

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－・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－・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 を用いた場合では過去に親魚量が 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 を用いた場合では近年の親魚量が 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	Δ AICc	Δ AICc の順位	加入量の S.D.
HS	最小二乗法	28.16	5.86	6	0.31
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 β に標準値を用いた場合

目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準に 2-3) で示した値を用い、 β に標準値である 0.8 を用いた場合の加入尾数、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 βF_{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 β を変えた場合

将来予測において β 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、 β 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、 β が 1 の場合の到達確率は 50% を下回った。また、 β 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 β が低い程多くなり (表 4)、 β が 0.9 以下の場合に 2020 年の漁獲量は 2019 年より少なくなった (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 $SB_{0.6msy}$ (143 千トン)、 $SB_{0.1msy}$ (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 $F_{current}$ の 1.0 倍である。 β 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

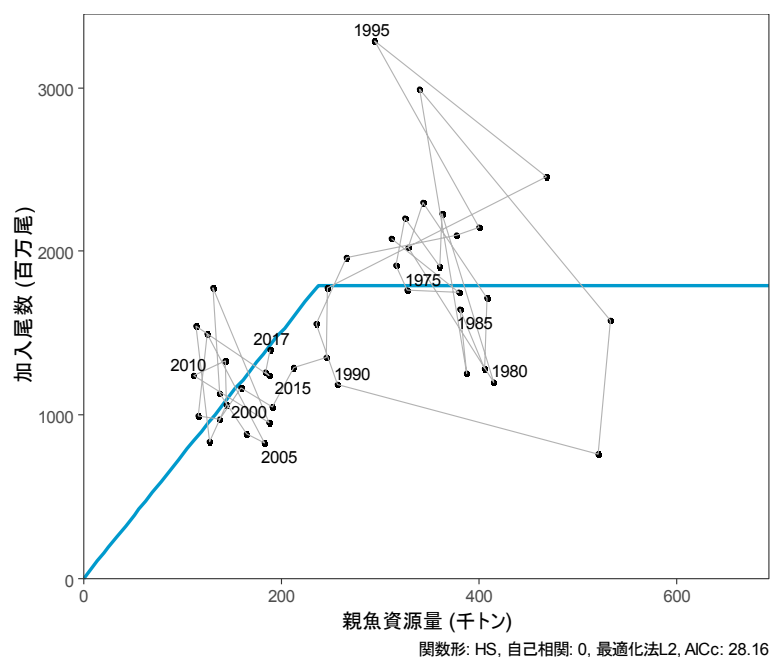


図 1. 再生産関係

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。

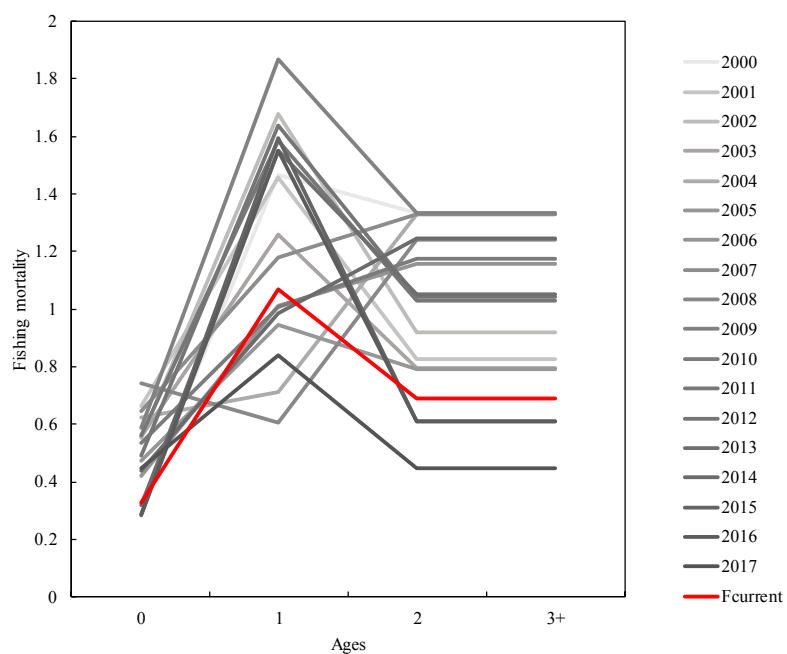


図 2. 年齢別 F 値

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。

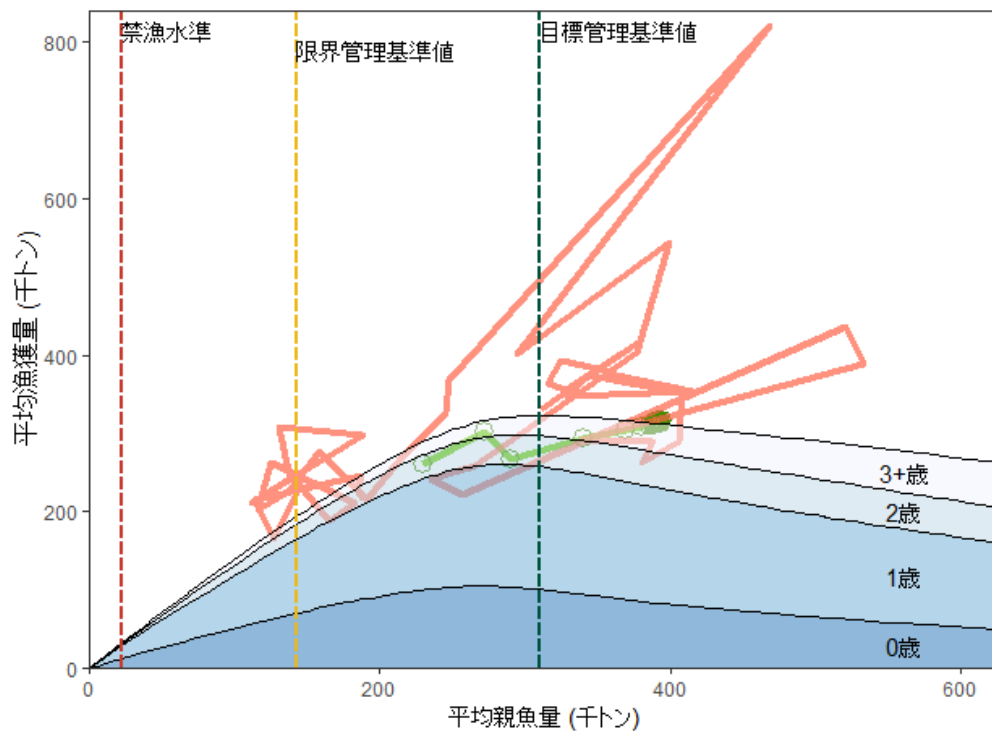
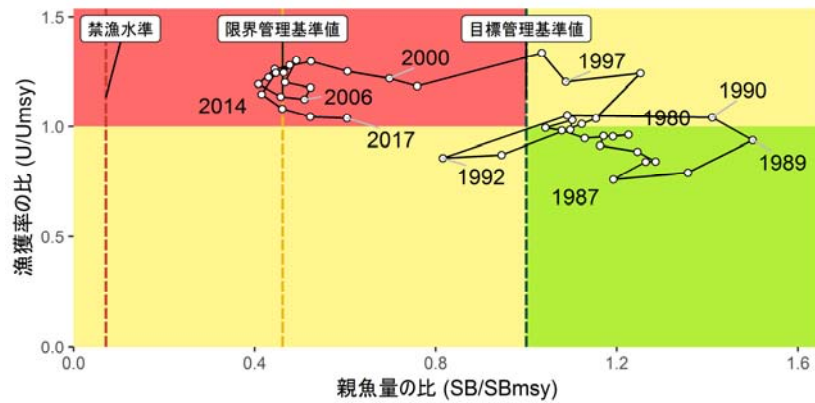


図 3. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線の関係

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 β 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

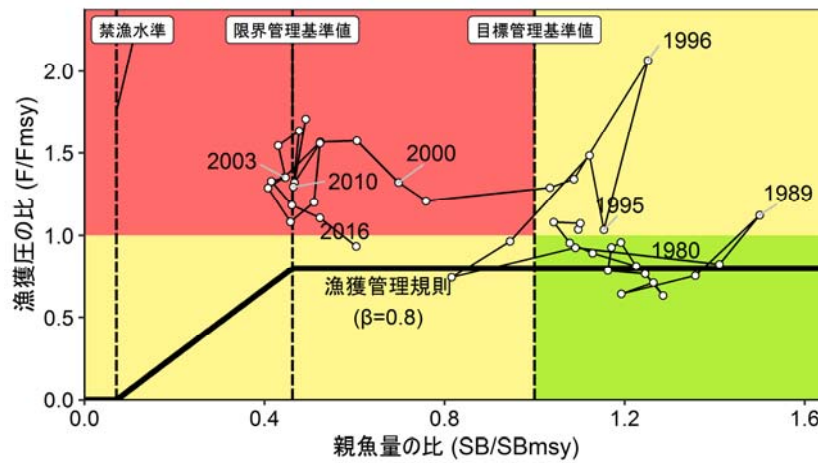


図 4. 神戸プロット (4 区分)

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。

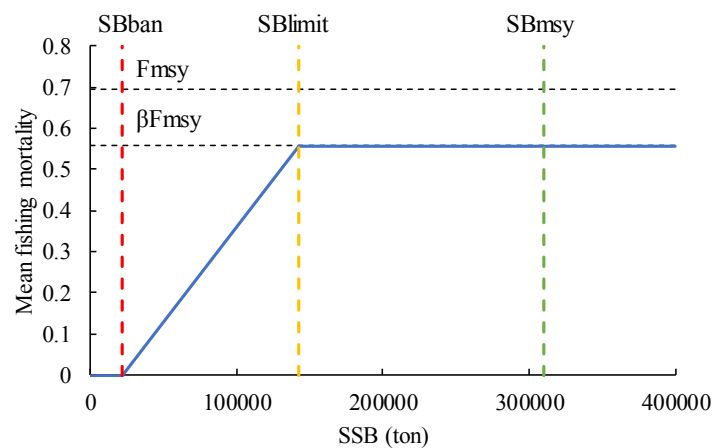


図 5. 漁獲管理規則 (HCR)

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 β は標準値である 0.8 である。

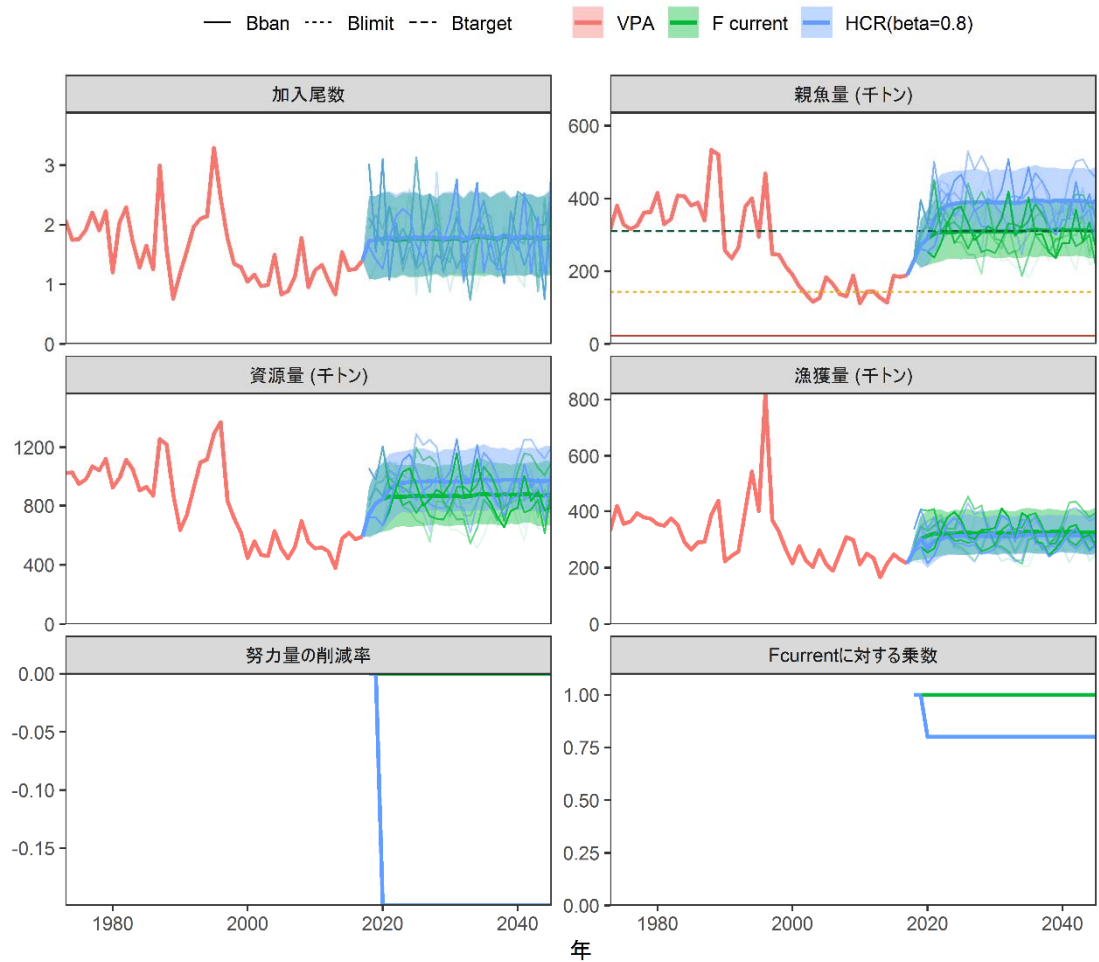


図 6. 漁獲管理規則による将来予測の平均値（実線）と 80%信頼区間

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 β 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（％）

β	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（％）

β	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

β	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

β	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 を適用した場合では、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。

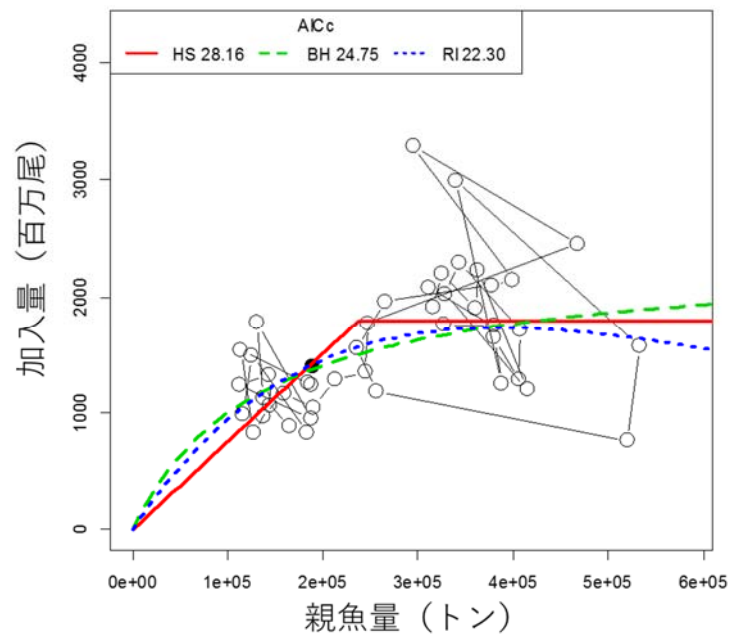
補足図 1-3 に HS を利用した場合の残差の頻度分布図を示した。残差の正規性について、Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定ともに正規分布との有意な逸脱は検出されなかった。残差には明確な経年的な変化は認められなく、自己相関係数も低く有意でなかった (補足図 1-4)。

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。

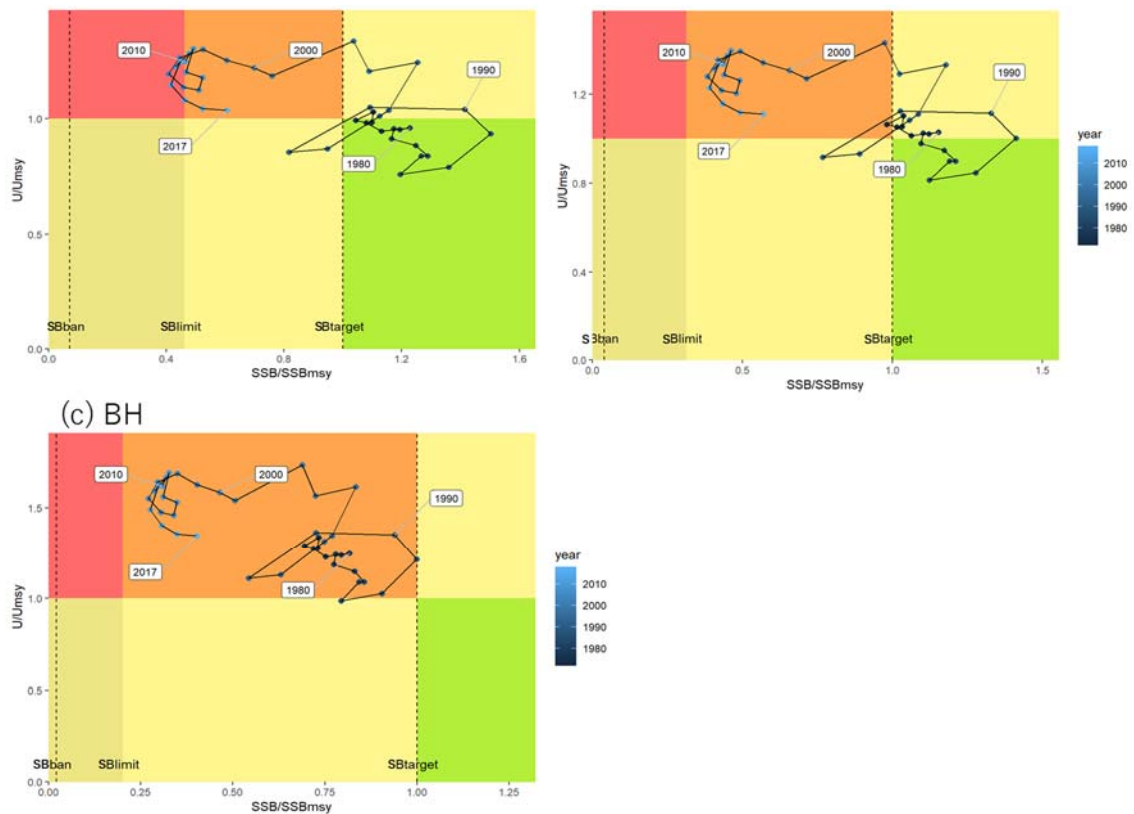
補足図 1-6 に残差ブートストラップによって HS のパラメータ推定の信頼性について検証した結果を示す。最小二乗法で最適化した場合、全てのパラメータ推定値において中央値と点推定値に乖離はみられなかった。最小絶対値法で最適化した場合は、標準偏差において中央値と点推定値に乖離がみられた。

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。

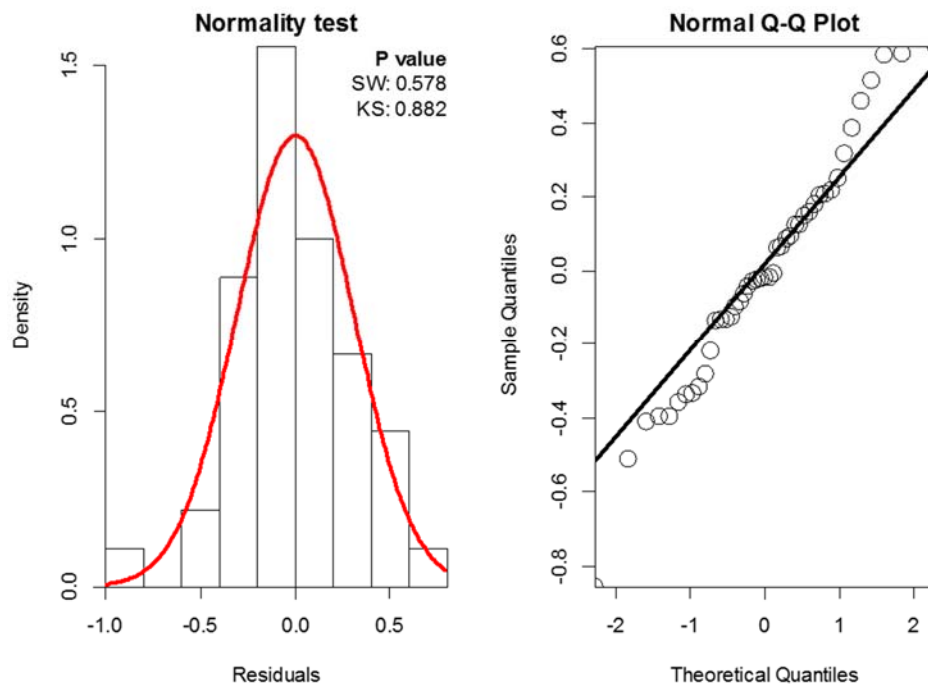
補足図 1-8 に推定パラメータに対するプロファイル尤度を示す。残差ブートストラップの信頼区間の範囲内では尤度は大きく変わらなかった。



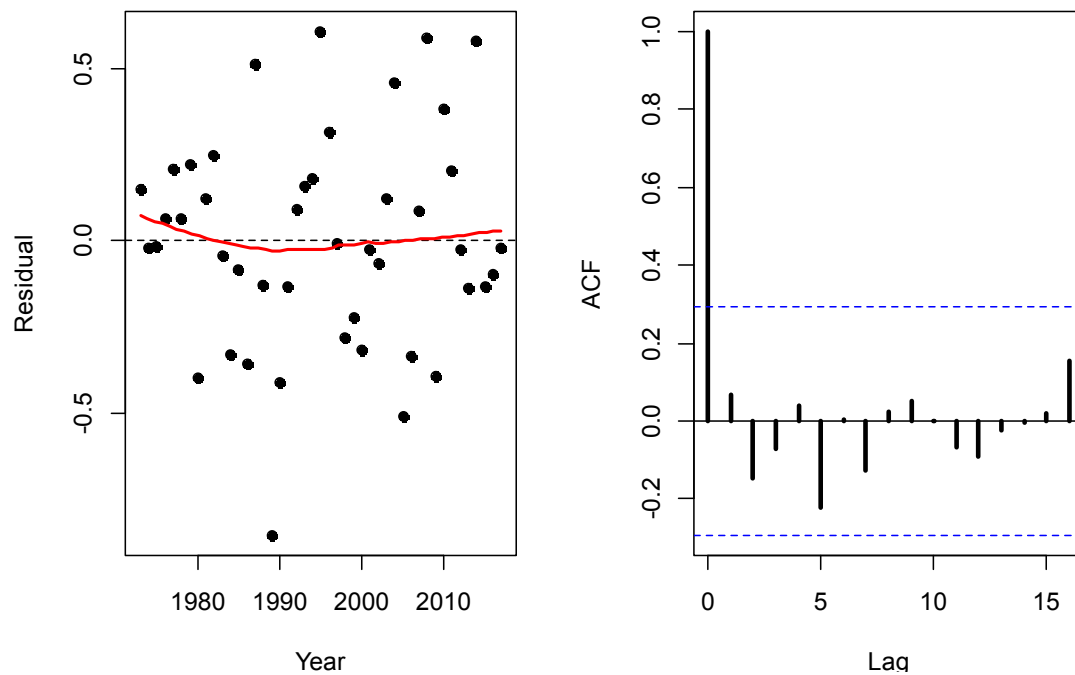
補足図 1-1. 各再生産関係式における再生産曲線と AICc。 赤線は HS、緑線は BH、青線は RI をそれぞれ示す。



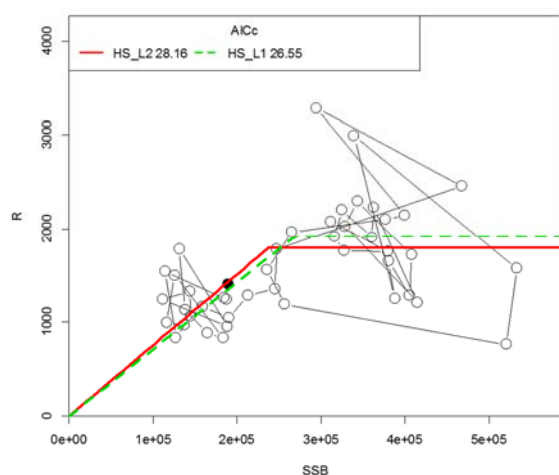
補足図 1-2. (a)HS、(b) RI、(c) BH の各再生産関係式を用いた場合に得られる資源状態の変化を示した神戸プロット。



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



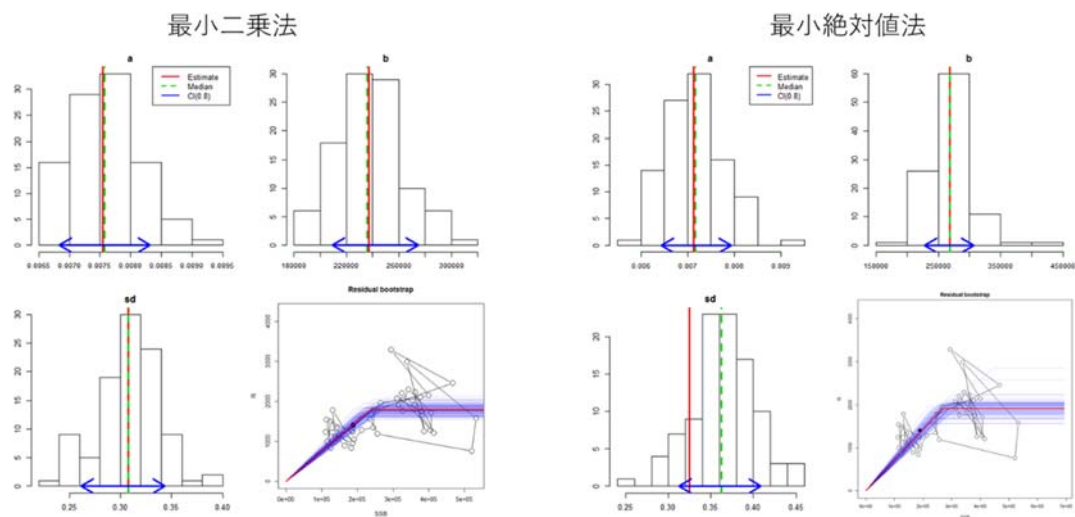
最小絶対値法 (L1) AIC 26.55

a	b	s.d.	rho
0.007	268148	0.32	

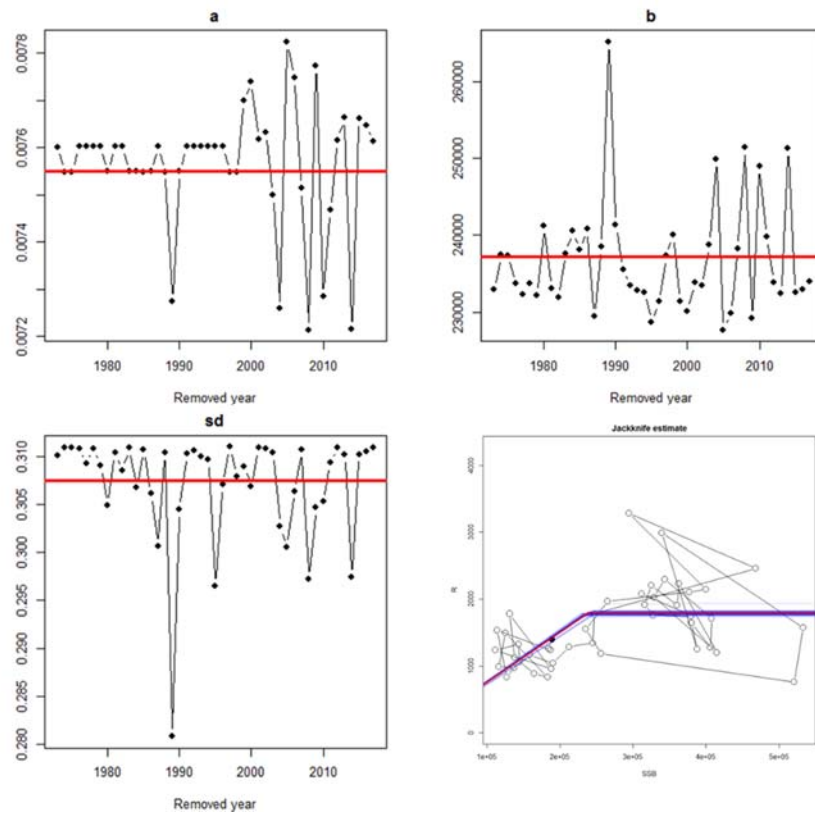
最小二乗法 (L2) AIC 28.16

a	b	s.d.	rho
0.008	237192	0.31	

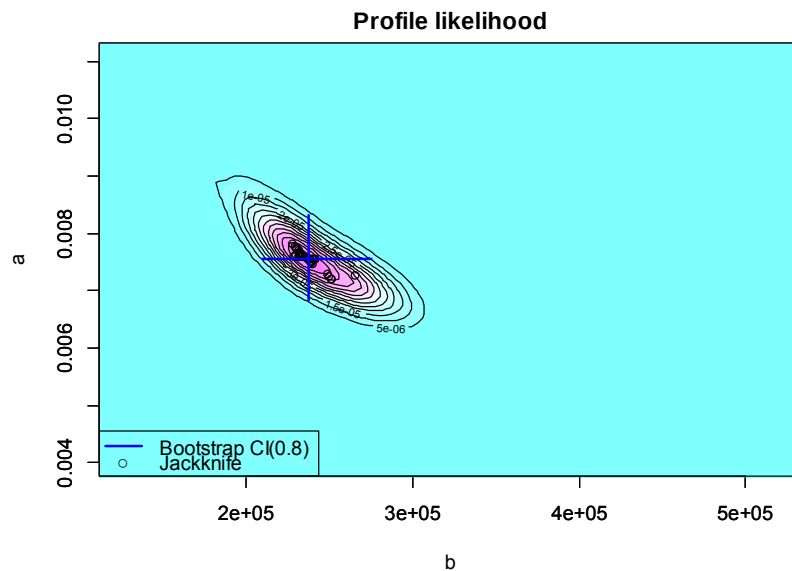
補足図 1-5. 最適化手法の違いによる再生産曲線とパラメータ推定値の比較。赤線は最小絶対値法、緑線は最小二乗法により最適化した場合の曲線をそれぞれ示す。いずれの再生産式も自己相関は考慮していない。



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。 β 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（％）

β	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 (%)

β	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

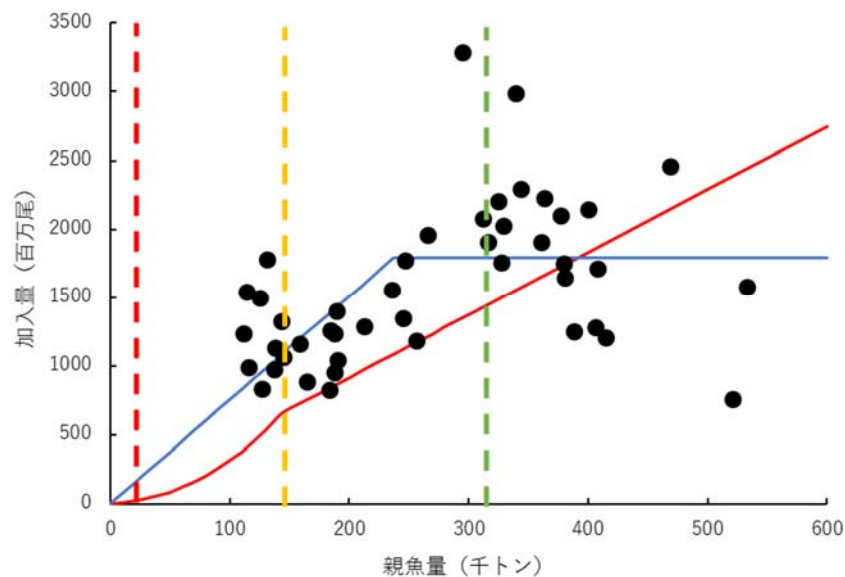
β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2040
1	230000	262000	285000	313000	330000	336000	341000	345000	349000	354000
0.9	230000	262000	285000	331000	361000	375000	382000	388000	392000	397000
0.8	230000	262000	285000	351000	396000	418000	429000	436000	439000	445000
0.7	230000	262000	285000	371000	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

β	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）の上で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 β 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）。 β 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。

平成 31（2019）年度ゴマサバ東シナ海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）年度ゴマサバ東シナ海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 26 年間（1992～2017 年）における親魚量から中位、動向は最近 5 年間（2013～2017 年）の資源量の推移から横ばいと判断されている。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（109 千トン）を、限界管理基準の候補として SB0.6msy（51 千トン）を、禁漁水準の候補として SB0.1msy（8 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 0.77 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下表に示す。なお、ここで用いたデータは利用可能な 1992～2017 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り（5%有意水準）、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。ここでは、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 から判断すると、最小二乗法で最適化した BH（BH-L2）が最良で、次いで最小二乗法で最適化した RI（RI-L2）が優れていた。

再生産 関係式	最適化法	AICc	Δ AIC	Δ AIC の 順位	加入量の S.D.	自己相関 係数	データ数
HS	最小二乗法	20.2	2.9	6	0.311	0	26
RI	最小二乗法	18.1	0.8	2	0.299	0	26
BH	最小二乗法	17.3	0	1	0.295	0	26
HS	最小絶対値法	19.8	2.5	5	0.332	0	26
RI	最小絶対値法	18.5	1.2	4	0.324	0	26
BH	最小絶対値法	18.2	0.9	3	0.322	0	26

※候補として推奨する再生産関係を太字とした

再生産関係の選択において、乱獲のリスクを軽減するためには、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、加入量の推定値が低い再生産関係を選択することが有効である。本系群において過去に観測がない親魚量 32 千トン以下の領域において、加入量を最も低く見積もるモデルは、最小絶対値法で最適化した HS (HS-L1) であった（補足図 1-1）。RI と BH においても、最小絶対値法で最適化したモデル（それぞれ RI-L1 および BH-L1）の方が、低親魚量の領域において加入量を低く見積もる傾向があった。

各再生産関係における SBmsy は、最小二乗法で最適化した HS (HS-L2) を除いて、過去 26 年間（1992～2017 年）の最大親魚量（85 千トン）を上回り（補足資料 1）、その程度は特に RI-L1 と BH-L1 で大きかった。これら 3 つの再生産関係を仮定した場合、過去の漁獲圧は常に Fmsy を上回っていたと判断された。

平成 30（2018）年度における資源評価では、本系群の資源水準は中位とされている。算出される Btarget の値は、HS-L2 を仮定した場合には 2017 年の親魚量をやや下回ったが、それ以外の再生産関係では 2017 年の親魚量を大きく上回った（補足資料 1）。

1-3) 再生産関係の候補

本系群では、乱獲のリスクを軽減しつつ、できるだけ現実的な Bmsy を目指す目的で、最小絶対値法で最適化した HS 型再生産関係（HS-L1）を推奨候補として提案する（図 1）。この再生産関係のもとでは、低資源時の加入の見積もりが抑制的となり、また SBmsy は過去 26 年間の最大親魚量を上回るものの、その程度は RI-L1 と BH-L1 を仮定した場合と比べて小さかった。これらの理由から、再生産関係に HS-L1 を用いた資源管理は、資源保護の観点と管理目標の現実性のバランスに優れると考えられた。AICc から判断した場合にも、HS-L1 は最良のモデルに大きく劣るわけではなかった。

本系群では、再生産関係の候補として HS-L2 も詳細に検討した（補足資料 2）。HS-L2 では親魚量が低水準の際の加入量を高く見積もるために、その仮定が間違っていた際の乱獲リスクが想定されるものの、過去の資源量が Btarget 前後で変動してきたという点が、これまでの資源評価結果（資源水準が中位と高位との間で変動）と整合的である。現在の資源評価では過去最低の親魚量（33 千トン）を Blimit と定義し、低位と中位の境界としている。

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）での将来予測の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 1992～2017 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（ $F_{current}$ ）はこの選択率のもとで各年齢の 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（下表）。

年齢	自然死亡係数	成熟割合 (%)	平均体重 (g)	選択率	現状の漁獲係数 ($F_{current}$)
0	0.4	0	238	0.18	0.43
1	0.4	60	354	0.36	0.61
2	0.4	85	542	0.60	0.88
3 歳以上	0.4	100	709	1.00	0.88

以上の条件および再生産関係（HS-L1）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（約 3.4 年）の 20 倍、将来予測開始から約 68 年後を平衡状態とした。シミュレーションの試行回数は 5000 回、加入量の残差は対数正規分布とした。

2-2) 使用する再生産関係

再生産関係として最小絶対値法で最適化した自己相関を用いない HS を仮定した。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 に示した。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.
HS	最小絶対値法	無	0.005	84,935	0.33

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（ SB_{target} ）には標準値である SB_{msy} 、限界管理基準値（ SB_{limit} ）と禁漁水準（ SB_{ban} ）には、それぞれ MSY の 60%（ $SB_{0.6msy}$ ）および 10%（ $SB_{0.1msy}$ ）の漁獲が得られる親魚量を用いた。いずれも ABC 算定規則における標準値である。各基準における資源量は次項の表に示した。

管理基準値	親魚量	基準
目標管理基準値	109 千トン	SBmsy
限界管理基準値	51 千トン	SB0.6msy
禁漁水準	8 千トン	SB0.1msy

各管理基準値について、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 に示した。また、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、およびこれに対する年齢別漁獲量の平均値を図 3 に示した。親魚量が SBlimit 以下の場合には、漁獲物のほとんどが 0・1 歳魚であるが、SBmsy 達成時には高齢魚が占める割合が増加する。

2-4) 目標管理基準値と漁獲割合

目標管理基準値を推奨値とした場合の神戸プロットを図 4 に示した。再生産関係に HS-L1 を仮定すると、本系群に対する漁獲圧は、過去 26 年間のうち 1996 年と 2004 年を除く 24 年間に於いて F_{msy} を下回っていたと推定された。親魚量は 2010 年に過去最低の値となったが、その後、漁獲圧が緩やかに減少するとともに増加し、現状では限界管理基準値をやや下回る程度まで回復していると推定された。

2-5) 漁獲管理規則

標準の目標管理基準値・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 β に標準値を用いた場合

目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準に 2-3) で示した値を用い、 β に標準値である 0.8 を用いた場合の加入尾数、親魚量、資源量、漁獲量、努力量の削減率の推移を図 6 に示した。なお、漁獲管理規則（図 5）による漁獲制御は 2020 年から始まり、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下回っているため、漁獲圧は βF_{msy} から引き下げられ（図 5）、 $F_{current}$ の 0.77 倍まで削減される（表 1）。2020 年における漁獲量は、 $F_{current}$ の下で漁獲した場合と比べて一時的に 10 千トン以上減少するが、その後、親魚量の回復に伴って緩やかに増加すると予測された（図 6）。

(2) チューニングパラメータ β を変えた場合

将来予測で β を 0.0~1.0 の間で変えた場合において、親魚量が目標管理基準値および限界管理基準値を上回る確率、平均親魚量の推移、平均漁獲量の推移を表 2~5 にそれぞれ示した。本系群の現状の親魚量は目標管理基準値の 50%に満たないものの、漁獲制限の下では順調な回復が見込まれる。標準値である 0.8 を用いた場合でも、入手可能データの最新年から 10 年後の 2028 年には 83%の確率で目標管理基準値に到達すると予測された (表 2)。一方で、 β が 1.0 の場合には、目標管理基準値までの回復確率は 40%を下回った。また、本系群の現状の親魚量は限界管理基準値も下回っているが、 β を 1.0 とした場合でも、2028 年には 99%の確率でこれを上回ると予測された (表 3)。また、 β を 0.5 以下まで引き下げた場合には、2022 年以降、親魚量を限界管理基準値以上で維持できると予測された。漁獲制限が実施された場合、2020 年の漁獲量は $F_{current}$ で漁獲した 2018・2019 年よりも一時的に減少するが (表 5)、2021 年以降には親魚量の増加が見込まれた (表 4)。 β を低くするほど、2021 年以降における親魚量の増加速度は大きくなるが (表 4)、漁獲量は減少する (表 5)。

(3) チューニングパラメータ β の検討

漁獲制限下の 2022 年以降の漁獲量が、 $F_{current}$ のもとの 2019 年の漁獲量を上回るためには、 β を 0.7 以上とすることが必要で、2020~2028 年の 9 年間における漁獲量を最大化する β は 0.9 である (表 5)。ただし、 β を大きくするほど目標管理基準値への回復確率が低下することを考慮すると、標準値 0.8 が β の値として適切と考えられた。

3. まとめ

平成 30 (2018) 年度ゴマサバ東シナ海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中位、最近 5 年間 (2013~2017 年) の資源量の推移から、資源動向は横ばいと判断されている。親魚量と加入量との間には正の相関関係が見られることから、資源を安定的に有効利用するために、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、最適化法として最小絶対値法を用いた。この再生産関係を選択するにあたって考慮した事項は、親魚量が少ない場合に加入量を低く見積もるために資源保護の観点から有効であることと、過去 26 年間における最大親魚量を大きく上回らない現実的な SB_{target} を設定可能なことである。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、上述の再生産関係から推定される SB_{msy} (109 千トン) を用い、限界管理基準値および禁漁水準には標準値である $SB_{0.6msy}$ (51 千トン) と $SB_{0.1msy}$ (8 千トン) をそれぞれ設定した。

直近年の親魚量は限界管理基準値および目標管理基準値を下回っており、 MSY を達成するときの漁獲率は 32%、漁獲圧は $F_{current}$ の 0.77 倍である。今後 10 年間における漁獲量と、目標管理基準値への回復確率とを考慮すると、適切な調整係数 β は 0.8 と考えられた。このような管理方策のもとでは、2028 年に 83%の確率で 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を考慮できていないことが挙げられる。また将来予測に関しては、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 がマサバとゴマサバを併せた「さば類」として設定されるため、種別の漁獲量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する可能性がある。

執筆者：林 晃、黒田啓行、安田十也

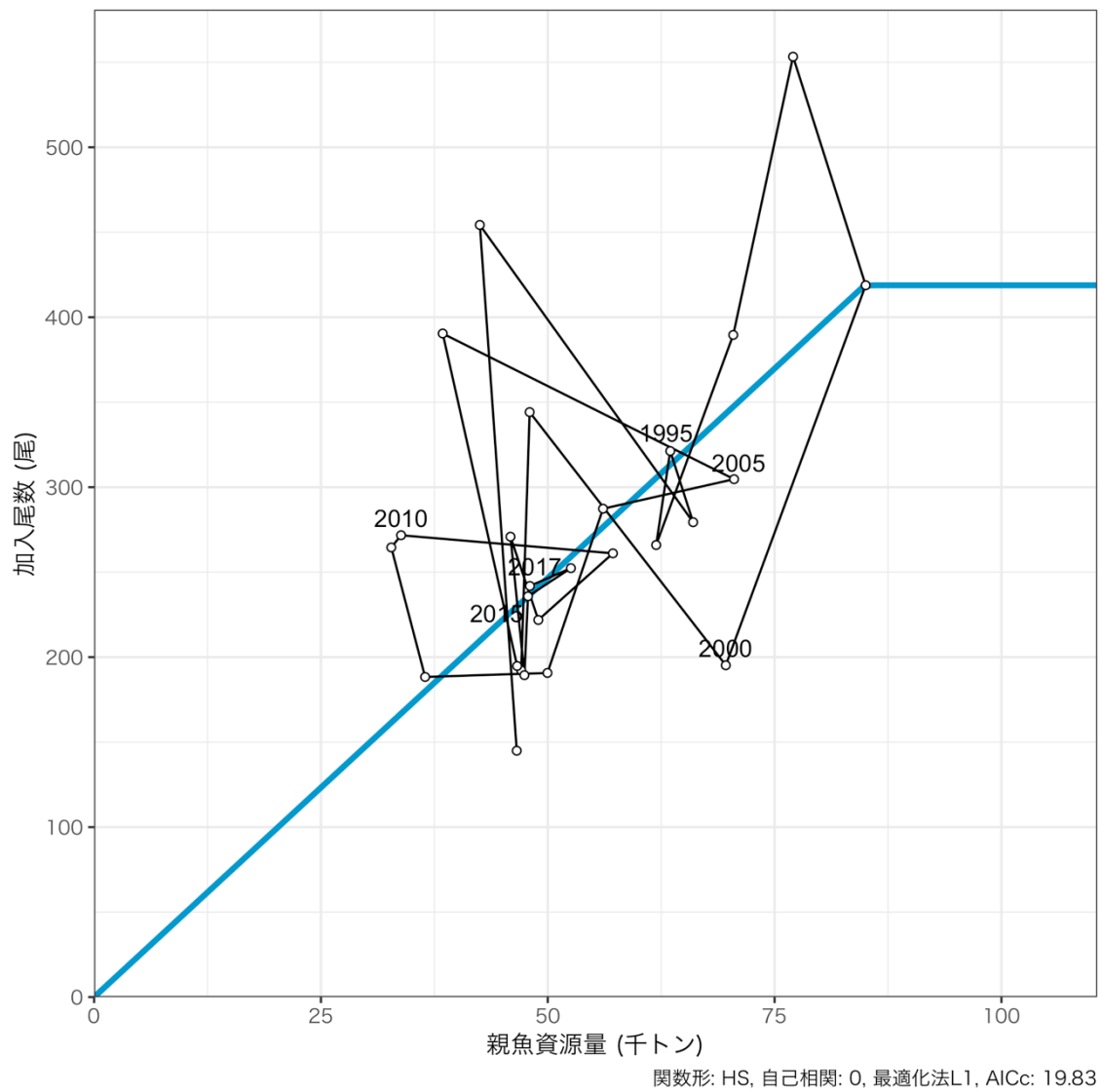


図 1. 再生産関係

図中の数字は年級群を示す。再生産曲線にはホッケースティック型（HS）を用い、自己相関は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。

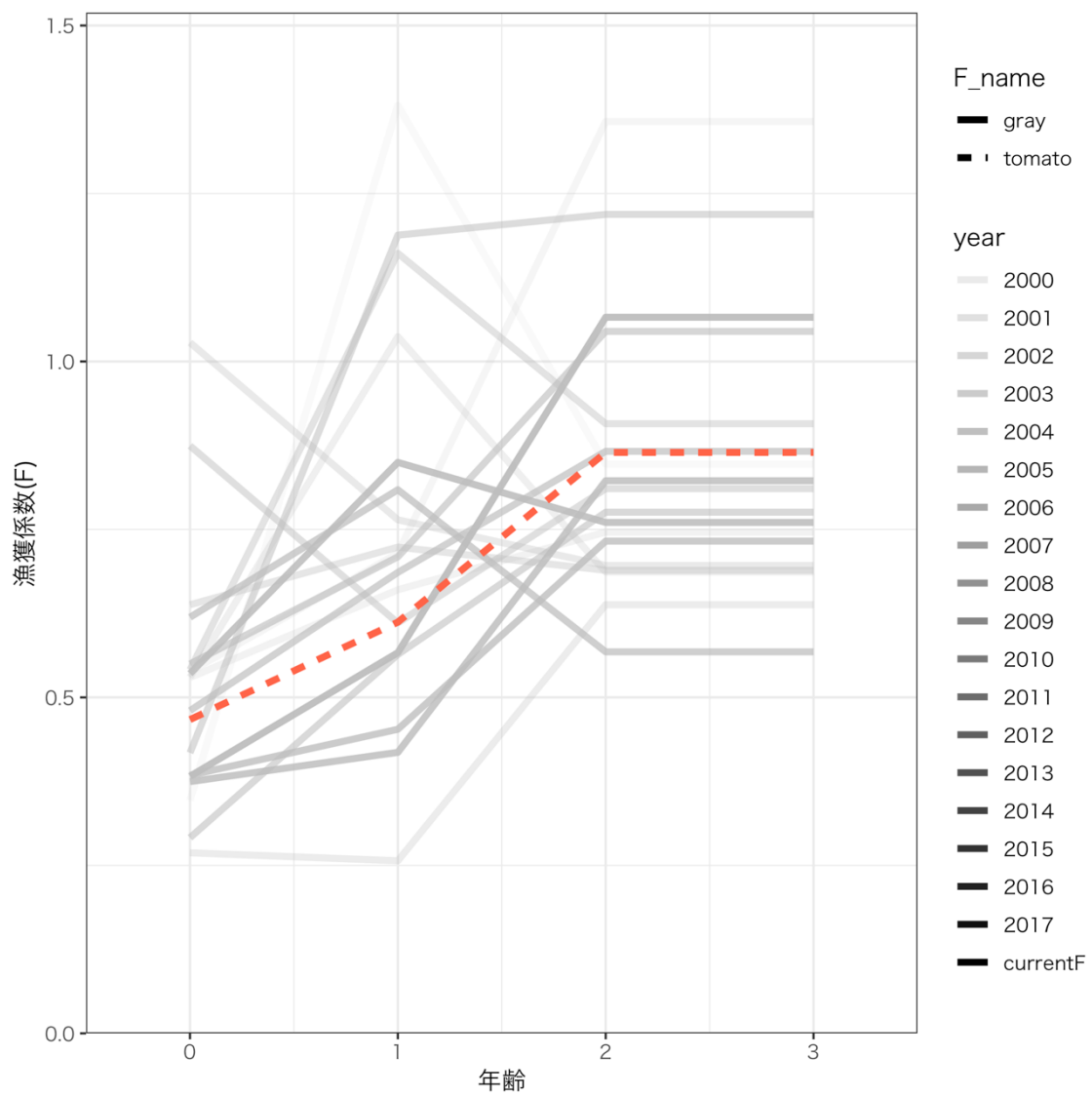


図 2. 年齢別 F 値

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

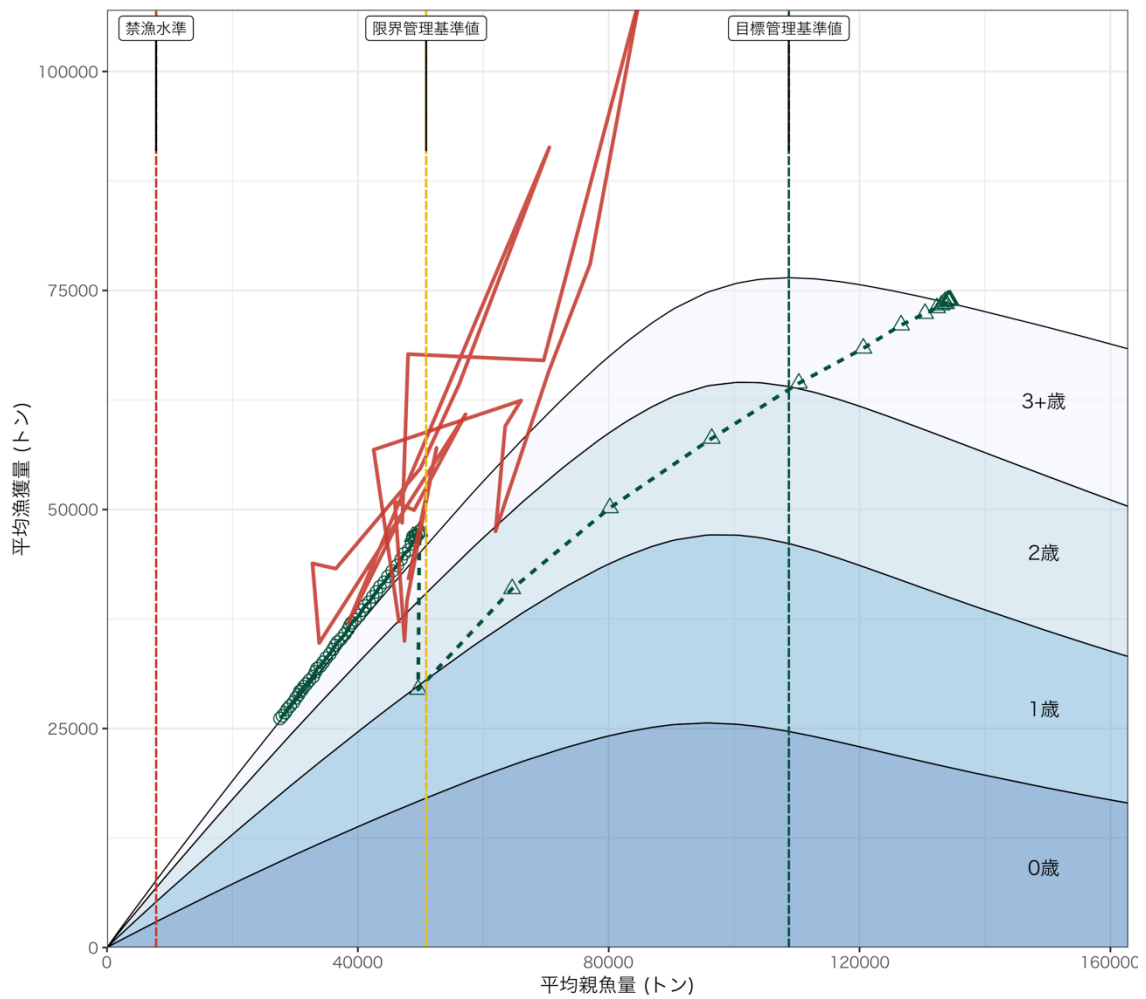


図 3. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線の関係

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（赤線）と将来予測（緑実線と○： F_{current} による漁獲、緑破線と△： β を標準値 0.8 とした場合の漁獲管理規則（HCR）による漁獲）における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 417 千トン。

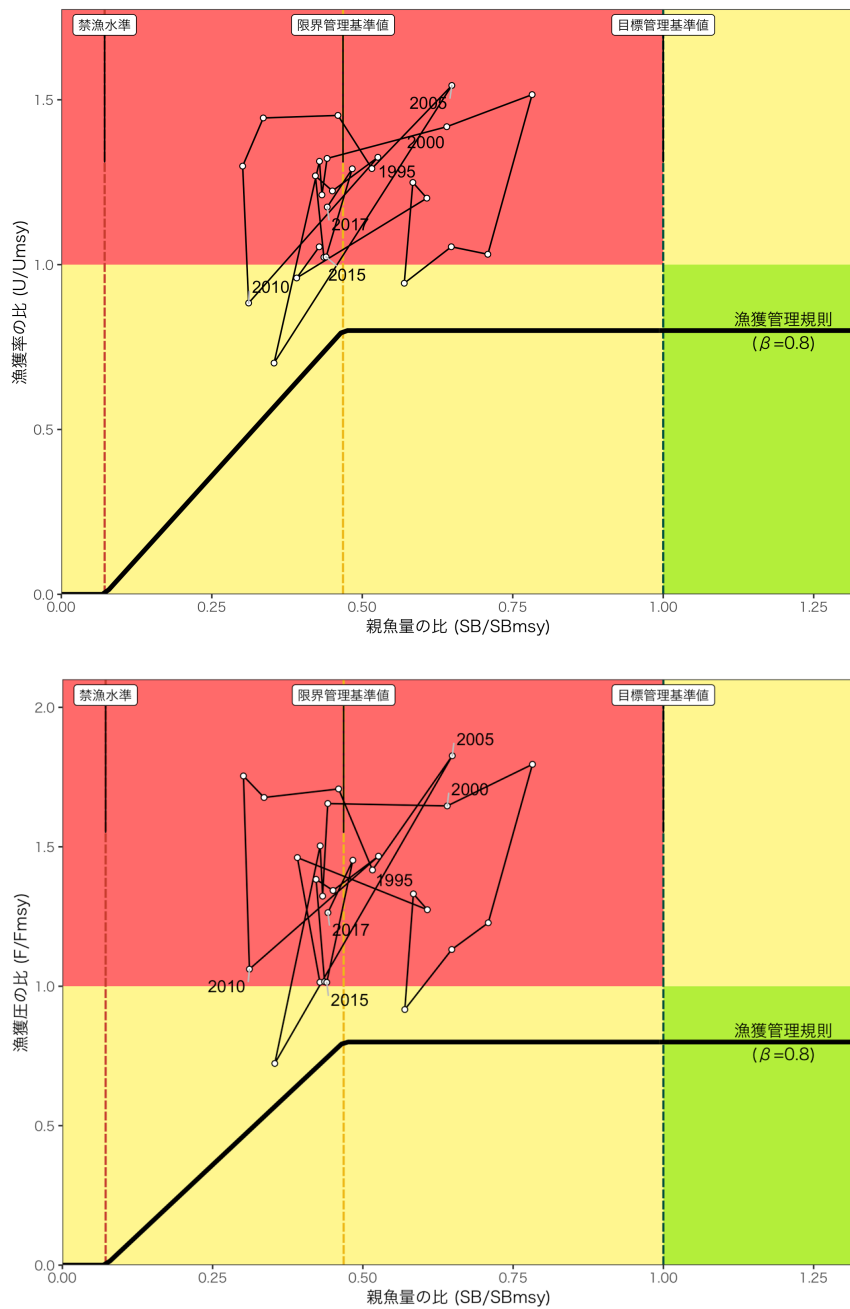


図 4. 漁獲率（上図）および漁獲圧（下図）に基づく神戸プロット（4 区分）

図中の目標管理基準値、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_{target} 、 SB_{limit} 、および SB_{ban} を示す。これらの基準値には、それぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。

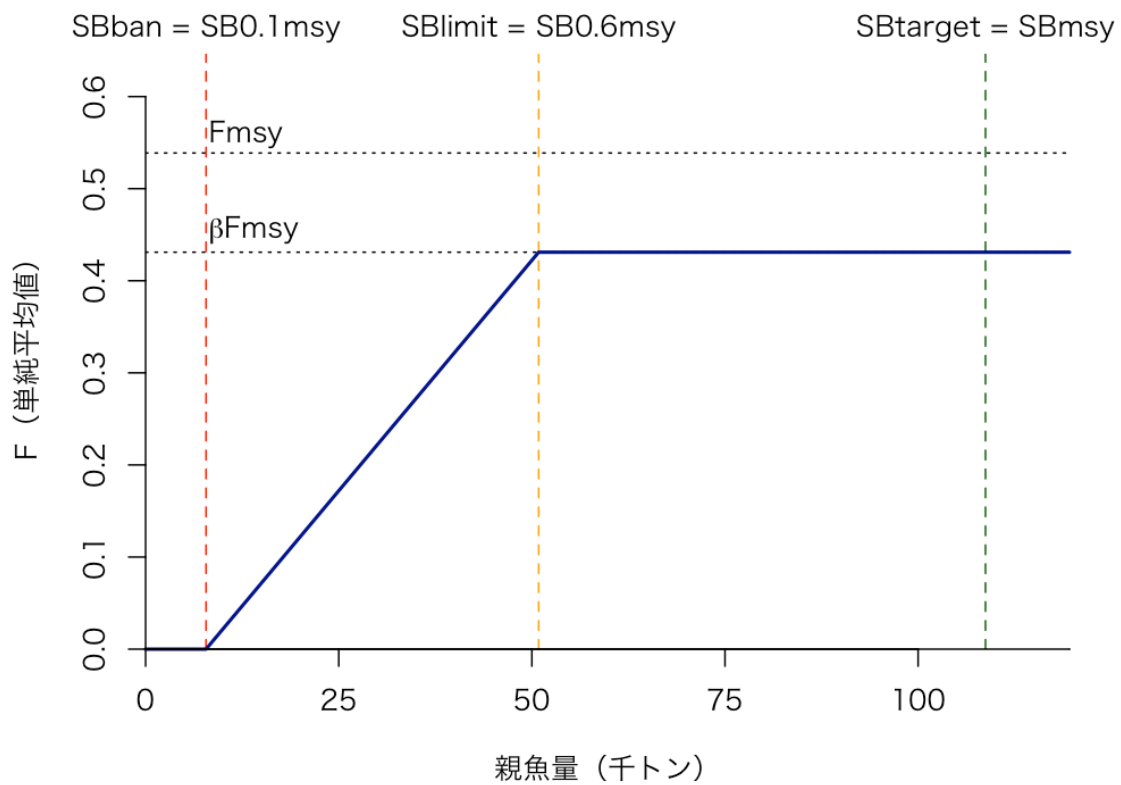


図 5. 漁獲管理規則

図中の B_{target} 、 B_{limit} 、および B_{ban} は、それぞれ親魚量に対する管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、および SB_{ban} を示す。これらの基準値には、それぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ を用い、標準値による HCR を青線で示した。チューニングパラメータ β には標準値である 0.8 を用いた。

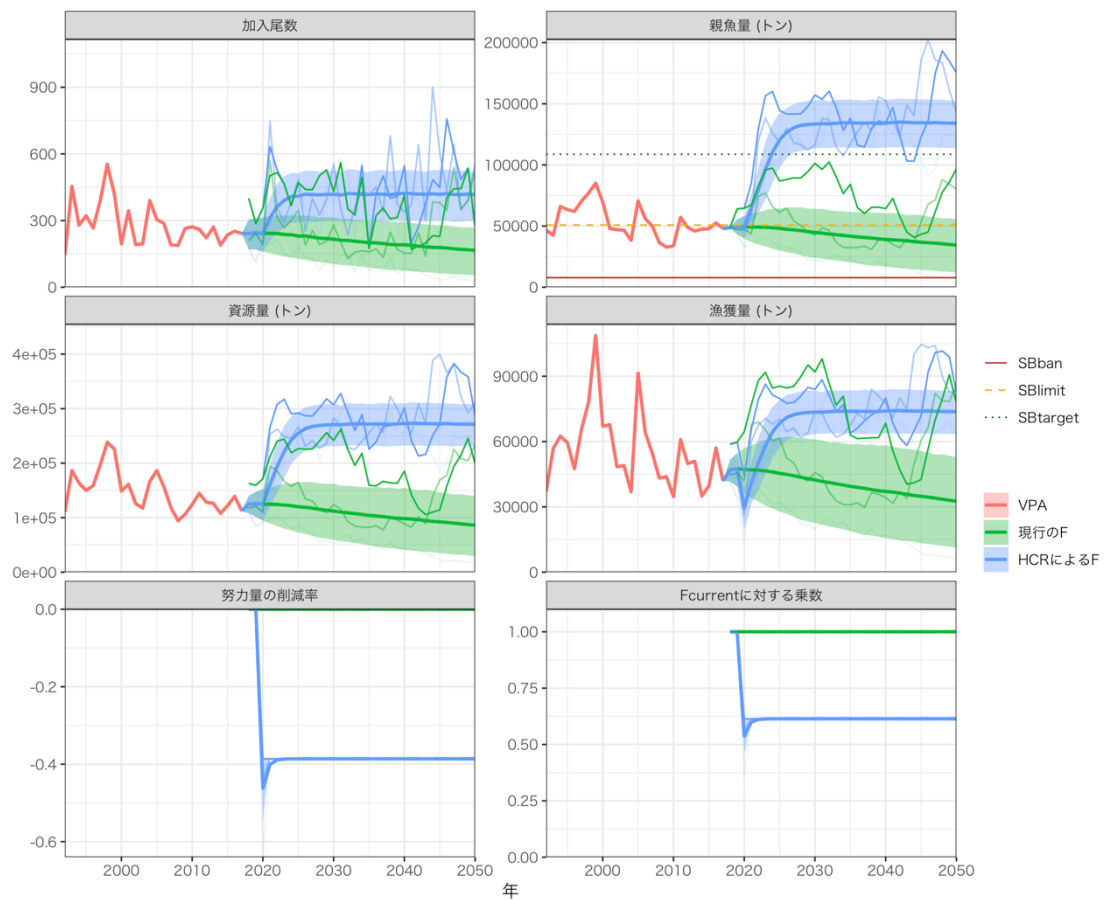


図 6. 漁獲管理規則による将来予測の平均値（実線）と 80%信頼区間

漁獲管理規則の管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、 SB_{ban} をそれぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ とした場合の推移を示す。漁獲管理規則での漁獲は 2020 年漁期から行い、2018 年および 2019 年漁期の漁獲量は $F_{current}$ による漁獲とした。 β には標準値である 0.8 を用いた。

表 1. 各種管理基準値と、平衡状態のときの平均親魚量、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量（B0）に対する比、平均漁獲量、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
Btarget0	109000	0.26	76000	0.18	0.32	0.77
Blimit0	51000	0.12	46000	0.59	0.37	0.95
Bban0	8000	0.02	8000	1.59	0.39	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	2040
1.0	0	0	0	1	4	10	18	24	29	35	38	42	43	47
0.9	0	0	0	2	7	18	32	44	53	59	63	65	67	70
0.8	0	0	0	2	11	31	50	66	76	82	83	85	85	86
0.7	0	0	0	3	18	45	69	85	91	95	95	96	96	97
0.6	0	0	0	4	27	62	85	95	98	99	99	99	99	100
0.5	0	0	0	6	37	76	95	99	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	0	8	48	87	99	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	0	10	61	93	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	0	13	71	97	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	0	17	80	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	0	22	87	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
1.0	0	38	39	69	83	91	95	97	98	99	99	99	99	100
0.9	0	38	39	75	90	96	99	99	100	100	100	100	100	100
0.8	0	38	39	81	95	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	0	38	39	85	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	38	39	89	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	38	39	91	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	38	39	93	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	38	39	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	38	39	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	38	39	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	38	39	98	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	2040
1.0	48776	49813	49612	59384	68266	77088	84825	91345	96038	100008	102751	104470	105712	108900
0.9	48776	49813	49612	61933	73928	86205	96943	105487	111087	115230	117670	118897	119636	121074
0.8	48776	49813	49612	64600	80181	96425	110315	120607	126618	130443	132337	133074	133437	134193
0.7	48776	49813	49612	67392	87036	107711	124848	136669	142887	146427	147981	148492	148707	149343
0.6	48776	49813	49612	70316	94515	120060	140632	154063	160725	164320	165860	166378	166589	167289
0.5	48776	49813	49612	73377	102644	133510	157941	173419	181029	185132	186978	187692	187996	188870
0.4	48776	49813	49612	76583	111468	148218	177230	195528	204778	209900	212380	213492	214005	215220
0.3	48776	49813	49612	79942	121020	164422	199027	221176	232962	239782	243355	245169	246085	247975
0.2	48776	49813	49612	83461	131341	182369	223950	251322	266842	276299	281652	284666	286329	289592
0.1	48776	49813	49612	87148	142489	202366	252702	287099	307999	321467	329685	334739	337772	343917
0.0	48776	49813	49612	91013	154519	224747	286078	329894	358478	378011	390836	399364	404910	417301

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	2040
1.0	47000	48000	35000	45000	52000	58000	63000	66000	70000	72000	73000	74000	75000	77000
0.9	47000	48000	32000	43000	51000	58000	64000	68000	71000	73000	74000	75000	75000	76000
0.8	47000	48000	29000	41000	50000	58000	64000	68000	71000	72000	73000	73000	74000	74000
0.7	47000	48000	26000	38000	48000	57000	63000	67000	69000	70000	71000	71000	71000	71000
0.6	47000	48000	23000	35000	45000	54000	60000	64000	66000	67000	67000	67000	67000	68000
0.5	47000	48000	20000	31000	41000	49000	56000	59000	61000	62000	63000	63000	63000	63000
0.4	47000	48000	16000	26000	36000	44000	50000	53000	55000	56000	56000	57000	57000	57000
0.3	47000	48000	12000	21000	29000	36000	42000	45000	47000	48000	48000	49000	49000	49000
0.2	47000	48000	8000	15000	21000	27000	31000	34000	36000	37000	37000	37000	38000	38000
0.1	47000	48000	4000	8000	11000	15000	18000	19000	21000	21000	22000	22000	22000	22000
0.0	47000	48000	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

ゴマサバ東シナ海系群の再生産関係について、1992 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。

再生産関係の候補として、最小絶対値法 (L1) と最小二乗法 (L2) により最適化した、自己相関を考慮しないホッケー・スティック型 (HS)、リッカー型 (RI) ベバートン・ホルト型 (BH) の再生産曲線を検討した。本系群のデータに対する各モデルの適合結果を、補足図 1-1 に示した。本系群において、過去に観測がない親魚量 32 千トン以下の領域において、加入量を最も低く見積もるモデルは HS-L1 であった。HS-L1 を再生産関係として仮定した管理方策は、親魚量の低水準期における乱獲リスク軽減に有効と考えられた。同様の観点から、RI-L1 と BH-L1 も比較的優れたモデルと考えられた。HS-L2 は低親魚量の領域において加入量を高く見積もる傾向にあった一方で、高親魚量の領域では加入量を低く見積もる傾向にあった。

HS-L1 に加えて HS-L2、さらに RI-L1 と BH-L1 を再生産関係に仮定した場合の資源状態の変化を、それぞれ神戸プロットに示した (補足図 1-2)。ABC 算定規則に従って、SBtarget を SBmsy とすると、RI-L1 と BH-L1 を仮定した場合の SBtarget はそれぞれ 209 千トン (補足表 1-1c) と 124 千トン (補足表 1-1d) で、過去 26 年間の最大親魚量 (85 千トン) を大きく上回ることになる。HS-L1 を仮定した場合の SBtarget は 109 千トンで (補足表 1-1a)、やはり 2017 年の親魚量を上回るものの、その程度は RI-L1 と BH-L1 よりも小さかった。このことから、HS-L1 を再生産関係に仮定した管理方策は、RI-L1 と BH-L1 に比べて、より現実的な SBlimit を設定可能と判断された。

HS-L2 を仮定した場合には、現状の親魚量は MSY をやや上回った位置にあると判断される。この結果は、前述の 3 つの再生産関係を仮定した場合よりも楽観的であるものの、本系群の資源評価結果とよく整合した。平成 30 (2018) 年度の資源評価では、資源水準は過去 26 年間にわたる親魚量から中位、動向は最近 5 年間 (2013~2017 年) の資源量の推移から横ばいと判断されている。

本系群において再生産関係の候補とした HS-L1 について、加入量推定値の残差に対する正規性検定の結果を補足図 1-3 に示した。Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定どちらにおいても、正規分布からの有意な逸脱は検出されなかった。残差の経年変化には明確な傾向は認められず、自己相関係数も低かった (補足図 1-4)。

本系群では、再生産関係の候補として HS-L1 を推奨するが、最適化法を最小二乗法に変化させた場合に (HS-L2) 折れ点の位置が大きく変化するため (補足図 1-5)、HS-L2 についても詳細に検討した (補足表 1-2、補足資料 2)。HS の折れ点における親魚量 (パラメータ b) は、HS-L1 では過去 26 年間にわたる最大親魚量 (85 千トン) となったが、HS-L2 では最小親魚量 (33 千トン) となった (補足表 1-2)。HS の傾き (パラメータ a) は、HS-L2 の方が大きかった。

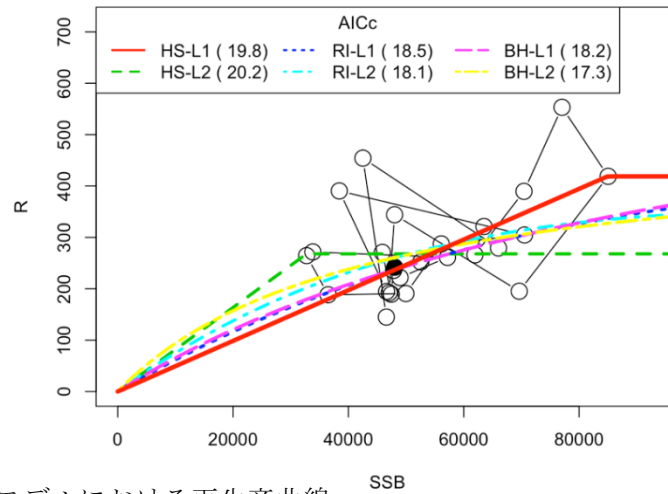
残差ブートストラップによって HS のパラメータ推定の信頼性を検証した結果を補足図 1-6 および 1-7 に示した。HS-L1 についての結果では、パラメータ a と b いずれにおいても、点推定値とブートストラップ標本の中央値との間に乖離はみられなかった (補足図 1-6)。パラメータ b は過去の最大親魚量の位置に推定されたため、ブートストラップ標本

は低親魚量側に裾の長い分布を示した。HS-L2 についての結果においても、パラメータ a と b の点推定値とブートストラップ標本の中央値との間にほとんど乖離はなかった（補足図 1-7）。パラメータ b は過去の最小親魚量の位置に推定されたため、ブートストラップ標本は高親魚量側に裾の長い分布を示した。

HS 曲線のパラメータ推定の頑健性を確認する目的で、ジャックナイフ解析を実施した。HS-L1 のパラメータは、加入量が低く親魚量も少なかった 1992・2008 年と、加入量が高く親魚量も多かった 1997～1999 年の影響を強く受けていた（補足図 1-8）。これらの年のデータがそれぞれ除去された場合、各パラメータの値は大きく変動し、HS-L2 のパラメータの値（補足表 1-2）と近似した。HS-L2 のパラメータは、親魚量の少なかった 2009・2010 年と、親魚量が少ないが加入量が高かった 1993・2004 年、そして親魚量が多いが加入量が低かった 2000 年の影響を強く受けていた（補足図 1-9）。HS-L2 のパラメータも、これらの年のデータをそれぞれ除去すると大きく変動し、HS-L1 のパラメータ（補足表 1-2）と近似した。

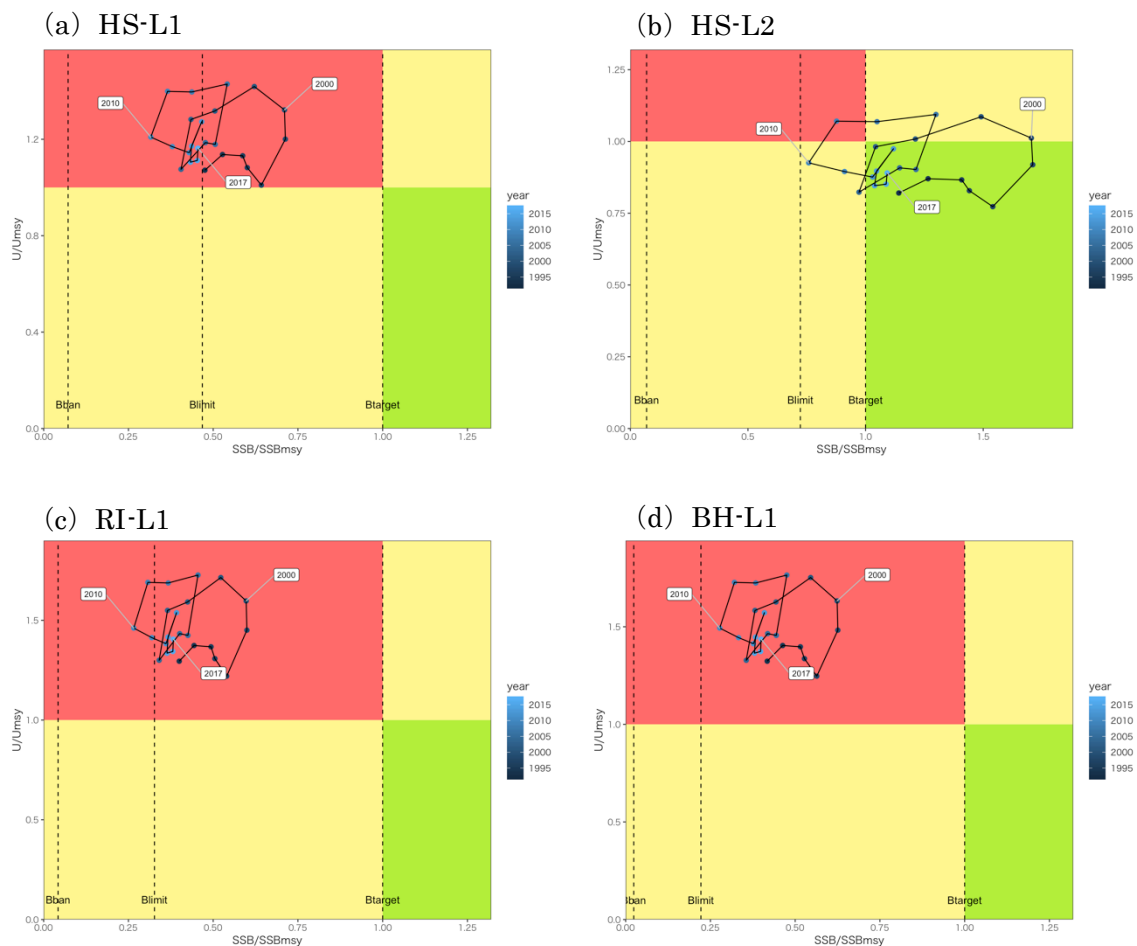
HS-L1 と HS-L2 のパラメータ推定値に対するプロファイル尤度を補足図 1-10 と 1-11 にそれぞれ示した。残差ブートストラップの 80%信頼区間の範囲内では尤度は大きく変わらなかったものの、両モデルともに信頼区間の範囲外にやや尤度の高い領域が認められ、それは最適化法を変化させた場合のパラメータ推定値の領域に対応していた。

以上から、本系群のデータに HS を適合させる場合、そのパラメータ推定値には無視できない程度の不確実性があることが想定される。上述の通り、HS-L1 を仮定した管理方策は、乱獲リスクと現実的な管理目標のバランスに優れると判断されるが、真の MSY が HS-L2 を仮定した場合の MSY の値に近かった場合を想定し、HS-L2 を仮定した場合の管理方策についても詳細に検討した（補足資料 2）。



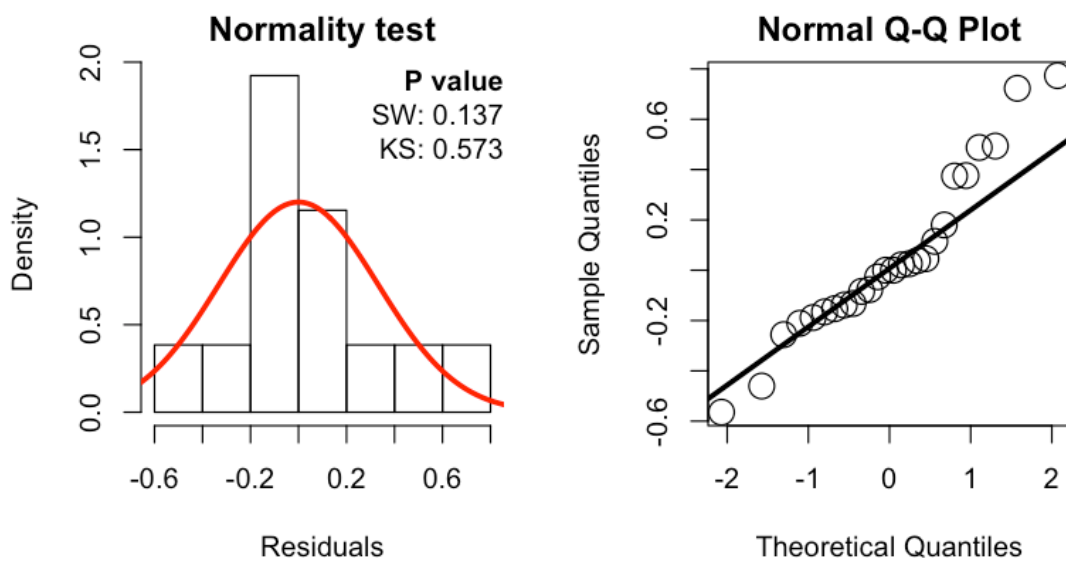
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産曲線

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) の再生産関係式を、最小絶対値法 (L1) と最小二乗法 (L2) とで最適化したモデルを示す。括弧内の数値は各モデルの AICc。

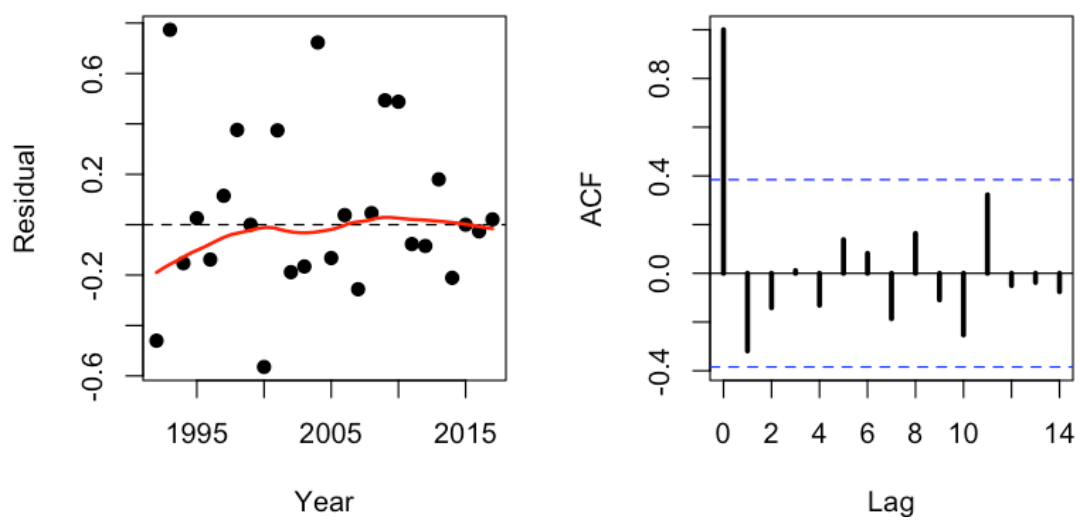


補足図 1-2. 各再生産関係を仮定した場合に得られる神戸プロット

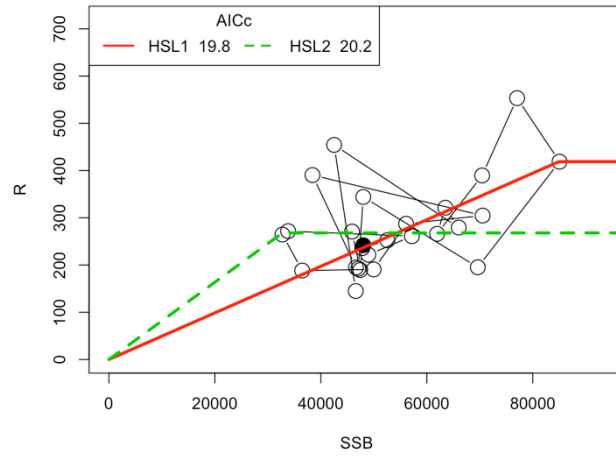
最小絶対値法 (a) と最小二乗法 (b) で最適化した HS、および最小絶対値法で最適化した RI (b) と BH (c) を仮定した場合をそれぞれ示す。



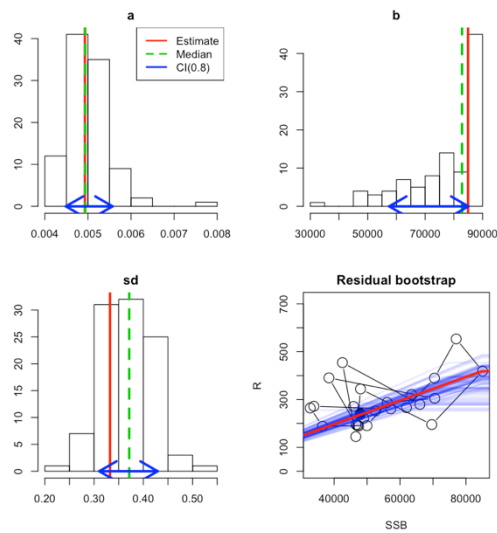
補足図 1-3. 再生産関係に HS-L1 を仮定した場合における加入量推定値の残差分布（左）と QQ プロット（右）



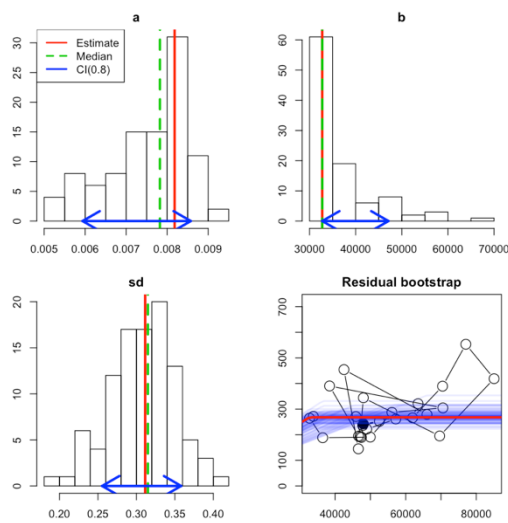
補足図 1-4. 再生産関係に HS-L1 を仮定した場合における加入量推定値の残差の経年変化と自己相関係数



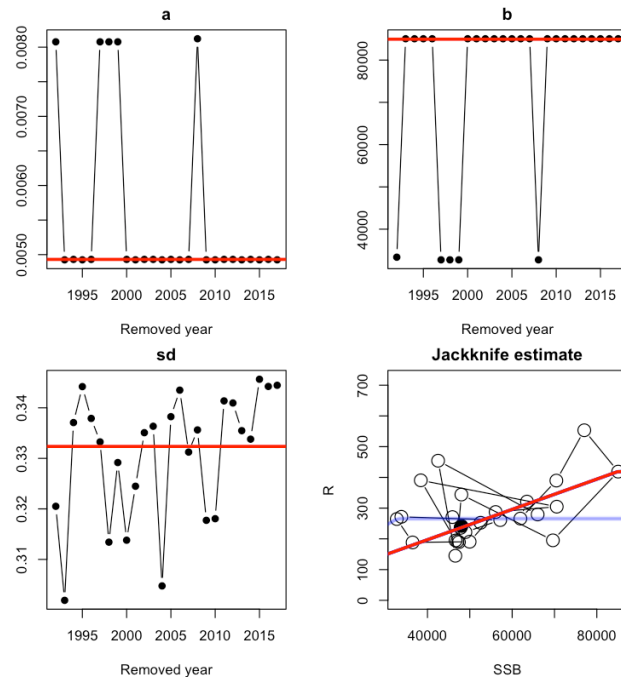
補足図 1-5. 最適化法を変化させた場合の HS の本系群のデータへの適合の違い



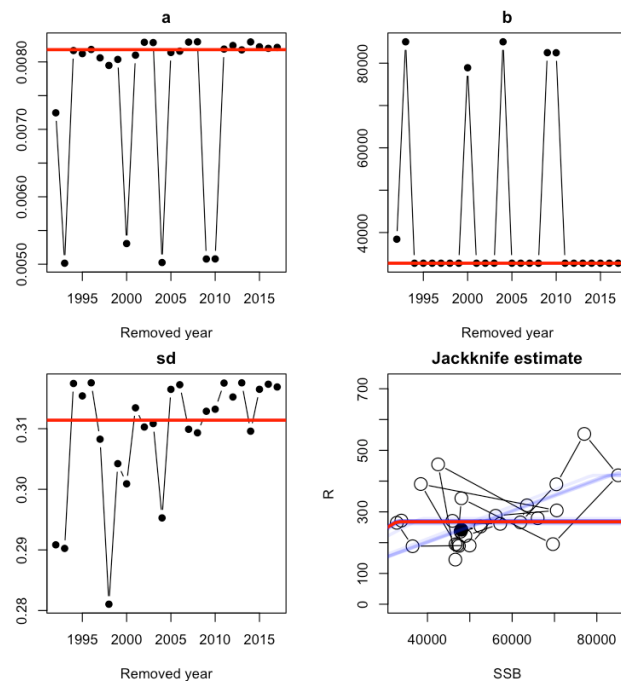
補足図 1-6. HS-L1 のパラメータ推定値に対するブートストラップ検定結果



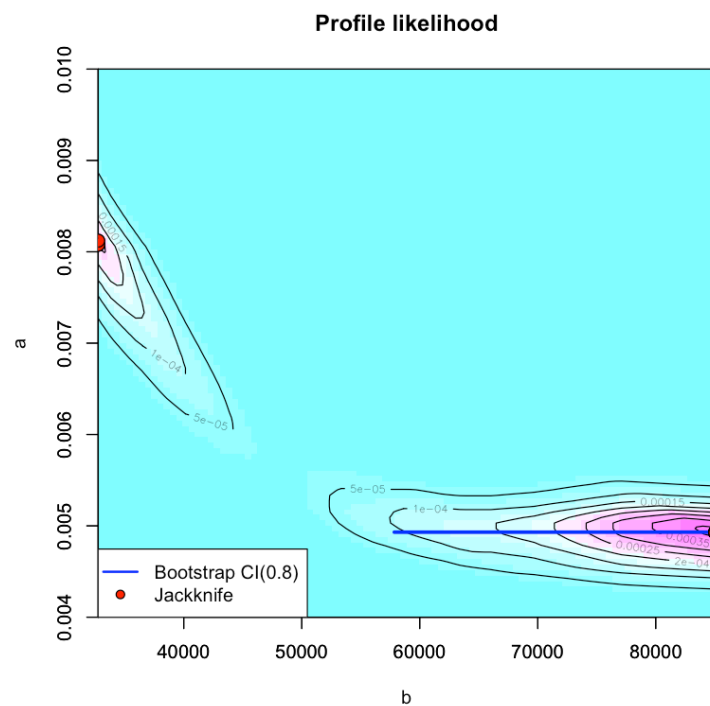
補足図 1-7. HS-L2 のパラメータ推定値に対するブートストラップ検定結果



補足図 1-8. HS-L1 のパラメータ推定値に対するジャックナイフ解析結果

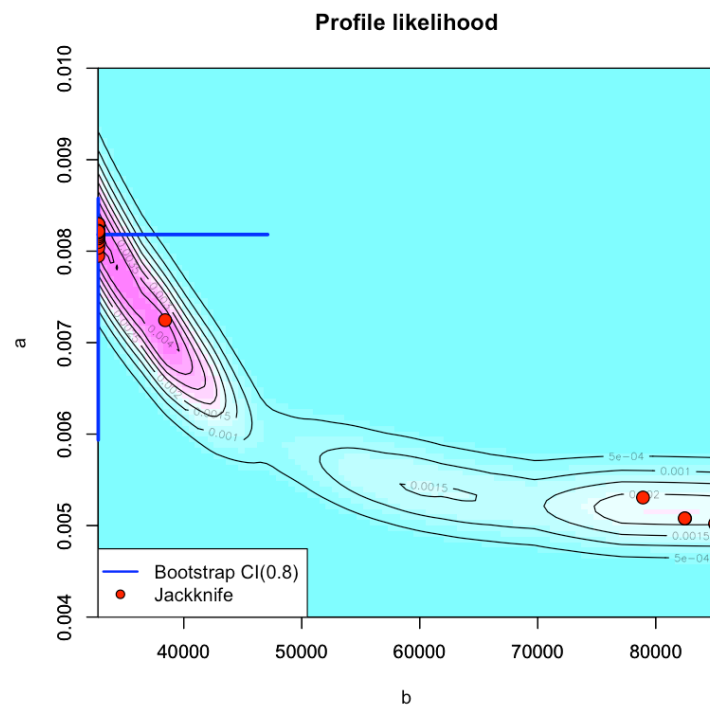


補足図 1-9. HS-L2 のパラメータ推定値に対するジャックナイフ解析結果



補足図 1-10. HS-L1 のパラメータ推定値のプロファイル尤度

青線はブートストラップによる 80%信頼区間、赤点はジャックナイフ解析における推定値



補足図 1-11. HS-L2 のパラメータ推定値のプロファイル尤度

青線はブートストラップによる 80%信頼区間、赤点はジャックナイフ解析における推定値

補足表 1-1. 各モデルを仮定した場合における各種管理基準値と、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（B0）に対する比、平均漁獲量、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

(a) HS-L1

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
Btarget0	109000	0.26	76000	0.18	0.32	0.77
Blimit0	51000	0.12	46000	0.59	0.37	0.95
Bban0	8000	0.02	8000	1.59	0.39	1.04

(b) HS-L2

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
Btarget0	45000	0.17	52000	0.18	0.41	1.17
Blimit0	33000	0.12	47000	0.29	0.46	1.39
Bban0	3000	0.01	5000	1.63	0.49	1.58

(c) RI-L1

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
Btarget0	209000	0.32	80000	0.18	0.21	0.44
Blimit0	54000	0.08	48000	0.29	0.36	0.95
Bban0	6000	0.01	8000	0.74	0.44	1.30

(d) BH-L1

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
Btarget0	124000	0.28	63000	0.16	0.26	0.57
Blimit0	27000	0.06	38000	0.27	0.45	1.34
Bban0	3000	0.01	6000	0.67	0.54	1.85

補足表 1-2. 最小絶対値法と最小二乗法で最適化したホッケー・スティック再生産曲線のパラメータ推定結果

パラメータ a と b はそれぞれホッケー・スティック再生産曲線の傾きと、折れ点における親魚量（トン）

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	加入量の S.D.
HS	最小絶対値法	無	0.005	84,935	0.332
HS	最小二乗法	無	0.008	32,751	0.311

※候補として推奨する再生産関係を太字とした

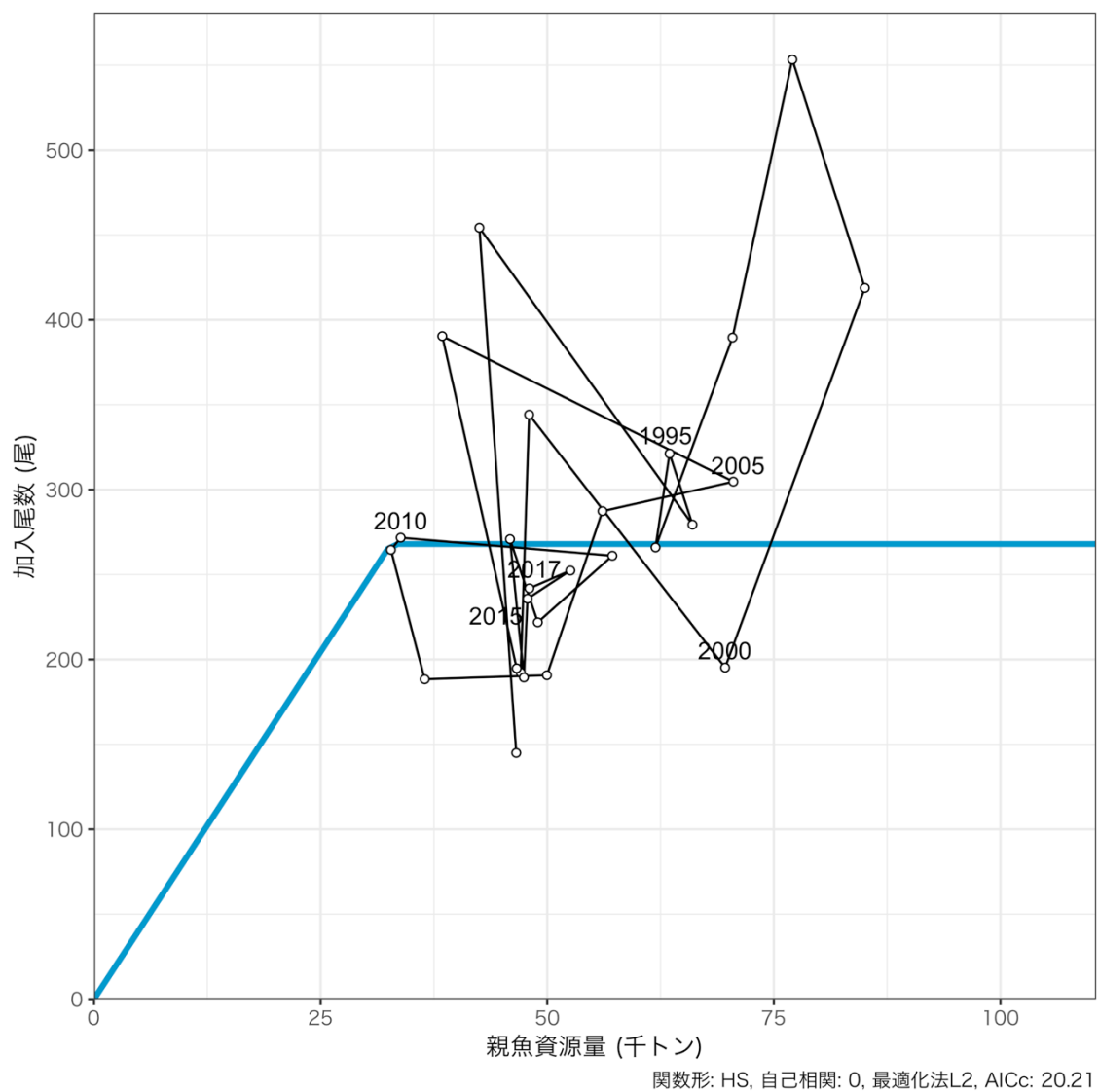
補足資料 2 最適化手法に最小二乗法を用いた場合の結果

本系群の再生産関係に HS を仮定した場合、算定される MSY は最適化法の違いによって大きく異なる。本系群では、親魚量が低水準の場合の乱獲リスクを軽減するために HS-L1 を提案したが、ここでは、真の MSY が HS-L2 を仮定した場合の MSY に近かった場合を想定し、再生産関係に HS-L2 を仮定した場合（補足図 2-1）の管理方策について検討した。

再生産関係に HS-L2 を仮定した場合、MSY（45 千トン）が現状の親魚量（48 千トン）をやや下回った位置に推定されるため、本系群の資源状態は良好と判断される。その結果、HS-L2 を仮定した場合の管理方策下では、努力量の乗数は 1.17 となり、漁獲圧は管理が始まる 2020 年以降にも比較的高く保たれる（補足表 2-1）。

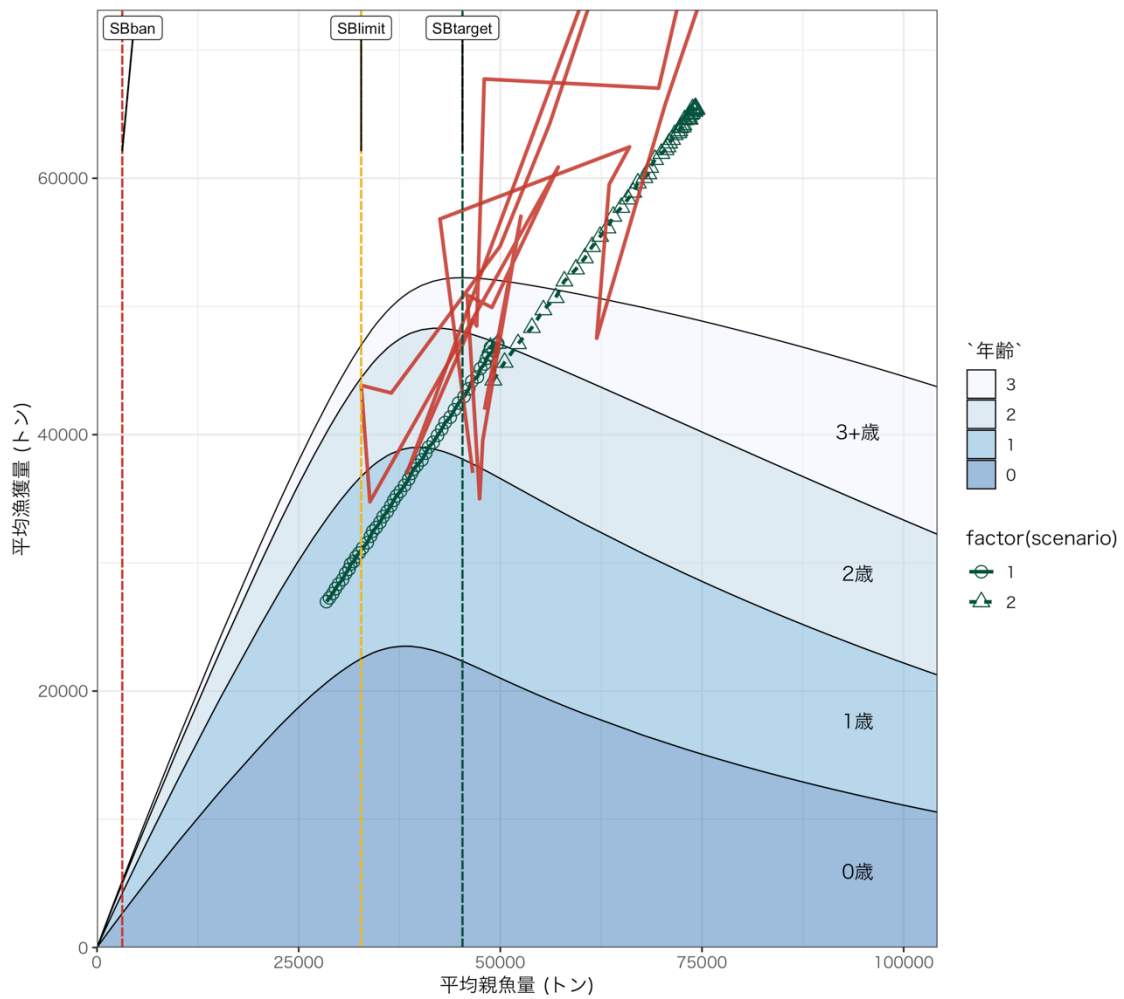
ABC 算定規則では、標準の B_{limit} は $SB_{0.6msy}$ とされているが、再生産関係に HS-L2 を仮定した場合の $SB_{0.6msy}$ は 20 千トンとなり、これは過去 26 年間における最低親魚量（33 千トン）よりも少ない（補足図 2-2）。そこで、親魚量が過去の最低値を下回るリスクを軽減する目的で、ここでは B_{limit} を過去最低親魚量である HS の折れ点における親魚量（ B_{HS} 、33 千トン）とした（補足図 2-3）。 B_{limit} を調整した結果、 B_{limit} と B_{target} との差は 25 千トンから 12 千トンへと狭まった。

再生産関係に HS-L2 を仮定した場合、本系群に対する漁獲圧は 2000～2002 年および 2007～2009 年を除き、適正な漁獲圧下で利用されてきたと判断された（補足図 2-3）。この結果は、資源水準が中位～高位の間で変動してきたとする本系群の資源評価と整合的である。現状の親魚量は B_{limit} を上回っているため、管理開始年である 2020 年以降も、漁獲量は βF_{target} で維持されることとなる（補足図 2-4）。 β に標準値 0.8 を用いた場合でも、2020 年の管理開始後の漁獲圧低下はごく僅かで（補足図 2-5）、この管理方策のもとでは 2028 年までの期間、80%以上の確率で親魚量を B_{target} 以上に維持可能と予測された（補足表 2-2）。またこの管理方策のもとでは、親魚量をほぼ確実に B_{limit} 以上の水準で維持可能と予測された（補足表 2-3）。 β を標準値 0.8 として漁獲量を 2018 年および 2019 年と同水準で維持した場合でも（補足表 2-5）、親魚量は 2028 年まで概ね増加傾向で推移すると予測された（補足表 2-4）。この管理方策のもとでの漁獲量の変動係数は 0.18 で、これは再生産関係に HS-L1 を仮定した場合と同じであった（補足表 1-1）。



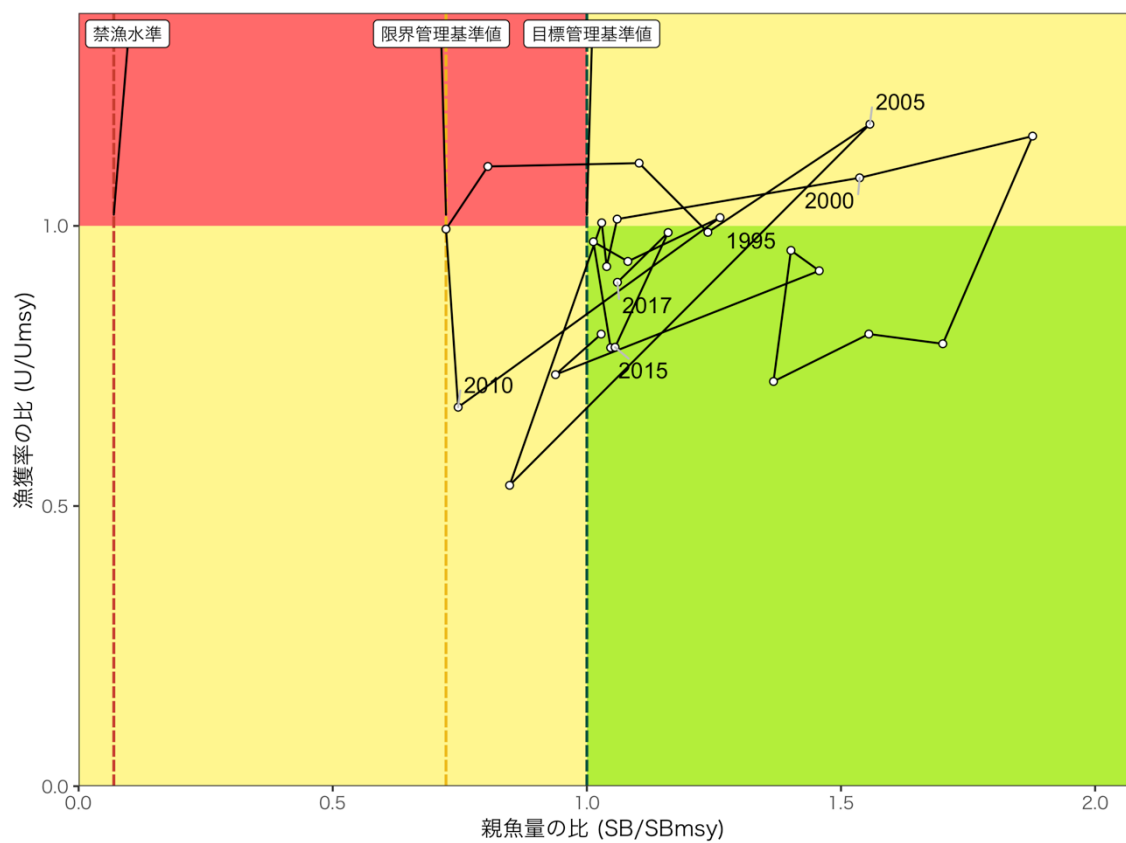
補足図 2-1. 再生産関係

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



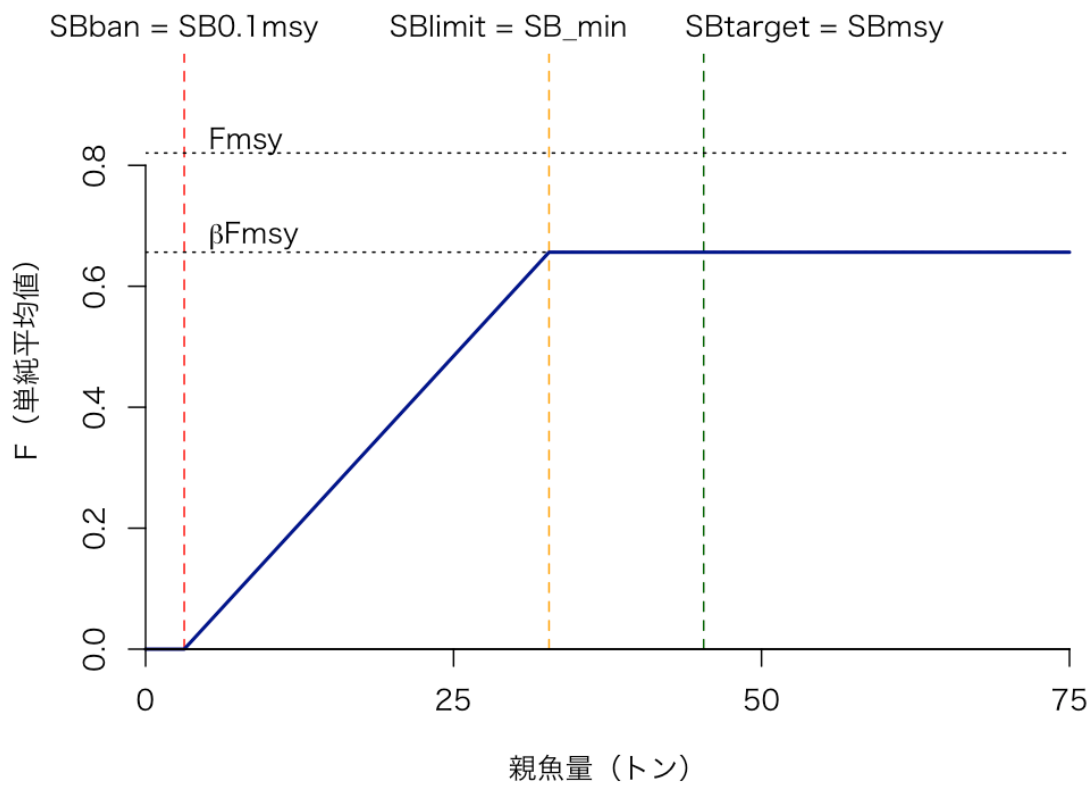
補足図 2-2. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線の関係

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（赤線）と将来予測（緑実線と○: $F_{current}$ による漁獲、緑破線と△: β を標準値 0.8 とした場合の漁獲管理規則（HCR）による漁獲）における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 85 千トン。



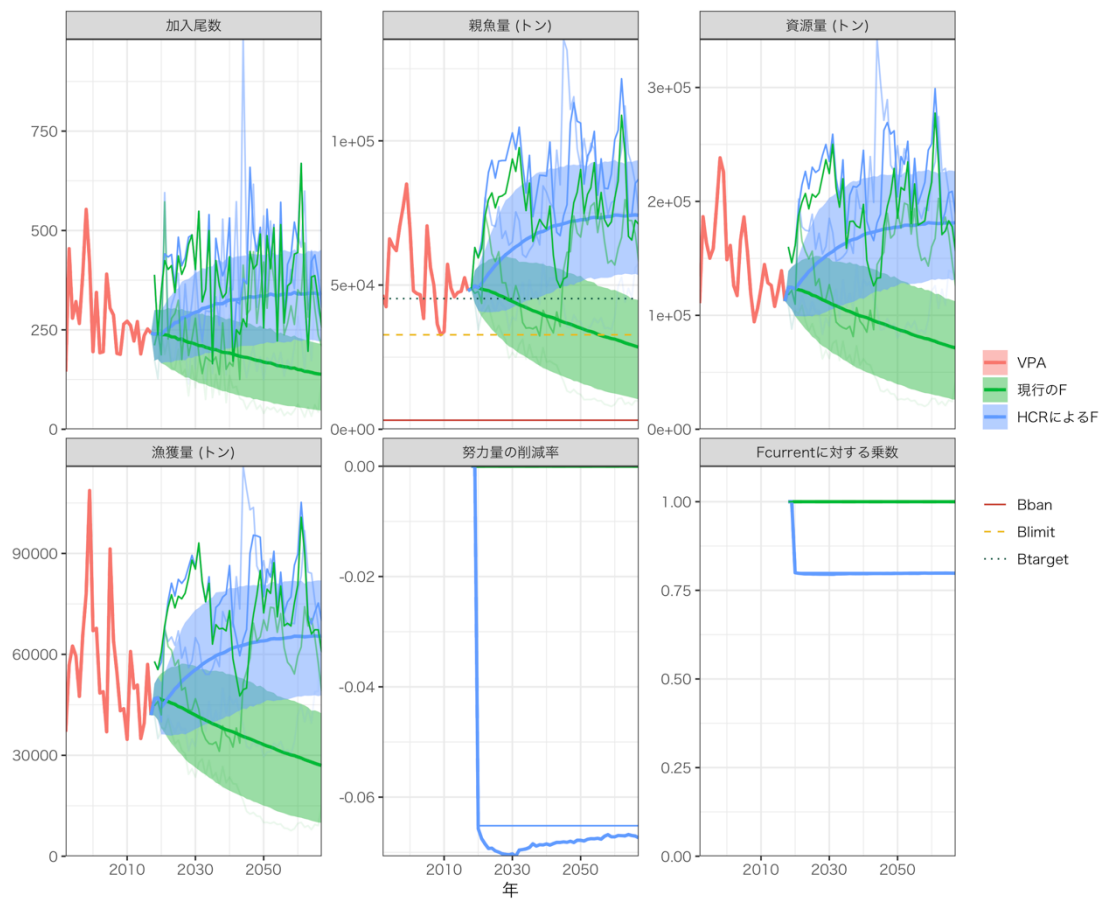
補足図 2-3. 神戸プロット (4 区分)

図中の目標管理基準値、限界管理基準値、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_{target} 、 SB_{limit} 、および SB_{ban} を示す。これらの基準値には、それぞれ SB_{msy} 、 B_{HS} 、 $SB_{0.1msy}$ を用いた。



補足図 2-4. 漁獲管理規則

図中の B_{target} 、 B_{limit} 、および B_{ban} は、それぞれ親魚量に対する管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、および SB_{ban} を示す。これらの基準値には、それぞれ SB_{msy} 、 B_{HS} 、 $SB_{0.1msy}$ を用い、標準値による HCR を青線で示した。チューニングパラメータ β には標準値である 0.8 を用いた。



補足図 2-5. 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
 漁獲管理規則の管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、 SB_{ban} をそれぞれ SB_{msy} 、 B_{HS} 、 $SB_{0.1msy}$ とした場合の推移を示す。漁獲管理規則での漁獲は 2020 年漁期から行い、2018 年および 2019 年漁期の漁獲量は $F_{current}$ による漁獲とした。 β には標準値である 0.8 を用いた。

補足表 2-1. 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
Btarget0	45000	0.17	52000	0.18	0.41	1.17
Blimit0	33000	0.12	47000	0.29	0.46	1.39
Bban0	3000	0.01	5000	1.63	0.49	1.58

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（％）

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
1.0	100	71	62	38	26	17	12	8	1
0.9	100	71	62	51	44	39	35	32	20
0.8	100	71	62	64	66	67	68	70	75
0.7	100	71	62	75	83	88	92	94	99
0.6	100	71	62	84	94	98	99	100	100
0.5	100	71	62	91	98	100	100	100	100
0.4	100	71	62	95	100	100	100	100	100
0.3	100	71	62	98	100	100	100	100	100
0.2	100	71	62	99	100	100	100	100	100
0.1	100	71	62	100	100	100	100	100	100
0.0	100	71	62	100	100	100	100	100	100

補足表 2-3. 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	2030
1.0	100	100	99	88	73	58	45	37	17
0.9	100	100	99	93	88	82	76	72	59
0.8	100	100	99	97	96	95	95	95	94
0.7	100	100	99	99	99	99	99	100	100
0.6	100	100	99	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	99	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	99	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	99	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	99	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	99	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	99	100	100	100	100	100	100

補足表 2-4. 将来の平均親魚量（トン）の推移

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
1.0	48,776	49,675	49,135	43,910	39,910	36,734	34,186	32,467	28,836
0.9	48,776	49,675	49,135	47,097	45,583	44,282	42,936	41,906	38,026
0.8	48,776	49,675	49,135	50,532	52,190	53,915	55,337	56,860	62,366
0.7	48,776	49,675	49,135	54,234	59,833	65,803	71,471	77,056	94,610
0.6	48,776	49,675	49,135	58,225	68,639	80,117	91,034	100,681	118,460
0.5	48,776	49,675	49,135	62,531	78,753	96,890	113,173	125,544	139,382
0.4	48,776	49,675	49,135	67,176	90,325	116,071	137,514	151,869	165,087
0.3	48,776	49,675	49,135	72,191	103,477	137,665	164,937	182,264	198,872
0.2	48,776	49,675	49,135	77,606	118,367	162,285	197,290	219,713	244,791
0.1	48,776	49,675	49,135	83,455	135,176	190,975	236,967	267,629	309,635
0.0	48,776	49,675	49,135	89,776	154,043	224,931	286,646	330,340	405,419

補足表 2-5. 将来の平均漁獲量（トン）の推移

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
1.0	47,000	47,000	52,000	47,000	42,000	38,000	34,000	32,000	27,000
0.9	47,000	47,000	48,000	46,000	45,000	43,000	42,000	40,000	36,000
0.8	47,000	47,000	44,000	46,000	47,000	48,000	50,000	51,000	55,000
0.7	47,000	47,000	40,000	44,000	49,000	53,000	57,000	61,000	73,000
0.6	47,000	47,000	35,000	42,000	49,000	56,000	62,000	67,000	76,000
0.5	47,000	47,000	30,000	39,000	48,000	56,000	63,000	68,000	73,000
0.4	47,000	47,000	25,000	34,000	44,000	53,000	60,000	64,000	68,000
0.3	47,000	47,000	20,000	28,000	38,000	47,000	53,000	57,000	61,000
0.2	47,000	47,000	13,000	21,000	29,000	36,000	42,000	45,000	49,000
0.1	47,000	47,000	7,000	11,000	17,000	21,000	25,000	28,000	31,000
0.0	47,000	47,000	0	0	0	0	0	0	0

補足資料 3 再生産関係の仮定が誤っていた場合の感度分析結果

本系群の再生産関係に自己相関を考慮しないホッケ－・スティック型再生産曲線（HS）を仮定した場合、最小絶対値法（L1）と最小二乗法（L2）で最適化した場合のパラメータ推定値には不確実性が認められた（補足資料 1）。両最適化手法ともに、同程度に高い尤度を示すパラメータ領域が 2 箇所認められた（補足図 1-10、1-11）。再生産関係に HS を仮定した場合に算出される管理目標は、両最適化法の間で大きく異なるため（補足資料 1、2）、再生産関係の仮定が誤りだった場合に想定される乱獲および漁獲量損失のリスクについて調べる必要がある。

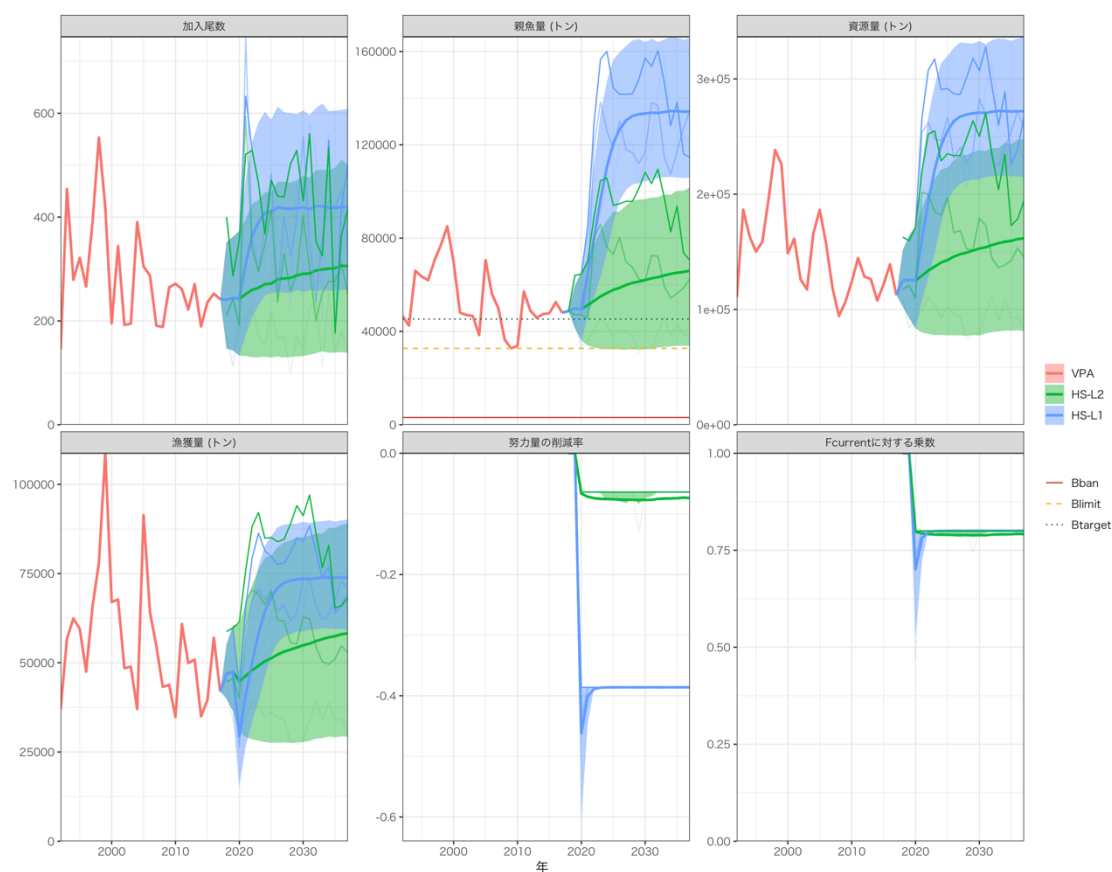
本系群の再生産関係に、L1 でパラメータを最適化された HS（HS-L1）を仮定した場合、本系群の加入量が親魚量と正の相関関係にあると想定したことになる（補足資料 2）。一方、L2 によってパラメータを最適化された HS（HS-L2）を仮定した場合には、本系群の加入量は親魚量によらず一定と仮定したことになる。

まず、本系群の真の再生産関係が、親魚量に比例して加入量増加するような関係であった場合について、仮定する再生産関係の違いによる資源管理効果を比較した。真の再生産関係のもとでの MSY を得るために、HS-L1 を再生産関係に用いたシミュレーションを実施した。この真の再生産関係に対して、誤った再生産関係と正しい再生産関係を仮定して管理しようとした場合の管理目標を得るために、それぞれ HS-L2 と HS-L1 を再生産関係に仮定して MSY を計算した。HS-L2 を再生産関係に仮定した管理のもとでは、MSY が誤って低く見積もられるため、2017 年の親魚量（48 千トン）が既に SBtarget（45 千トン）を上回っていると判断される。そのため、漁獲圧は実際には引き下げられる必要があるにも関わらず、管理が始まる 2020 年以降も現状のまま維持されることとなる（補足図 3-1）。親魚量の予測平均値は 10 年後の 2030 年まで増加するものの、80% の下側信頼限界は過去最低親魚量（2009 年、33 千トン）に達するほどまでに低い位置にある。親魚量は、 β を 0.8 とした場合でも、管理開始から 5 年以内に 10% の確率で過去の最低値を下回る可能性が想定された（補足表 3-1）。加入量・資源量・漁獲量についても、80% の下側信頼限界は、それぞれ過去の最低値を下回ると予測された。結果として、再生産関係に誤って HS-L2 を仮定して管理した場合における漁獲量の予測平均値は、正しく HS-L1 を仮定して管理した場合に比べて 17% 程度減少すると推定された。

上記と対称的に、本系群の真の再生産関係が、親魚量によらず加入量が一定となるような関係であった場合について、仮定する再生産関係の違いによる資源管理効果を比較した。真の再生産関係のもとでの MSY を、HS-L2 を再生産関係に用いたシミュレーションによって求めた。誤って HS-L1 を再生産関係に仮定した管理では、2017 年の親魚量（48 千トン）を大きく上回る値（109 千トン）を SBtarget とするため、管理が始まる 2020 年から漁獲圧を大きく引き下げることとなる（補足図 3-2）。親魚量の予測平均値は 2025 年まで増加するが、加入量が一定であるため、その後は横ばいで推移すると予測された。結果として、再生産関係に HS-L1 を仮定して管理した場合における漁獲量の予測平均値は、正しく HS-L2 を仮定した場合を下回るものの、減少の程度は 10% 未満（4 千トン減）に過ぎないと推定され

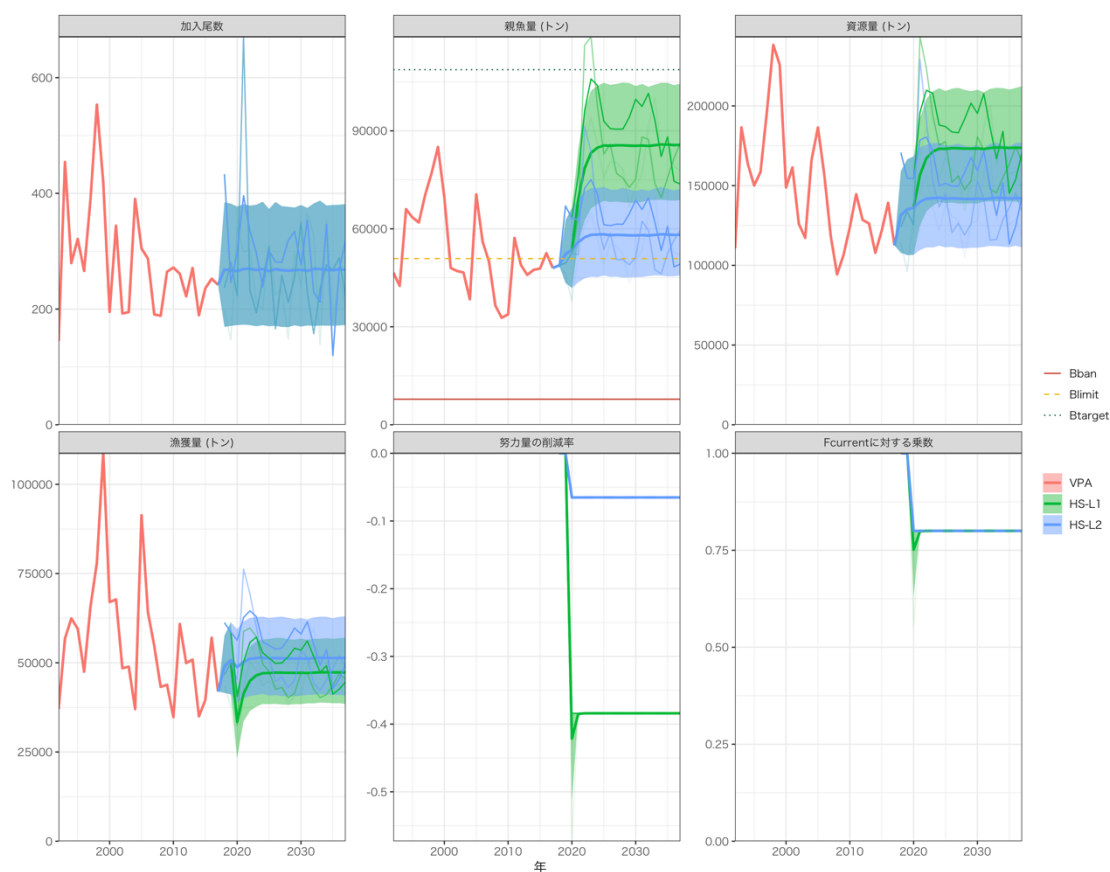
た（補足表 3-2、 $\beta = 0.8$ ）。

以上の検証から、再生産関係の仮定が誤っていた場合の漁獲量損失は、HS-L1 を仮定した管理の方が少ないことがわかった。一方、再生産関係に HS-L2 を仮定した管理では、その仮定が誤りであった場合に、親魚量が過去の最低値を下回るリスクが生じることがわかった。パラメータ推定値の不確実性を考慮した結果、本系群においては、HS-L1 を再生産関係に仮定した管理が、資源保護と資源の有効利用の観点から合理的と判断された。



補足図 3-1. 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

加入量が親魚量と正の相関関係にある資源に対して、加入量一定の誤った再生産関係を仮定した場合（HS-L2、緑）と、再生産関係を正しく仮定した場合（HS-L1、青）の管理効果を示す。漁獲管理規則の管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、 SB_{ban} をそれぞれ SB_{msy} 、 SB_{min} 、 $SB_{0.1msy}$ とした場合の推移を示す。漁獲管理規則での漁獲は 2020 年漁期から行い、2018 年および 2019 年漁期の漁獲量は $F_{current}$ による漁獲とした。 β には標準値である 0.8 を用いた。



補足図 3-2. 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

加入量が親魚量によらず一定である資源に対して、加入量が親魚量と正相関する誤った再生産関係を仮定した場合（HS-L1、緑）と、再生産関係を正しく仮定した場合（HS-L2、青）の管理効果を示す。漁獲管理規則の管理基準値 SB_{target} 、 SB_{limit} 、 SB_{ban} をそれぞれ SB_{msy} 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$ とした場合の推移を示す。漁獲管理規則での漁獲は 2020 年漁期から行い、2018 年および 2019 年漁期の漁獲量は $F_{current}$ による漁獲とした。 β には標準値である 0.8 を用いた。

補足表 3-1. 将来の平均親魚量が限界管理基準値を上回る確率（％）

加入量が親魚量と正の相関関係にある資源に対して、加入量一定の誤った再生産関係を仮定した場合の管理効果を示す。

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
1.0	100	100	96	82	67	53	42	34	10
0.9	100	100	96	88	80	74	67	62	44
0.8	100	100	96	92	90	88	87	86	83
0.7	100	100	96	95	96	96	97	97	99
0.6	100	100	96	98	99	99	100	100	100
0.5	100	100	96	99	100	100	100	100	100
0.4	100	100	96	99	100	100	100	100	100
0.3	100	100	96	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	96	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	96	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	96	100	100	100	100	100	100

補足表 3-2. 将来の平均漁獲量（トン）の推移

加入量が親魚量と正の相関関係にある資源に対して、加入量一定の誤った再生産関係を仮定した場合の管理効果を示す。

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
1.0	47,000	48,000	53,000	48,000	43,000	39,000	35,000	32,000	22,000
0.9	47,000	48,000	49,000	47,000	46,000	44,000	43,000	41,000	35,000
0.8	47,000	48,000	45,000	46,000	48,000	49,000	50,000	51,000	54,000
0.7	47,000	48,000	40,000	45,000	49,000	53,000	57,000	60,000	69,000
0.6	47,000	48,000	36,000	42,000	49,000	56,000	61,000	65,000	75,000
0.5	47,000	48,000	31,000	39,000	48,000	56,000	62,000	67,000	73,000
0.4	47,000	48,000	25,000	34,000	44,000	53,000	59,000	63,000	68,000
0.3	47,000	48,000	20,000	29,000	38,000	46,000	53,000	57,000	60,000
0.2	47,000	48,000	14,000	21,000	29,000	36,000	42,000	45,000	49,000
0.1	47,000	48,000	7,000	12,000	17,000	21,000	25,000	28,000	31,000
0.0	47,000	48,000	0	0	0	0	0	0	0

補足表 3-3. 将来の平均親魚量が限界管理基準値を上回る確率（％）

加入量が親魚量によらず一定である資源に対して、加入量が親魚量と正相関する誤った再生産関係を仮定した場合の管理効果を示す。

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足表 3-4. 将来の平均漁獲量（トン）の推移

加入量が親魚量によらず一定である資源に対して、加入量が親魚量と正相関する誤った再生産関係を仮定した場合の管理効果を示す。

β	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
1.0	49,000	51,000	40,000	47,000	49,000	49,000	50,000	50,000	50,000
0.9	49,000	51,000	37,000	44,000	47,000	48,000	49,000	48,000	49,000
0.8	49,000	51,000	33,000	41,000	45,000	46,000	47,000	47,000	47,000
0.7	49,000	51,000	30,000	38,000	42,000	44,000	45,000	45,000	45,000
0.6	49,000	51,000	26,000	34,000	39,000	41,000	43,000	43,000	43,000
0.5	49,000	51,000	22,000	30,000	35,000	38,000	39,000	40,000	40,000
0.4	49,000	51,000	18,000	26,000	31,000	34,000	35,000	36,000	36,000
0.3	49,000	51,000	14,000	20,000	25,000	28,000	30,000	30,000	31,000
0.2	49,000	51,000	9,000	14,000	18,000	21,000	22,000	23,000	24,000
0.1	49,000	51,000	5,000	8,000	10,000	12,000	13,000	13,000	14,000
0.0	49,000	51,000	0	0	0	0	0	0	0