

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は、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 SBmsy 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)

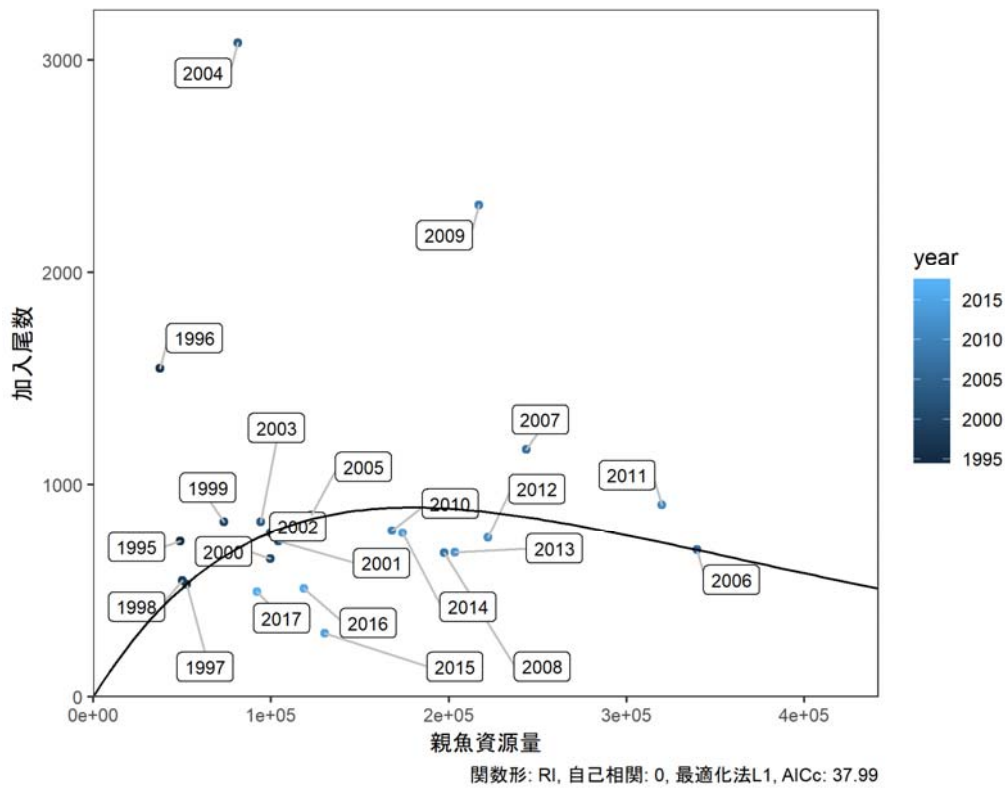


図 1. 再生産関係 図中の数字は年級群を示す。再生産曲線にはリッカー型 (RI) を用い、自己相関を考慮しない最小絶対値法によりパラメータ推定を行った。

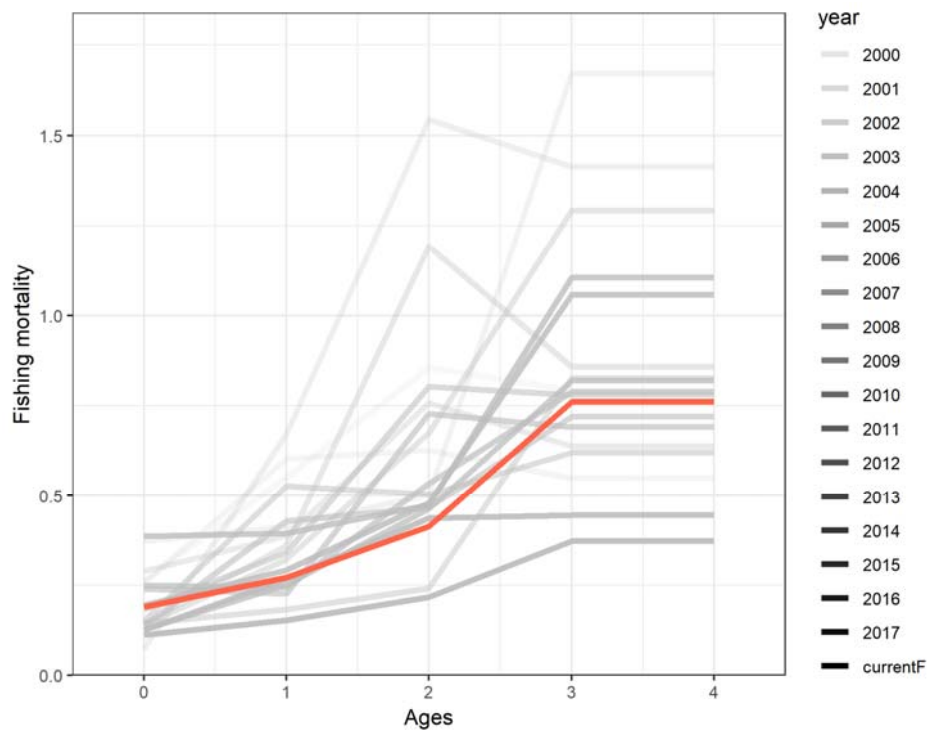


図 2. 年齢別 F 値 現状の漁獲係数 (Fcurrent) を赤線で、2000 年漁期以降の値を灰色線で示した。

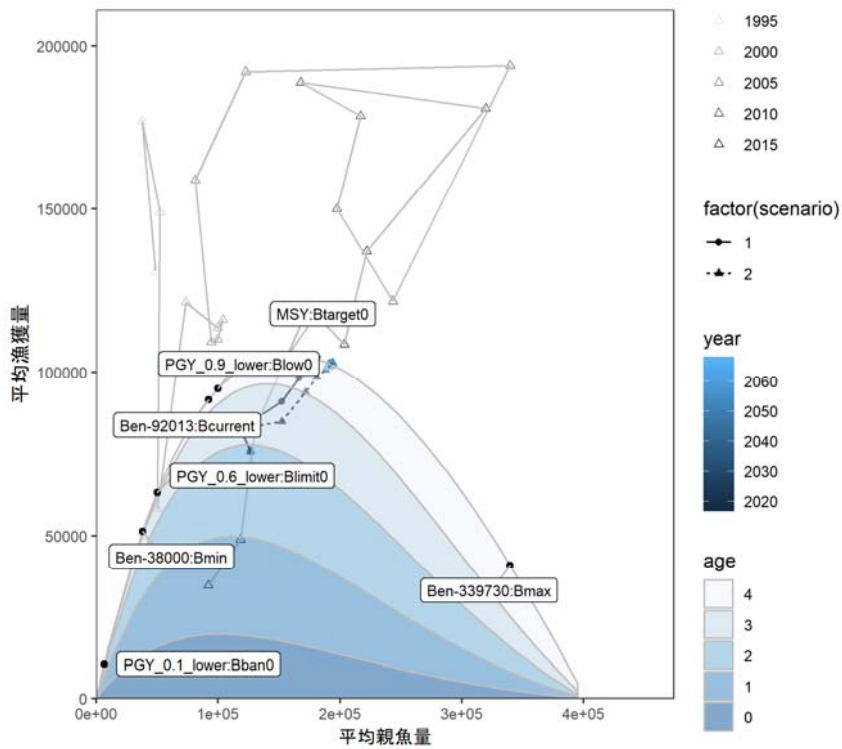
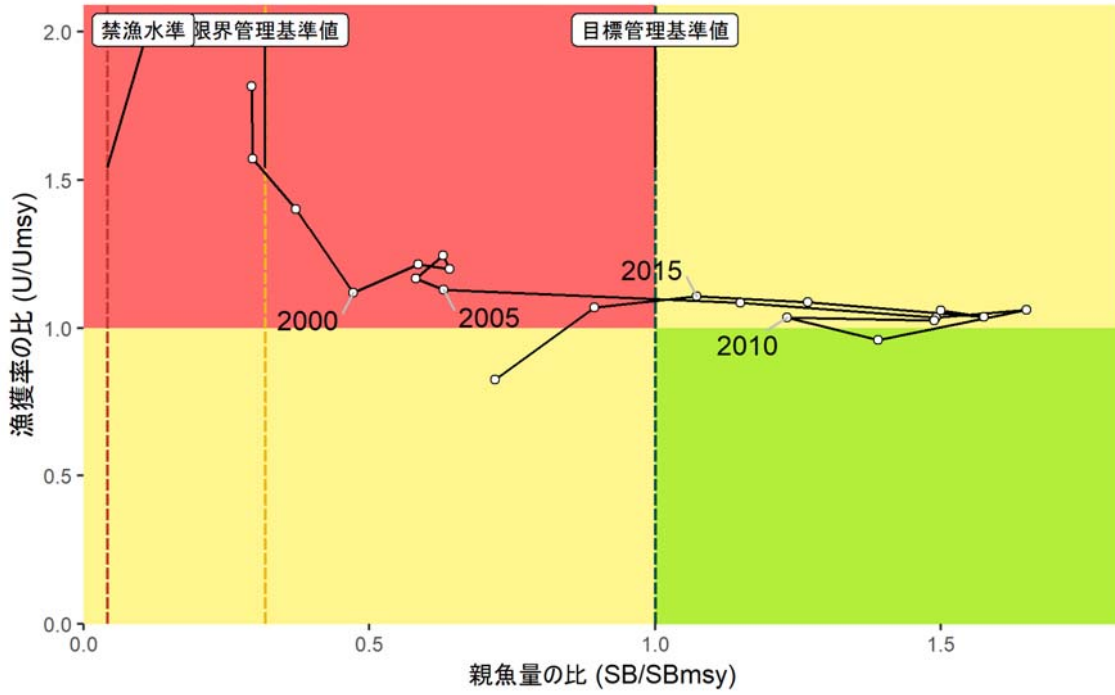


図3. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線の関係 仮定された再生産関係を用いた将来予測での平衡状態における親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値を面で、漁獲量と親魚量の観測値 (△) と将来予測 (●:Fcurrent による漁獲、▲:標準値を用いた HCR による漁獲) における推移を折れ線で示した。

(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

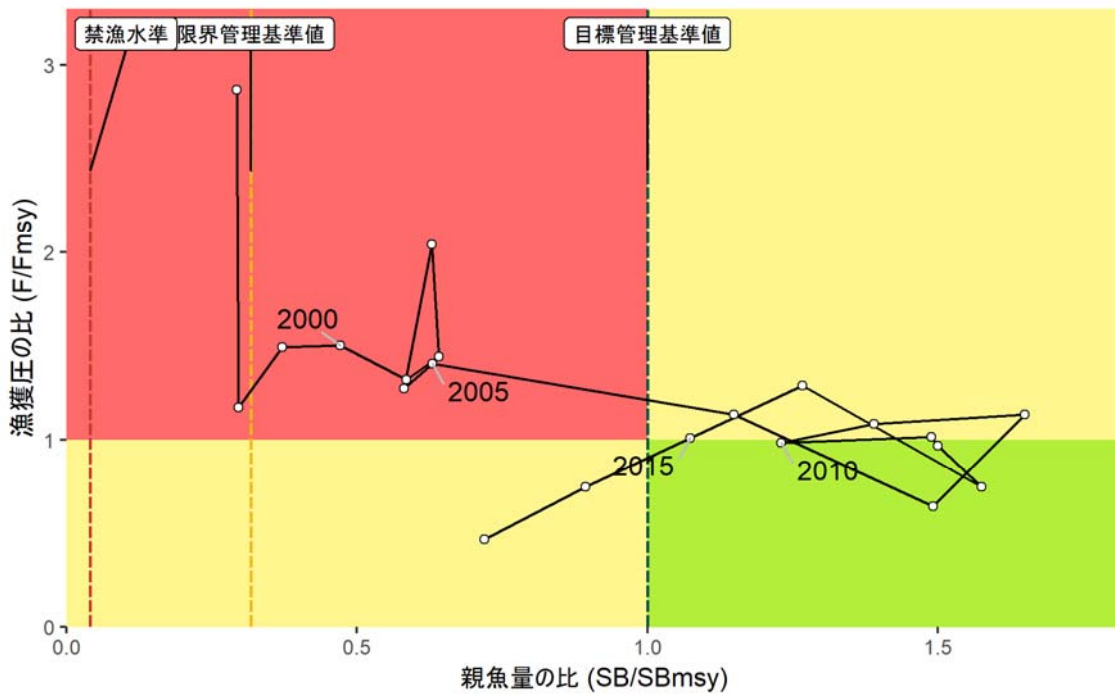


図 4. 神戸プロット (4 区分) 管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、 SB_{ban} にはそれぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。3 年間の移動平均値で平滑化した値を図示した。

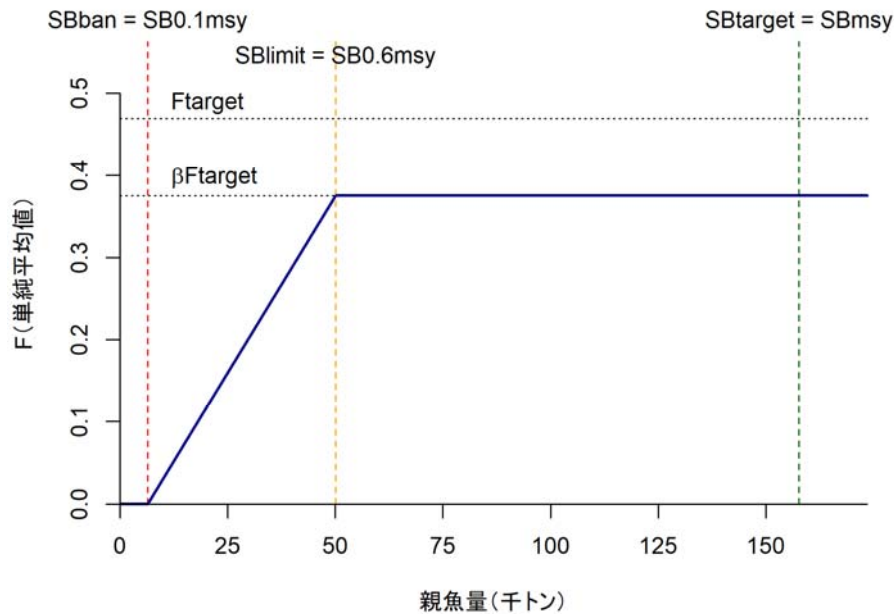


図 5. 漁獲管理規則 管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、 β には標準値である 0.8 を用いた。

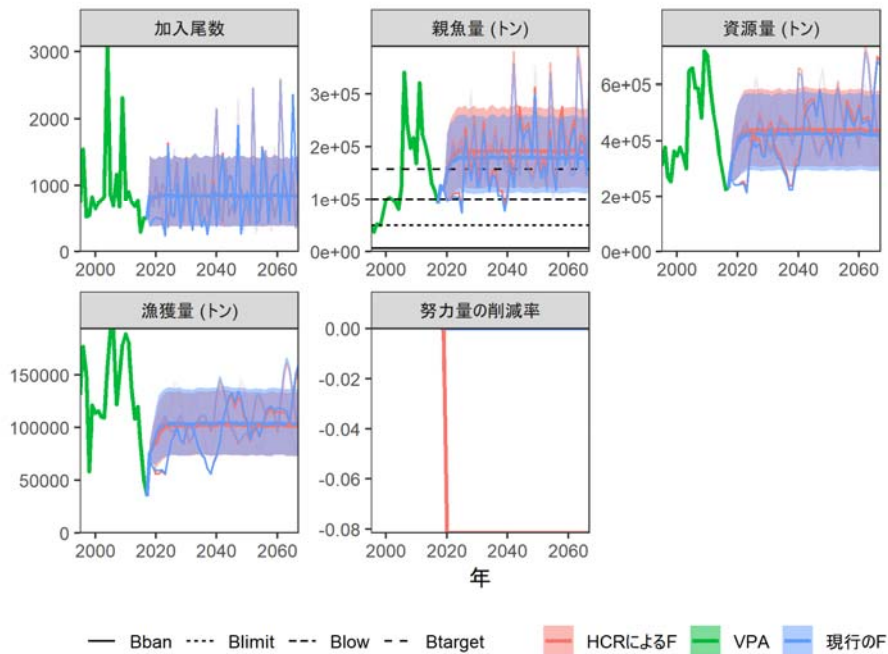


図 6. 漁獲管理規則による将来予測の平均値(実線)と 80%信頼区間 管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は Fcurrent による値を与えた。 β には標準値である 0.8 を用いた。加入尾数の単位は 100 万尾。

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。

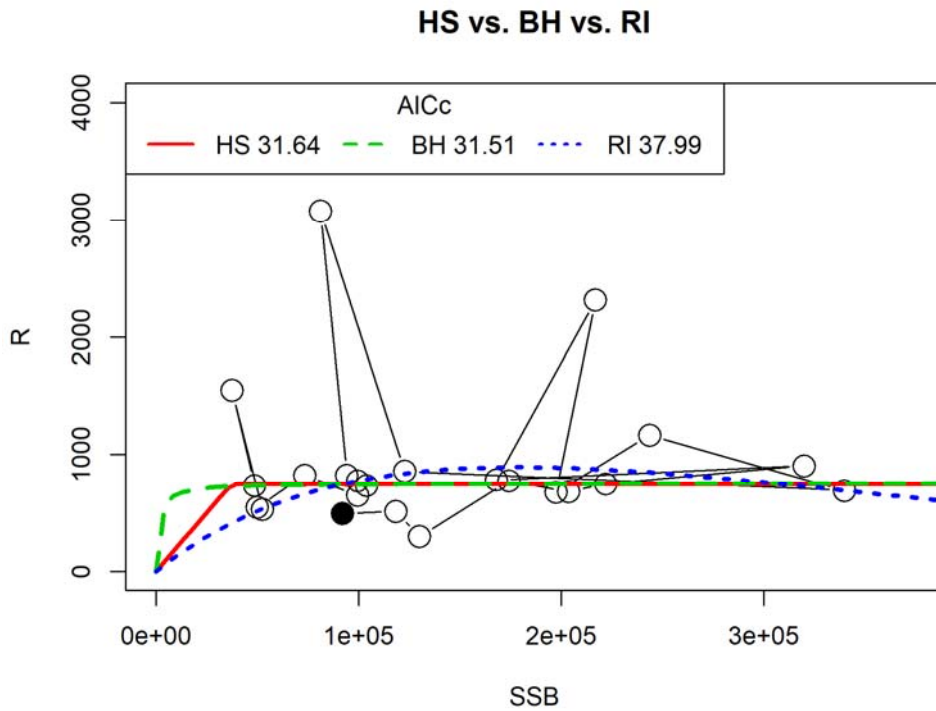
RI 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度および残差ブートストラップにおける 80%信頼区間、ジャックナイフ解析における推定値を補足図 1-2 に示す。パラメータ a、b を変化させた場合のプロファイル尤度は、点推定値で最大となっていることが確認された。

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。

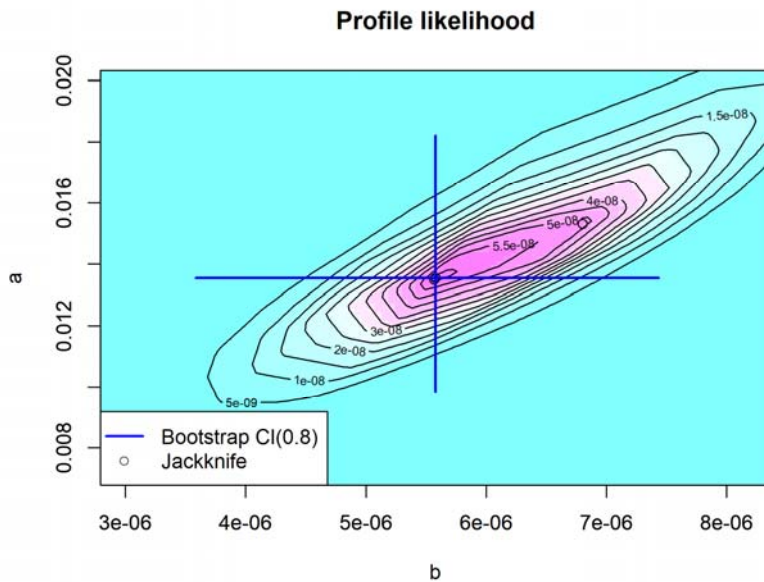
残差の経年的なトレンド（補足図 1-4）では、残差は 2011 年以降、明瞭な低下傾向を示し、特に 2015 年は大きく負に偏っていた。自己相関係数についてはそれぞれの年数で低い値となっており、明瞭なトレンドは見られなかった。

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。

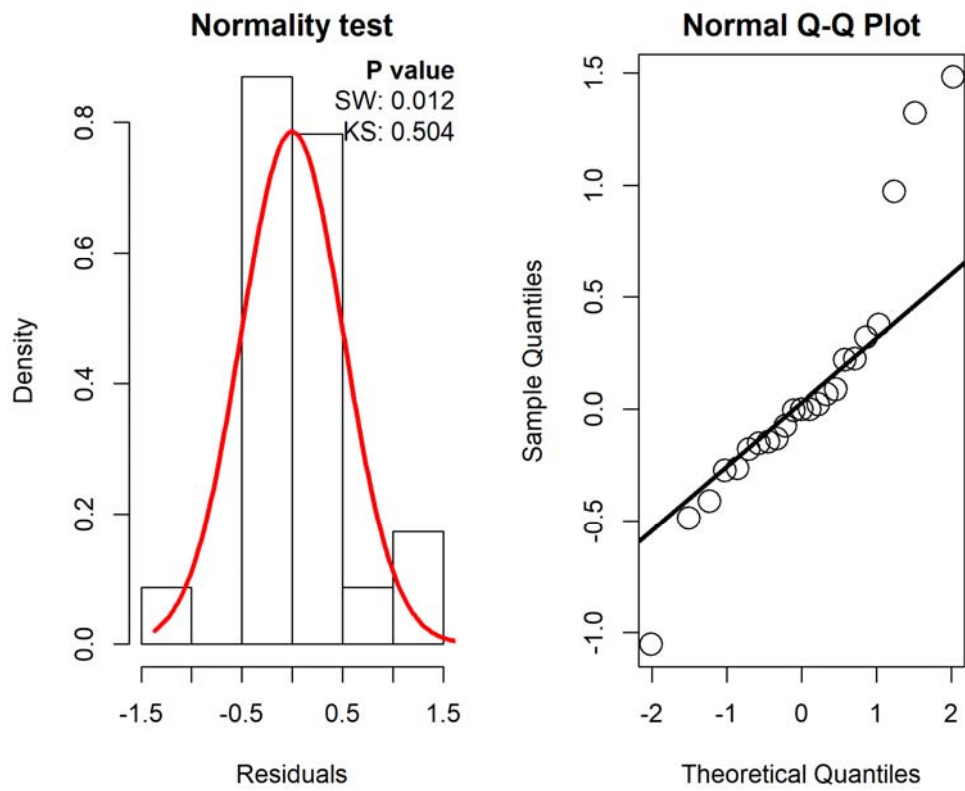
パラメータ推定の頑健性の確認のため、データを一点ずつ除きジャックナイフ解析を行った（補足図 1-7、1-8）。a、b ともに 2006 年、2007 年、2009 年、2011 年を除くと推定値が大きくなることが示された。sd については推定値の変化量は小さく、各データの除去に対して比較的頑健であった。



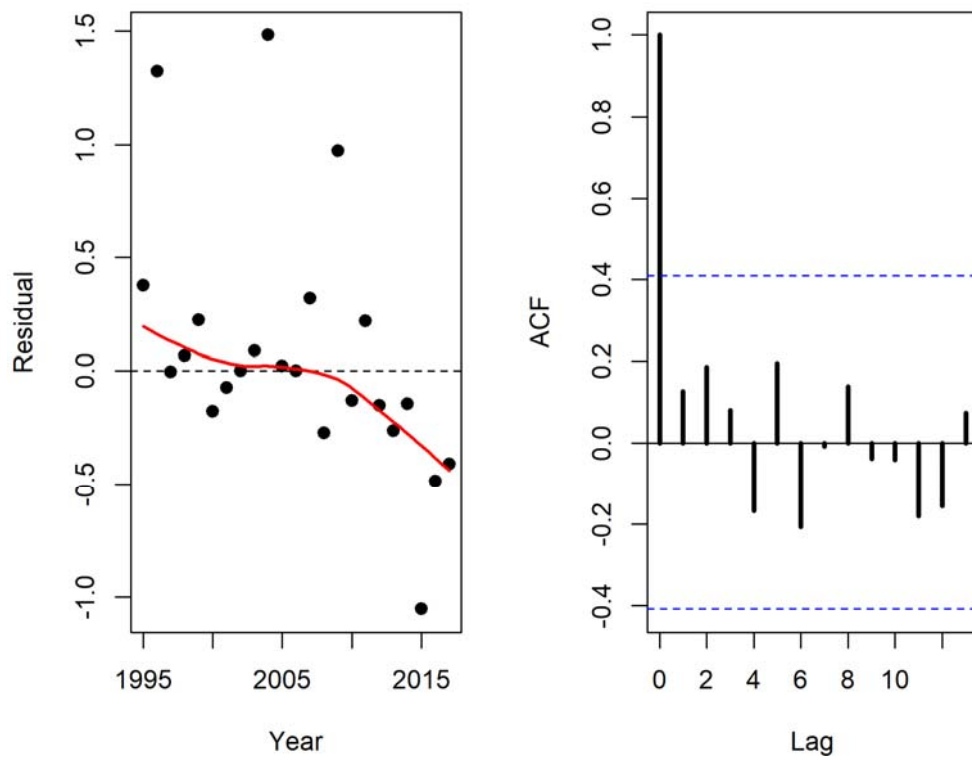
補足図 1-1. 最小絶対値法により推定された各モデルにおける再生産曲線。赤線はホッケー・スティック型再生産曲線 (HS)、緑線はベバートンホルト型再生産曲線 (BH)、青線はリッカー型再生産曲線 (RI) での推定値をそれぞれ示す。



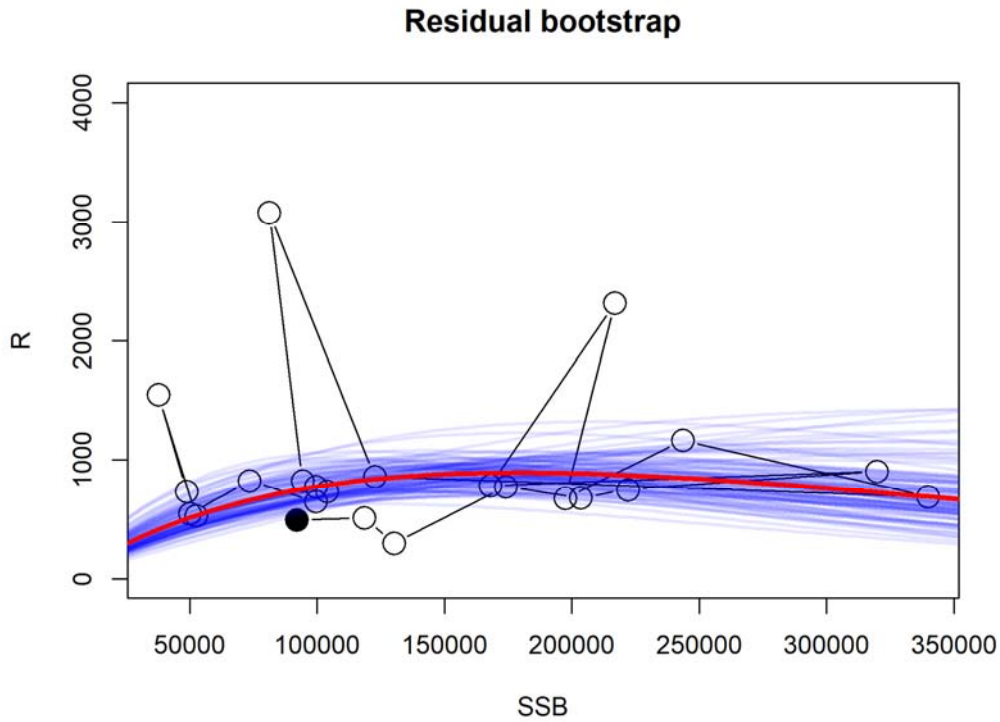
補足図 1-2. RI 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度。残差ブートストラップにおける 80%信頼区間 (青線) とジャックナイフ解析における推定値 (○) を併せて示した。



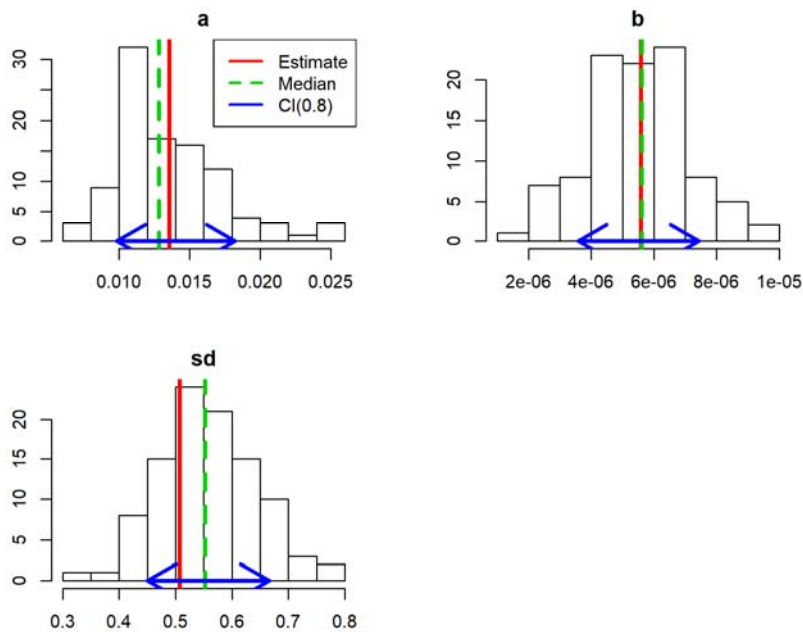
補足図 1-3. 残差分布の正規性テスト結果（左）と QQ プロット（右）



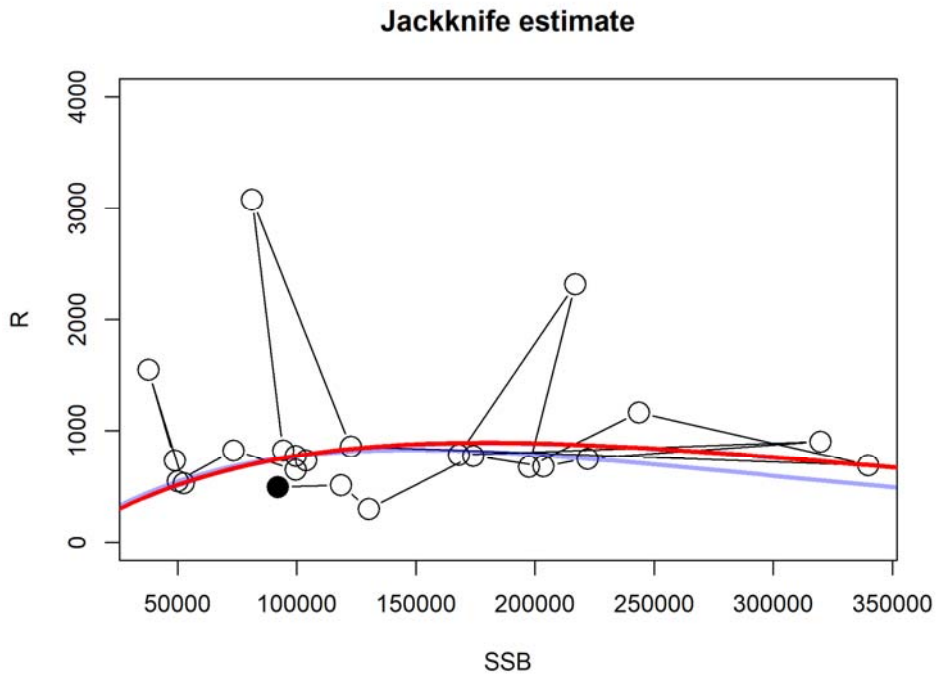
補足図 1-4. 残差のトレンド（左）と自己相関係数（右）



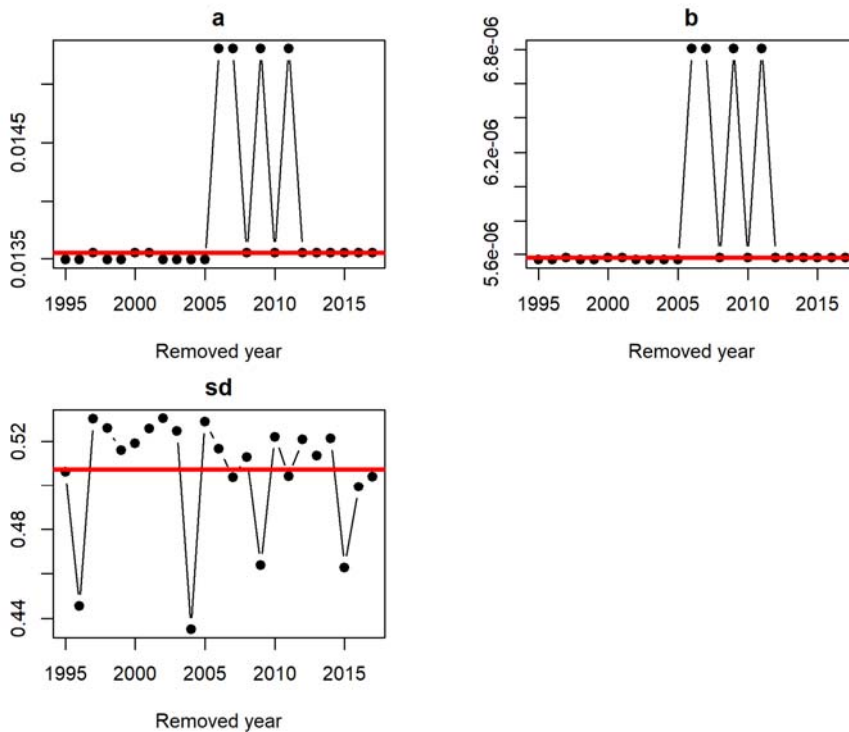
補足図 1-5. 残差ブートストラップにおける RI 曲線の推定結果 赤線は元データでの推定値、青線は各ブートストラップでの推定値。



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）。

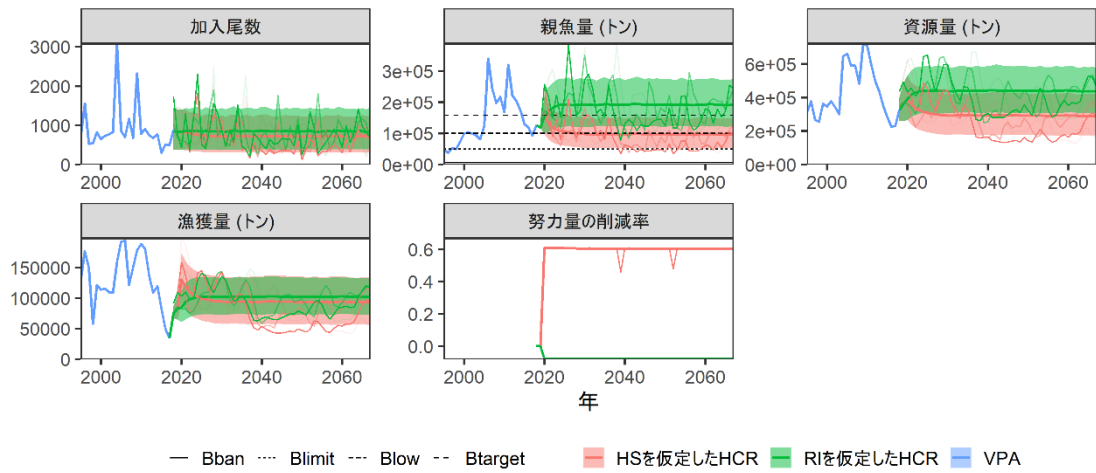
真の再生産関係が HS のときに RI を仮定した HCR で管理を行うと、F は HS を仮定した場合より低くなり、親魚量は高い水準で維持された（補足図 2-2）。過去最低親魚量を下回ることにはなかった（補足表 2-4）。一方で平均漁獲量 ($\beta = 0.8$) は、HS を仮定した場合に比べてわずかに低い水準で推移した（補足図 2-2）。

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。

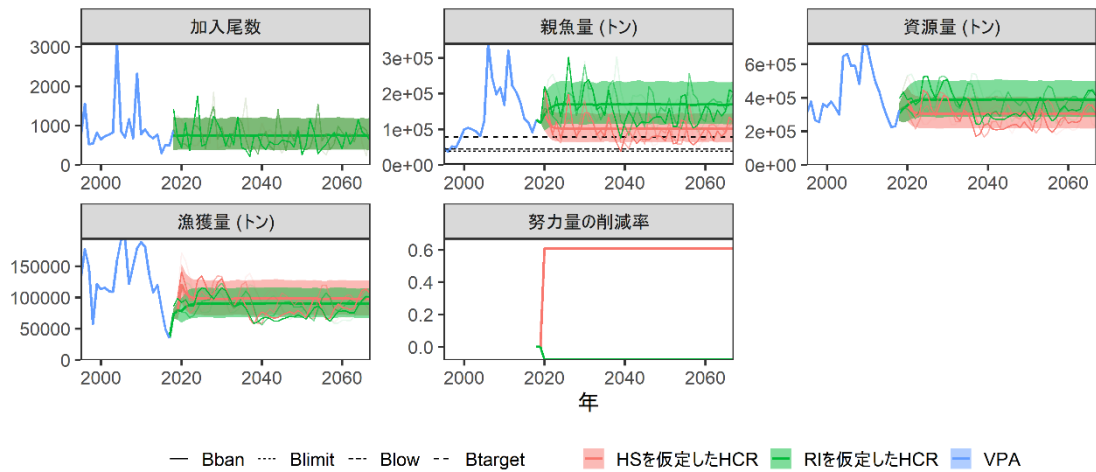
以上をまとめると、HS は誤って採用した場合に、親魚量が減少してしまうリスクが大きい。一方で、RI は誤って採用してしまっても、親魚量減少のリスクは小さく、漁獲量の減少も小さい。よって、より頑健な RI の採用を提案する。本系群では、2015～2017 年の加入量が低い値で継続していることから、親魚量減少のリスクの低い RI を採用することが望ましい。

真の再生産関係がRIの場合



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。

真の再生産関係がHSの場合



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。

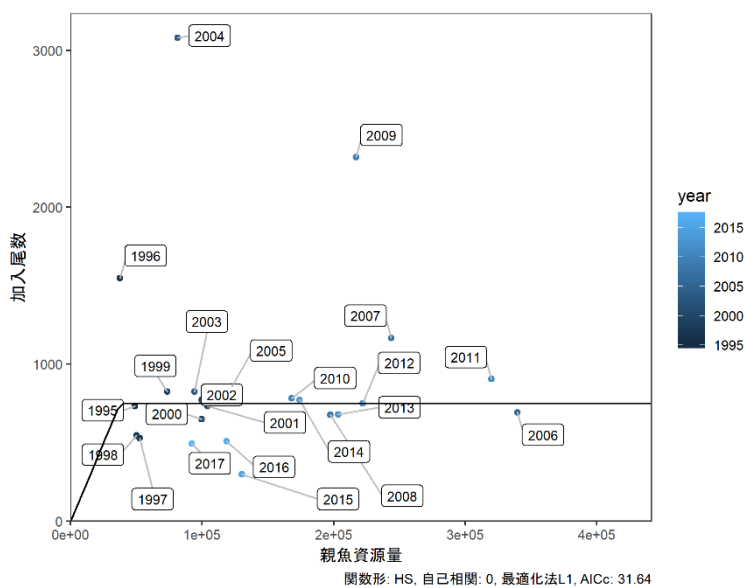
HS 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度および残差ブートストラップにおける 80%信頼区間、ジャックナイフ解析における推定値を補足図 3-6 に示す。パラメータ b の値の尤度は小さいが、 a の値の尤度は大きくなっていった。

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。

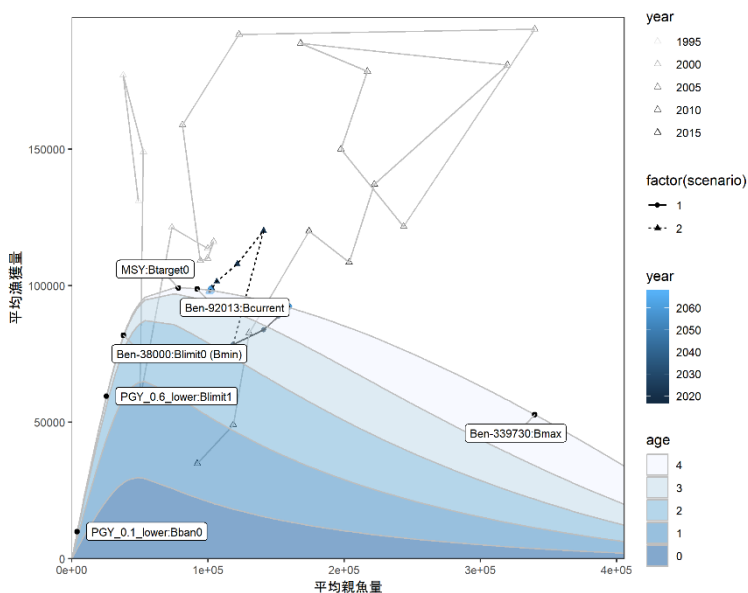
残差の経年的なトレンド（補足図 3-8）では、残差は 2010 年以降、明瞭な低下傾向を示し、特に 2015 年は大きく負に偏っていた。自己相関係数についてはそれぞれの年数で低い値となっており、明瞭なトレンドは見られなかった。

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。

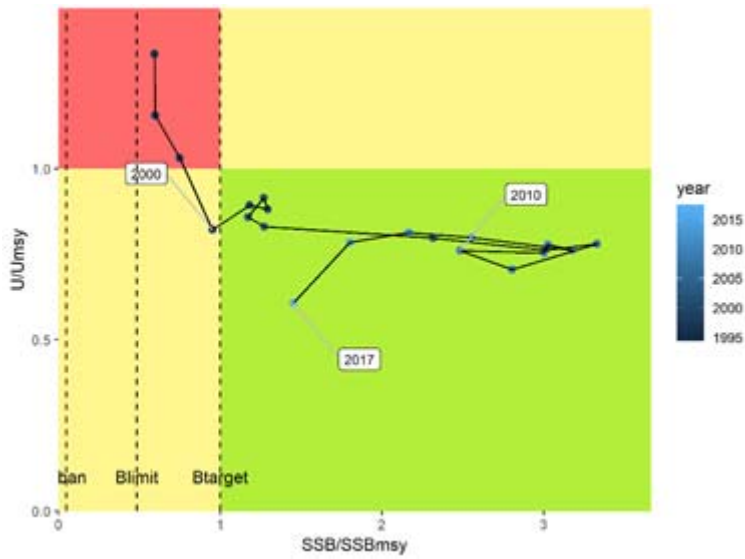
パラメータ推定の頑健性の確認のため、データを一点ずつ除きジャックナイフ解析を行った（補足図 3-11、3-12）。折れ点と推定される過去最低親魚量の 1996 年の影響が非常に強く、この年のデータを除くと a の推定値が小さく、 b の推定値が大きくなることが示された。 σ については推定値の変化量は小さく、各データの除去に対して比較的頑健であった。



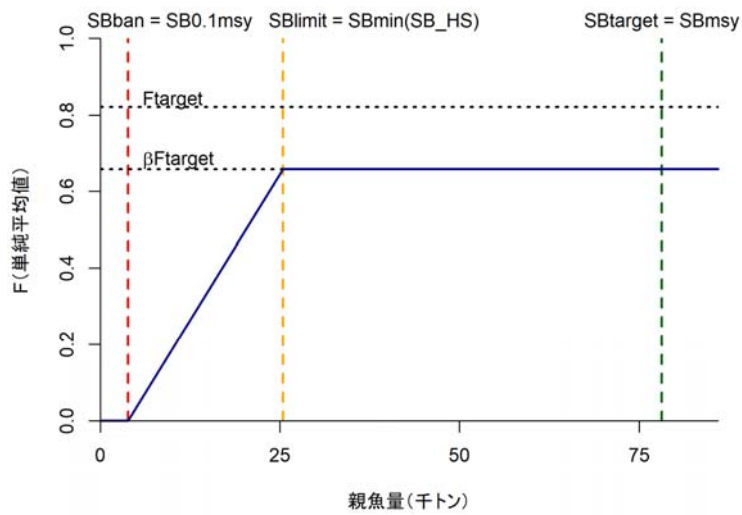
補足図 3-1. 再生産関係 図中の数字は年級群を示す。再生産曲線にはホッカー・スティック型 (HS) を用い、自己相関を考慮しない最小絶対値法によりパラメータ推定を行った。



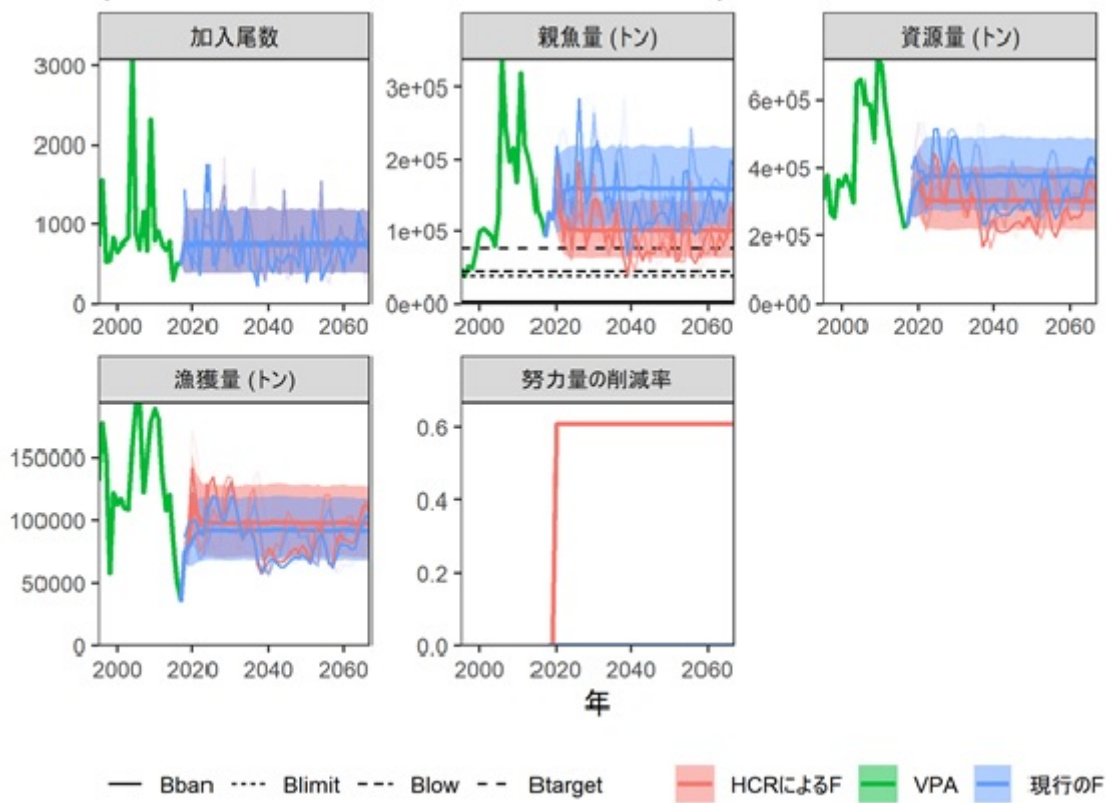
補足図 3-2. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線の関係 仮定された再生産関係を用いた将来予測での平衡状態における親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値を面で、漁獲量と親魚量の観測値 (Δ) と将来予測 (\bullet :Fcurrent による漁獲、 \blacktriangle :標準値を用いた HCR による漁獲) における推移を折れ線で示した。



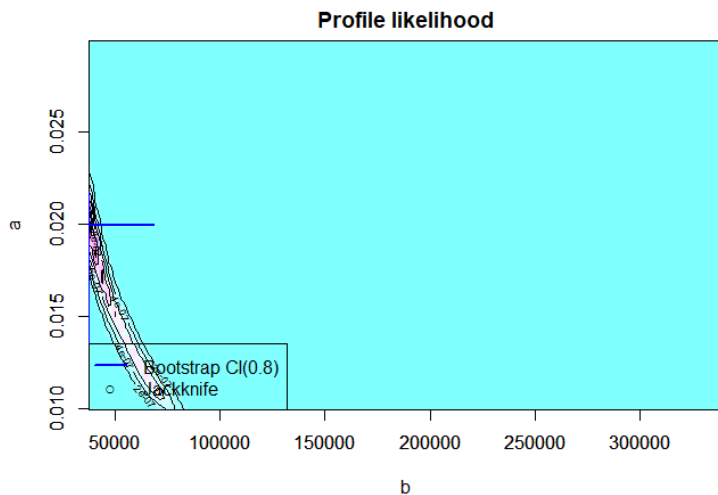
補足図 3-3. 神戸プロット (4 区分) 管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用いた。



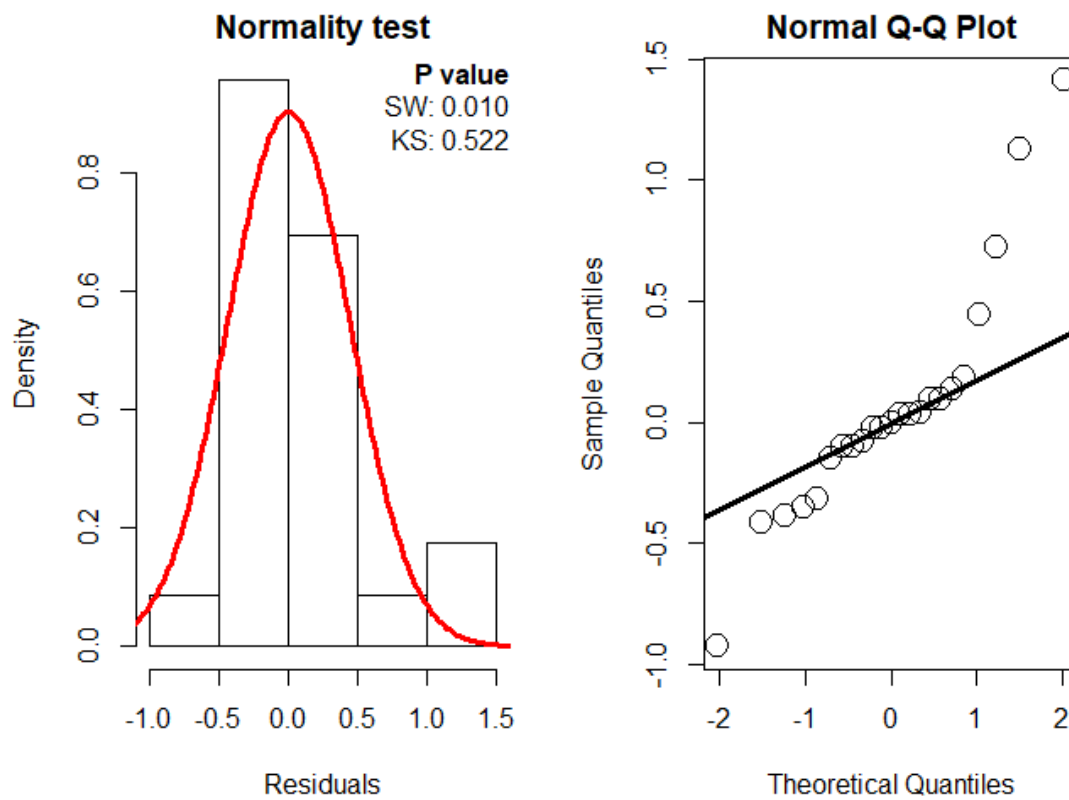
補足図 3-4. 漁獲管理規則 管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用い、 β には標準値である 0.8 を用いた。



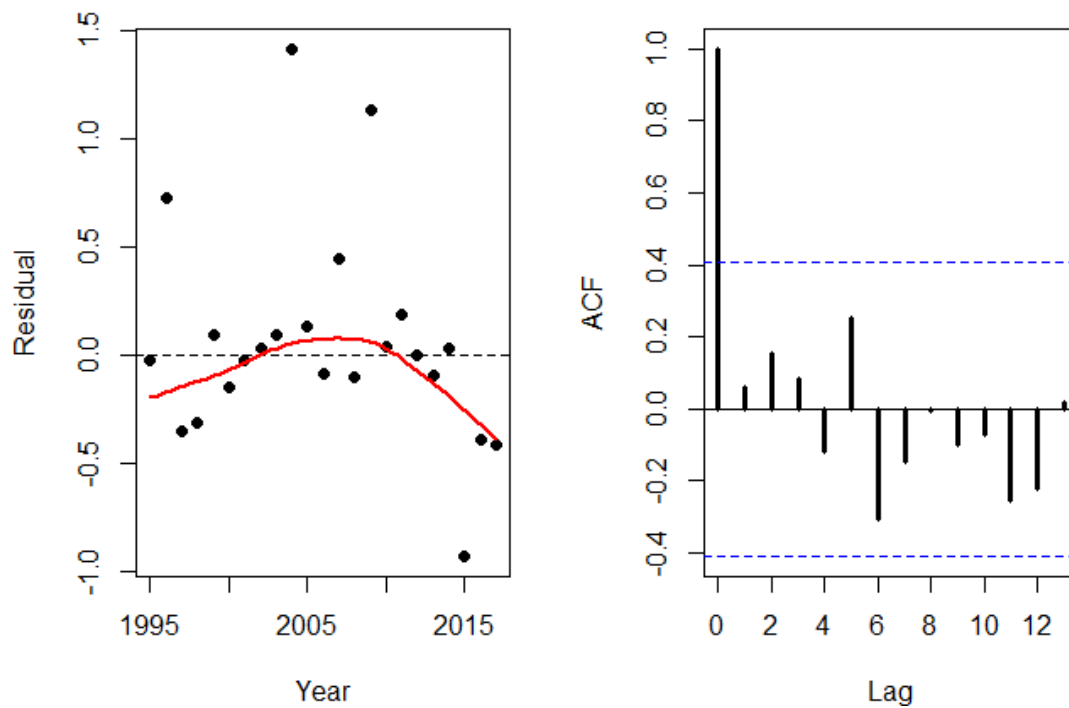
補足図 3-5. 漁獲管理規則による将来予測の平均値（実線）と 80%信頼区間 管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を使い、2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は Fcurrent による値を与えた。β には標準値である 0.8 を用いた。加入尾数の単位は百万尾。



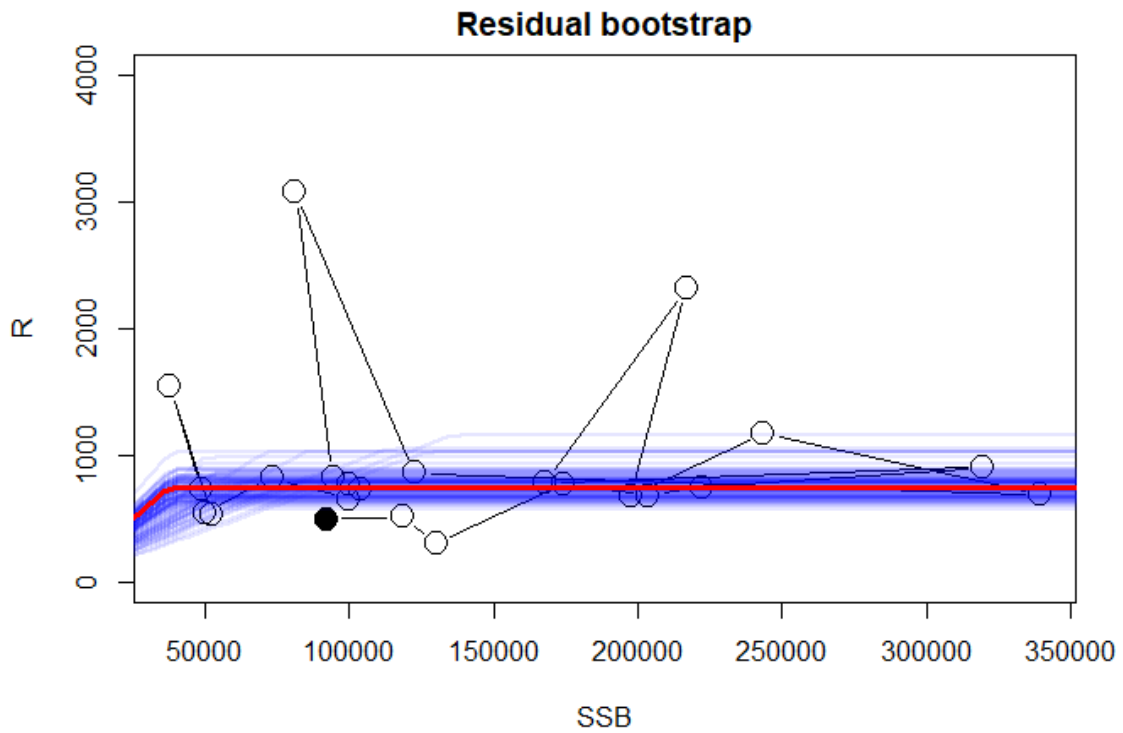
補足図 3-6. HS 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度 残差ブートストラップにおける 80%信頼区間（青線）とジャックナイフ解析における推定値（○）を併せて示した。



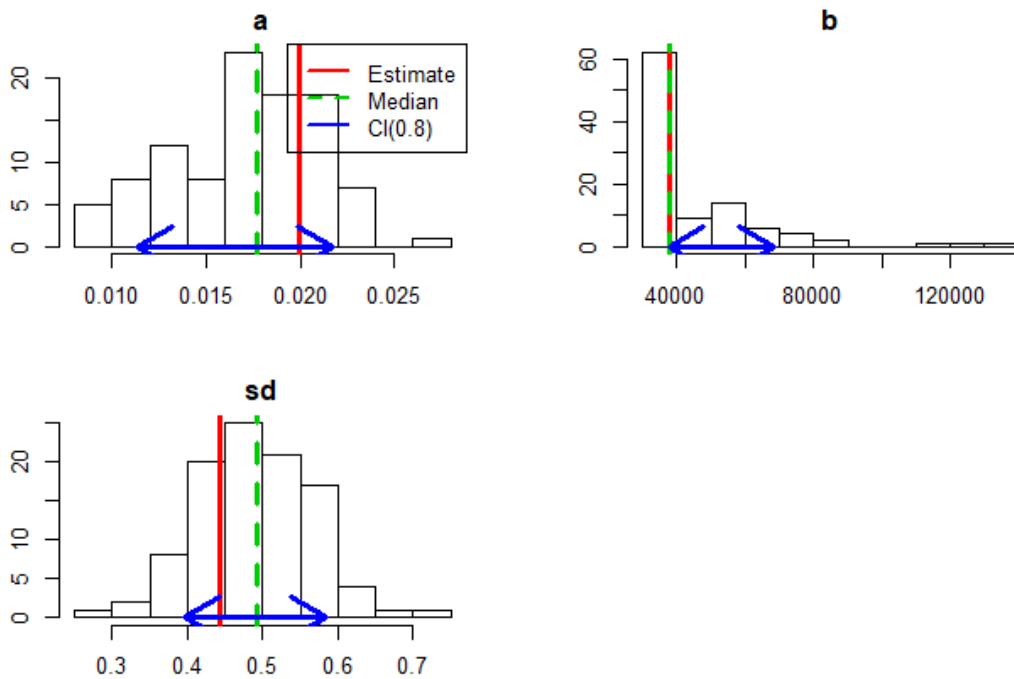
補足図 3-7. 残差分布の正規性テスト結果 (左) と QQ プロット (右)



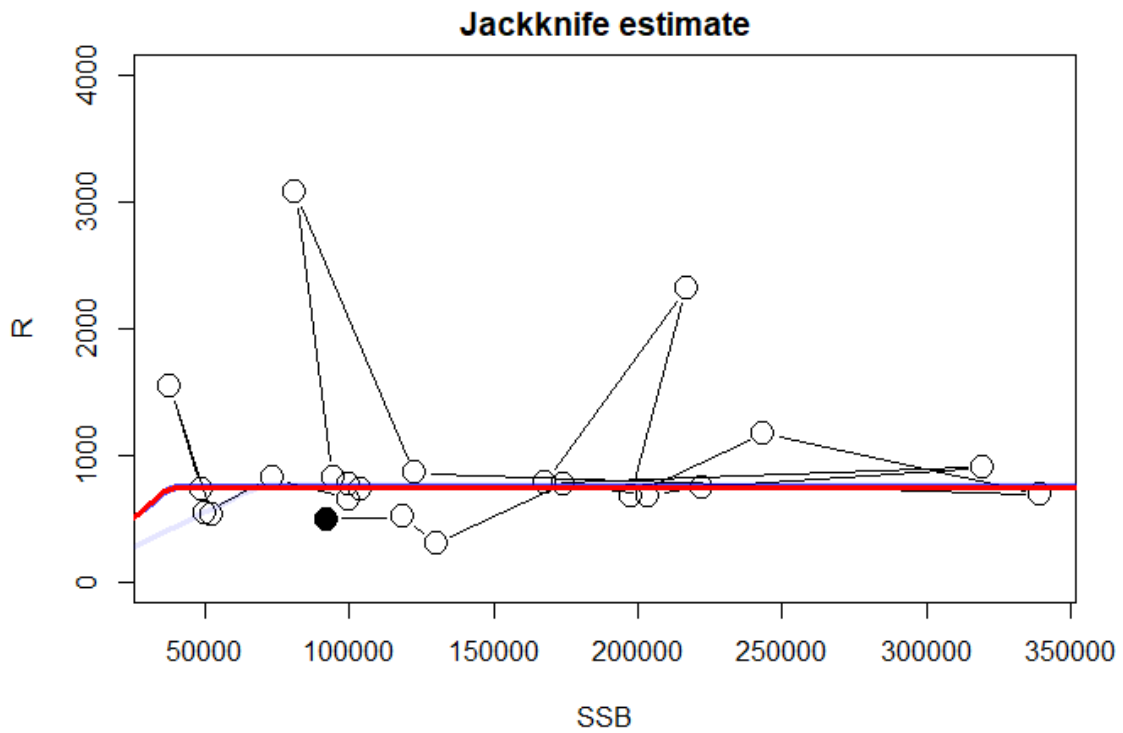
補足図 3-8. 残差のトレンド (左) と自己相関係数 (右)



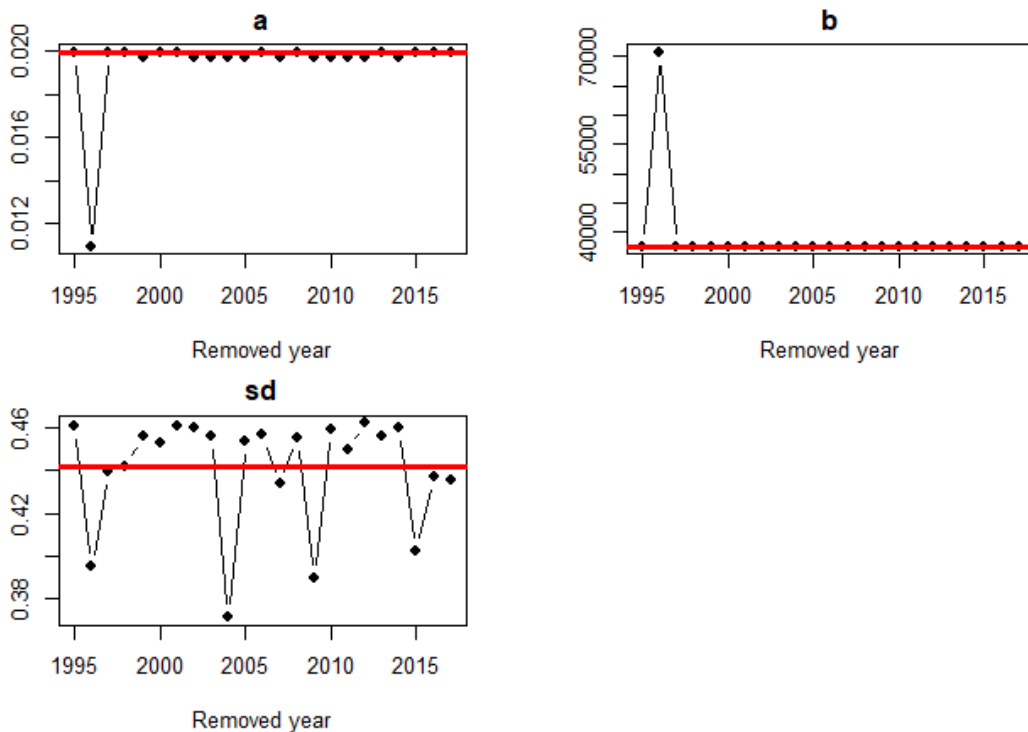
補足図 3-9. 残差ブートストラップにおける HS 曲線の推定結果 赤線は元データでの推定値、青線は各ブートストラップでの推定値。



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。