.76

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 MSY、MSY が達成されるとき親魚量を SB_{msy} とした。本系群では、世代時間の 10 倍を基準に、将来予測開始から約 50 年後を平衡状態とした。

2-2) 使用する再生産関係

再生産関係式としては最小絶対値法で最適化した自己相関を用いないリッカー型 (RI) を用いた。各パラメータは下表に、過去の親魚量、加入量との関係は図 1 に示す。ここで a、b は下式のリッカー型再生産式のパラメータである。R は加入量 (百万尾)、E は親魚量 (千トン)。

$$R = aEe^{-bE}$$

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.
RI	最小絶対値法	無	0.0135	5.58e-06	0.507

2-3) 管理基準値

本系群の目標管理基準値 (SBtarget) には標準値である 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。各水準における資源量を下表に示す。

管理基準値	親魚量	基準
目標管理基準値	158 千トン	SBmsy
限界管理基準値	50 千トン	SB0.6msy
禁漁水準	6 千トン	SB0.1msy

本系群における各基準値における、再生産関係を用いた将来予測での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、平行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。

2-4) 目標管理基準値と漁獲割合

目標管理基準値を用いた神戸プロットを図 4 に示す。本系群における漁獲割合は、2009 年、2017 年を除き、MSY を与える水準を上回っていると判断された。親魚量は 2006～2015 年の期間、目標管理基準値を上回っていたが、2016 年以降下回っている。

2-5) 漁獲管理規則

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 (HCR) 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) 管理基準値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 年漁期の漁獲量は現状の漁獲係数 ($F_{current}$) で漁獲するものとした。

直近年の親魚量は限界管理基準値を上回っているため、漁獲圧は βF_{msy} で維持される。再生産関係から見られるように、安定した加入量が継続すると見込まれることから、管理開始年である 2020 年の親魚量は SB_{msy} に近い水準となり、その後、緩やかに増加した後、親魚量、資源量は横ばい傾向を示すと予測された。

(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、目標管理基準値を上回る確率、限界管理基準値を上回る確率、平均親魚量および平均漁獲量の 2018~2030 年、2040 年、2050 年の推移を表 2~5 にそれぞれ示す。管理開始年である 2020 年の親魚量が MSY に近い水準であるため、 $\beta=0.9$ 以下で 2030 年に目標管理基準値を上回る確率は 50%を上回ると予測された。一方で、 β が 1 の場合には、2030 年に目標管理基準値を上回る確率は 50%を下回ると予測された。 $\beta=0.9$ と 1 の場合の漁獲量の差は大きくなかった。

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、ゴマサバ太平洋系群の資源評価データを用いた。当該資源評価における本系群の資源状態は、1995 年漁期以降の資源量から資源水準は中位、最近 5 年間 (2013~2017 年漁期) の資源量の推移から資源動向は減少と判断された。本系群は、1995 年以降の親魚量と加入量の関係からみて、現状 (2013~2017 年平均) の漁獲圧のもとで資源量が将来的には現状よりも高い水準で推移すると見込まれ、資源の持続的な利用が可能な状態にあると考えられる。

本系群の再生産関係については、最適化法としては最小絶対値法を用いた RI とし、自己相関は考慮しなかった。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 SB_{msy} を用いた。限界管理基準値は MSY の 60%の漁獲が得られる親魚量 ($SB_{0.6msy}$) とし、禁漁水準には MSY の 10%の漁獲が得られる親魚量 ($SB_{0.1msy}$) を設定した。 MSY を達成するときの漁獲率 (漁獲量/資源量) は 27%であり、 MSY を達成するときの漁獲圧は現状の漁獲圧 ($F_{current}$ 、2013~2017 年漁期の平均の漁獲係数) の 1.15 倍である。

これらの管理基準値を用いた HCR のもとで実施した通常の将来予測では、本系群で平均的に期待される加入量が高いことから、親魚量が高い水準で維持され、 $\beta=0.9$ とした場合には 50%以上の確率で目標管理基準値を上回ると推定された。

4. 今後の検討事項

本系群では、現状の F は高くないため、管理開始年である 2020 年には、親魚量が SB_{msy} 付近まで回復する予測となっている。しかし、2015～2017 年の加入量は再生産関係から期待されるよりも低い値となっており、今後もこの傾向が継続する可能性がある。そのような場合には、加入量の短期的な変動を考慮した将来予測を検討する必要がある。

(執筆者：由上龍嗣、井須小羊子、上村泰洋、古市 生)

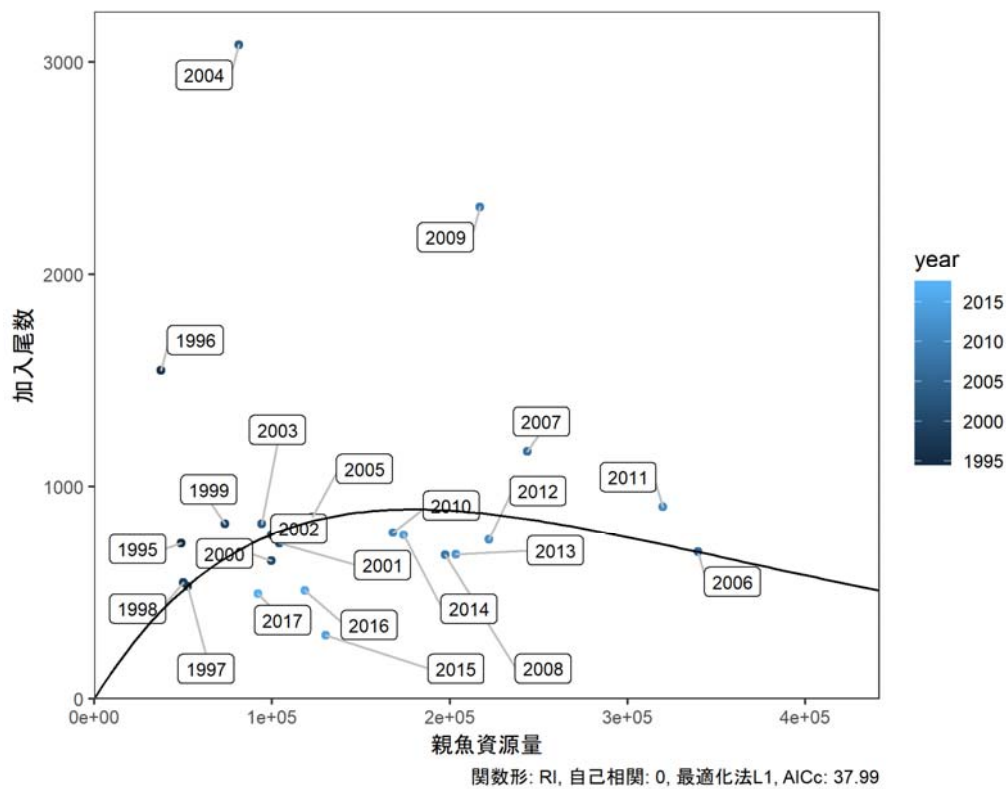


図 1. 再生産関係 図中の数字は年級群を示す。再生産曲線にはリッカー型（RI）を用い、自己相関を考慮しない最小絶対値法によりパラメータ推定を行った。

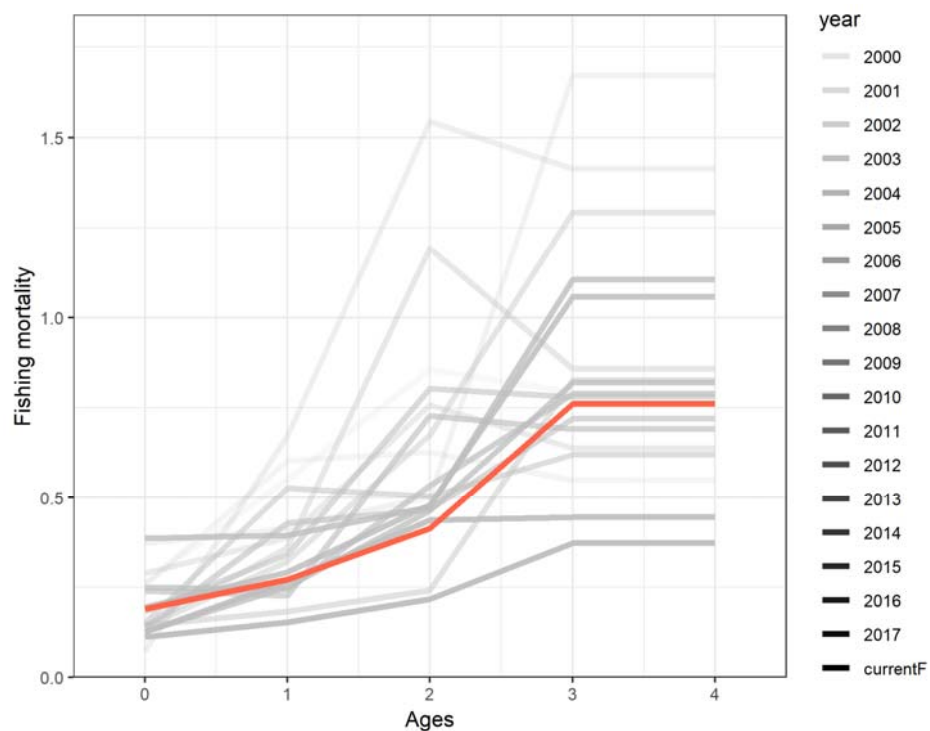


図 2. 年齢別 F 値 現状の漁獲係数（Fcurrent）を赤線で、2000 年漁期以降の値を灰色線で示した。

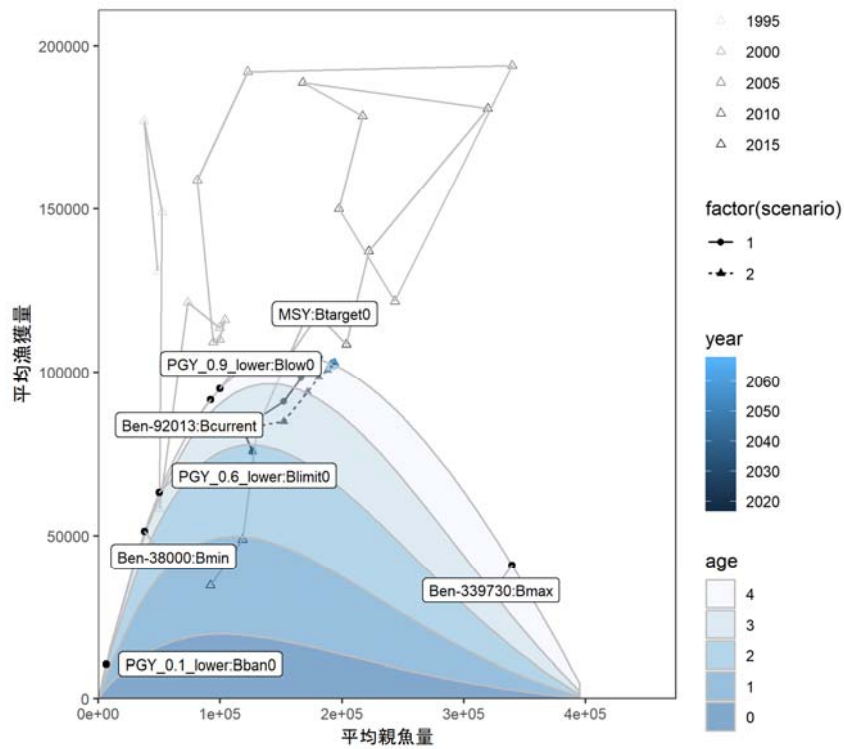
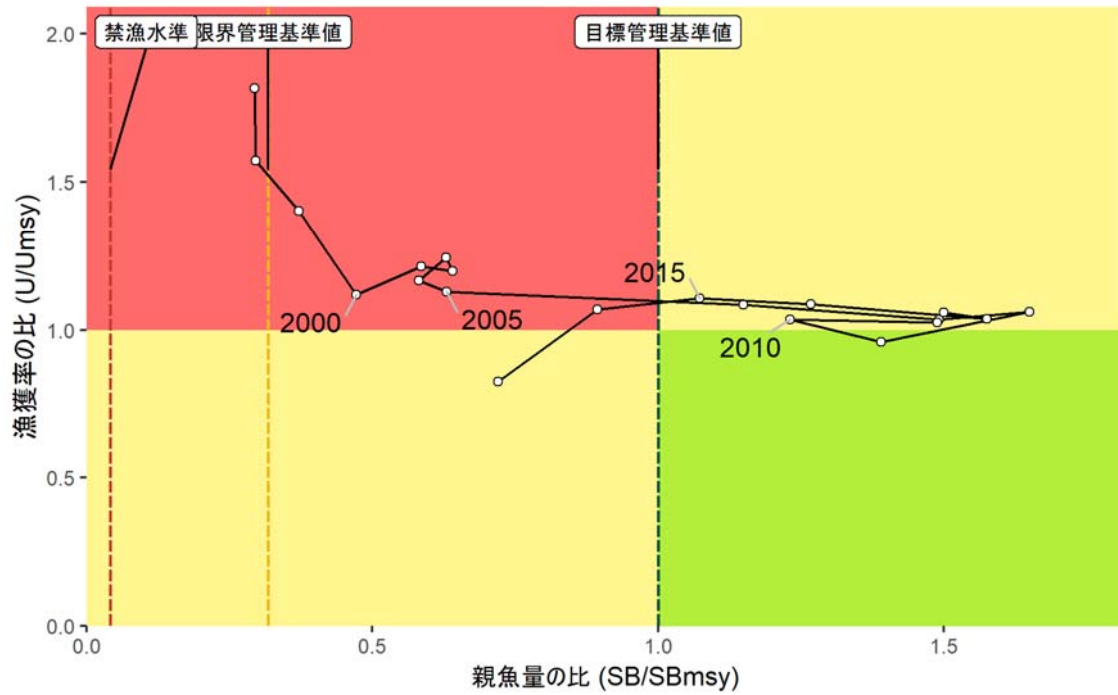


図3. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線の関係 仮定された再生産関係を用いた将来予測での平衡状態における親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値を面で、漁獲量と親魚量の観測値（△）と将来予測（●:Fcurrent による漁獲、▲:標準値を用いた HCR による漁獲）における推移を折れ線で示した。

(a) 縦軸を漁獲率の比 (U/U_{msy}) にした場合



(b) 縦軸を漁獲圧の比 (F/F_{msy}) にした場合

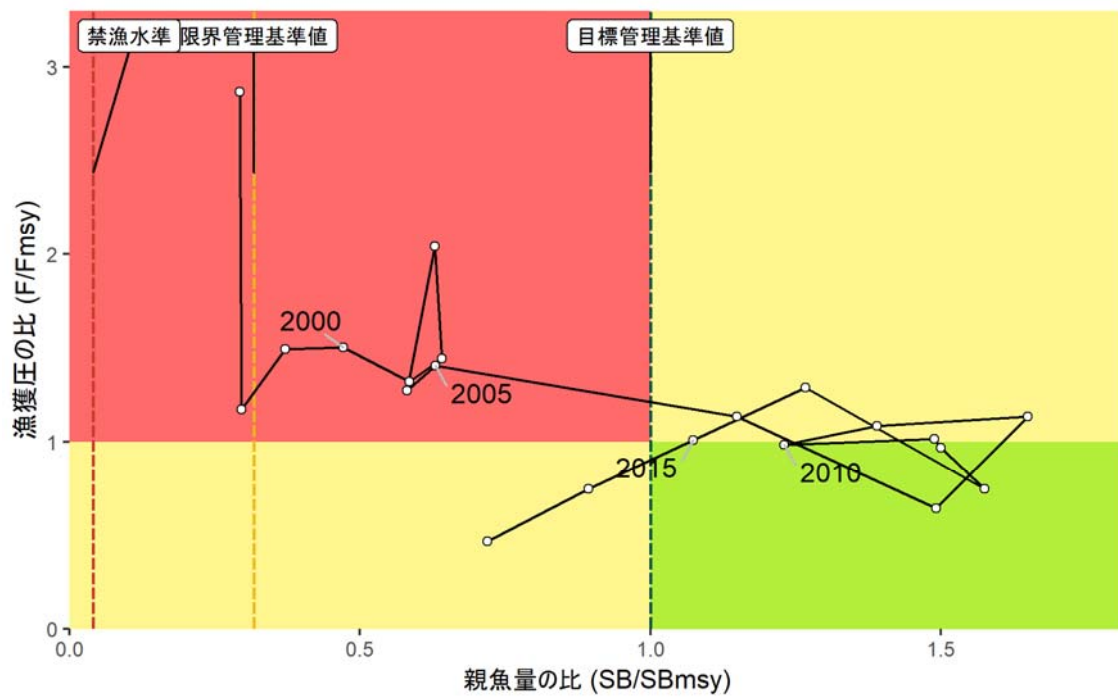


図 4. 神戸プロット (4 区分) 管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、 SB_{ban} にはそれぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。3 年間の移動平均値で平滑化した値を図示した。

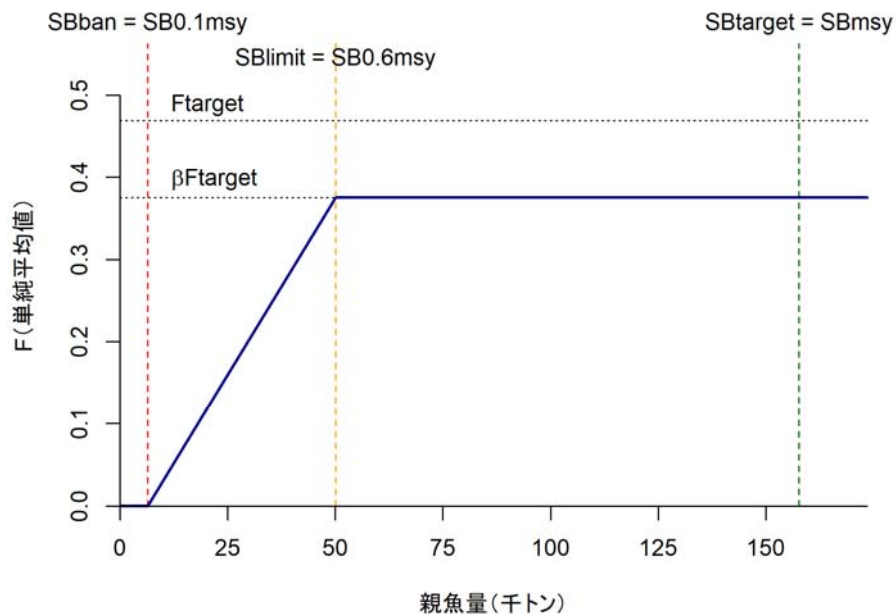


図 5. 漁獲管理規則 管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、 β には標準値である 0.8 を用いた。

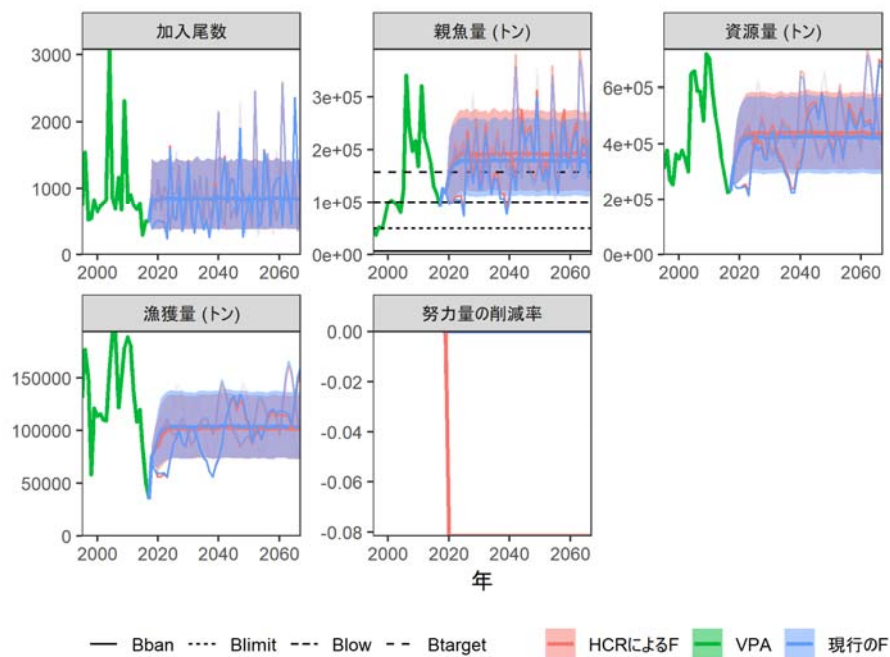


図 6. 漁獲管理規則による将来予測の平均値(実線)と 80%信頼区間 管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は Fcurrent による値を与えた。 β には標準値である 0.8 を用いた。加入尾数の単位は 100 万尾。

表 1. 各種管理基準値と、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、漁獲量の変動係数、漁獲率、および現状の漁獲圧（Fcurrent、2015～2017 年平均漁獲圧）に対する努力量の乗数の関係

管理基準値	親魚資源量	B0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
Bmax	339730	0.85	41026	0.17	0.07	0.20
Btarget0 (SBmsy)	157694	0.39	105482	0.26	0.27	1.15
Blow0 (SB0.9msy)	100005	0.25	94933	0.33	0.32	1.58
Bcurrent	92013	0.23	91511	0.34	0.33	1.65
Blimit0 (SB0.6msy)	50100	0.13	63288	0.46	0.36	2.01
Bmin	37621	0.10	51362	0.52	0.37	2.12
Bban (SB0.1msy)	6436	0.02	10547	1.12	0.40	2.47

Bmax は観測された中での最高親魚量、Blow は MSY の 90% が得られる親魚量の少ない方、Bcurrent は 2017 年の親魚量、Bmin は観測された中での最低親魚量を示す。

表 2. 将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	0	0	36	42	41	41	43	42	42	41	42	42	42	41	42
0.9	0	0	36	47	50	53	55	54	54	54	55	54	54	53	54
0.8	0	0	36	52	59	64	66	66	67	67	66	67	67	67	66
0.7	0	0	36	57	69	75	77	78	79	78	78	77	78	79	78
0.6	0	0	36	62	77	84	87	88	88	88	88	87	87	88	87
0.5	0	0	36	68	84	92	94	95	95	94	95	94	94	95	94
0.4	0	0	36	73	90	96	98	98	98	98	98	98	98	98	98
0.3	0	0	36	78	94	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	36	82	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	36	86	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	36	89	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた漁獲管理規則で 2020 年から漁獲した場合の将来予測結果。2018 年および 2019 年は Fcurrent による漁獲とした。

表 3. 将来の親魚量が限界管理基準値を上回る確率 (%)

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた漁獲管理規則で 2020 年から漁獲した場合の将来予測結果。2018 年および 2019 年は Fcurrent による漁獲とした。

表 4. 将来の平均親魚量の推移（トン）

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	126,426	118,278	152,204	157,753	156,334	157,767	158,785	157,875	158,207	156,180	157,683	157,435	156,565	156,510	156,901
0.9	126,426	118,278	152,204	164,537	168,141	172,159	174,455	174,148	174,786	172,813	174,431	174,258	173,413	173,361	173,683
0.8	126,426	118,278	152,204	171,665	181,022	188,106	191,699	191,832	192,596	190,562	192,206	192,051	191,221	191,127	191,384
0.7	126,426	118,278	152,204	179,158	195,096	205,837	210,749	211,073	211,714	209,486	211,087	210,916	210,107	209,958	210,160
0.6	126,426	118,278	152,204	187,037	210,498	225,625	231,902	232,078	232,253	229,679	231,197	231,017	230,256	230,053	230,215
0.5	126,426	118,278	152,204	195,327	227,384	247,799	255,553	255,155	254,399	251,280	252,711	252,584	251,930	251,664	251,814
0.4	126,426	118,278	152,204	204,054	245,928	272,757	282,222	280,772	278,471	274,512	275,858	275,916	275,479	275,125	275,296
0.3	126,426	118,278	152,204	213,246	266,329	300,982	312,612	309,652	305,029	299,753	300,943	301,381	301,358	300,889	301,122
0.2	126,426	118,278	152,204	222,932	288,816	333,061	347,664	342,911	335,063	327,698	328,418	329,416	330,120	329,599	329,930
0.1	126,426	118,278	152,204	233,144	313,648	369,714	388,657	382,271	370,326	359,718	359,127	360,608	362,410	362,224	362,662
0.0	126,426	118,278	152,204	243,917	341,123	411,824	437,316	430,350	413,877	398,578	394,977	396,091	399,075	400,314	400,822

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた漁獲管理規則で 2020 年から漁獲した場合の将来予測結果。2018 年および 2019 年は Fcurrent による漁獲とした。

表 5. 将来の平均漁獲量の推移（トン）

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	75,652	82,844	101,484	104,956	105,532	105,608	105,814	105,438	105,229	105,197	105,040	104,926	104,773	105,474	104,957
0.9	75,652	82,844	93,357	99,825	102,469	103,687	104,457	104,401	104,327	104,360	104,252	104,189	104,057	104,701	104,204
0.8	75,652	82,844	84,849	93,866	98,428	100,712	101,939	102,086	102,056	102,086	101,984	101,947	101,828	102,388	101,924
0.7	75,652	82,844	75,938	86,973	93,240	96,496	98,079	98,314	98,242	98,219	98,099	98,076	97,971	98,440	98,023
0.6	75,652	82,844	66,599	79,029	86,703	90,808	92,652	92,873	92,684	92,571	92,426	92,417	92,333	92,712	92,354
0.5	75,652	82,844	56,807	69,897	78,566	83,348	85,368	85,500	85,134	84,904	84,738	84,754	84,704	84,995	84,705
0.4	75,652	82,844	46,534	59,420	68,522	73,727	75,842	75,845	75,271	74,907	74,728	74,781	74,779	74,986	74,771
0.3	75,652	82,844	35,750	47,417	56,188	61,425	63,533	63,424	62,664	62,164	61,971	62,064	62,123	62,256	62,115
0.2	75,652	82,844	24,423	33,681	41,084	45,740	47,659	47,513	46,685	46,098	45,884	45,991	46,105	46,190	46,115
0.1	75,652	82,844	12,518	17,968	22,608	25,709	27,063	26,984	26,353	25,851	25,647	25,711	25,825	25,892	25,864
0.0	75,652	82,844	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた漁獲管理規則で 2020 年から漁獲した場合の将来予測結果。2018 年および 2019 年は Fcurrent による漁獲とした。

補足資料 1 再生産関係式のモデル診断結果について

ゴマサバ太平洋系群の再生産関係について、1995 年漁期以降のデータを用いた RI 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. に最小絶対値法により最適化した 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。その結果、BH 型の再生産関係は、AICc の値は最も低かったものの、親魚量 38 千トン以下の加入量の傾きを適切に推定できていないことが示された。RI は HS と比較して、AICc は高かったものの、親魚量 38 千トン以下の場合の加入量の傾きが緩やかであった。

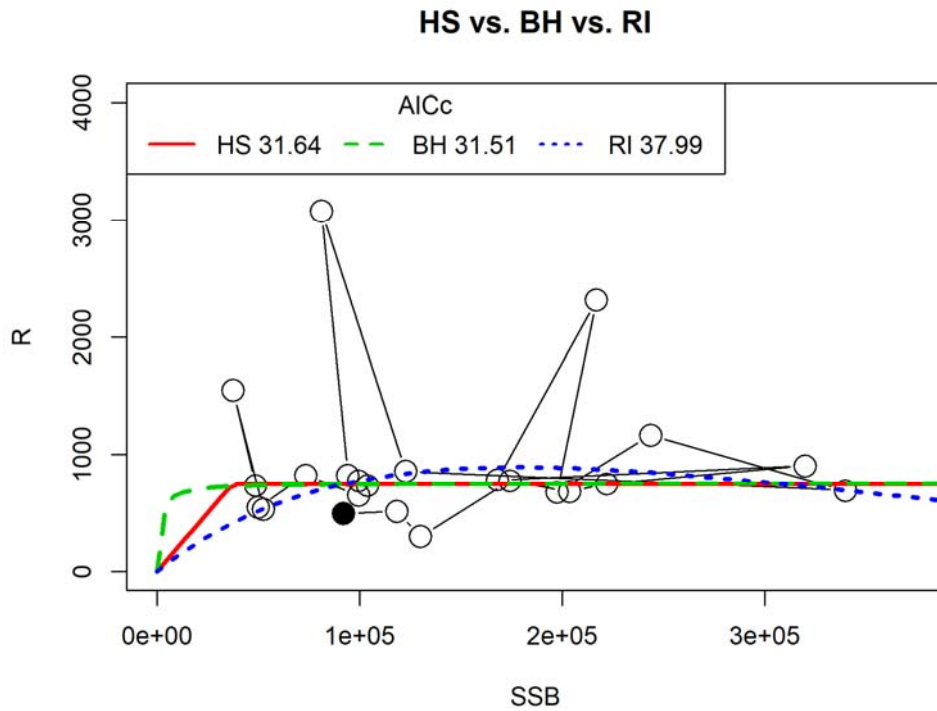
RI 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度および残差ブートストラップにおける 80%信頼区間、ジャックナイフ解析における推定値を補足図 1-2 に示す。パラメータ a、b を変化させた場合のプロファイル尤度は、点推定値で最大となっていることが確認された。

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逸脱する様子が見られた。このことから最小絶対値法で最適化することが適切と判断される。

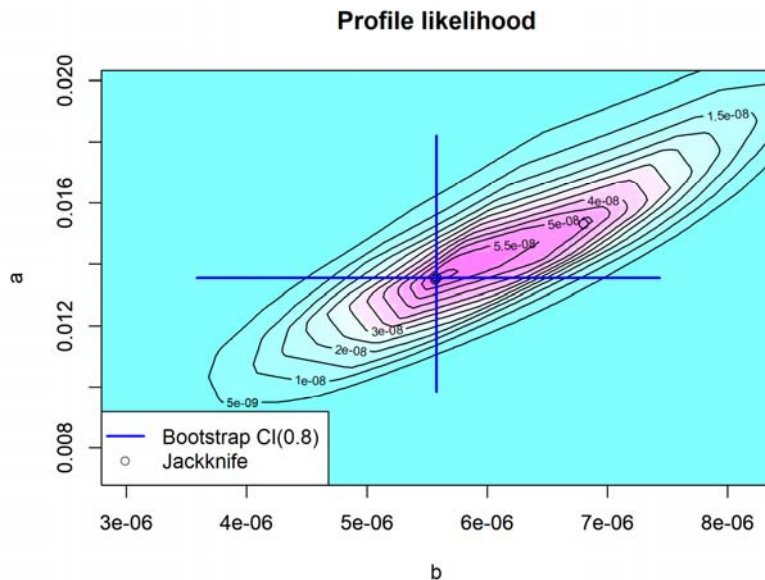
残差の経年的なトレンド（補足図 1-4）では、残差は 2011 年以降、明瞭な低下傾向を示し、特に 2015 年は大きく負に偏っていた。自己相関係数についてはそれぞれの年数で低い値となっており、明瞭なトレンドは見られなかった。

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）。a、b については中央値と点推定値がほぼ一致していたが、sd については中央値と点推定値はやや乖離していた。

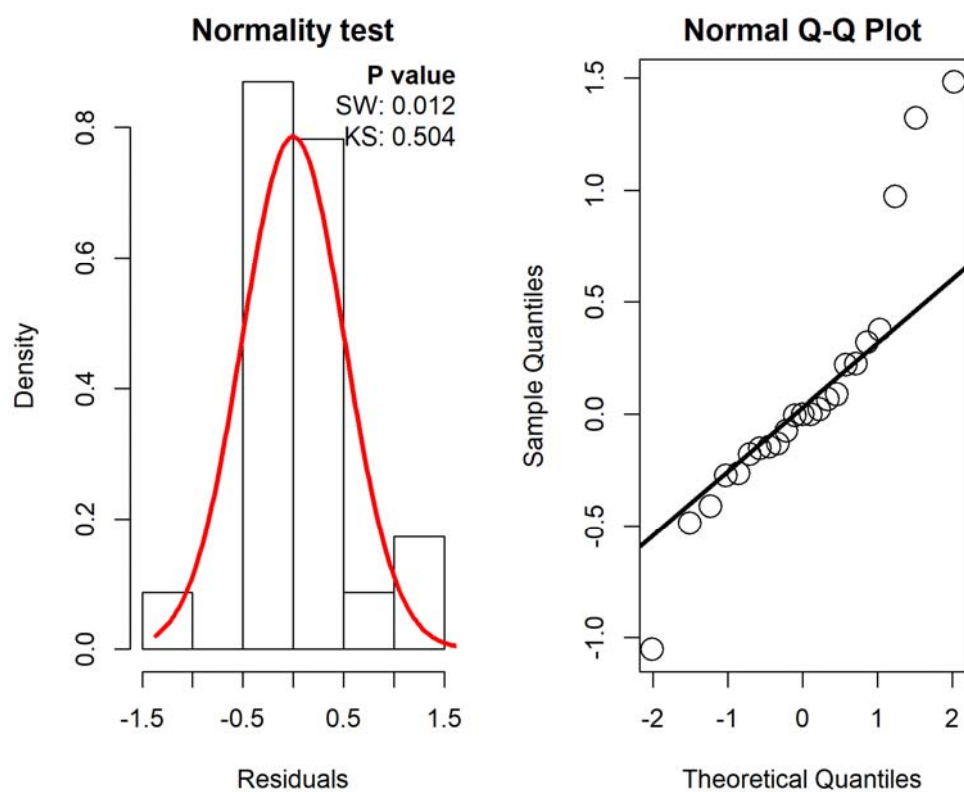
パラメータ推定の頑健性の確認のため、データを一点ずつ除きジャックナイフ解析を行った（補足図 1-7、1-8）。a、b ともに 2006 年、2007 年、2009 年、2011 年を除くと推定値が大きくなることが示された。sd については推定値の変化量は小さく、各データの除去に対して比較的頑健であった。



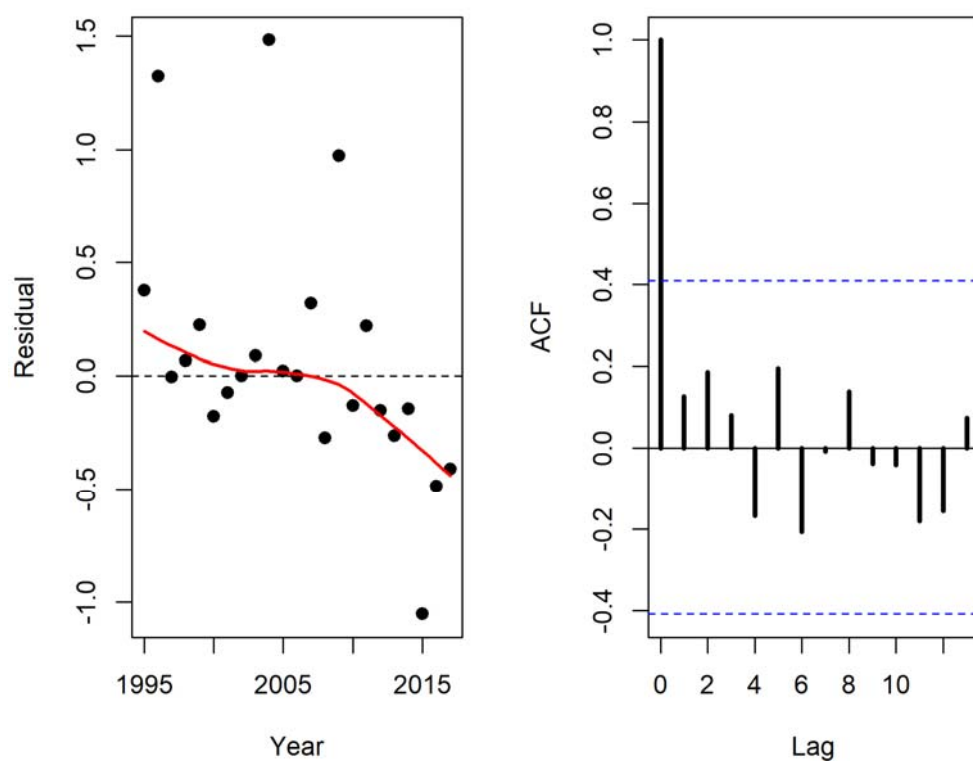
補足図 1-1. 最小絶対値法により推定された各モデルにおける再生産曲線 赤線はホッケ-スティック型再生産曲線 (HS)、緑線はベバートンホルト型再生産曲線 (BH)、青線はリッカー型再生産曲線 (RI) での推定値をそれぞれ示す。



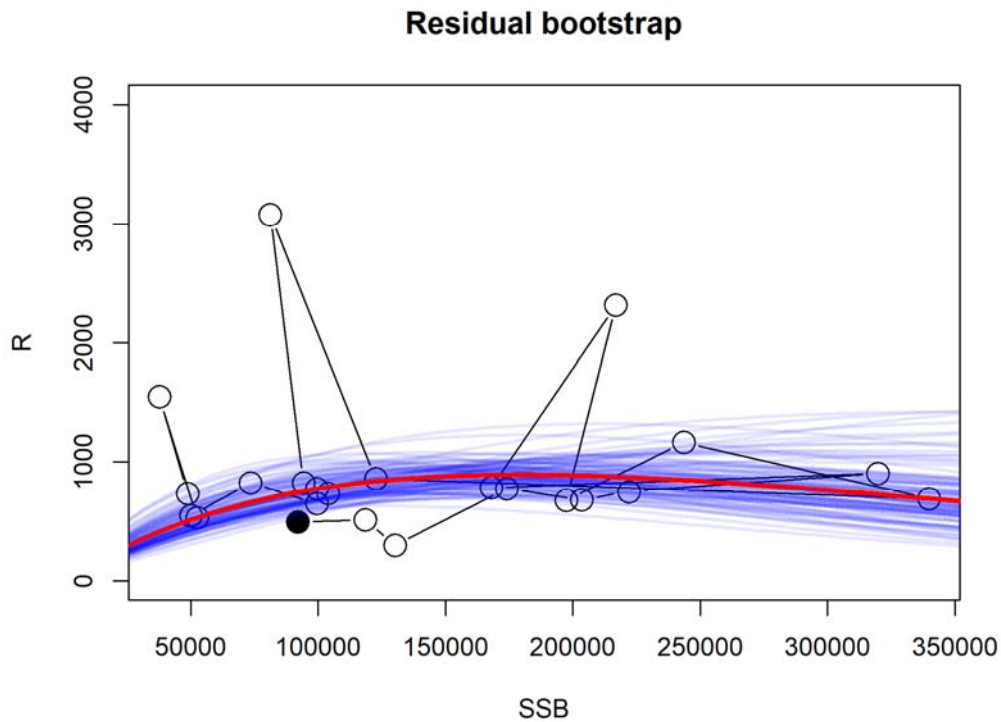
補足図 1-2. RI 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度 残差ブートストラップにおける 80%信頼区間 (青線) とジャックナイフ解析における推定値 (○) を併せて示した。



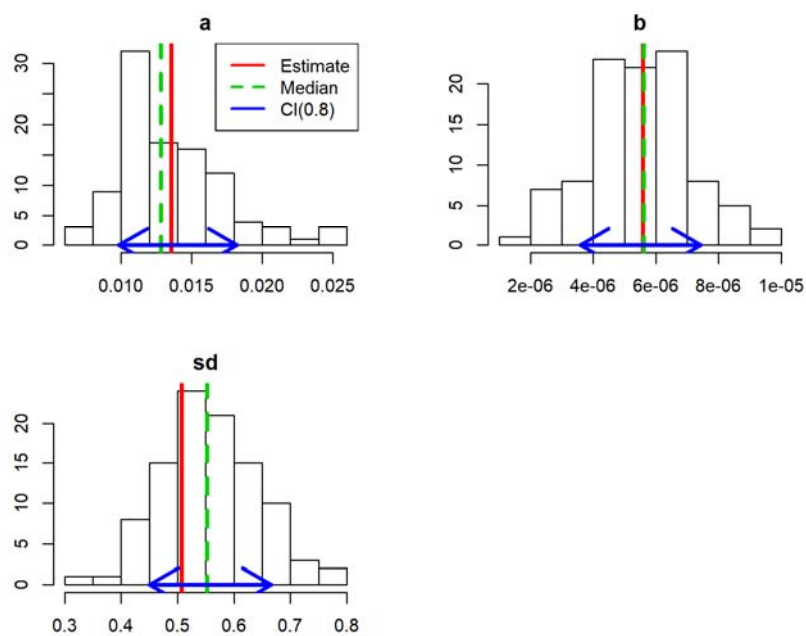
補足図 1-3. 残差分布の正規性テスト結果（左）と QQ プロット（右）



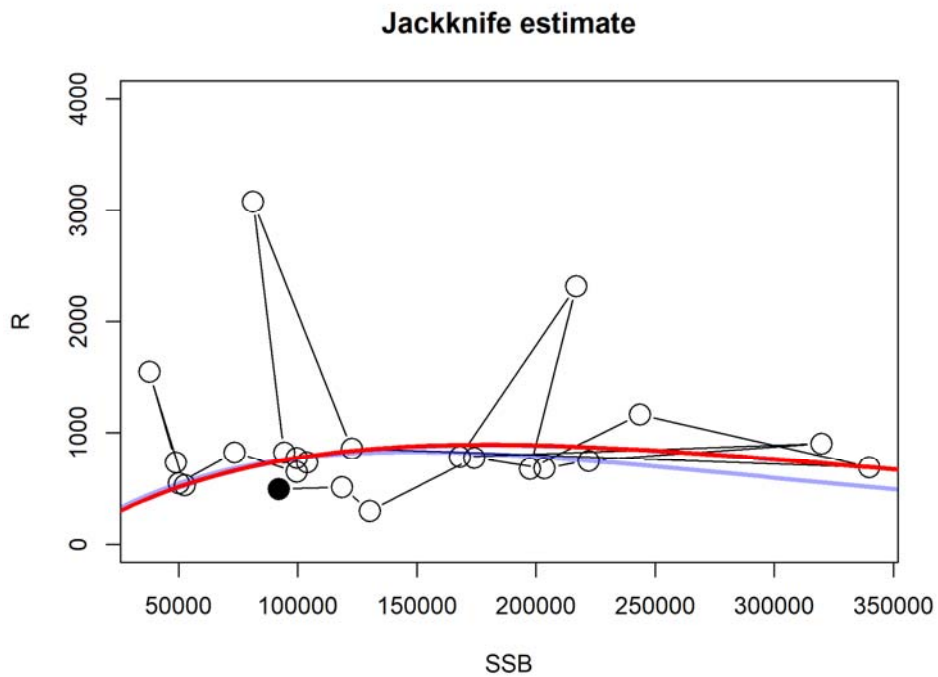
補足図 1-4. 残差のトレンド（左）と自己相関係数（右）



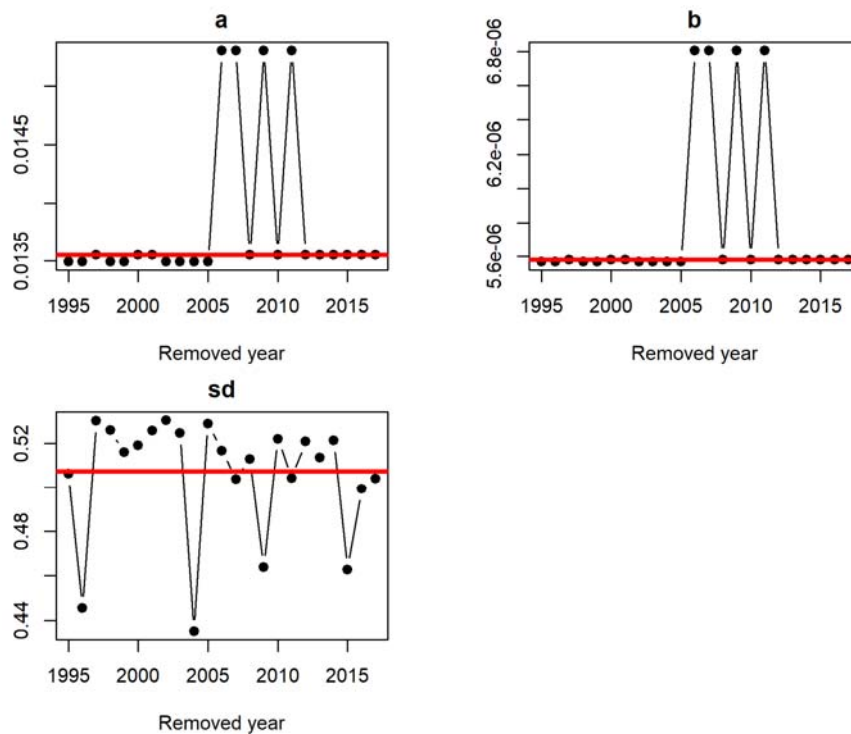
補足図 1-5. 残差ブートストラップにおける RI 曲線の推定結果 赤線は元データでの推定値、青線は各ブートストラップでの推定値。



補足図 1-6. 残差ブートストラップにおける RI 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 RI 曲線の推定結果 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。



補足図 1-8. ジャックナイフ解析における RI 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 再生産関係式の検討

本系群の再生産関係の候補として、BH は親魚量 38 千トン以下では加入量の傾きが適切に推定できず、RI か HS を適用することが考えられた。RI よりも HS の方が AICc は低くなっていたが、親魚量が低いときのデータが少なく、AICc のみでどちらの再生産関係が妥当か判断するのは難しい状況である。そこで、再生産関係の仮定が誤っていた場合の感度分析を行い、RI と HS のどちらの再生産関係が頑健か検討した。

方法

真の再生産関係が RI のときに誤って HS を仮定した漁獲管理規則（HCR）で管理を行った場合と、真の再生産関係が HS のときに誤って RI を仮定した HCR で管理を行った場合の将来予測を行った。RI を採用したときの管理基準値については本文に、HS を採用したときの管理基準値については補足資料 3 に記載している。

結果

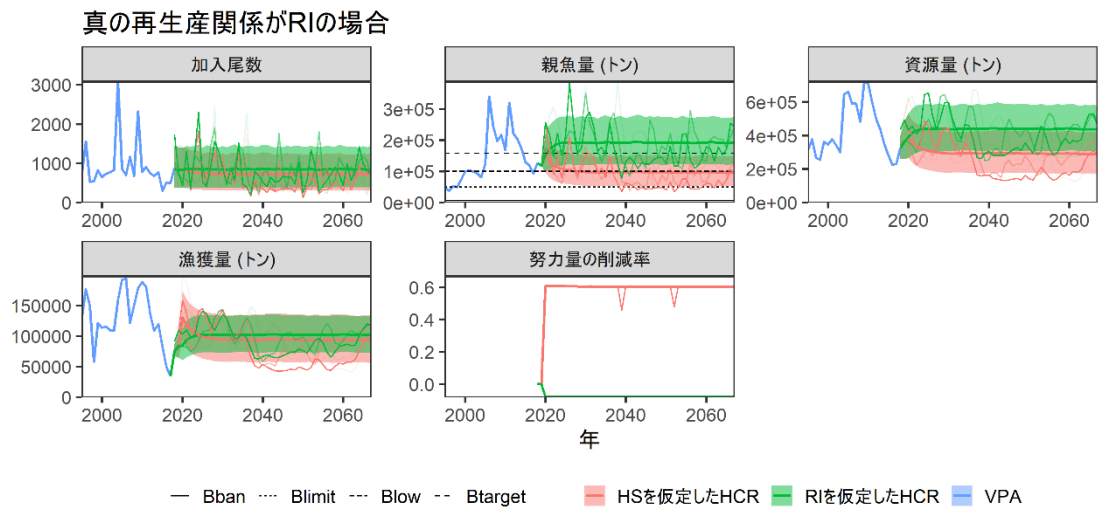
真の再生産関係が RI のときに HS を仮定した HCR で管理を行うと、F は RI を仮定した場合より高くなり、平均漁獲量 ($\beta = 0.8$) は RI を仮定した場合に比べてわずかに低い水準で推移した（補足図 2-1）。親魚量は、RI を仮定した場合に比べ低い水準で推移し（補足図 2-1）、過去最低親魚量を下回ることもあった（補足表 2-2）。

真の再生産関係が HS のときに RI を仮定した HCR で管理を行うと、F は HS を仮定した場合より低くなり、親魚量は高い水準で維持された（補足図 2-2）。過去最低親魚量を下回ることにはなかった（補足表 2-4）。一方で平均漁獲量 ($\beta = 0.8$) は、HS を仮定した場合に比べてわずかに低い水準で推移した（補足図 2-2）。

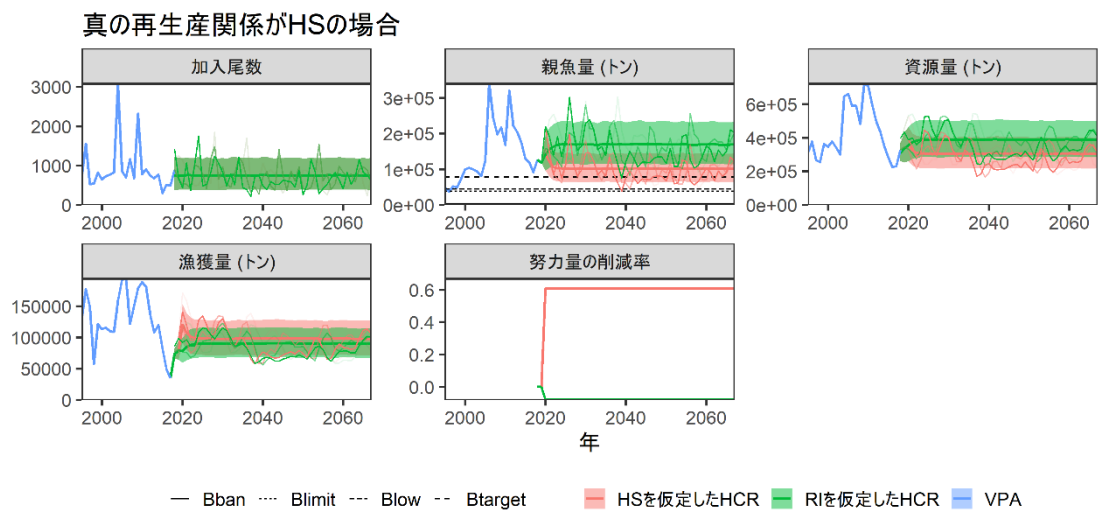
考察

真の再生産関係が RI のときに誤って HS を仮定すると、親魚量を低い水準で維持することになり、過去最低親魚量を下回る場合も出てきた。一方で、真の再生産関係が HS のときに誤って RI を仮定すると、親魚量は高い水準で維持され、漁獲量はわずかに低くなるが、HS を仮定した場合と大きな差はなかった。RI を仮定した場合、F は HS を仮定した場合よりも低くなるが、資源量（親魚量）が多くなることで、漁獲量自体はあまり変わらなかったと考えられる。

以上をまとめると、HS は誤って採用した場合に、親魚量が減少してしまうリスクが大きい。一方で、RI は誤って採用してしまっても、親魚量減少のリスクは小さく、漁獲量の減少も小さい。よって、より頑健な RI の採用を提案する。本系群では、2015～2017 年の加入量が低い値で継続していることから、親魚量減少のリスクの低い RI を採用することが望ましい。



補足図 2-1. 真の再生産関係が RI のときに HS を仮定した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 加入尾数の単位は百万尾。



補足図 2-2. 真の再生産関係が HS のときに RI を仮定した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 加入尾数の単位は百万尾。

補足表 2-1. 真の再生産関係が RI のときに HS を仮定した HCR で管理したときの漁獲量 (トン)

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	75,652	82,844	152,237	124,619	108,259	98,433	91,801	86,380	82,656	79,884	77,660	75,883	74,723	72,378	72,021
0.9	75,652	82,844	141,823	122,341	109,925	102,528	97,760	93,722	91,006	89,047	87,413	86,060	85,089	83,350	82,882
0.8	75,652	82,844	130,604	118,863	110,451	105,437	102,428	99,735	98,055	96,923	95,903	95,095	94,499	94,080	93,606
0.7	75,652	82,844	118,502	113,935	109,525	106,820	105,385	103,882	103,019	102,542	102,040	101,643	101,331	101,797	101,300
0.6	75,652	82,844	105,428	107,251	106,743	106,223	106,106	105,526	105,213	105,121	104,919	104,765	104,588	105,289	104,773
0.5	75,652	82,844	91,281	98,428	101,563	103,053	103,947	103,952	103,897	103,935	103,832	103,778	103,649	104,273	103,784
0.4	75,652	82,844	75,951	86,983	93,249	96,503	98,086	98,320	98,249	98,226	98,106	98,083	97,977	98,446	98,029
0.3	75,652	82,844	59,309	72,309	80,775	85,407	87,391	87,550	87,233	87,034	86,873	86,881	86,821	87,134	86,827
0.2	75,652	82,844	41,215	53,630	62,677	67,959	70,086	70,027	69,353	68,919	68,734	68,808	68,835	69,003	68,826
0.1	75,652	82,844	21,506	29,953	36,814	41,191	43,015	42,877	42,066	41,477	41,260	41,362	41,483	41,562	41,501
0.0	75,652	82,844	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足表 2-2. 真の再生産関係が RI のときに HS を仮定した HCR で管理したときの SSB>SBmin の確率 (%)

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	100	100	100	100	99	98	95	92	90	87	85	83	83	80	80
0.9	100	100	100	100	100	99	98	98	96	95	95	94	93	92	92
0.8	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99	99	98	98
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足表 2-3. 真の再生産関係が HS のときに RI を仮定した HCR で管理したときの漁獲量 (トン)

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	73,890	78,437	93,536	94,971	94,890	94,653	94,725	94,455	94,293	94,219	94,068	94,005	93,942	94,398	94,106
0.9	73,890	78,437	86,080	90,307	91,947	92,514	92,857	92,701	92,562	92,491	92,341	92,288	92,218	92,643	92,382
0.8	73,890	78,437	78,268	84,922	88,254	89,716	90,408	90,408	90,314	90,255	90,108	90,065	89,992	90,384	90,154
0.7	73,890	78,437	70,079	78,717	83,642	86,063	87,187	87,395	87,377	87,343	87,206	87,174	87,101	87,459	87,262
0.6	73,890	78,437	61,488	71,575	77,902	81,300	82,928	83,406	83,504	83,517	83,402	83,383	83,315	83,638	83,474
0.5	73,890	78,437	52,472	63,364	70,778	75,086	77,264	78,071	78,334	78,424	78,350	78,352	78,295	78,583	78,452
0.4	73,890	78,437	43,003	53,931	61,947	66,968	69,676	70,852	71,329	71,534	71,528	71,562	71,526	71,785	71,689
0.3	73,890	78,437	33,054	43,099	51,013	56,348	59,434	60,953	61,670	62,023	62,116	62,201	62,202	62,446	62,383
0.2	73,890	78,437	22,593	30,664	37,481	42,423	45,500	47,190	48,090	48,585	48,795	48,945	48,998	49,249	49,217
0.1	73,890	78,437	11,586	16,389	20,734	24,120	26,396	27,776	28,595	29,092	29,358	29,541	29,636	29,892	29,886
0.0	73,890	78,437	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足表 2-4. 真の再生産関係が HS のときに RI を仮定した HCR で管理したときの
SSB>SBmin の確率 (%)

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足資料3 ホッケー・スティック型再生産曲線(HS)を用いた場合

1) 将来予測と管理基準値

候補として考えられた最小絶対値法で最適化した自己相関は考慮しない HS 再生産関係を用いて算出した管理基準値も参考として示す。各パラメータは下表に、過去の親魚量、加入量との関係は補足図 3-1 に示す。ここで a は HS の折れ点までの再生産関係の傾き（尾/kg）、b は HS の折れ点となる親魚量（トン）である。

再生産関係式	最適化法	自己相関の有無	a	b	S.D.
HS	最小絶対値法	無	0.0199	37,621	0.442

目標管理基準値（SBtarget）には標準値である MSY 水準における親魚量（SBmsy）、限界管理基準値（SBlimit）には過去最低親魚量（SBmin）、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。限界管理基準値の標準値は MSY の 60% の漁獲が得られる親魚量（SB0.6msy）であるが、その値が 25 千トンと過去最低親魚量（SBmin：38 千トン）よりも低い値となることから、SBmin とした。これは平成 30 年度資源評価で使用している Blimit と一致する。各水準における資源量を下表に示す。

管理基準値	親魚量	基準
目標管理基準値	78 千トン	SBmsy
限界管理基準値	38 千トン	SBmin
禁漁水準	4 千トン	SB0.1msy

各基準値における、再生産関係を用いた将来予測での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、平行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補足表 3-1 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補足図 3-2 に示す。

目標管理基準値を用いた神戸プロットを補足図 3-3 に示す。本系群における漁獲割合は、1998 年以降、MSY を与える水準を下回っていると判断され、親魚量は 2000 年以降、MSY を上回っており、現状の親魚量は目標管理基準値を上回っている。

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（HCR）における親魚量と漁獲係数の関係を補足図 3-4 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 3-5 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 年漁期の漁獲量は現状の漁獲係数（Fcurrent）で漁獲するものとした。

親魚量、資源量は、再生産関係から 2018 年以降、加入量が安定して継続することにより、横ばい傾向を示すと推測される。親魚量は MSY よりも高い水準であるため、漁獲圧が $F_{current}$ から引き上げられることから、漁獲量は $F_{current}$ を上回って推移する。

将来予測において β を 0~1 の間で変えた場合の、目標管理基準値を上回る確率、限界管理基準値を上回る確率、平均親魚量および平均漁獲量の 2018~2030 年、2040 年、2050 年の推移を補足表 3-2~5 にそれぞれ示す。管理開始年の 2020 年の親魚量が MSY を超える水準であるため、目標管理基準値を上回る確率は $\beta=0.8$ 以下では比較的高く、75%程度で平衡状態となるが、 $\beta=1$ では 2023 年以降の確率は 50%を下回った。漁獲量は β の値が高い方が多くなる傾向にある。

2) モデル診断

ゴマサバ太平洋系群の再生産関係について、1995 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。

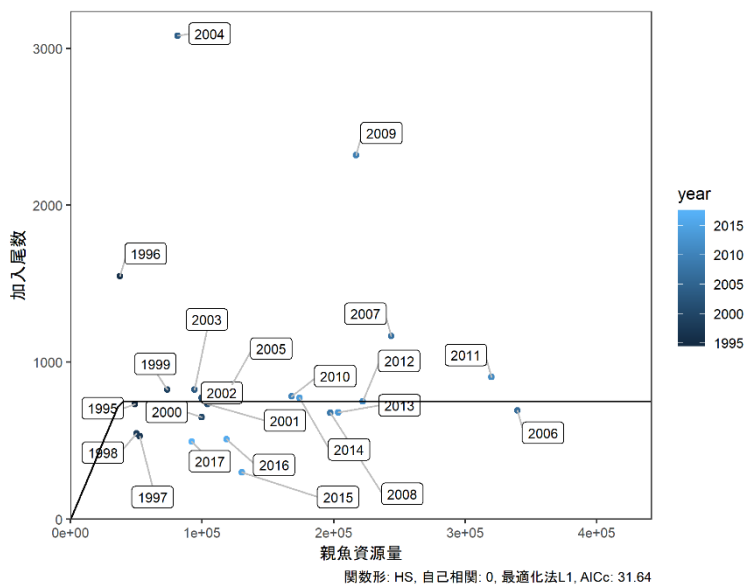
HS 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度および残差ブートストラップにおける 80%信頼区間、ジャックナイフ解析における推定値を補足図 3-6 に示す。パラメータ b の値の尤度は小さいが、 a の値の尤度は大きくなっていた。

モデルに対する残差の正規性（補足図 3-7）では、Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定の双方において逸脱する様子が見られた。このことから、最小絶対値法を用いた HS 再生産関係を当補足資料で検討した。

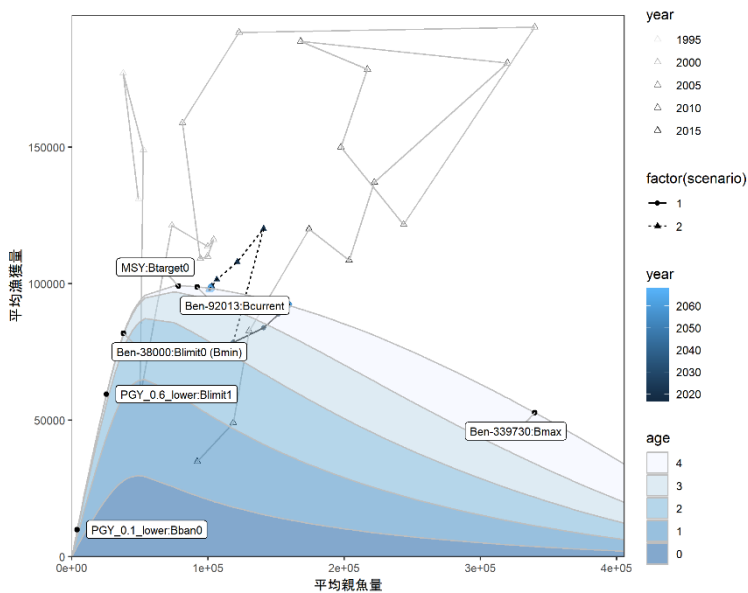
残差の経年的なトレンド（補足図 3-8）では、残差は 2010 年以降、明瞭な低下傾向を示し、特に 2015 年は大きく負に偏っていた。自己相関係数についてはそれぞれの年数で低い値となっており、明瞭なトレンドは見られなかった。

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 3-9、3-10）。 b についてはほぼ過去最低親魚量と推定され、信頼区間は狭かったが、 a および σ については信頼区間がやや広く、中央値と点推定値はやや乖離していた。

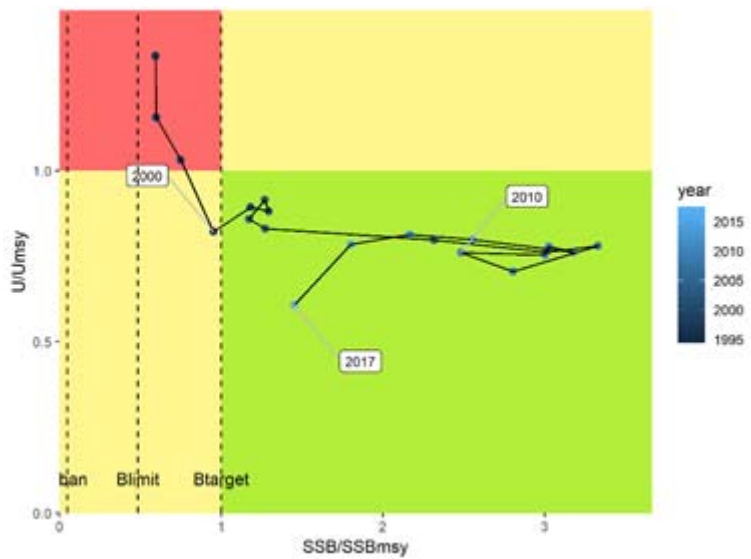
パラメータ推定の頑健性の確認のため、データを一点ずつ除きジャックナイフ解析を行った（補足図 3-11、3-12）。折れ点と推定される過去最低親魚量の 1996 年の影響が非常に強く、この年のデータを除くと a の推定値が小さく、 b の推定値が大きくなることが示された。 σ については推定値の変化量は小さく、各データの除去に対して比較的頑健であった。



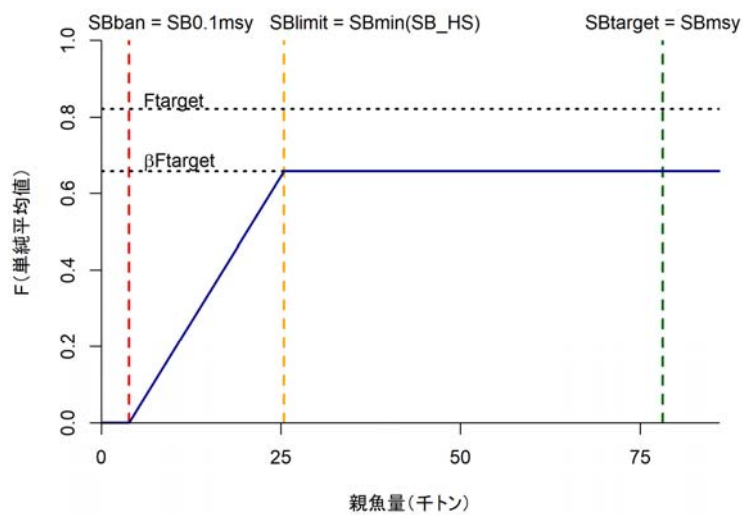
補足図 3-1. 再生産関係 図中の数字は年級群を示す。再生産曲線にはホッカー・スティック型 (HS) を用い、自己相関を考慮しない最小絶対値法によりパラメータ推定を行った。



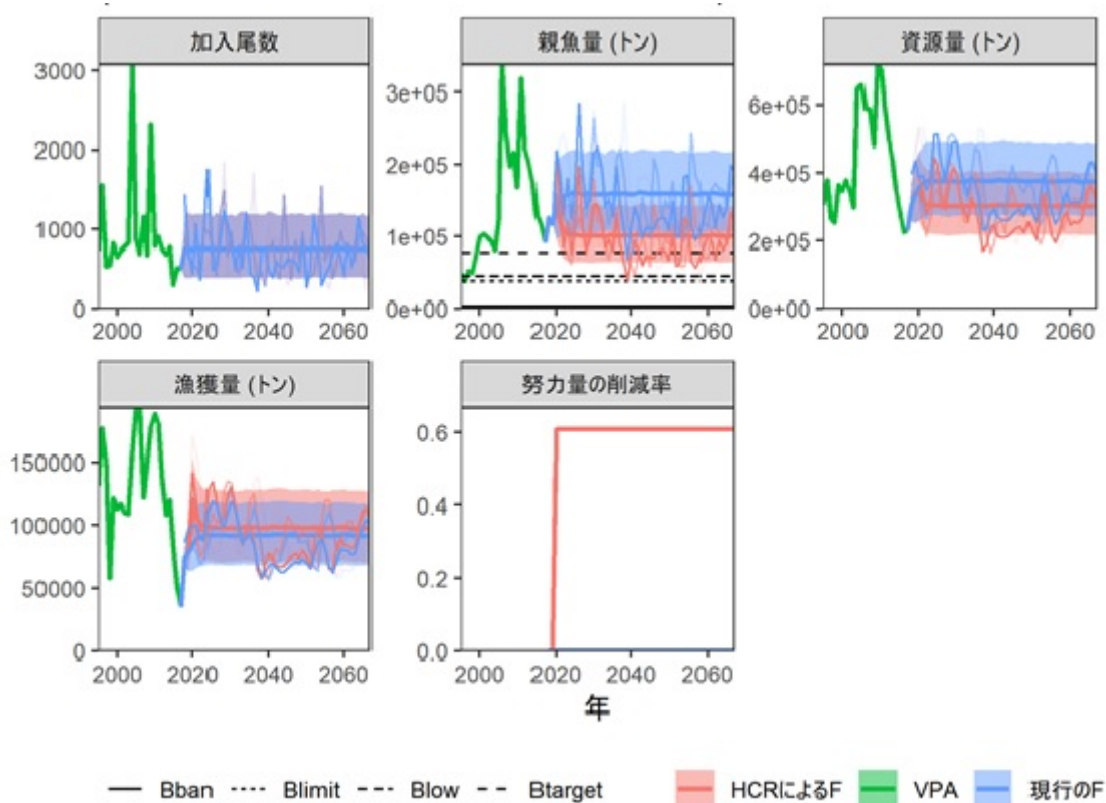
補足図 3-2. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線の関係 仮定された再生産関係を用いた将来予測での平衡状態における親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値を面で、漁獲量と親魚量の観測値 ($\triangle$) と将来予測 ($\bullet$: Fcurrent による漁獲、 $\blacktriangle$: 標準値を用いた HCR による漁獲) における推移を折れ線で示した。



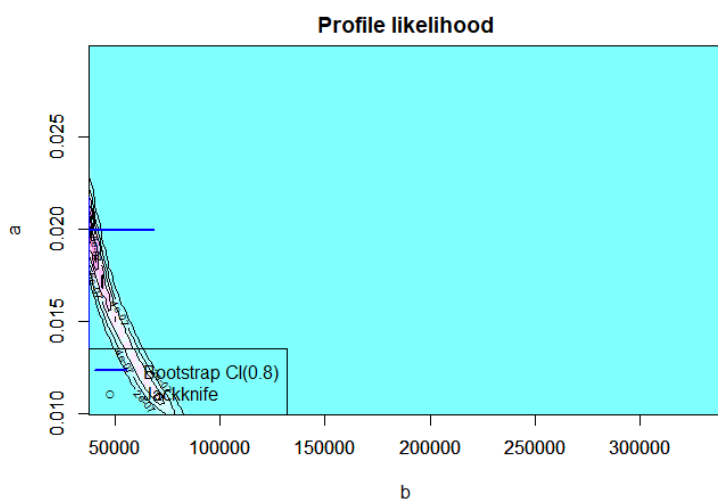
補足図 3-3. 神戸プロット (4 区分) 管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用いた。



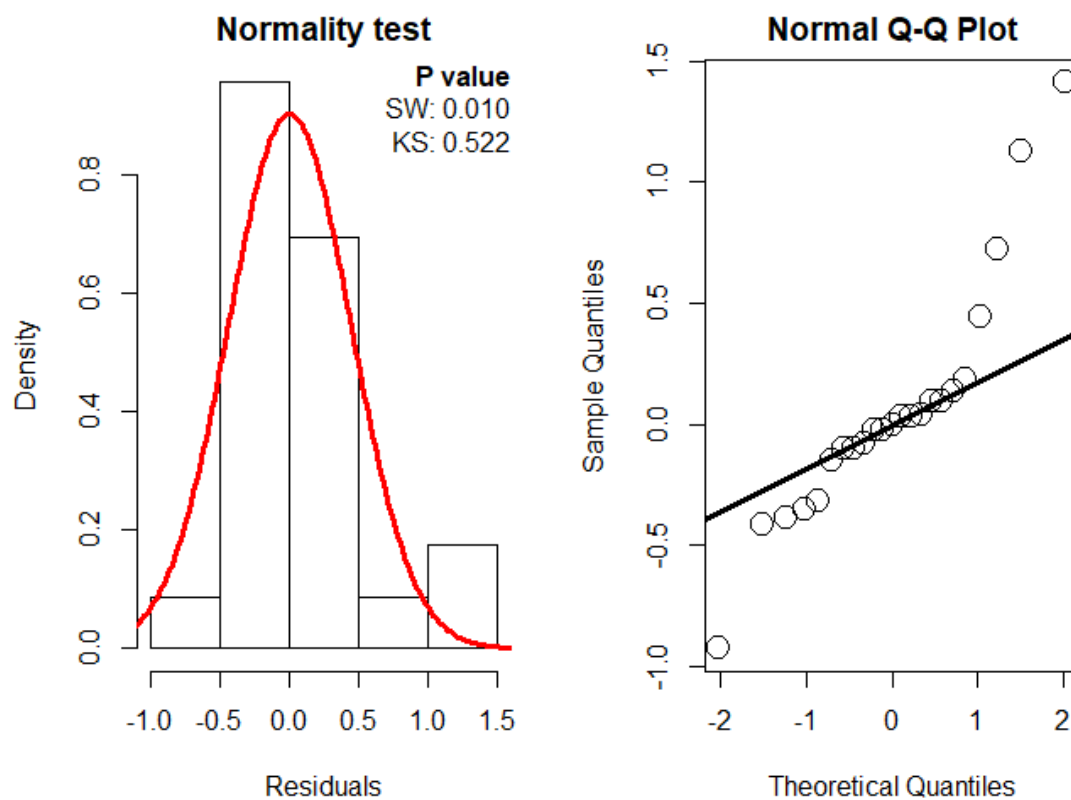
補足図 3-4. 漁獲管理規則 管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を使い、 β には標準値である 0.8 を用いた。



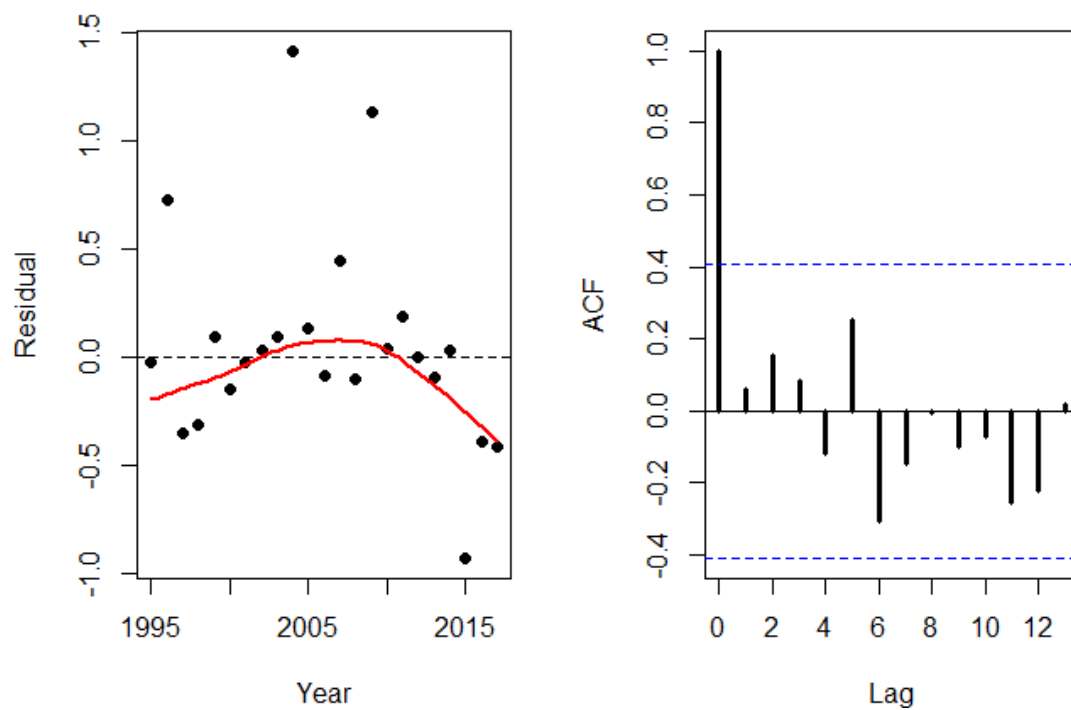
補足図 3-5. 漁獲管理規則による将来予測の平均値（実線）と 80%信頼区間 管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用い、2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は F_{current} による値を与えた。 β には標準値である 0.8 を用いた。加入尾数の単位は百万尾。



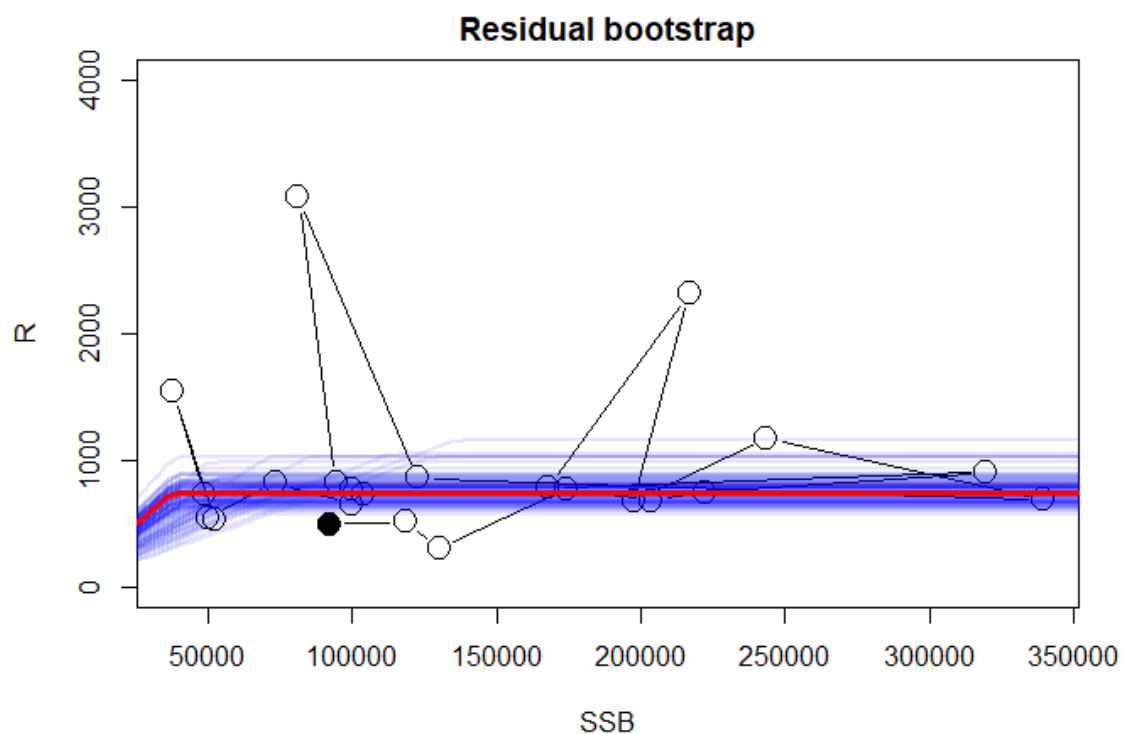
補足図 3-6. HS 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度 残差ブートストラップにおける 80%信頼区間（青線）とジャックナイフ解析における推定値（○）を併せて示した。



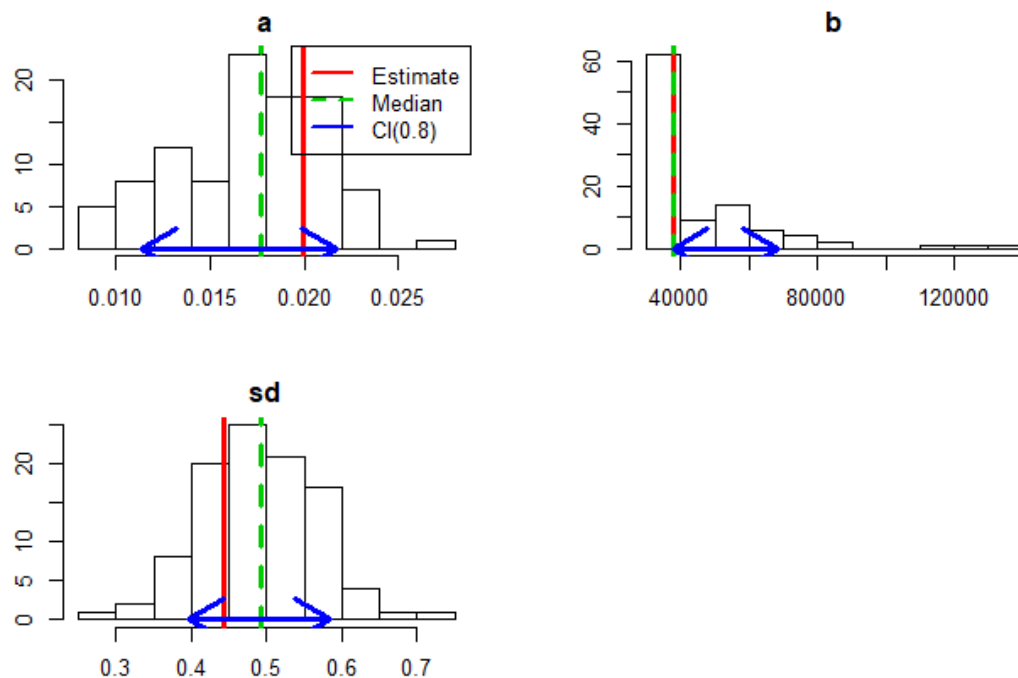
補足図 3-7. 残差分布の正規性テスト結果（左）と QQ プロット（右）



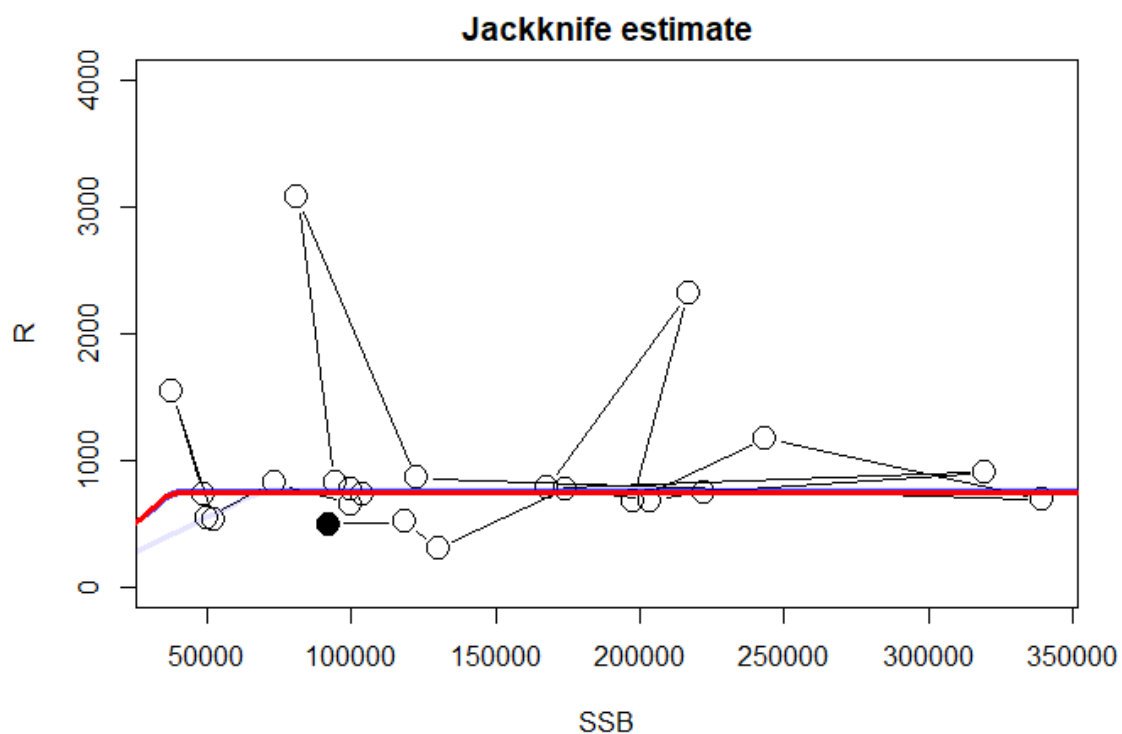
補足図 3-8. 残差のトレンド（左）と自己相関係数（右）



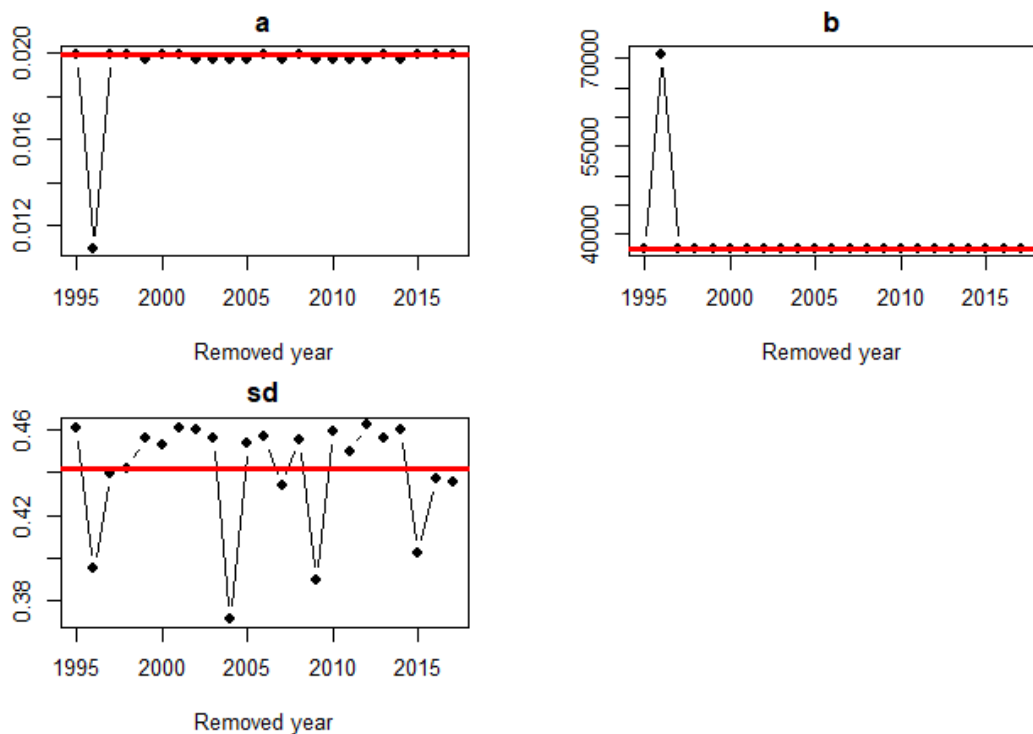
補足図 3-9. 残差ブートストラップにおける HS 曲線の推定結果 赤線は元データでの推定値、青線は各ブートストラップでの推定値。



補足図 3-10. 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 1-11. ジャックナイフ解析における HS 曲線の推定結果 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。



補足図 1-12. 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。

補足表 3-1. 各種管理基準値と、平衡状態のときの親魚量、漁獲量、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	B0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
Bmax	339730	0.66	52797	0.18	0.09	0.26
Bcurrent	92013	0.18	98831	0.23	0.34	1.76
Btarget0 (SBmsy)	100005	0.15	99208	0.24	0.36	2.01
Blow0 (SB0.9msy)	100005	0.09	89286	0.31	0.43	2.80
Blimit0 (SBmin)	50100	0.07	81848	0.36	0.44	2.93
Blimit1 (SB0.6msy)	50100	0.05	59523	0.55	0.45	3.09
Bban (SB0.1msy)	6436	0.01	9919	1.61	0.47	3.33

Bmax は観測された中での最高親魚量、Bcurrent は 2017 年の親魚量、Blow は MSY の 90% が得られる親魚量の少ない方、Bmin は観測された中での最低親魚量を示す。

補足表 3-2. 将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	100	100	99	79	51	44	44	42	43	43	43	42	42	41	42
0.9	100	100	99	85	67	61	60	58	59	58	58	58	58	57	58
0.8	100	100	99	90	81	76	75	74	75	74	74	73	74	74	73
0.7	100	100	99	94	91	89	88	88	88	87	87	87	87	88	87
0.6	100	100	99	97	97	97	96	96	96	96	96	95	96	96	96
0.5	100	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.4	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用いた。

補足表 3-3. 将来の親魚量が限界管理基準値を上回る確率 (%)

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	100	100	100	100	99	99	99	98	98	98	98	98	98	98	98
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99	99
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用いた。

補足表 3-4. 将来の平均親魚量（トン）の推移

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	126,426	118,278	140,730	105,287	83,856	79,385	78,992	78,356	78,604	77,574	78,376	78,106	77,747	77,644	77,899
0.9	126,426	118,278	140,730	113,028	94,328	90,131	89,685	88,991	89,248	88,122	88,958	88,678	88,290	88,176	88,475
0.8	126,426	118,278	140,730	121,435	106,335	102,779	102,373	101,621	101,885	100,656	101,532	101,238	100,813	100,697	101,028
0.7	126,426	118,278	140,730	130,578	120,155	117,765	117,565	116,789	117,063	115,720	116,637	116,329	115,862	115,748	116,111
0.6	126,426	118,278	140,730	140,536	136,128	135,680	135,990	135,282	135,590	134,125	135,082	134,758	134,246	134,136	134,532
0.5	126,426	118,278	140,730	151,395	154,671	157,307	158,682	158,256	158,674	157,097	158,098	157,753	157,197	157,089	157,530
0.4	126,426	118,278	140,730	163,257	176,302	183,699	187,131	187,456	188,191	186,569	187,640	187,275	186,676	186,578	187,074
0.3	126,426	118,278	140,730	176,232	201,664	216,288	223,518	225,591	227,164	225,734	226,988	226,638	226,018	225,956	226,526
0.2	126,426	118,278	140,730	190,449	231,565	257,038	271,098	276,984	280,680	280,169	282,014	281,880	281,355	281,466	282,143
0.1	126,426	118,278	140,730	206,052	267,017	308,678	334,818	348,738	357,653	360,168	364,002	364,946	365,069	366,229	367,085
0.0	126,426	118,278	140,730	223,204	309,302	375,031	422,314	452,834	474,347	485,824	496,261	501,706	505,014	513,242	514,595

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy とした場合の平均値を示す。

補足表 3-5. 将来の平均漁獲量（トン）の推移

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	73,890	78,437	139,946	114,247	103,392	100,069	99,592	99,047	98,940	98,898	98,726	98,584	98,625	99,263	98,756
0.9	73,890	78,437	130,445	111,608	102,783	99,818	99,341	98,833	98,703	98,659	98,496	98,376	98,381	98,982	98,533
0.8	73,890	78,437	120,197	108,028	101,541	99,099	98,668	98,192	98,039	97,989	97,836	97,732	97,709	98,268	97,871
0.7	73,890	78,437	109,127	103,278	99,439	97,767	97,464	97,046	96,876	96,813	96,665	96,580	96,532	97,051	96,697
0.6	73,890	78,437	97,152	97,071	96,128	95,526	95,489	95,175	95,006	94,934	94,784	94,717	94,654	95,125	94,820
0.5	73,890	78,437	84,175	89,041	91,106	91,887	92,310	92,188	92,058	91,989	91,839	91,789	91,718	92,134	91,881
0.4	73,890	78,437	70,091	78,726	83,649	86,069	87,192	87,400	87,382	87,348	87,211	87,179	87,106	87,464	87,266
0.3	73,890	78,437	54,777	65,534	72,713	76,805	78,843	79,563	79,780	79,847	79,761	79,756	79,696	79,992	79,853
0.2	73,890	78,437	38,098	48,710	56,779	62,023	64,950	66,307	66,904	67,180	67,220	67,277	67,257	67,506	67,427
0.1	73,890	78,437	19,897	27,282	33,629	38,313	41,285	42,959	43,876	44,393	44,630	44,794	44,861	45,116	45,092
0.0	73,890	78,437	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy とした場合の平均値を示す。