

# 平成 31（2019）年度マサバ対馬暖流系群の 管理基準値等に関する研究機関会議報告書

担当水研：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）年度マサバ対馬暖流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過去 45 年間における親魚量から低位、動向は最近 5 年間（2013～2017 年）の資源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、最小二乗法により最適化されたホッケー・スティック型（HS）再生産曲線を、目標管理基準の候補として SBmsy（310 千トン）を、限界管理基準の候補として SB0.6msy（143 千トン）を、禁漁水準の候補として SB0.1msy（22 千トン）をそれぞれ提案する。MSY を達成するときの漁獲圧は現状（Fcurrent、2015～2017 年の平均漁獲圧）の 1.00 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式の候補として挙げられるモデルと、それらを観測データにあてはめた結果を次ページの表に示す。なお、ここで用いたデータは利用可能な 1973～2017 年の全ての値を用いた。本系群では親魚量と加入量との間に弱い正の相関がある（5%有意水準）。特に、親魚量が少ない場合には高加入がみられない傾向がある。本系群では、ホッケー・スティック型（HS）、リッカー型（RI）、ベバートン・ホルト型（BH）の 3 つの再生産関係式を検討した。AICc が最も低いのは RI であり、次いで BH が低かった。しかし、親魚量が少ない時には、RI や BH を用いた場合の加入量が HS を用いた場合より多く推定される傾向がみられた。本系群では、親魚量が 100 千トンを下回った時のデータが無いことから、最も保守的な HS も候補として妥当であると判断した。また、各再生産関係式を適用することで得られる資源状態の変化と、昨年度までの資源評価で示された資源水準・動向との整合性についても、再生産関係式を検討する上での判断材料に用いた。RI や BH を用いた場合には過去に親魚量が Blimit を一度も下回らなかったという結果が示されたのに対し、HS を用いた場合には近年の親魚量が Blimit 以下から徐々に増加傾向にあることが示された。昨年度の資源評価における近年の本系群の水準・動向は低位・増加であり、HS を用いた場合の結果に近かった。以上より、本系群における再生産関係式は HS を用いることとした。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 AICc は小さくなったものの、推定結果の差異はわずかであった。過去 45 年間において予測曲線から

大きく外れる観測値が得られることは稀であったことから、本資源では最小二乗法を適用した。残差の自己相関に関しては、HS を用いて最小二乗法により最適化した場合の自己相関係数は有意でなかったため（補足図 1-4）、本資源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	加入量の S.D.
<b>HS</b>	<b>最小二乗法</b>	<b>28.16</b>	<b>5.86</b>	<b>6</b>	<b>0.31</b>
RI	最小二乗法	22.31	0.00	1	0.29
BH	最小二乗法	24.75	2.45	3	0.30
HS	最小絶対値法	26.55	4.25	5	0.32
RI	最小絶対値法	24.69	2.38	2	0.32
BH	最小絶対値法	26.30	4.00	4	0.32

※ 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式と、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）での将来予測の計算に用いた各種設定を使用した（下表）。すなわち、再生産関係は資源評価で推定された 1973～2017 年の加入量および親魚量に基づく HS 型（図 1）とし、選択率は各年齢の漁獲係数（F 値）の 2013～2017 年の平均値から算出した。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 年の平均と等しくなる値（図 2）とし、漁獲物の平均体重は 2015～2017 年における平均値とした。

年齢	自然死亡係数	成熟割合 (%)	平均体重 (g)	選択率	現状の漁獲圧 ( $F_{current}$ )
0	0.4	0	243	0.31	0.33
1	0.4	60	330	1.00	1.07
2	0.4	85	478	0.65	0.69
3 歳以上	0.4	100	619	0.65	0.69

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 が達成される時の親魚量を SBmsy 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 回繰り返して Fmsy を推定した。なお、本系群では平衡状態を世代時間 (約 3.4 年) の 20 倍を基準に将来予測開始から約 68 年後とした。

## 2-2) 使用する再生産関係

再生産関係式として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.
HS	最小二乗法	無	0.00755	237,192	0.31

ここで、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 は折れ点での親魚量 (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 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。いずれも ABC 算定規則における標準値である。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 SBtarget	310 千トン	SBmsy
限界管理基準値 SBlimit	143 千トン	SB0.6msy
禁漁水準 SBban	22 千トン	SB0.1msy

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。図 3 に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およびこれに対する年齢別漁獲量の平均値を示す。親魚量が SBlimit 以下では 0 歳および 1 歳魚が殆どを占め、SBmsy 達成時においても多くを占めている。しかし、親魚量がさらに増加するにつれて高齢魚の比率が高くなる傾向がみられる。

## 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率は 1970 年代後半から 1980 年代にかけて MSY を与える水準であったため、MSY 水準の親魚量が維持されていたと判断される。その後、漁獲率は 1990 年代前半から増加し、MSY を与える水準より高い値で維持されている。親魚量も 1990 年代後半から減少傾向となり、2000 年代前半には SBlimit 以下もしくはその周辺で維持されている。直近 5 年間 (2013~2017 年) の漁獲率は減少傾向にあり、それに伴い親魚量は増加傾向にある。2017 年の親魚量

は、限界管理基準値を上回っているものの、目標管理基準値を大きく下回っている。

## 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における親魚量と漁獲係数の関係を図 5 に示す。また、漁獲管理規則に基づく漁獲係数  $F$  を用いた場合の  $SPR(F)$  の関係を補足図 3 に示した。

## 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 $\beta$ 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、 $\beta$  に標準値である 0.8 を用いた場合の加入尾数、親魚量、資源量、漁獲量、努力量の削減率、および  $F_{current}$  に対する乗数の推移を図 6 に示す。なお、漁獲の制御は 2020 年から開始し、2018 年および 2019 年の漁獲量は  $F_{current}$  によるものとした。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  $\beta F_{msy}$  で維持される。2020 年の漁獲量は  $F_{current}$  で漁獲した際の漁獲量と同程度となる。その後、資源量と漁獲量は緩やかに増加していくと予測された。

### (2) チューニングパラメータ $\beta$ を変えた場合

将来予測において  $\beta$  を 0.5~1 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。本系群における目標管理基準値への回復確率は高く、標準値である 0.8 を用いた場合でも、最新のデータから 10 年後の 2030 年には 89% の確率で目標管理基準値に到達すると予測された (表 2)。また、 $\beta$  が 0.9 以下であれば、漁獲制御開始から 10 年後の 2030 年には 50% 以上の確率で目標管理基準値に到達すると予測された。一方、 $\beta$  が 1 の場合の到達確率は 50% を下回った。また、 $\beta$  が 1 以下であれば限界管理基準値以上の親魚量を維持できることが示された (表 3)。2020 年から漁獲の制御が行われた場合、2021 年以降の将来親魚量は  $\beta$  が低い程多くなり (表 4)、 $\beta$  が 0.9 以下の場合に 2020 年の漁獲量は 2019 年より少なかった (表 5)。

## 3. まとめ

平成 30 (2018) 年度マサバ対馬暖流系群の資源評価におけるデータを用いて、本系群の再生産関係および管理基準値等を検討した。当該資源評価における本系群の資源水準は低位、最近 5 年間 (2013~2017 年) の資源量の推移から資源動向は増加と判断されている。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親魚量の回復が必要と考えられる。

本系群の再生産関係については、自己相関を考慮しない HS とし、最適化法としては最小二乗法を用いた。再生産関係の検討には親魚量が少ない時に HS 以外の再生産関係式が楽観的になる傾向がみられることや、昨年度までの資源評価で示された資源水準との整合性を考慮した。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  $SB_{msy}$  (310 千トン) を用い、限界管理基

準値、禁漁水準には標準値である SB0.6msy (143 千トン)、SB0.1msy (22 千トン) をそれぞれ設定した。MSY を達成する時の漁獲率は 37%、漁獲圧は  $F_{\text{current}}$  の 1.0 倍である。 $\beta$  が 0.9 以下であれば 50%以上の確率で 2030 年には MSY 水準が達成されると予測された。

#### 4. 今後の検討事項

本資源の資源評価結果に大きな不確実性をもたらす要因として、中国漁船による漁獲の影響を資源評価で考慮できていない点が挙げられる。また将来予測に関する不確実性として、中国、韓国などの外国漁船による漁獲量を正確に予測できない点、また日本の漁獲量に関しても、TAC がマサバ、ゴマサバをまとめた「さば類」として設定されるため、種別の漁獲量の予測が難しい点などが挙げられる。これらの要因は、再生産関係、管理基準値、管理目標の達成確率などに影響をもたらす可能性がある。

執筆者：安田十也、黒田啓行、林 晃

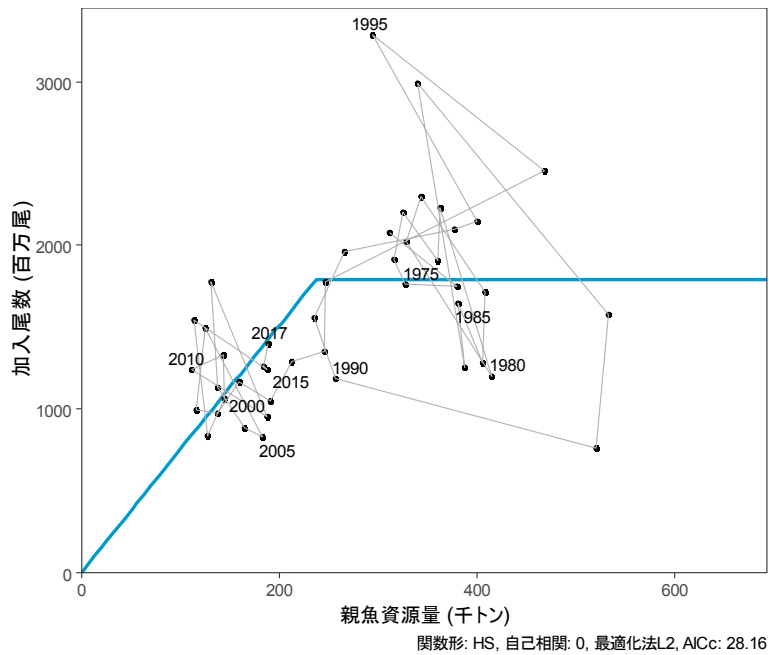


図 1. 再生産関係

図中の数字は年級群を示す。再生産関係式にはホッケー・スティック型を用い、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。

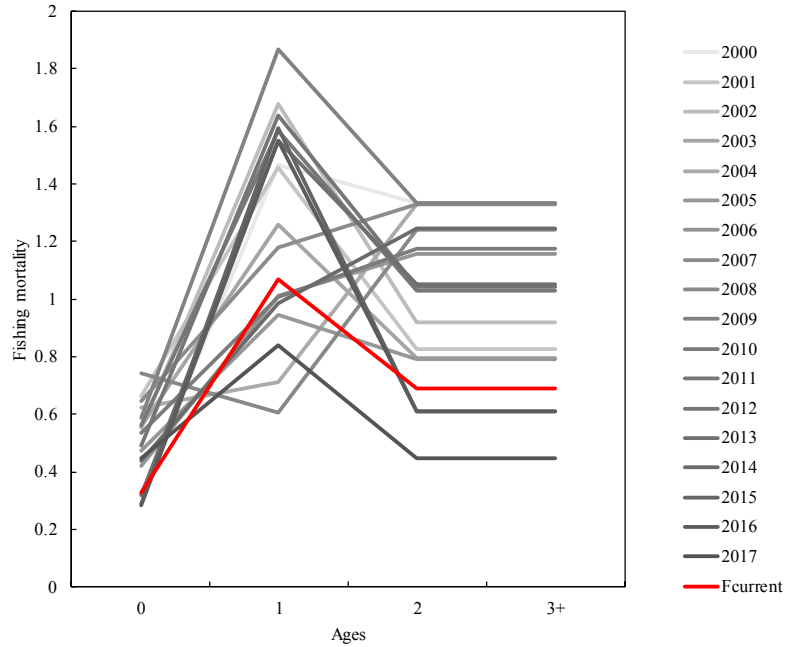


図 2. 年齢別 F 値

現状の漁獲圧 (Fcurrent、2015～2017 年平均漁獲圧) 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。

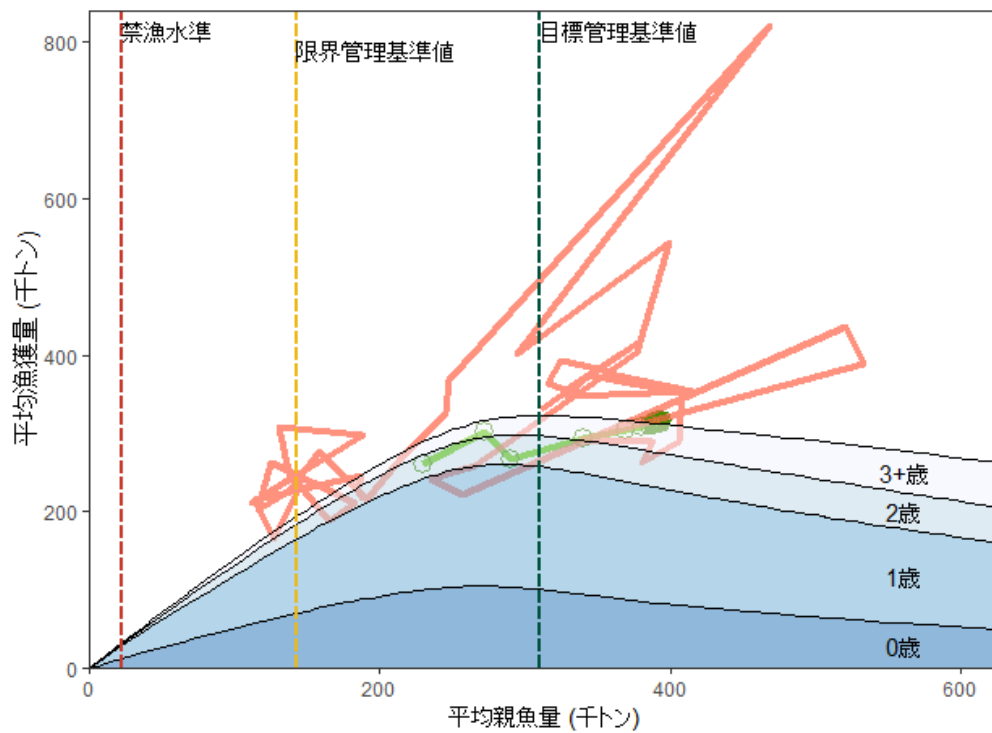
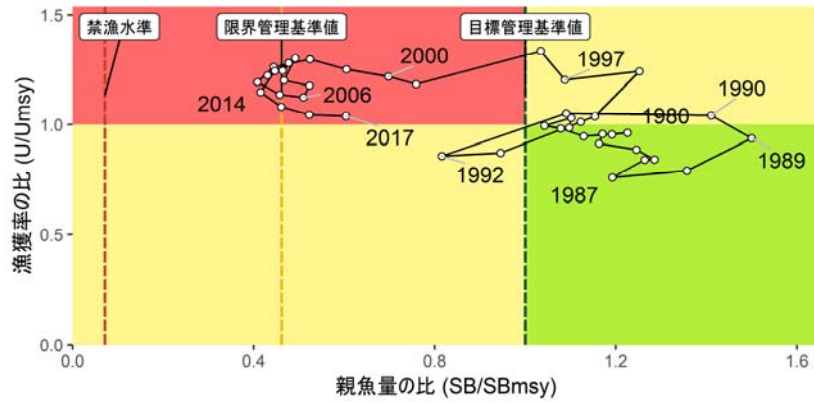


図3. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線の関係

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に対する年齢別漁獲量の平均値。赤線は1973～2017年の親魚量と漁獲量の関係の軌跡を、緑線は $\beta$ を標準値である0.8にした場合のHCRに則って漁獲した場合の親魚量と漁獲量の関係の軌跡をそれぞれ示す。初期親魚量(SB0)は1,577千トン。図中の目標管理基準値、限界管理基準値、および禁漁水準はそれぞれ親魚量に対する管理基準値(SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy)を示す。

(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

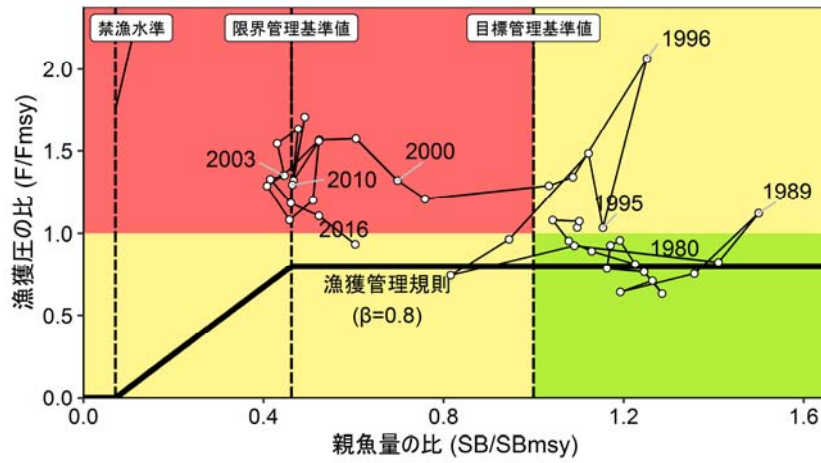


図 4. 神戸プロット (4 区分)

3 年間の移動平均値で平滑化した値。図中の目標管理基準値、限界管理基準値、および禁漁水準はそれぞれ親魚量に対する管理基準値 ( $SB_{msy}$ ,  $SB_{0.6msy}$ ,  $SB_{0.1msy}$ ) を示す。

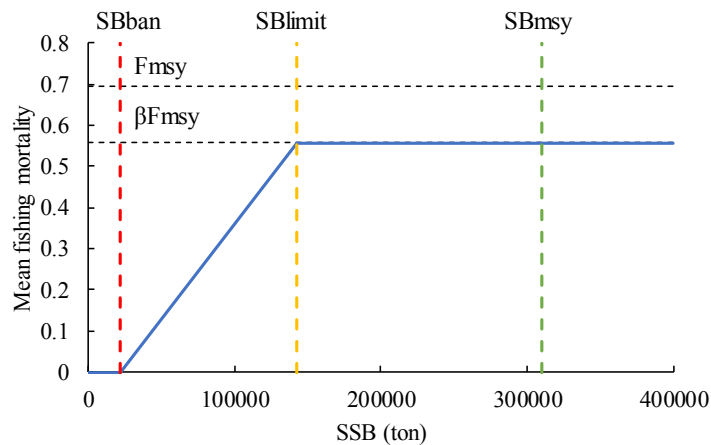


図 5. 漁獲管理規則 (HCR)

図中の管理基準値  $SB_{target}$ ,  $SB_{limit}$ , および  $SB_{ban}$  には、それぞれ  $SB_{msy}$ ,  $SB_{0.6msy}$ ,  $SB_{0.1msy}$  を用いた。チューニングパラメータ  $\beta$  は標準値である 0.8 である。

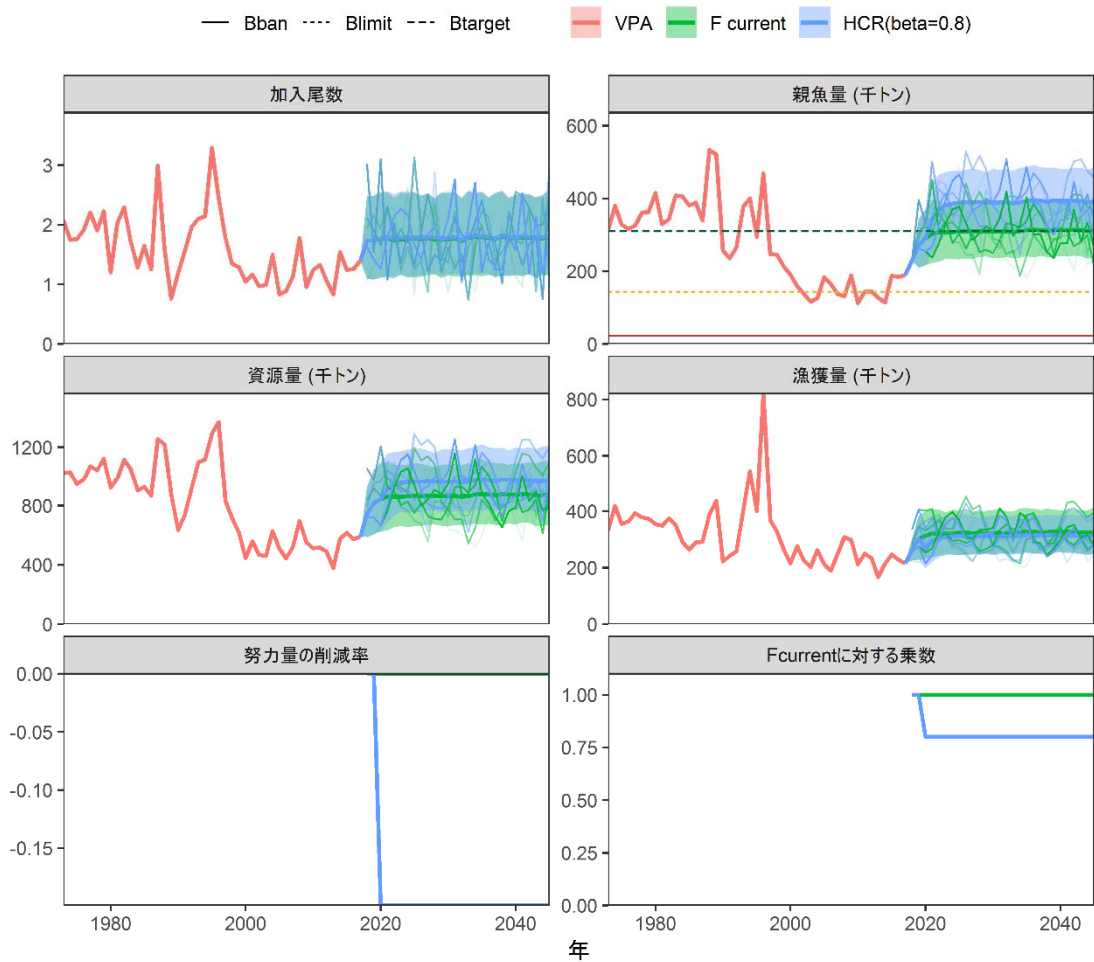


図 6. 漁獲管理規則による将来予測の平均値（実線）と 80%信頼区間

管理基準値  $SB_{target}$ 、 $SB_{limit}$ 、 $SB_{ban}$  に、それぞれ  $SB_{msy}$ 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$  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を示す。2018 年および 2019 年は  $F_{current}$  による漁獲とした。漁獲管理規則のチューニングパラメータ  $\beta$  に標準値である 0.8 を用いた結果である。各色の細線は、5000 回の将来予測からランダムに抽出した 5 つの試行結果を示す。

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	最適化手法	親魚資源量 (千トン)	SB0に対 する比	漁獲量(千トン)	漁獲量の変動係数	漁獲率	努力量の 乗数
SBmsy(SBtarget)	最小二乗法	310	0.20	323	0.2	0.37	1
SB0.6msy(SBlimit)	最小二乗法	143	0.09	194	0.59	0.42	1.26
SB0.1msy(SBban)	最小二乗法	22	0.01	32	1.66	0.44	1.35

表 2. 将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2040
1	0	21	33	41	46	46	44	45	45	49
0.9	0	21	33	53	64	67	68	68	70	73
0.8	0	21	33	65	78	86	88	88	89	92
0.7	0	21	33	75	89	95	99	98	98	99
0.6	0	21	33	83	96	99	100	100	100	100
0.5	0	21	33	89	99	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 (%)

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2040
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	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

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2040
1	230000	272000	290000	302000	307000	307000	307000	308000	308000	312000
0.9	230000	272000	290000	321000	337000	341000	344000	346000	346000	350000
0.8	230000	272000	290000	341000	369000	381000	386000	388000	389000	393000
0.7	230000	272000	290000	362000	407000	426000	435000	439000	440000	445000
0.6	230000	272000	290000	385000	449000	480000	493000	500000	504000	510000
0.5	230000	272000	290000	411000	497000	543000	565000	575000	584000	590000

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

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2040
1	262000	302000	314000	320000	321000	320000	322000	323000	322000	326000
0.9	262000	302000	291000	309000	315000	316000	318000	320000	319000	322000
0.8	262000	302000	267000	294000	305000	308000	311000	312000	311000	315000
0.7	262000	302000	241000	276000	291000	297000	300000	302000	301000	305000
0.6	262000	302000	213000	254000	273000	281000	286000	288000	288000	291000
0.5	262000	302000	184000	228000	251000	261000	267000	270000	271000	274000

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

マサバ対馬暖流系群の再生産関係について、1973年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。AICc が最も低いのは RI であり、次いで BH が低かった。しかし、観測範囲外において親魚量が少ない時には RI や BH を用いた場合の加入量が HS を用いた場合に比べて楽観的になる傾向がみられた。親魚量が多い時には BH が最も楽観的であり、HS は BH と RI の間に位置した。

補足図 1-2 に HS、BH、RI の各再生産関係式を用いた場合に得られた資源状態の変化を示す神戸プロットを示した。この比較ではシミュレーションを 1000 回繰り返して MSY を推定した結果を用いた。RI や BH を用いた場合では過去に親魚量が限界管理基準値

(SBlimit) を一度も下回っておらず SBlimit 時の観測データが存在しないのに対して、HS を用いた場合では近年の親魚量が SBlimit 以下から徐々に増加傾向にあることが示された。昨年度の資源評価における本系群の水準・動向は低位・増加であり、HS を用いた場合の結果に近かった。さらに、BH では過去に一度も MSY 水準に到達していないという違いが見られた。また、SBban および SBlimit それぞれに対応する親魚量の差は、HS で最も大きく、BH で最も小さかった。HS を適用した場合は、RI や BH に比べて、親魚量が SBlimit を下回った場合に緊急を要する事態になりにくいと考えられる。直近 5 年間 (2013 ~ 2017 年) の漁獲率は減少傾向であり、それに伴い親魚量も増加傾向にあることは、いずれの再生産関係式でも同様の結果となった。また、2017 年の親魚量は、限界管理基準値を上回っているものの、目標管理基準値を大きく下回っているという点も共通していた。

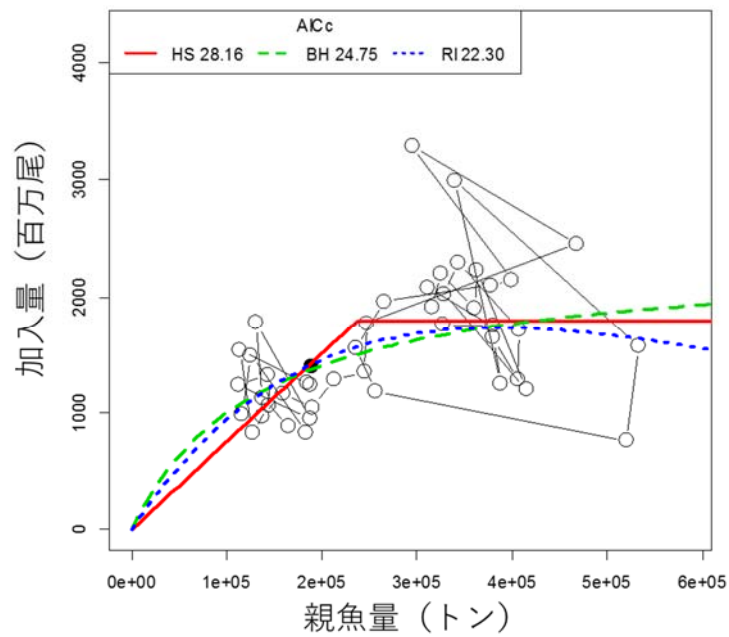
補足図 1-3 に HS を利用した場合の残差の頻度分布図を示した。残差の正規性について、Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定ともに正規分布との有意な逸脱は検出されなかった。残差には明確な経年的な変化は認められなく、自己相関係数も低く有意でなかった (補足図 1-4)。

補足図 1-5 に最適化手法の違いによる再生産曲線とパラメータ推定値の比較結果を示した。最小絶対値法による最適化を行った場合、折れ点となる親魚量が 268 千トンとなり、最小二乗法で最適化した場合 (237 千トン) よりやや増加した。

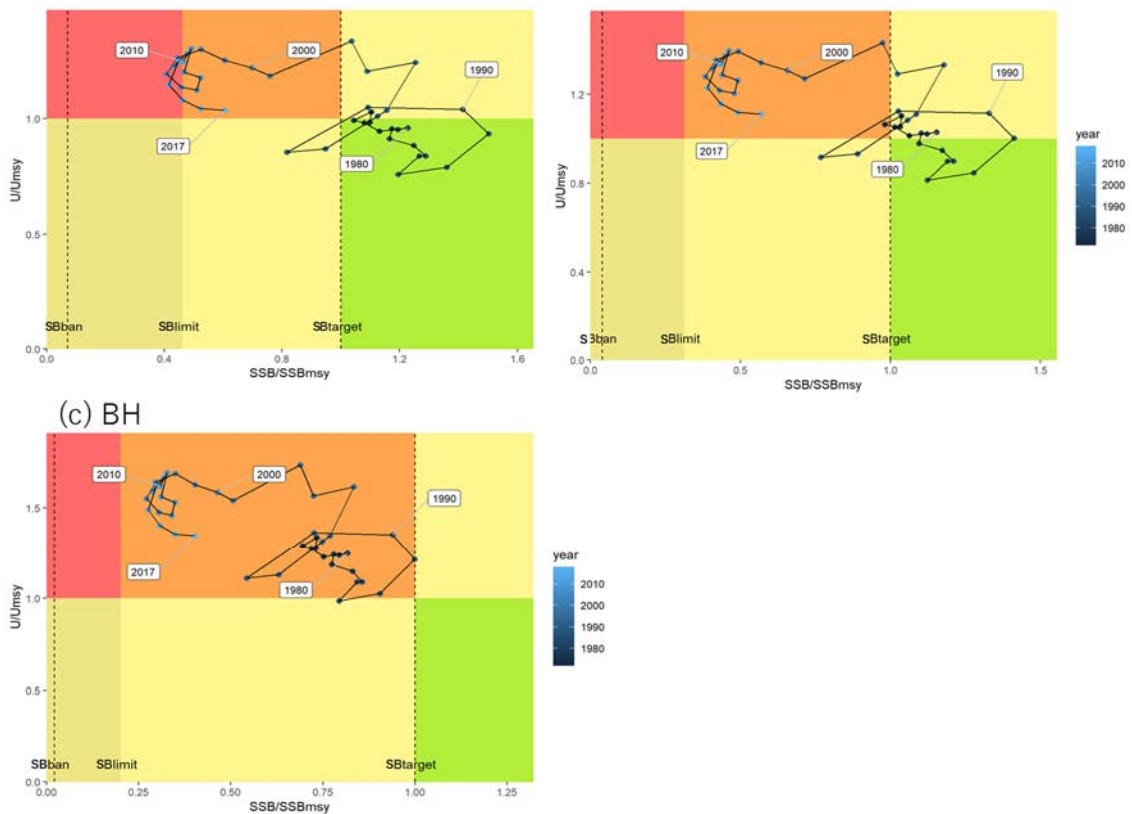
補足図 1-6 に残差ブートストラップによって HS のパラメータ推定の信頼性について検証した結果を示す。最小二乗法で最適化した場合、全てのパラメータ推定値において中央値と点推定値に乖離はみられなかった。最小絶対値法で最適化した場合は、標準偏差において中央値と点推定値に乖離がみられた。

補足図 1-7 にパラメータ推定の頑健性を確認するためジャックナイフ解析を行った結果を示す。ここで、b については 1989 年のデータの影響が強く、このデータを除くと b の推定値が 10% 程度大きくなった。1989 年は過去 2 番目に多い親魚量であったが、加入量は過去最低水準となった年である。

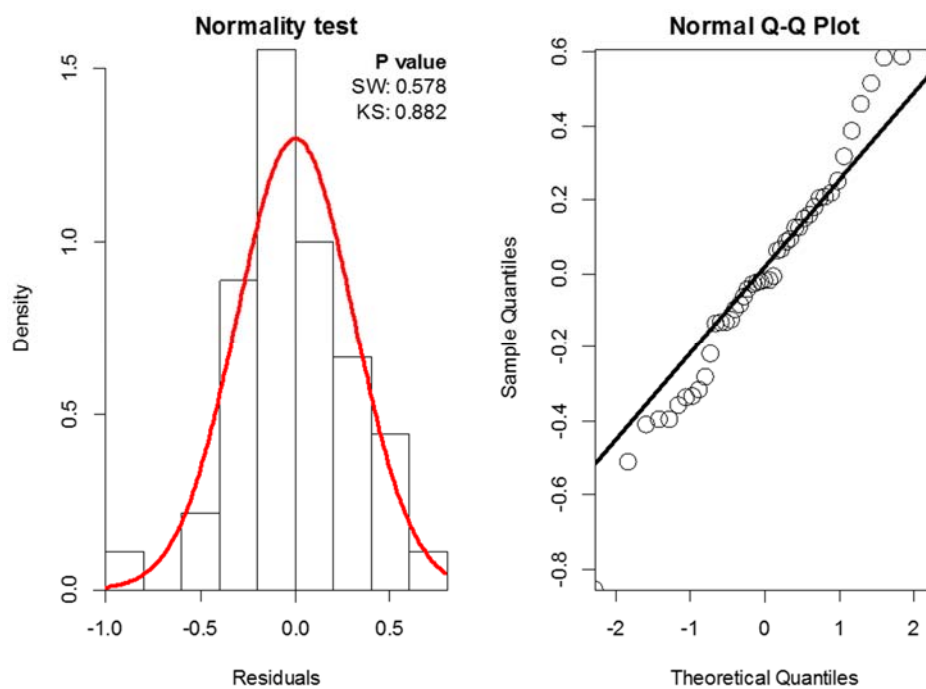
補足図 1-8 に推定パラメータに対するプロファイル尤度を示す。残差ブートストラップの信頼区間の範囲内では尤度は大きく変わらなかった。



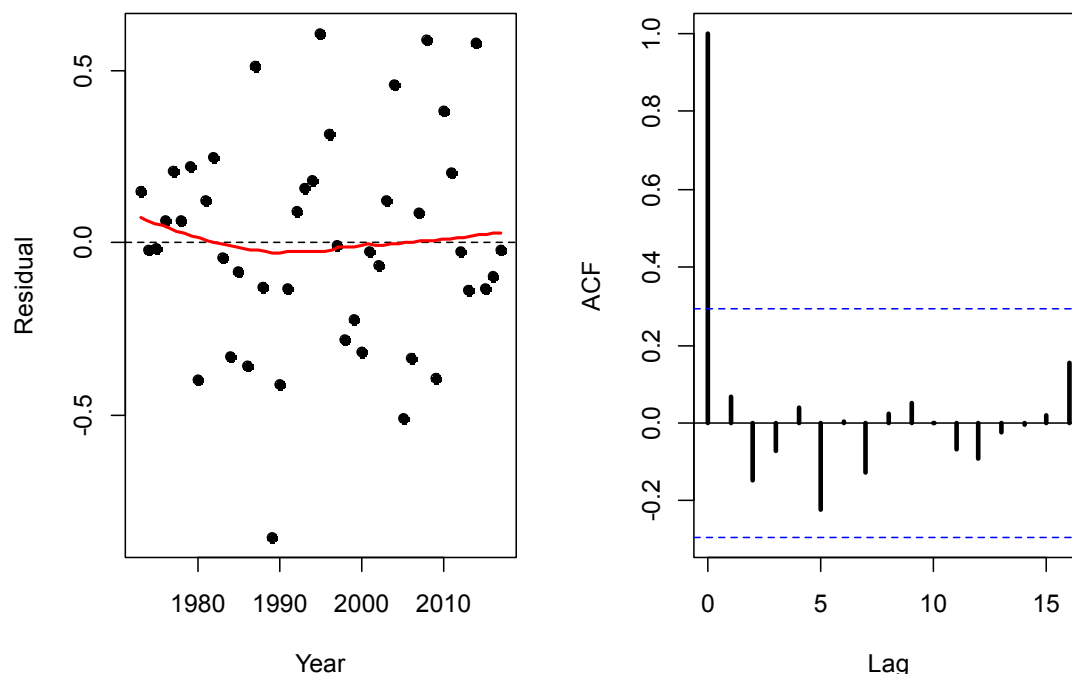
補足図 1-1. 各再生産関係式における再生産曲線と AICc。赤線は HS、緑線は BH、青線は RI をそれぞれ示す。



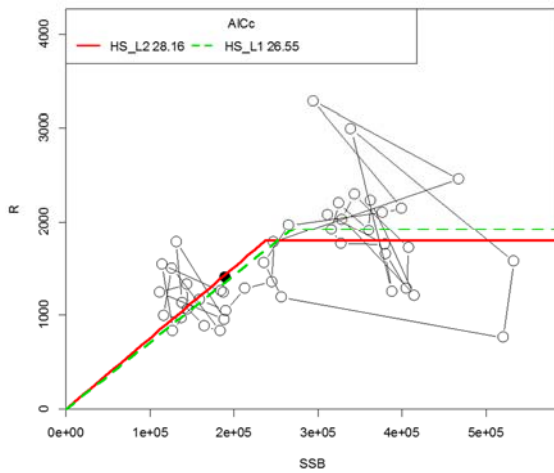
補足図 1-2. (a)HS、(b) RI、(c) BH の各再生産関係式を用いた場合に得られる資源状態の変化を示した神戸プロット。



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. 残差の経年変化と自己相関係数



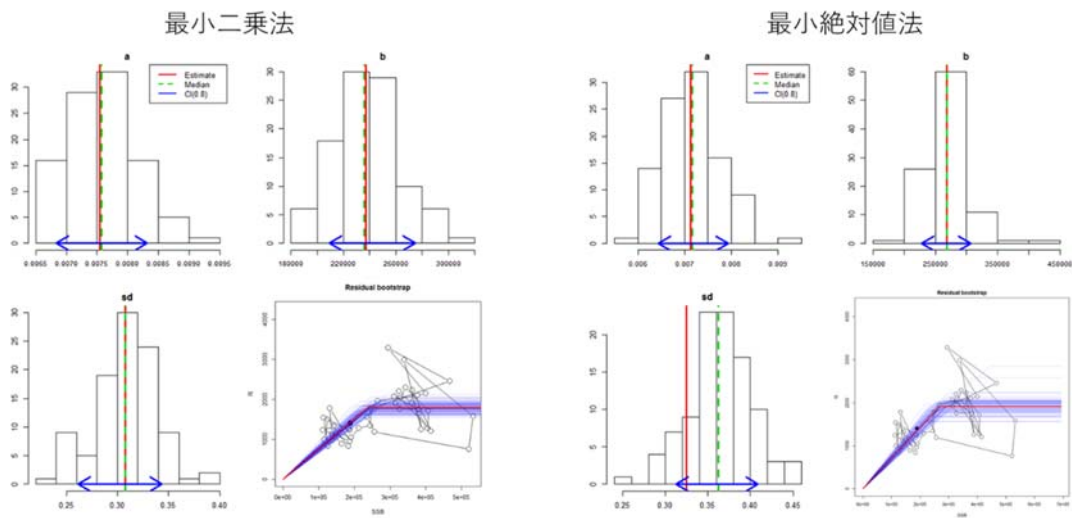
### 最小絶対値法 (L1) AIC 26.55

a	b	s.d.	rho
0.007	268148	0.32	

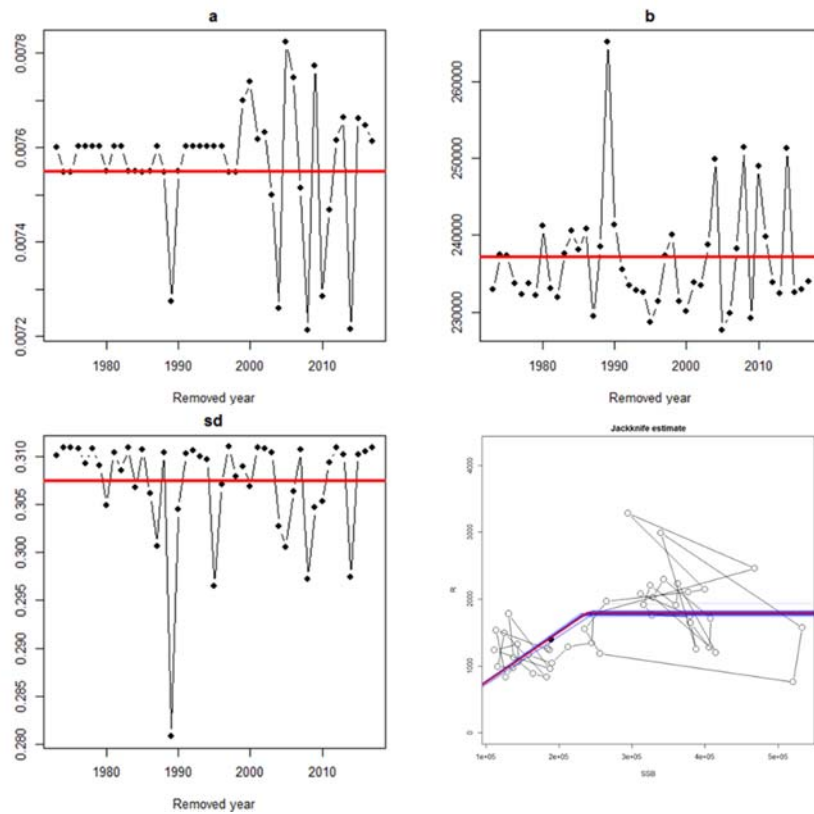
### 最小二乗法 (L2) AIC 28.16

a	b	s.d.	rho
0.008	237192	0.31	

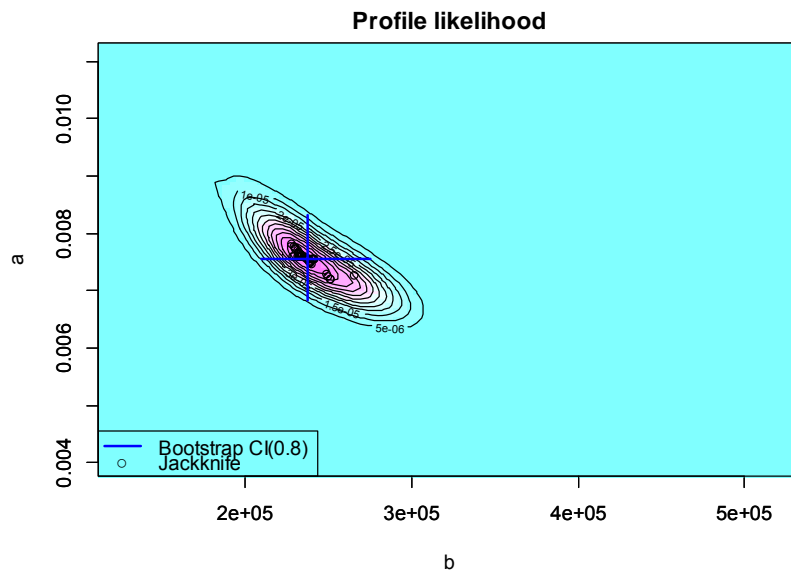
補足図 1-5. 最適化手法の違いによる再生産曲線とパラメータ推定値の比較。赤線は最小絶対値法、緑線は最小二乗法により最適化した場合の曲線をそれぞれ示す。いずれの再生産式も自己相関は考慮していない。



補足図 1-6. 残差ブートストラップによるパラメータ推定の信頼性テストの結果。



補足図 1-7. ジャックナイフ解析を用いた HS のパラメータ推定値の傾き (a)、折れ点 (b)、残差 (c) の頑健性テストの結果。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) を示した。最適化手法には最小二乗法を用いた。



補足図 1-8. 推定パラメータに対するプロファイル尤度。ブートストラップによる 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。最適化手法には最小二乗法を用いた。

## 補足資料 2 最適化手法に最小絶対値法を用いた場合の結果について

最適化手法に最小絶対値法を用いた場合の各基準値について、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補足表 2-1 に示す。また、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補足表 2.2~2.5 にそれぞれ示す。ここで、管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた。2018 年および 2019 年は Fcurrent による漁獲とした。

最小二乗法を用いた場合と比べて差異は小さいものの、目標管理基準値や限界管理基準値での親魚量は多くなった。一方で漁獲量の変動係数は増加した。 $\beta$  を標準値である 0.8 とした場合、目標管理基準値を上回る確率は最小二乗法を用いた場合よりわずかに低下した。将来親魚量は 2021 年以降に最小二乗法を用いた場合より多くなった。これは、各最適化手法における折れ点や期待される最大加入量に違いがあるためと考えられる。漁獲量はその翌年の 2022 年以降に最小二乗法を用いた場合より多くなった。

補足表 2-1. 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	最適化手法	親魚資源量(千トン)	SB0に対する比	漁獲量(千トン)	漁獲量の変動係数	漁獲率	努力量の乗数
SBmsy(SBtarget)	最小二乗法	310	0.20	323	0.2	0.37	1
	最小絶対値法	351	0.21	341	0.21	0.36	0.94
SB0.6msy(SBlimit)	最小二乗法	143	0.09	194	0.59	0.42	1.26
	最小絶対値法	162	0.10	204	0.62	0.41	1.18
SB0.1msy(SBban)	最小二乗法	22	0.01	32	1.66	0.44	1.35
	最小絶対値法	25	0.01	34	1.72	0.43	1.28

補足表 2-2. 将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率（%）

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2040
1	0	7	15	29	37	40	40	42	43	48
0.9	0	7	15	37	52	59	63	64	67	71
0.8	0	7	15	45	67	79	84	85	87	90
0.7	0	7	15	56	80	91	96	97	97	99
0.6	0	7	15	64	88	97	100	100	100	100
0.5	0	7	15	72	94	99	100	100	100	100

表 2-3. 将来の親魚量が限界管理基準値を上回る確率 (%)

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2040
1	100	100	99	99	99	99	100	100	100	100
0.9	100	100	99	99	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	99	99	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100

表 2-4. 将来の平均親魚量 (トン) の推移

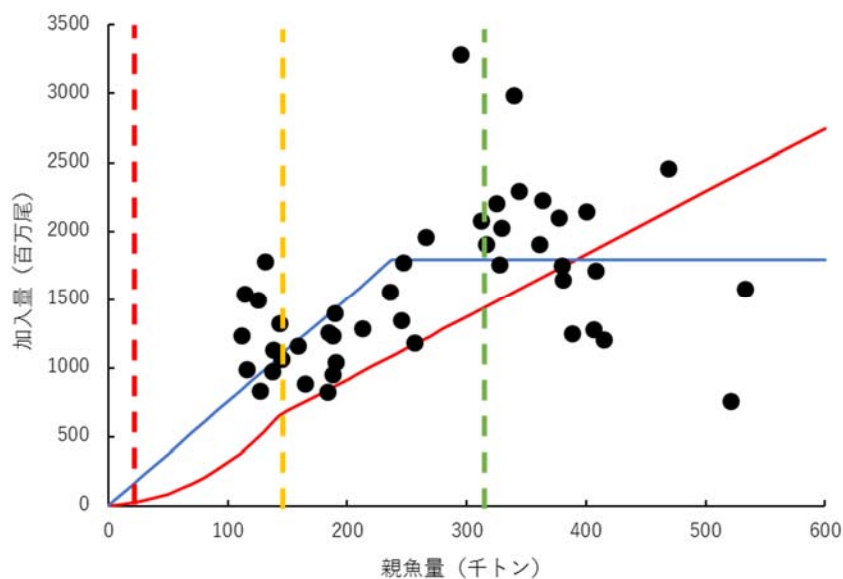
$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2040
1	230000	262000	285000	313000	330000	336000	341000	345000	349000	354000
0.9	230000	262000	285000	331000	361000	375000	382000	388000	392000	397000
0.8	230000	262000	285000	351000	396000	418000	429000	436000	439000	445000
0.7	230000	262000	285000	371000	434000	467000	483000	491000	496000	502000
0.6	230000	262000	285000	394000	477000	523000	546000	558000	566000	572000
0.5	230000	262000	285000	418000	526000	588000	621000	638000	652000	660000

表 2-5. 将来の平均漁獲量 (トン) の推移

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2040
1	256000	293000	299000	318000	326000	329000	334000	337000	339000	344000
0.9	256000	293000	277000	305000	320000	326000	331000	335000	336000	340000
0.8	256000	293000	254000	290000	310000	319000	324000	327000	327000	331000
0.7	256000	293000	229000	272000	296000	307000	312000	300000	316000	320000
0.6	256000	293000	202000	250000	277000	290000	297000	315000	302000	305000
0.5	256000	293000	174000	223000	253000	268000	276000	280000	282000	285000

### 補足資料3 漁獲管理規則に基づく漁獲係数 F を用いた場合の SPR (F) の関係

漁獲管理規則による管理の挙動を示すために、漁獲管理規則に基づく漁獲係数 F を用いた場合の SPR (F) を求め、再生産関係と合わせて図示した (補足図3)。この図において再生産関係を示す曲線 (青実線) が SPR (赤実線) の上にあれば親魚量は増加、下であれば減少する。青実線と赤実線の交点は  $\beta$  が 0.8 の場合に平衡状態になる親魚量となる。この図から、 $0.8F_{msy}$  で漁獲すれば親魚量は平衡状態に達するまで増加することが分かる。また、親魚量が限界管理基準値 (黄色破線) 以下になった場合に親魚量をより増加させるような規則となっている。



補足図3. 漁獲管理規則に基づく漁獲係数 F を用いた場合の SPR (F) の関係 (赤実線) と HS で推定される再生産関係 (青実線)。 $\beta$  は標準値である 0.8 とした。黒点は観測された親魚量と加入量の散布図。なお、目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準をそれぞれ緑破線、黄色破線、赤破線で示した。