

# 平成 31（2019）年度ホッケ道北系群の 管理基準値等に関する研究機関会議報告書

担当水研： 北海道区水産研究所、中央水産研究所

## 要 約

平成 30 年度本系群の資源評価データを用いて、再生産関係および管理基準値等を検討した。平成 30 年度本系群の資源評価における本系群の資源状態は、1985 年以降の親魚量から資源水準は低位、最近 5 年間（2013～2017 年）の資源量の推移から資源動向は減少と判断している。豊度が比較的高い 2017 年級群の加入により、資源量および親魚量は一時的に増加すると考えられるが、2016 年級群が非常に少なかったことから、今後の資源への影響が懸念される。当系群の再生産関係式の候補としては最小絶対値法により最適化されたホッケ・スティック型再生産曲線（HS）の適用を、目標管理基準の候補としては SBmsy（112 千トン）、限界管理基準の候補としては SB0.6msy（34 千トン）、禁漁水準の候補としては SB0.1msy（5 千トン）を提案する。MSY を達成するときの漁獲率（漁獲量/資源量）は 35% であり、MSY を達成するときの漁獲圧は現状の漁獲圧（Fcurrent、2015～2017 年の平均漁獲圧）の 0.78 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。データは 1985～2017 年の値を用いた。本系群の再生産関係においては、親魚量と加入量との間に一定の親魚量に至るまでは正の相関関係が見られ、それ以上の親魚量では加入量一定もしくは密度依存的な関係が見られる。再生産関係について AICc（補正赤池情報量基準）を比較するとホッケ・スティック型再生産曲線（HS）で最も低く、次いでリッカー型再生産曲線（RI）となるため、当系群の再生産関係式としては HS が最も当てはまりが良いと判断される。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 は小さくなる。残差の自己相関に関しては、1-5 年分の自己相関係数は有意でないため（補足図 1-4）、本系群において自己相関は反映させないこととした。

| 再生産関係式    | 最適化法          | AICc        | $\Delta$ AIC | $\Delta$ AIC の順位 | S.D.         | データ数      |
|-----------|---------------|-------------|--------------|------------------|--------------|-----------|
| <b>HS</b> | <b>最小絶対値法</b> | <b>64.2</b> | <b>0</b>     | <b>1</b>         | <b>0.620</b> | <b>33</b> |
| RI        | 最小絶対値法        | 67.8        | 3.6          | 2                | 0.655        | 33        |
| BH        | 最小絶対値法        | 69.5        | 5.4          | 3                | 0.673        | 33        |
| HS        | 最小二乗法         | 81.0        | 16.8         | 4                | 0.744        | 33        |
| RI        | 最小二乗法         | 82.4        | 18.2         | 5                | 0.760        | 33        |
| BH        | 最小二乗法         | 83.0        | 18.9         | 6                | 0.768        | 33        |

\* 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 HS (図 1) を候補として提案する。

## 2. 管理基準値 (その 1)

### 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 1985~2017 年級群の加入量および親魚量に基づく HS 型とし、自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重および漁獲の選択率をシミュレーションの条件付けに用いた。ここで、現状の漁獲圧 ( $F_{current}$ 、図 2) は 2015~2017 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 (下図)。また、本系群は資源尾数と体重に負の関係が見られることから、将来の年齢別の体重は、資源尾数に体重を回帰させたときの回帰式からの予測値に確率的な変動を加えたもの (補足資料 5) を用いた。

| 年齢    | 自然死亡係数 | 成熟率  | 平均体重 (資源, g) | 選択率   | 現状の漁獲係数 ( $F_{current}$ ) |
|-------|--------|------|--------------|-------|---------------------------|
| 0     | 0.295  | 0.00 | 81           | 0.125 | 0.15                      |
| 1     | 0.295  | 0.00 | 164          | 0.840 | 0.99                      |
| 2     | 0.295  | 0.80 | 273          | 0.628 | 0.74                      |
| 3     | 0.295  | 1.00 | 343          | 1.000 | 1.18                      |
| 4 歳以上 | 0.295  | 1.00 | 378          | 1.000 | 1.18                      |

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 20 倍を基準に、将来予測開始から約 100 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 HS を用いた。各パラメータ（補足資料 6）は下表に、過去の親魚量、加入量との関係は図 1 に示す。

| 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       | 0.022 | 51,051 | 0.620 |

ここで、a は HS の折れ点までの再生産曲線の傾き（千尾/kg）、b は HS の折れ点となる親魚量（トン）である。

## 2-3) 管理基準値

本系群の目標管理基準値 (SBtarget) には標準値である 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は下表に示す。本系群の目標管理基準値は、過去最大親魚量 239 千トンの半分程度である。なお、RI の再生産関係を用いた場合、目標管理基準値は 136 千トン (SBmsy)、限界管理基準値は 39 千トン (SB0.6msy)、禁漁水準は 4 千トン (SB0.1msy) となる（補足資料 3）。

| 管理基準値   | 親魚量     | 基準       |
|---------|---------|----------|
| 目標管理基準値 | 112 千トン | SBmsy    |
| 限界管理基準値 | 34 千トン  | SB0.6msy |
| 禁漁水準    | 5 千トン   | SB0.1msy |

本系群における各基準値と、再生産関係を用いた将来予測での平衡状態の時の平均親魚量、漁獲量、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 (SBmsy) と、そのときの漁獲率 (Umsy) および漁獲圧 (Fmsy) を基準にしたこれまでの資源利用・資源状態の推移（神戸プロット）を図 4 に示す。本系群における漁獲率は、2000 年以降、直近年を除いて MSY を与える水準を越えていたと判断される。本系群の漁獲圧 (F) は、2000 年以降 MSY を与える水準を越えていたと判断される。2017 年の親魚量は目標管理基準値、限界管理基準値を下回るが、禁漁水準は上回っている。

## 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) 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 を用いた場合の資源量、親魚量、漁獲量、加入量、および努力量の削減率（ $F_{\text{current}}$  からの削減率）の推移を図 6 に示す。なお、漁獲の制御は 2020 年から開始し、2018 年および 2019 年の漁獲量は現状の漁獲係数（ $F_{\text{current}}$ ）で漁獲するものとした。

直近年の親魚量が  $SBlimit$  を下回り、漁獲圧が  $\beta F_{\text{msy}}$  から引き下げられることから、漁獲量は  $F_{\text{current}}$  における漁獲量を下回って推移する。親魚量は、2020 年以降限界管理基準値を上回り、その後も増加していくと推測される。ただしその変動は大きく、80%信頼区間の幅は非常に広い。

### (2) チューニングパラメータ $\beta$ による場合

将来予測において  $\beta$  を 0~1 の間で 0.1 刻みで変えた場合の目標管理基準値へ回復した確率、限界管理基準値へ回復した確率、平均親魚量および平均漁獲量を表 2~5 にそれぞれ示す。 $\beta$  を 0.8 以下とする場合の目標管理基準値への回復確率は 2025 年には 50%を超える。 $\beta$  を 0.9 とする場合、回復確率が 50%を超えるのは 2026 年である（表 2）。一方、限界管理基準値への回復確率は 2021 年に 50%を超える（表 3）。予測における信頼区間の幅は広く（図 6、図 7）、不確実性は高いと考えられる。本系群における親魚量は 2021 年以降増加し、2024~2026 年に目標管理基準値まで回復すると推定される（表 4）。漁獲量は  $\beta$  の値が高い方が多くなる傾向にある（表 5）。

### (3) チューニングパラメータ $\beta$ の検討

本系群の再生産関係において、加入量の予測値に対する観測値の残差は近年負に偏る傾向が見られ（補足資料 1）、親魚量に対して低豊度の加入が続いているものと推測される。そこで、近年の低豊度の加入が今後も続くと仮定した 3 つの再生産関係のシナリオ（低加入シナリオ）を検討した（補足資料 2A）。さらに、ABC 算定の不確実性を考慮するために、通常の加入シナリオおよび低加入シナリオが真だった場合に、通常の再生産関係を用いた将来予測をもとに ABC を計算し、そのとおりに漁獲した場合（将来の加入を過大評価していた場合）の影響を簡易的な MSE（Management Strategy Evaluation、管理戦略評価）により評価した（補足資料 2B）。通常の将来予測では、10 年間で 50%以上の確率で目標水準に回復する  $\beta$  は 0.9 となったが（表 2）、簡易 MSE の結果、真の再生産関係が ABC 算定に用いる再生産関係と同じだった場合とする通常の加入シナリオでも、 $\beta=0.9$  では目標水準まで 50%以上の確率で回復するような年は見られなかった。これは ABC 算定の不確実性のために  $\beta=0.8$  では、真の再生産関係を知っている通常の加入シナリオの場合には 50%回復年が

2027年になり、さらに、真の再生産関係を低加入シナリオとした場合では回復年は2026～2038年となりシナリオにより異なった。10年間で目標水準まで回復する確率が50%を超える $\beta$ は、通常の再生産関係を基にした場合には $\beta=0.8$  (54%) だったのに対し、最も悲観的なシナリオでは $\beta=0.5$  (52%) となった(補足表 2-1)。これらのことから、最も悲観的な加入シナリオが真である場合、通常の再生産関係を使ってHCRの $\beta$ を0.8とすると、ABCを過大評価するために資源の回復が極端に遅れることが示された。近年の低豊度の加入が継続する可能性がある中で、安定的に資源を維持するために10年間で目標水準まで回復する確率を60%以上と考えた場合(補足表 2-1)、HCRの $\beta$ を0.7以下とすることが望ましい。

### 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、ホッケ道北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、1985年以降の親魚量から資源水準は低位、最近5年間(2013～2017年)の資源量の推移から資源動向は減少と判断している。豊度が比較的高い2017年級群の加入により、資源量および親魚量は一時的に増加すると考えられるが、親魚量が減少傾向で推移し、2016年級群は過去最少であったことから、今後資源量が減少する可能性も考えられる。

本系群の再生産関係は自己相関を考慮しないHSとし、最適化法としては最小絶対値法を用いた。各管理基準については、目標管理基準値はMSYを達成する資源水準と定められていることから、この再生産関係から推定されるSBmsyを用い、限界管理基準値、禁漁水準には標準値であるSB0.6msy、SB0.1msyをそれぞれ設定した。なお、MSYを達成するときの漁獲率(漁獲量/資源量)は35%であり、MSYを達成するときの漁獲圧は現状の漁獲圧( $F_{current}$ 、2015～2017年の平均漁獲圧)の0.78倍である。また、MSYの60%を達成する時の漁獲率は44%であり、この時の漁獲圧は現状の漁獲圧の1.22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く、成長も早いことから、将来の資源は速やかに回復することが推測され、 $\beta$ が0.9でも親魚量は10年以内に50%以上の確率で目標管理基準値を越えると推定された。しかし、ABCの不確実性を考慮した簡易MSEによる試算では、 $\beta=0.9$ では通常の加入シナリオで50%以上の確率で目標管理基準値を超えることはないこと、さらに近年の低加入を考慮したシナリオでは、ABCを過大評価するために資源が回復しないリスクが示された。本報告におけるMSEの結果は試算値であるが、低加入時のリスクを考慮し、より安全な $\beta$  (0.7以下) を選択することが望ましい。

### 4. 今後の検討事項

本系群の資源評価において道総研から提供を受けている年齢別漁獲尾数のデータは2004年前後でデータの質が異なると考えられる(補足資料4)。今後、年齢別漁獲尾数のデータの更新により再生産関係が変化した場合、管理基準値の再検討を行う。

(執筆者：森田晶子、山下夕帆、境 磨、磯野岳臣、服部薫、市野川桃子)

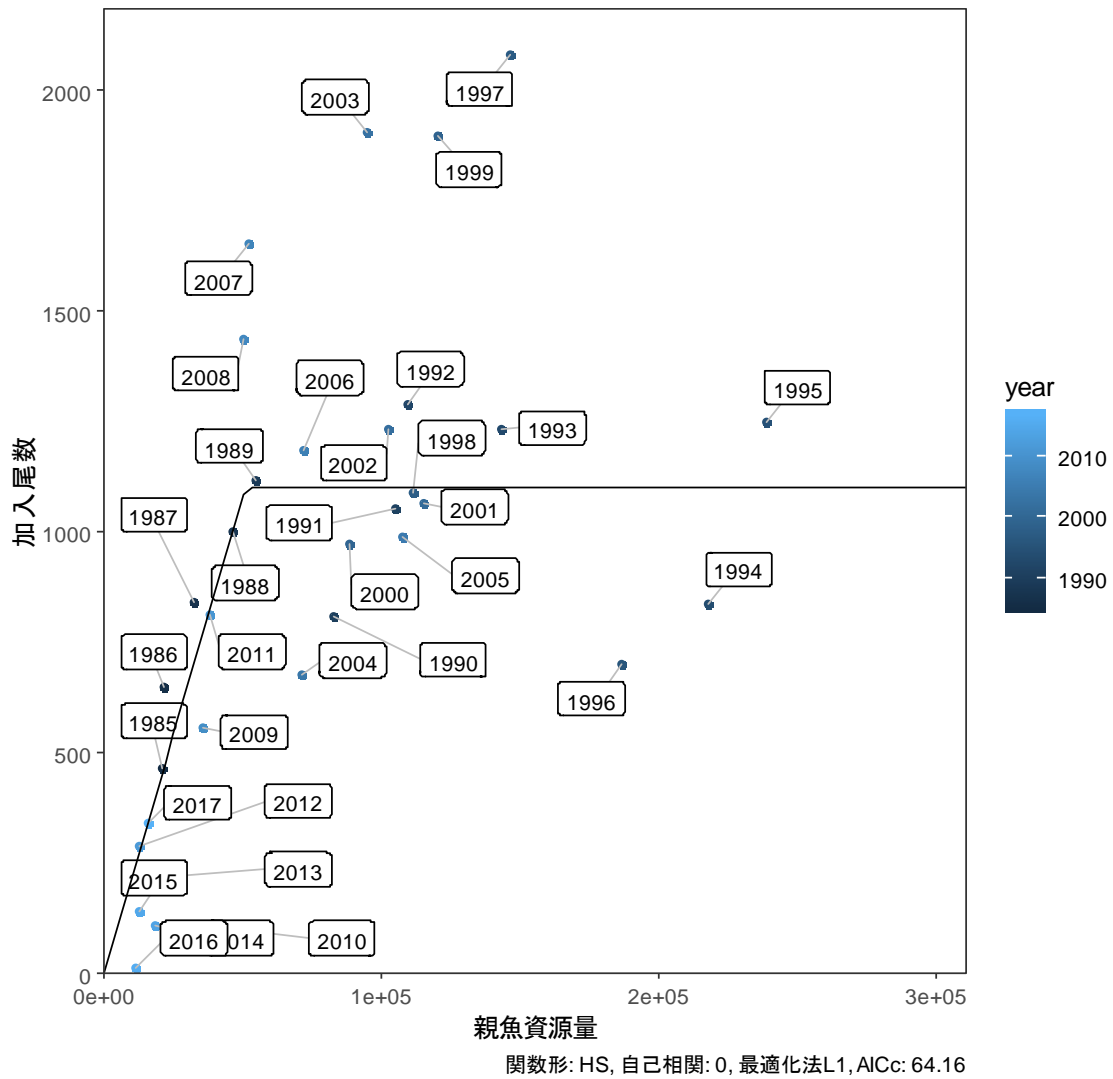


図 1. 再生産関係 図中の数字は年級群を示す。再生産曲線にはホッカー・スティック型 (HS) を用い、自己相関を考慮しない最小絶対値法によりパラメータ推定を行った。

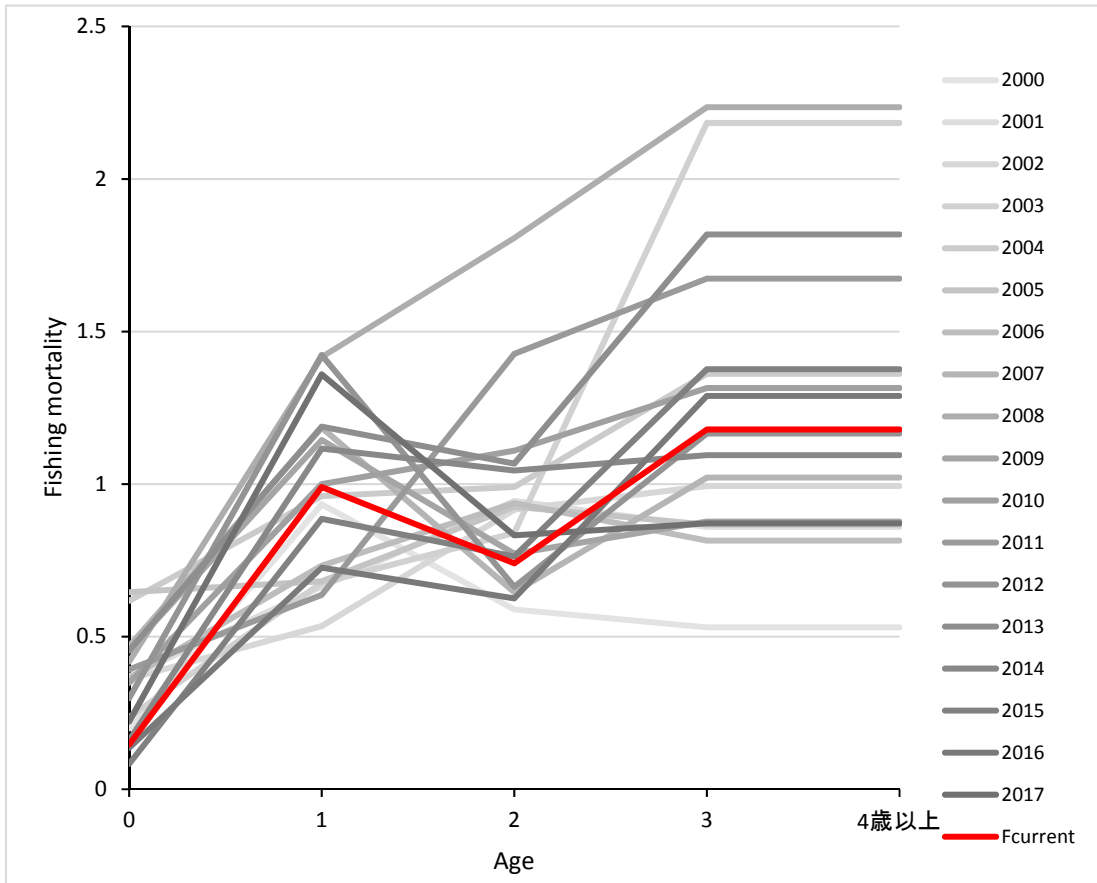


図2. 年齢別 F 値 現状の漁獲係数 (F<sub>current</sub>) を赤線で、2000 年以降の値を灰色線で示した。

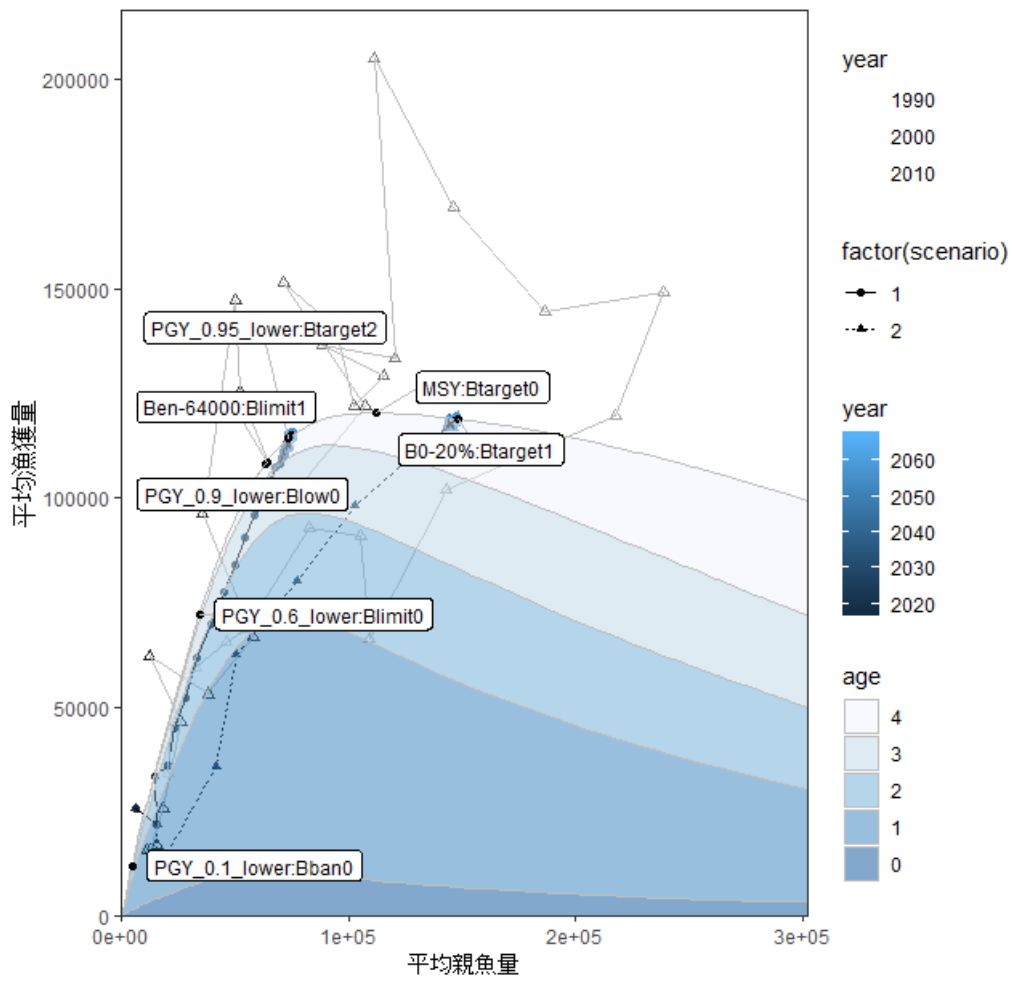


図3. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線の関係 仮定された再生産関係を用いた将来予測での平衡状態における親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値を面で、漁獲量と親魚量の観測値（△）と将来予測（●:Fcurrentによる漁獲、▲:標準値を用いたHCRによる漁獲）における推移を折れ線で示した。SB0は740千トンである。

図3. 神戸チャート(4区分)

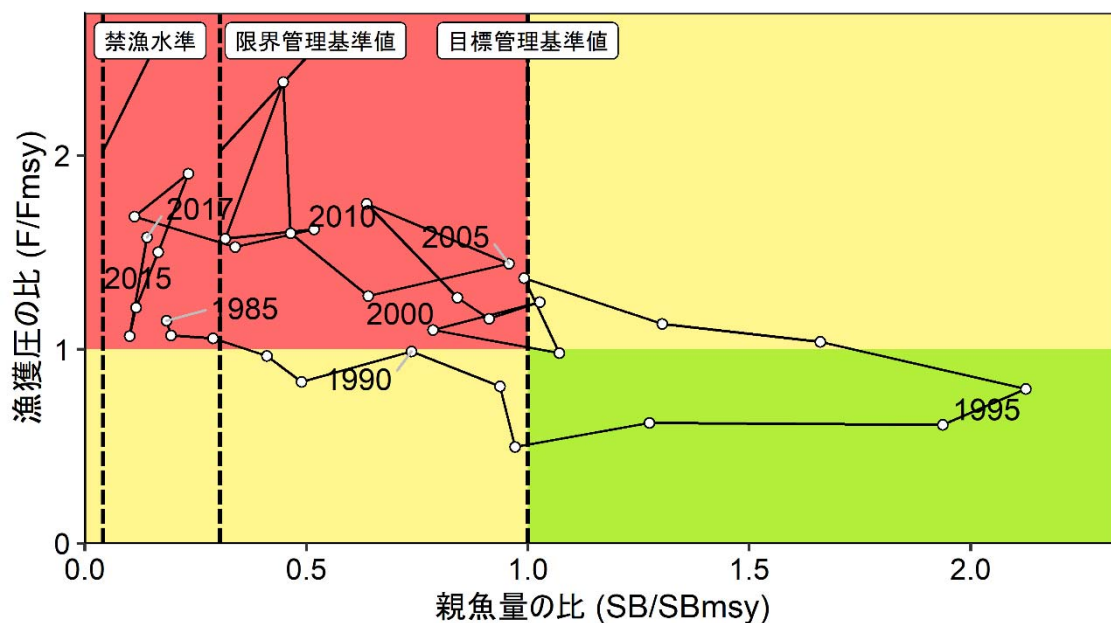
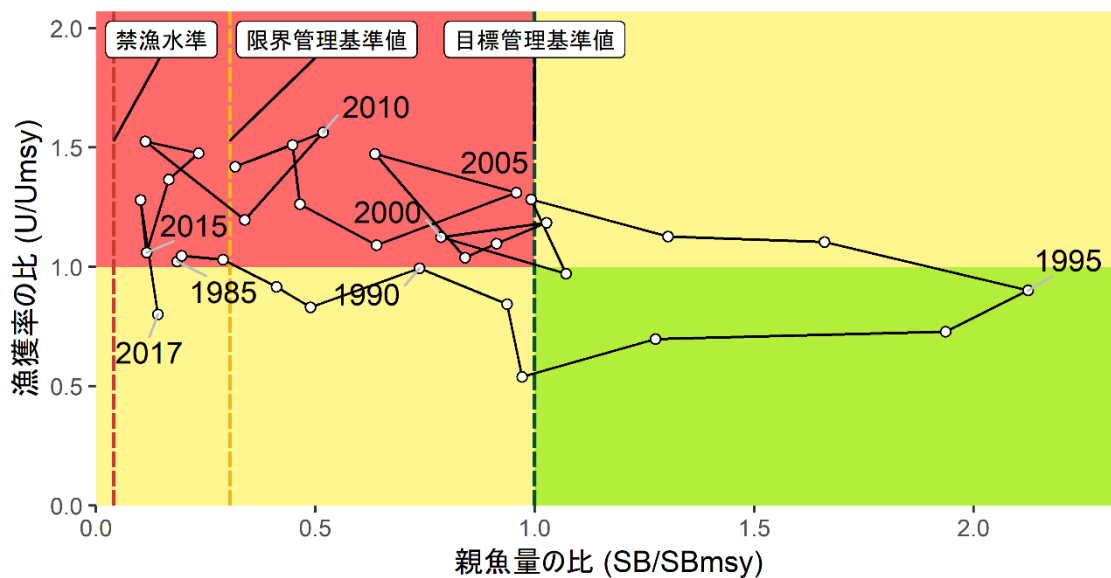


図4. 漁獲率 (上図) および漁獲圧 (下図) に基づく神戸プロット (4区分)

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。

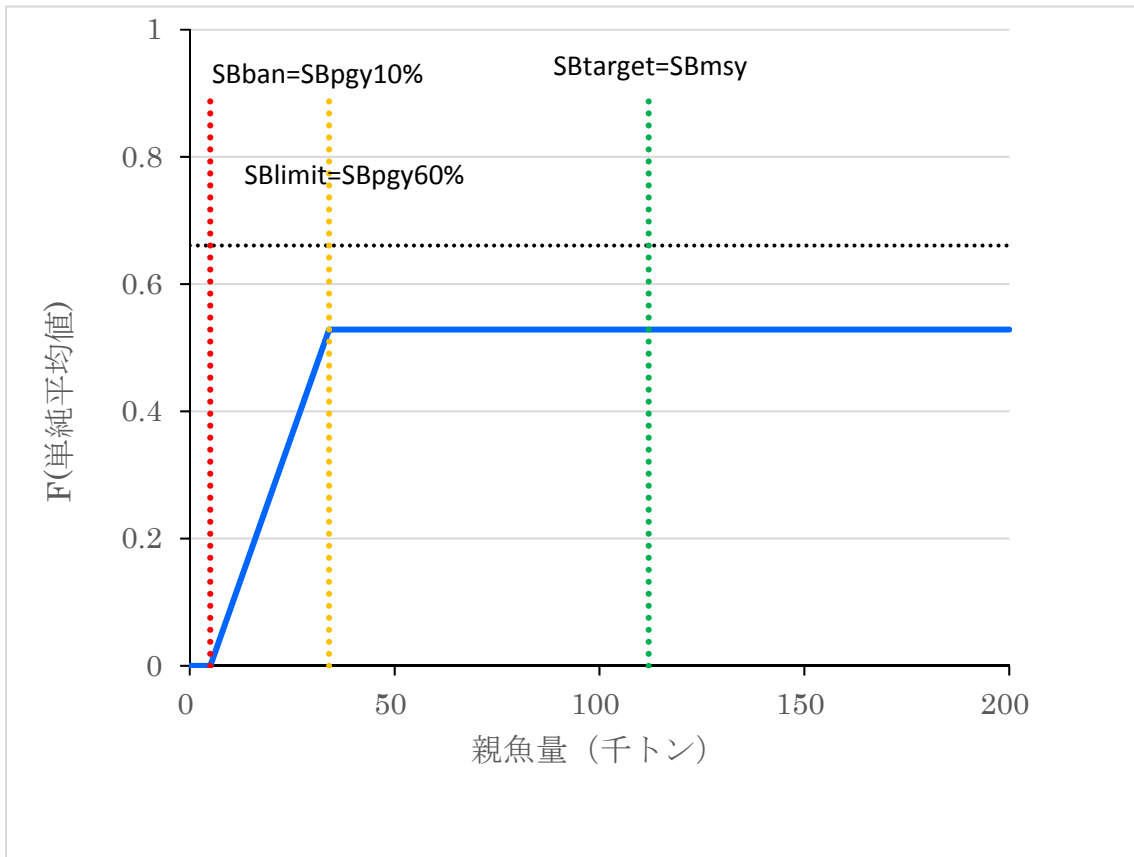


図 5. 漁獲管理規則 管理基準値  $SB_{target}$ 、 $SB_{limit}$ 、 $SB_{ban}$  にはそれぞれ  $SB_{msy}$ 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$  を用い、 $\beta$  には標準値である 0.8 を用いた。

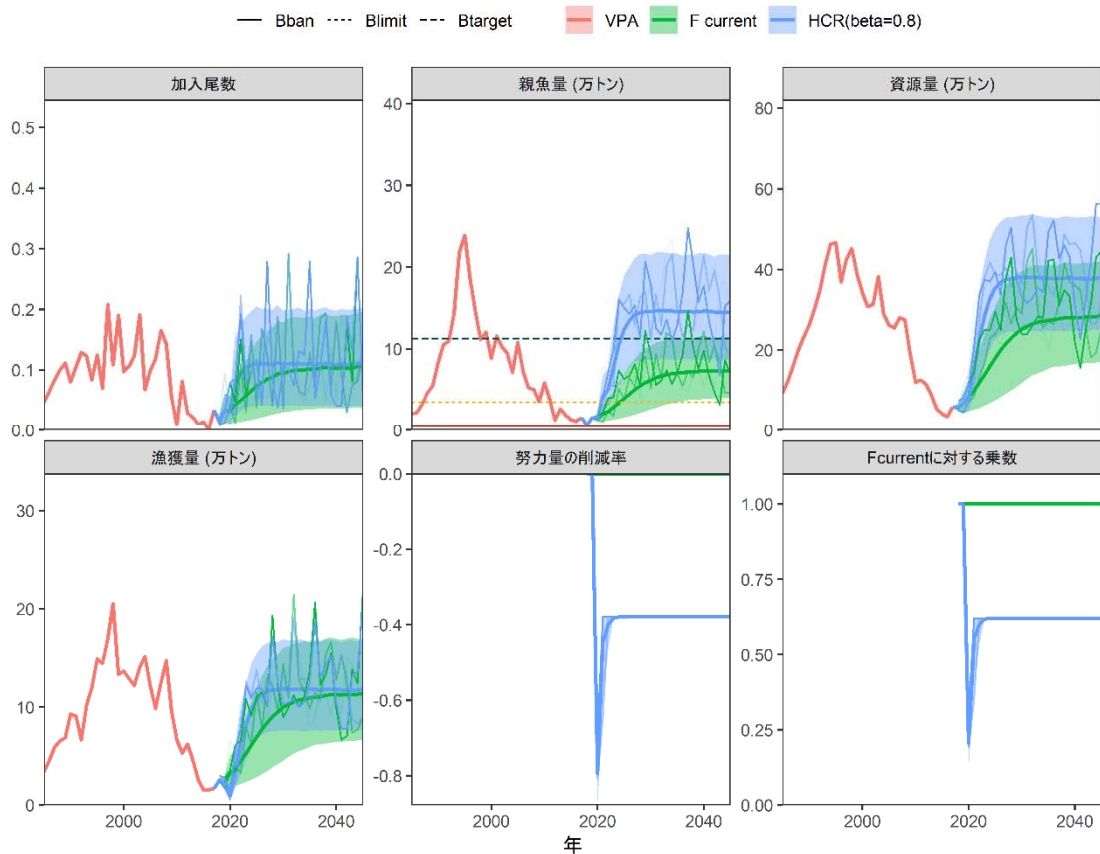


図 6. 漁獲管理規則による将来予測の平均値（実線）と 80%信頼区間

管理基準値  $SB_{target}$ 、 $SB_{limit}$ 、 $SB_{ban}$  にはそれぞれ  $SB_{msy}$ 、 $SB_{0.6msy}$ 、 $SB_{0.1msy}$  を用いた。 $\beta$  には標準値である 0.8 を用いた。太実線は平均値、網掛けは 80%信頼区間、細線は 5 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値、黄点線は限界管理基準値、赤線は禁漁水準を示す。2018・2019 年の漁獲量は 2015～2017 年の平均漁獲圧による漁獲とし、2020 年から漁獲管理規則による漁獲とした。 $\beta$  には 0.8 を用いた。

表 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  | 漁獲量    | 漁獲率  | 努力量の乗数 |
|----------|------------|--------|--------|------|--------|
| Btarget1 | B0-20%     | 148000 | 119000 | 0.31 | 0.62   |
| Btarget0 | SBmsy      | 112000 | 120000 | 0.35 | 0.78   |
| Btarget2 | SB 0.95msy | 74000  | 114000 | 0.4  | 1.01   |
| Blow0    | SB 0.90msy | 63000  | 108000 | 0.42 | 1.08   |
| Blimit1  | 64000 t    | 64000  | 109000 | 0.41 | 1.07   |
| Blimit0  | SB 0.60msy | 34000  | 72000  | 0.44 | 1.22   |
| Bban0    | SB 0.10msy | 5000   | 12000  | 0.46 | 1.37   |

管理基準値の末尾に 0 が付記されているものはデフォルトルールでの値、1 および 2 が付記されているものはその他の基準における値を示す。

表 2. 将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

| $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1       | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 7    | 15   | 25   | 33   | 37   | 40   | 40   | 41   |
| 0.9     | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 10   | 23   | 37   | 46   | 53   | 54   | 55   | 55   |
| 0.8     | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 14   | 34   | 50   | 62   | 68   | 70   | 70   | 71   |
| 0.7     | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 21   | 45   | 67   | 77   | 82   | 84   | 84   | 84   |
| 0.6     | 0    | 0    | 0    | 1    | 3    | 28   | 59   | 80   | 89   | 92   | 93   | 94   | 95   |
| 0.5     | 0    | 0    | 0    | 1    | 5    | 36   | 72   | 90   | 95   | 97   | 98   | 98   | 99   |
| 0.4     | 0    | 0    | 0    | 2    | 7    | 47   | 83   | 96   | 99   | 99   | 100  | 100  | 100  |
| 0.3     | 0    | 0    | 0    | 2    | 10   | 58   | 90   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.2     | 0    | 0    | 0    | 2    | 13   | 68   | 95   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.1     | 0    | 0    | 0    | 3    | 18   | 76   | 98   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0       | 0    | 0    | 0    | 3    | 24   | 84   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、2018 年および 2019 年は現状の漁獲圧で漁獲するものとした。

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 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1       | 0    | 0    | 0    | 52   | 66   | 89   | 96   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.9     | 0    | 0    | 0    | 54   | 74   | 93   | 98   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.8     | 0    | 0    | 0    | 57   | 80   | 96   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.7     | 0    | 0    | 0    | 59   | 85   | 98   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.6     | 0    | 0    | 0    | 61   | 89   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.5     | 0    | 0    | 0    | 63   | 92   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.4     | 0    | 0    | 0    | 65   | 95   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.3     | 0    | 0    | 0    | 68   | 97   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.2     | 0    | 0    | 0    | 70   | 98   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.1     | 0    | 0    | 0    | 72   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0       | 0    | 0    | 0    | 74   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、2018 年および 2019 年は現状の漁獲圧で漁獲するものとした。

表 4. 将来の親魚量の平均値の推移

(千トン)

| $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1       | 6    | 16   | 15   | 40   | 44   | 64   | 79   | 93   | 103  | 108  | 109  | 110  | 112  |
| 0.9     | 6    | 16   | 15   | 41   | 47   | 70   | 90   | 108  | 119  | 124  | 125  | 127  | 128  |
| 0.8     | 6    | 16   | 15   | 42   | 51   | 78   | 103  | 124  | 137  | 143  | 144  | 146  | 147  |
| 0.7     | 6    | 16   | 15   | 43   | 54   | 86   | 118  | 144  | 159  | 165  | 167  | 168  | 170  |
| 0.6     | 6    | 16   | 15   | 44   | 58   | 96   | 135  | 166  | 184  | 192  | 194  | 196  | 198  |
| 0.5     | 6    | 16   | 15   | 45   | 63   | 107  | 155  | 193  | 214  | 225  | 228  | 231  | 233  |
| 0.4     | 6    | 16   | 15   | 46   | 67   | 120  | 178  | 224  | 251  | 265  | 270  | 274  | 277  |
| 0.3     | 6    | 16   | 15   | 47   | 73   | 135  | 204  | 260  | 295  | 315  | 324  | 330  | 335  |
| 0.2     | 6    | 16   | 15   | 48   | 79   | 151  | 234  | 304  | 350  | 379  | 393  | 404  | 412  |
| 0.1     | 6    | 16   | 15   | 49   | 85   | 170  | 269  | 356  | 418  | 460  | 485  | 504  | 518  |
| 0       | 6    | 16   | 15   | 51   | 92   | 191  | 311  | 420  | 505  | 567  | 609  | 643  | 669  |

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、2018 年および 2019 年は現状の漁獲圧で漁獲するものとした。

表 5. 将来の漁獲量の平均値の推移

(千トン)

| $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1       | 26   | 22   | 12   | 40   | 67   | 82   | 99   | 109  | 115  | 117  | 119  | 120  | 119  |
| 0.9     | 26   | 22   | 11   | 38   | 65   | 82   | 99   | 109  | 115  | 117  | 118  | 119  | 119  |
| 0.8     | 26   | 22   | 10   | 36   | 62   | 80   | 98   | 108  | 114  | 116  | 118  | 118  | 118  |
| 0.7     | 26   | 22   | 9    | 33   | 59   | 77   | 96   | 106  | 112  | 115  | 116  | 117  | 116  |
| 0.6     | 26   | 22   | 8    | 29   | 55   | 73   | 91   | 102  | 109  | 112  | 113  | 114  | 113  |
| 0.5     | 26   | 22   | 6    | 26   | 49   | 67   | 85   | 97   | 104  | 107  | 108  | 109  | 109  |
| 0.4     | 26   | 22   | 5    | 22   | 43   | 60   | 77   | 88   | 95   | 99   | 101  | 102  | 102  |
| 0.3     | 26   | 22   | 4    | 17   | 35   | 50   | 65   | 76   | 83   | 87   | 89   | 91   | 91   |
| 0.2     | 26   | 22   | 3    | 12   | 25   | 37   | 49   | 59   | 66   | 70   | 72   | 74   | 74   |
| 0.1     | 26   | 22   | 1    | 6    | 14   | 20   | 28   | 35   | 39   | 42   | 44   | 46   | 47   |

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、2018 年および 2019 年は現状の漁獲圧で漁獲するものとした。

## 補足資料 1 再生産関係式のモデル診断結果について

ホッケ道北系群の再生産関係として、1985～2017年のデータを用いてHSを適用した場合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。

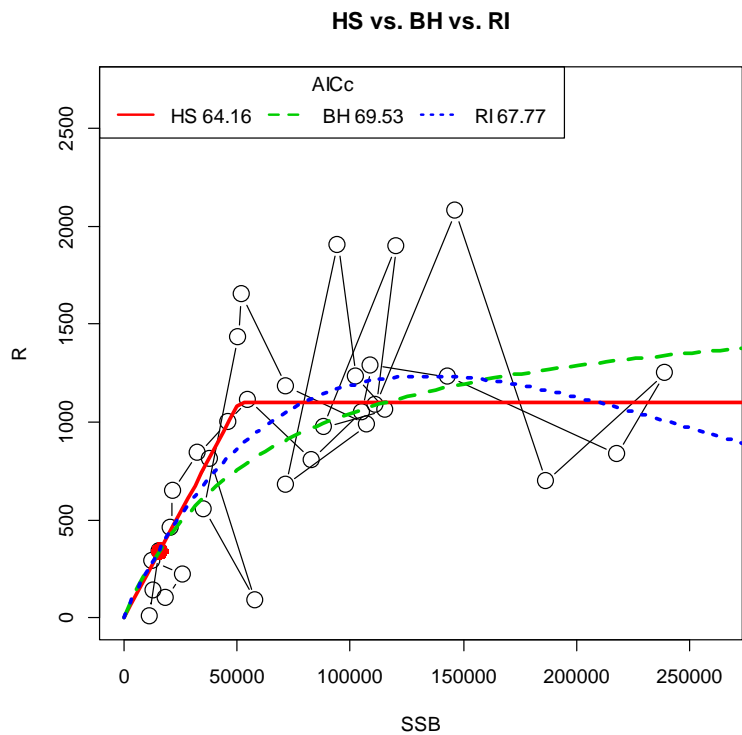
補足図 1-1 に最小絶対値法により最適化したHS、BH、RIの各モデルにおける再生産曲線をそれぞれ示した。HSでは折れ点が親魚量 51 千トンとなる。RIは親魚量 120 千トン程度で頭打ちとなり、それより高い親魚量で加入量は減少傾向となる。一方BHでは親魚量の増加とともに加入量は緩やかに増加した。AICはHSで最も小さく(64.1)、次いでRI(67.8)、BH(69.5)となった。

このHS曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度および残差ブートストラップにおける80%信頼区間、ジャックナイフ解析における推定値を補足図 1-2 に示す。ここで、パラメータ  $b$  の値に対し  $a$  の尤度の変化は若干大きくなる。

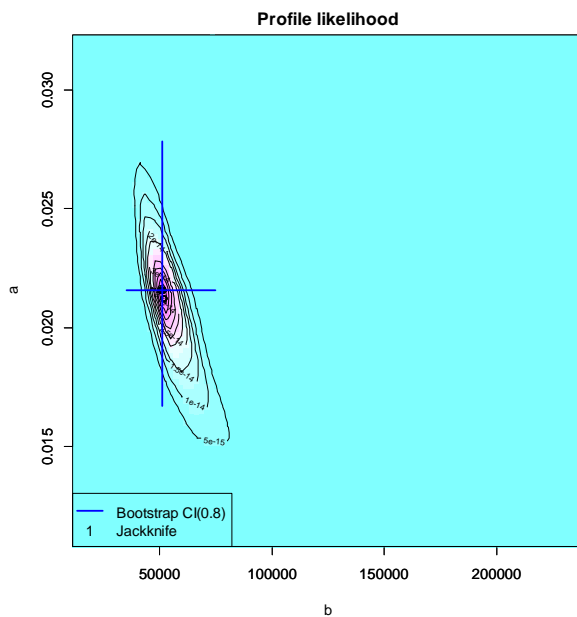
モデルに対する残差の正規性(補足図 1-3)では、Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定の双方において逸脱する様子が見られた。残差の経年的なトレンド(補足図 1-4)では、残差は2010年以降明瞭な低下傾向を示し、特に2010、2016年は大きく負に偏った。

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による検証を行った(補足図 1-5,1-6)。ここで、 $a$  および  $b$  については推定値の中央値と点推定値がほぼ一致したが、 $sd$  については信頼区間がやや広く中央値は点推定値よりやや高くなった。

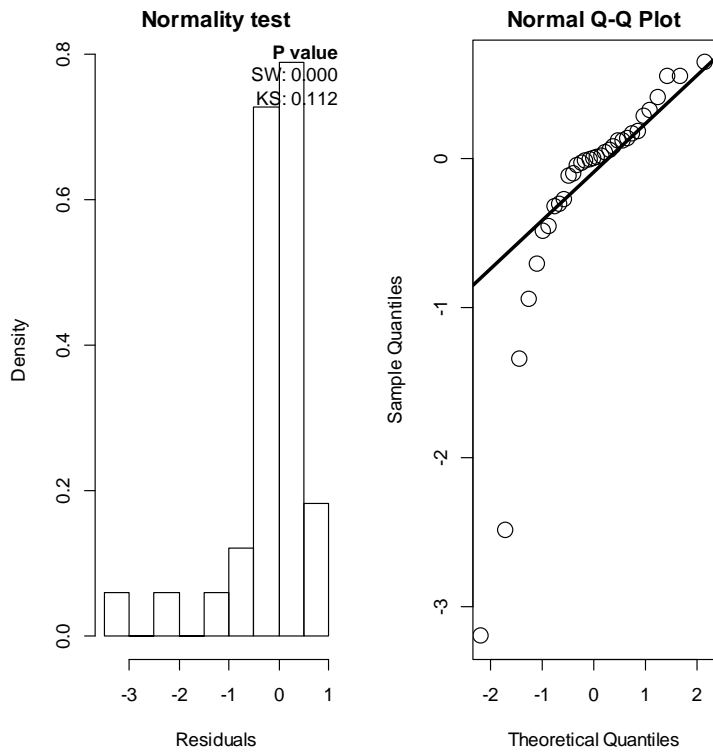
パラメータ推定の頑健性の確認のため、データを一点ずつ除きジャックナイフ解析を行った(補足図 1-7、1-8)。ここで、 $b$  については80年代後半および2008、2012年のデータを除くと  $b$  の推定値がやや大きくなることが示された。このうち、1992年(1990年級群)は過去最大の親魚量であるが、1993年(1991年級群)を除いた時に折れ点が最も小さくなることから、この年の影響が比較的大きいと考えられる。 $a$  および  $sd$  については推定値の変化量は小さく、各データの除去に対して比較的頑健であった。



補足図 1-1. 最小絶対値法により推定された各モデルの再生産曲線 赤線はホッケー・ステイック型再生産曲線 (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。図中上部の数値は補正赤池情報量基準 (AICc) の値である。赤丸は 2017 年を示す。

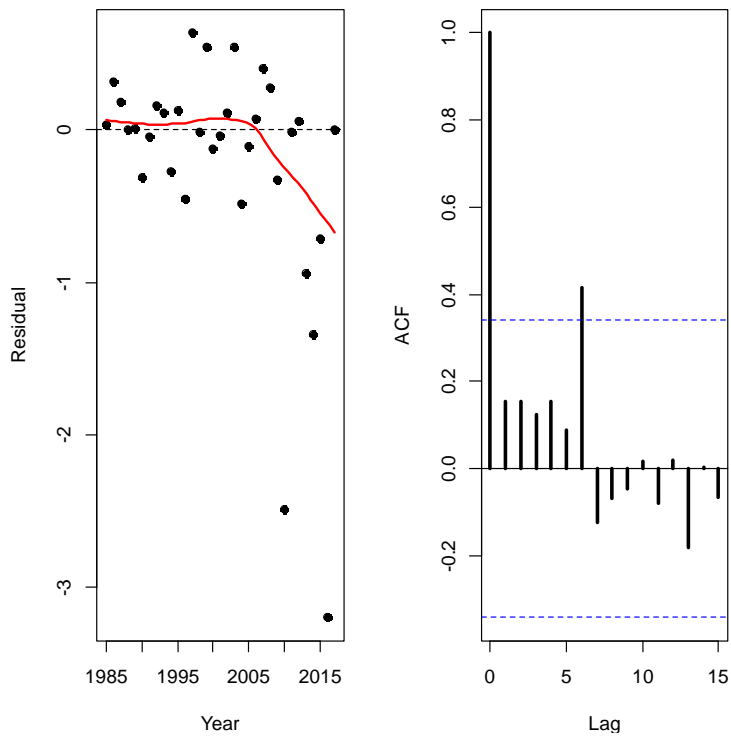


補足図 1-2. HS 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度 残差ブートストラップにおける 80%信頼区間 (青線) とジャックナイフ解析における推定値 (○) を併せて示した。

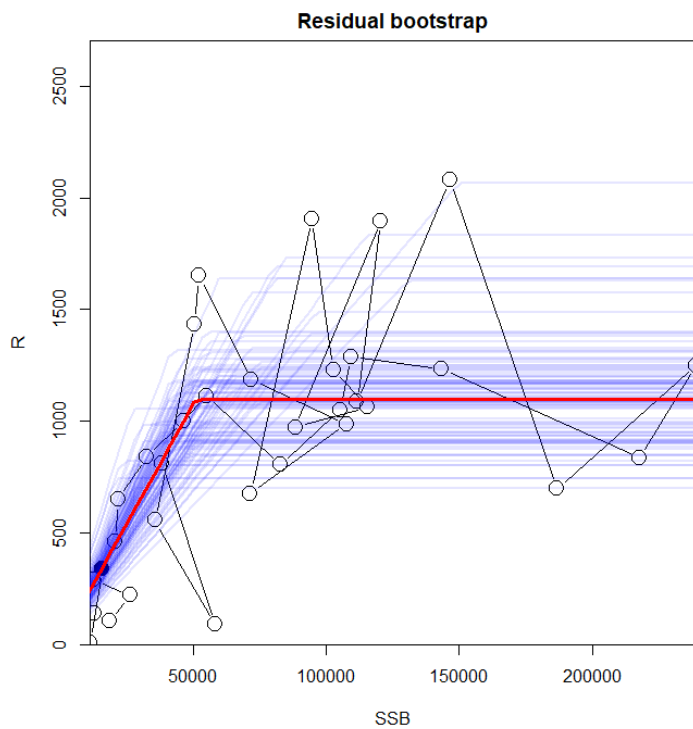


補足図 1-3. 残差分布の正規性テスト結果 (左) と QQ プロット (右)

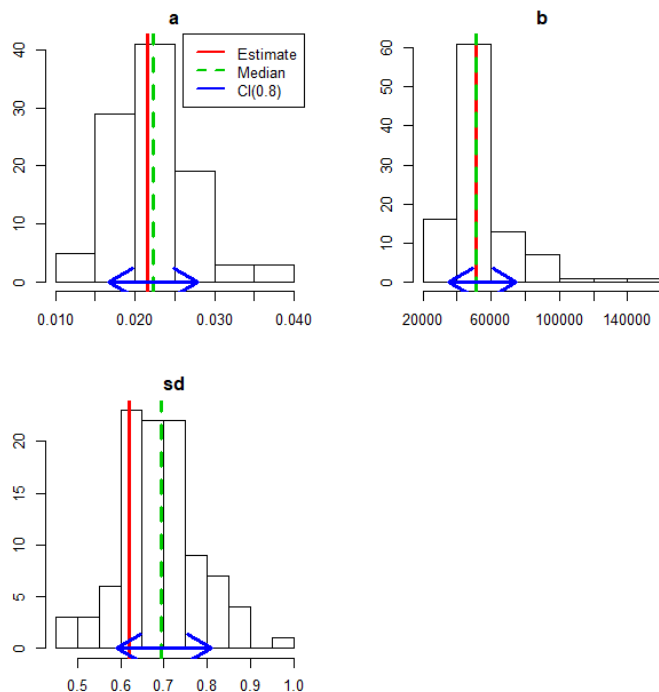
残差分布の図の左上の数値は Shapiro- Wilk 検定および Klomogorov- Smirnov 検定の結果である。



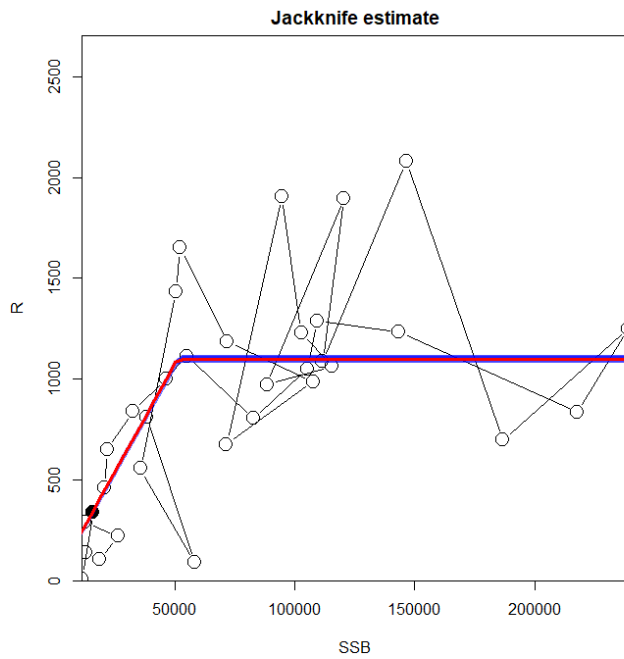
補足図 1-4. 残差のトレンド (左) と自己相関係数 (右)



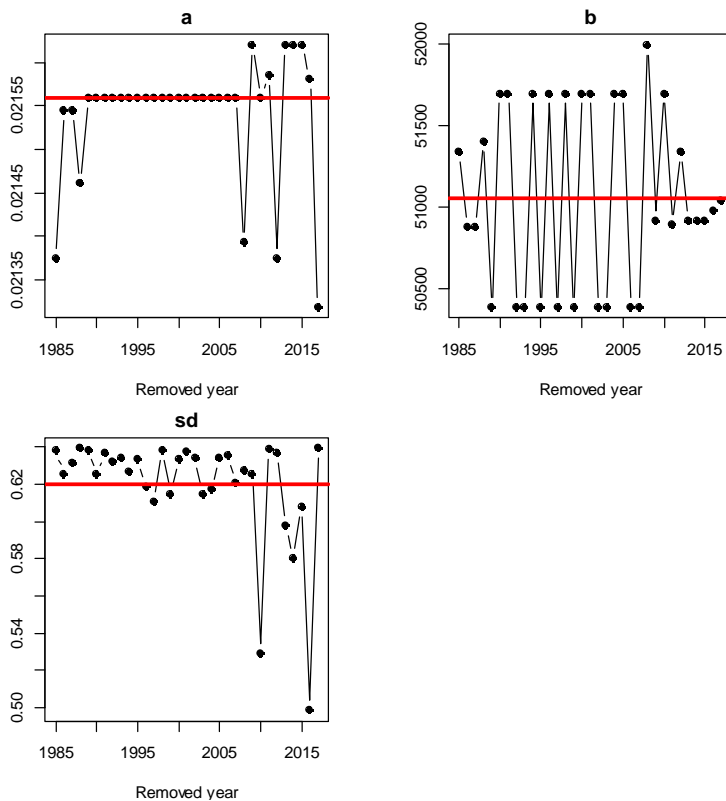
補足図 1-5. 残差ブートストラップにおける HS 曲線の推定結果 赤線は元データでの推定値、青線は各ブートストラップでの推定値。黒丸は 2017 年を示す。



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



補足図 1-7. ジャックナイフ解析における HS 曲線の推定結果 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。黒丸は 2017 年を示す。



補足図 1-8. ジャックナイフ解析における HS 曲線のパラメータ推定値 傾き (a)、折れ点 (b)、残差標準偏差 (sd) 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 2A 直近の低い加入を考慮した低加入シナリオの検討

本報告で提案した管理基準値は、全年の再生産データをもとに、最小絶対値法で最適化した自己相関を用いない HS の再生産関係（ここでは「標準再生産関係」とする）を用いて算出した。しかし、この標準再生産関係からの加入量の予測値に対する観測値の残差は、特に近年に負に偏る傾向がある（補足図 1-4）。負の残差が連続して起こる原因は不明であるものの、今後、近年と似た環境・親魚条件下においては、近年と同様の低豊度の加入が連続して起こる可能性が懸念される。そこで、本補足資料では、観測された近年の負の残差傾向を説明する可能性があるいくつかの再生産関係のシナリオ（低加入シナリオ）を検討し、これらの低加入シナリオが本系群の将来予測に及ぼす影響を検討した。

### (1) 残差の傾向

標準再生産関係からの残差は、年に対して回帰をすると有意な負の傾き ( $p=0.007$ ) が得られた（補足図 2-1 左）。また、残差を親魚量によって回帰した場合でも、親魚量に対する弱い正の関係 ( $p=0.108$ ) が見られた（補足図 2-1 中）。残差が年に依存して変化していることは、長期的・短期的な環境の変化が再生産に影響を与えている可能性を示唆している。一方で、親魚量が少ないほど残差が小さくなる傾向は、親魚密度の極端な低下が再生産に悪影響を及ぼしている可能性を示唆している。ここでは、残差の傾向が年に影響される環境モデルと、親魚量に影響される親魚モデルの両方についていくつかのシナリオを検討した。

### (2) 環境モデル：バックワード・リサンプリング

将来の加入は、標準再生産関係からの予測値と過去の観測値の残差のランダムなリサンプリングによって与える。この残差のランダムリサンプリングは、後ろ向きに時代を区切って以下のように実施した（バックワード・リサンプリング、補足図 2-2）。

- ・ 将来予測の 1～5 年目；資源評価の最新 5 年分（2013～2017 年）の残差のみ重複を許したリサンプリングをする。
- ・ 将来予測の 6～10 年目；最新 5 年分（2013～2017 年）の残差、または、さらに過去に遡った 5 年分（2008～2012 年）の残差のどちらかを選び、選んだほうの 5 年分の残差から重複を許してリサンプリングする。
- ・ 将来予測の 11 年目～；上記の手順のように 5 年ずつリサンプリングできる範囲を追加する。

補足図 図 2-1 左では 5 年ずつ（最も過去の時代のみ 8 年）に区切ったリサンプリング単位を灰色の点線で示した。このようなリサンプリングのやり方により、短期的には直近の環境条件を反映するような加入を想定しつつ、長期的には今まで出現した様々な残差のパターンを試すことで将来の不確実性の幅を広く評価することができる。また、5 年ごとのブロックでリサンプリングをおこなうことで、加入の自己相関のパターンも考慮できる。

### (3) 親魚モデル (2ブロック・リサンプリング)

残差が親魚量の大きさによって説明される加入モデルとして、特定の関数形を仮定しないノンパラメトリックモデルを以下のように仮定した。

- ✓ 親魚量が HS の折れ点 (SBhs) よりも小さい場合、過去の親魚量が HS の折れ点よりも少ないときに見られた残差をリサンプリングする
- ✓ 親魚量が HS の折れ点よりも大きい場合、過去の親魚量が HS の折れ点よりも大きいときに見られた残差をリサンプリングする

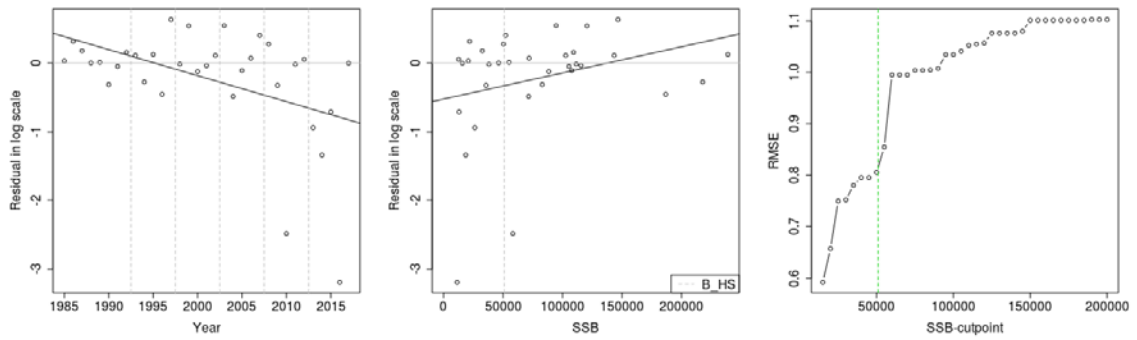
これは、HS の折れ点を境に残差の出現のパターンが異なると仮定するもので、親魚量に応じてリサンプリング範囲を変えるため、親魚量が加入に影響を与える親魚モデルと解釈できる。また、残差のリサンプリング範囲を変える閾値として、ここでは HS の折れ点閾値を徐々にずらしたときの残差の二乗平均平方根誤差 (RMSE) を計算したときに RMSE が大きく変わる境界に近い値 (補足図 2-1 中) として HS の折れ点を採用した。HS の折れ点より閾値とした場合、親魚が少ない場合の残差の平均値は-0.44, 多い場合の平均値は-0.08 と、親魚量が閾値よりも少ない場合に加入の期待値も小さくなった。

### (4) 親魚モデル (アリー効果再生産関係)

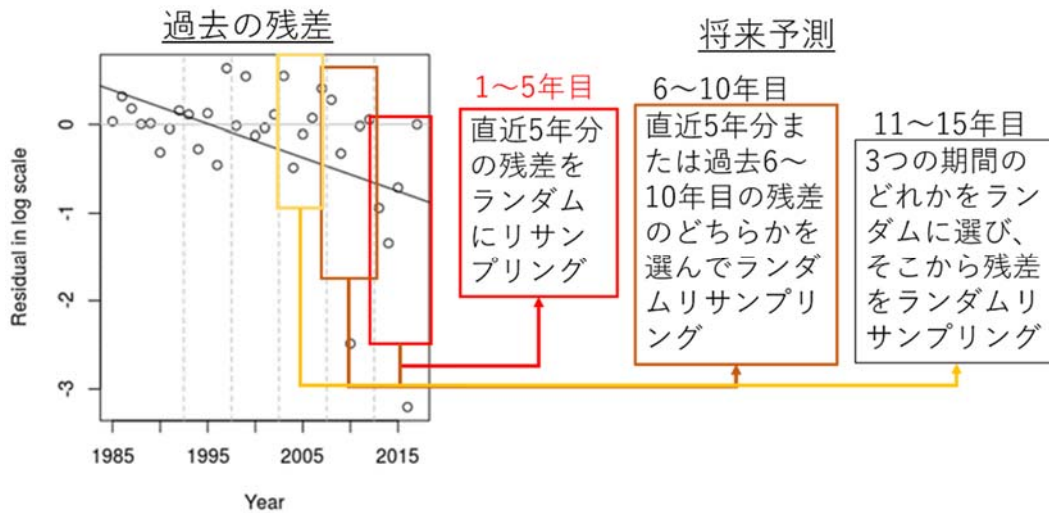
親魚量に対して加入が減少するシナリオを明示的に再生産関係として記述する。ここでは、ベバートン・ホルト型の再生産関係にアリー効果を導入した 3 パラメータの再生産関係を用いた (補足図 2-3、補足資料 6)。最適化手法には最小絶対値法を用いた。自己相関は考慮しなかった。3 パラメータの再生産関係の AICc は 64.9 で、標準再生産関係の AICc (64.2) よりは大きいものの、AICc の差は 0.7 程度であることから、このシナリオが標準再生産関係に比べて非常に悪いとは言えない (あり得るかもしれない)。

### (4) 低加入シナリオにおける将来予測

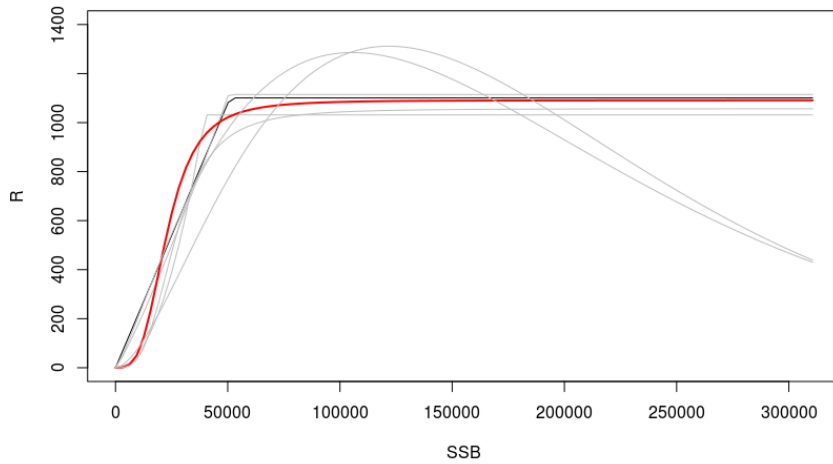
$\beta=0.8$  の HCR を用いたときの将来予測結果を、標準再生産関係と 3 つの低加入シナリオで比較した (補足図 2-4、2-5、2-6)。バックワード・リサンプリング、2 ブロック・リサンプリング、アリー効果の順に、50%で SBtarget まで 50%以上の確率で回復する年は 2032・2025・2026 年、2020 年の平均漁獲量は 4・8・3 千トンとなった (補足図 2-4、2-5、2-6 右下)。



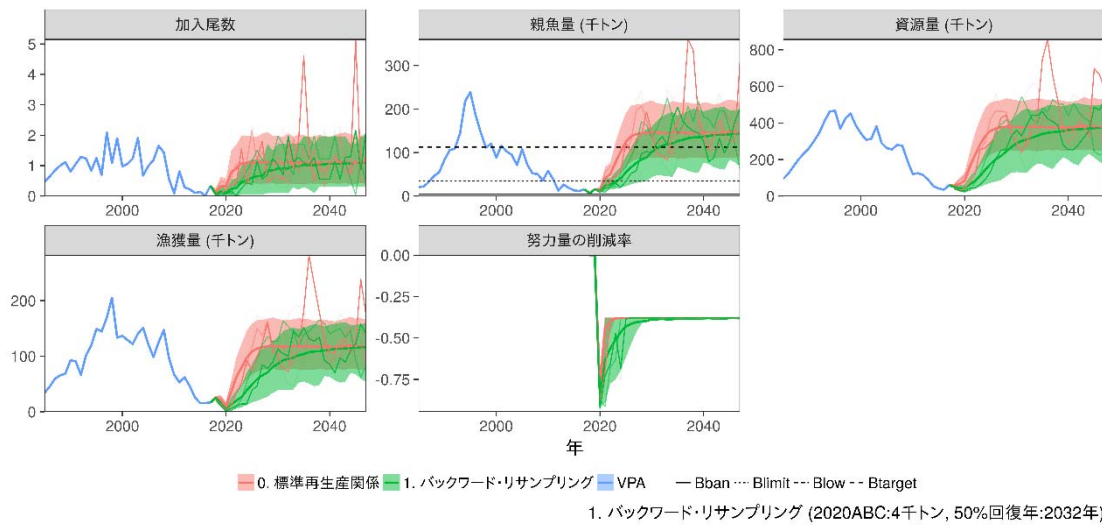
補足図 2-1. 標準再生産関係からの残差 ( $\log(\text{予測値}-\text{観測値})$ )。左図は横軸を年（補足図 1-4 と同じ）、中図は横軸を親魚量 (SB) とした。左図の縦の点線は近年から 5 年ごとの区切り、右図の縦の点線は HS の折れ点の位置を示す。斜めの実践はそれぞれ年・親魚量を説明変数にしたときの残差の回帰モデルの予測値。右図は、2 ブロック・リサンプリングの閾値 (横軸) を連続的に変えた場合の RMSE ( $\sqrt{(\text{残差}-\text{残差の平均値})^2/\text{データ数}}$ )。



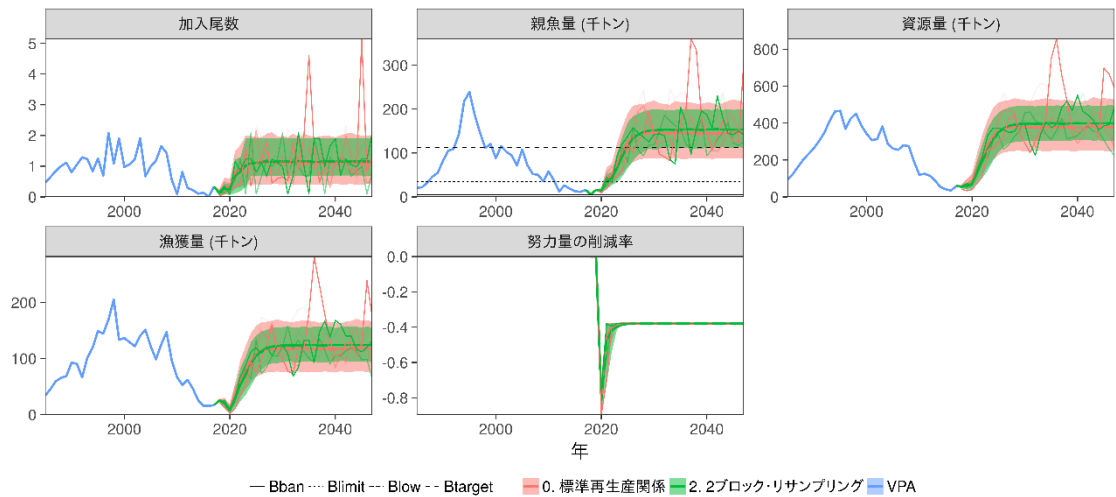
補足図 2-2. バックワードリサンプリングの概念図



補足図 2-3. 明示的に親魚量の効果を再生産関係に導入した場合の再生産関係（BH, 最小絶対値法：赤）と標準再生産関係（黒）との比較。薄い灰色の線はアリー効果を仮定したときの他の関数形によるフィットの結果（AICc は HS、RI、BH の順に最小絶対値法では 66.5, 69.0, 64.9, 最小二乗法では 79.7, 80.7, 78.1）。

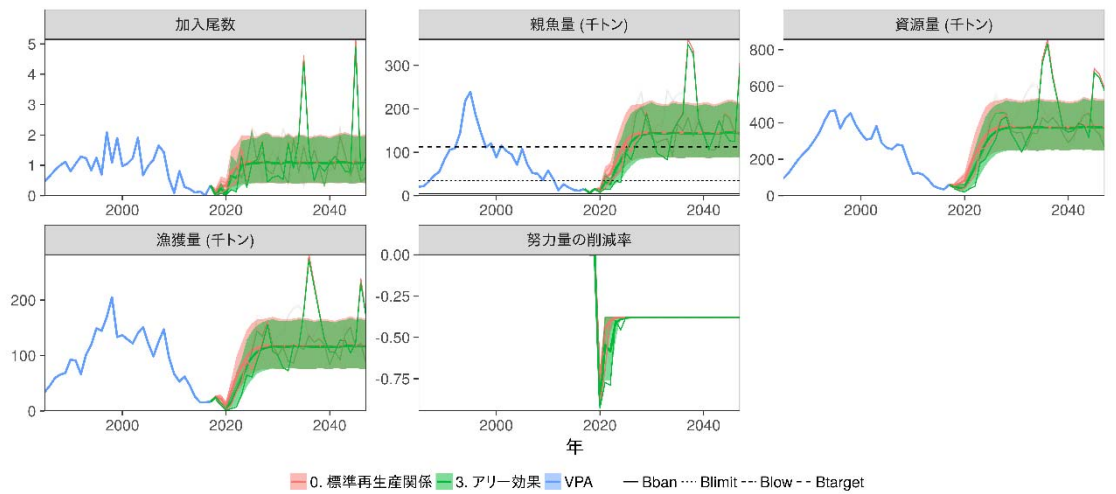


補足図 2-4. 標準再生産関係による将来予測とバックワード・リサンプリングによる将来予測の結果の比較。HCR で使用した管理基準値 (Fmsy, SBlimit, SBban) は標準再生産関係から推定したもの。 $\beta=0.8$  を仮定。



2. 2ブロック・リサンプリング (2020ABC:8千トン, 50%回復年:2025年)

補足図 2-5. 標準再生産関係による将来予測と2ブロックリサンプリングによる将来予測の結果の比較。HCR で使用した管理基準値 (Fmsy, SBlimit, SBban) は標準再生産関係から推定したもの。β=0.8 を仮定。



3. アリー効果 (2020ABC:3千トン, 50%回復年:2026年)

補足図 2-6. 標準再生産関係による将来予測とアリー効果再生産関係による将来予測の結果の比較。HCR で使用した管理基準値 (Fmsy, SBlimit, SBban) は標準再生産関係から推定したもの。β=0.8 を仮定。

## 補足資料 2B 低加入シナリオを考慮した HCR の選択について

補足資料 2A では、可能性のある様々な低加入シナリオを検討し、 $\beta=0.8$  の HCR を用いたときの将来予測・漁獲量の比較をおこなった。その結果、 $\beta=0.8$  の HCR を使った場合の 2020 年の平均漁獲量は 3 千トン（アリー効果再生産モデル、補足図 2-4）から 10 千トン（標準再生産関係、表 5）と広い範囲にわたり、また、目標水準までの 50%回復年も 2025 年（標準再生産関係（表 2）および 2 ブロックリサンプリング（補足図 2-5））から 2032 年（バックワード・リサンプリング、補足図 2-4）と異なった。これより、再生産関係の仮定によって HCR 適用時の将来の管理のパフォーマンスが大きく変わること、また、もし低加入シナリオが真である場合には、標準再生産関係を使った ABC 算定は ABC を過大評価し、乱獲を招く恐れがあることが示された。一方で、どの再生産関係が真であるかを判断する科学的に妥当な証拠は未だ揃っていない。

そこで、補足資料 2A で検討した 3 つの再生産モデルを管理戦略評価 (Management Strategy Evaluation, MSE, Punt et al. 2001) の中のシナリオと位置づけ、簡易的な MSE を実施した。この MSE における漁獲シナリオは以下のとおりである。

- ① 毎年資源評価を行う
- ② 標準再生産関係をもとに将来予測を実施し、2 年後の平均漁獲量を ABC とする
- ③ ②で推定された ABC で漁獲をおこなう

一方、真の個体群動態は補足資料 2B で検討した 3 つの低加入シナリオを想定した（補足図 2-7）。ABC 算定自体は標準再生産関係を用いながらも、真の再生産関係が低加入シナリオであるような場合においても頑健な  $\beta$  を選択すれば、近年見られた低加入傾向が今後も続く場合のリスクを回避することができる。また、本 MSE は「簡易」MSE であり、通常の MSE で考慮されるような資源評価の不確実性、再生産関係以外の ABC 算定の不確実性（将来予測 1 年目の漁獲の仮定）は考慮していない。また、漁獲率の上限は 80% とした（資源量の 8 割を超える ABC が設定されていたとしても資源量の 8 割までしか漁獲できない）。この割合を変化させた感度分析の結果、この仮定は MSE の結果にほとんど影響ないことが確認された。

### (1) MSE 導入（加入量予測の誤差の考慮）の効果

補足図 2-8 は ABC 算定に用いる再生産関係と真の再生産関係は同じと仮定した場合の MSE の結果を通常の将来予測の結果と比較したものである。MSE で将来予測した場合、真の再生産関係を用いたとしても、2 年後の ABC は確率的な将来予測における漁獲量の分布の平均値を用いるため、想定した F どおりに漁獲することはできない。そのため、通常の将来予測の結果と比べ、MSE の場合には将来の F の削減率は一定でなく変動し、その結果、親魚量や資源量の変動の幅が大きくなった。親魚量や漁獲量の期待値は通常の将来予測とほぼ同じだったが、SBtarget への 50%回復年は 2027 年となった。一方で、MSE 将来予測の場合には親魚量の変動の幅が広がるため、2030 年以降に平衡状態となったときでも  $SB < SB_{limit}$  となる確率が 5~10%程度見られ（通常の将来予測では 0%）、 $SB_{limit}$  を下回るリスクが大きくなることも示された。

## (2) 3つの低加入シナリオの比較

標準再生産関係を仮定した将来予測と低加入シナリオが真だと仮定した場合の将来予測を比較すると、2ブロック・リサンプリング（補足図 2-9 (b)）、アリー効果シナリオ（補足図 2-9 (c)）、バックワード・リサンプリング（補足図 2-9 (a)）の順に資源の回復が遅くなった。特に、バックワード・リサンプリングの場合には、 $\beta$ を 0.8 とした HCR のもとでの漁獲では 50%の確率で SBtarget まで回復する年が 2038 年となり、10 年以内の回復は達成できなかった。

## (3) $\beta$ を変えた HCR の検討

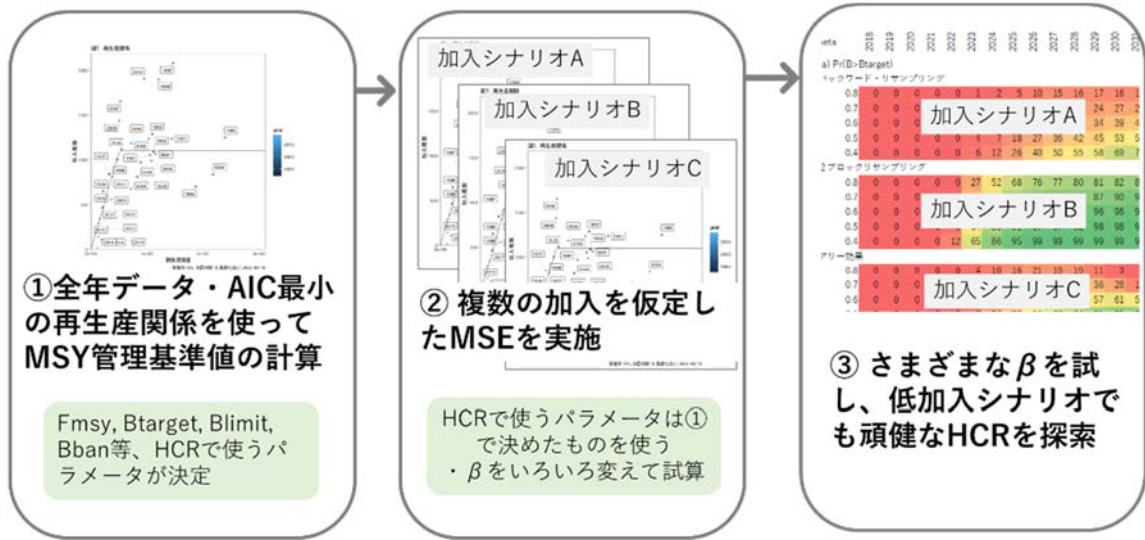
それぞれのシナリオについて  $\beta$ を変えた MSE を実施し、低加入シナリオでも頑健な  $\beta$ を探索した（補足表 2-1）。その結果、 $\beta=0.5$ であれば最も悲観的なバックワード・リサンプリングシナリオでもほぼ 10 年程度で SBtarget まで回復し、その後の資源も安定的に維持されることが示された。

## (4) 考察

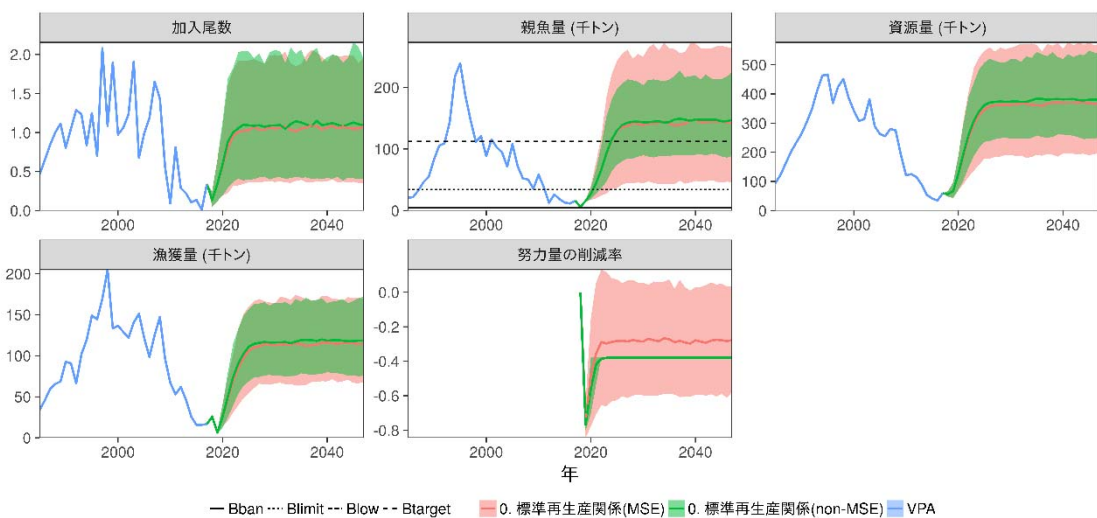
加入量の予測誤差による管理の実行誤差を考慮したより現実的な状況を想定した MSE においては、通常の将来予測に比べて、真の再生産関係がわかっている場合でも将来の親魚量・資源量の変動は大きくなり、また、低加入を仮定したバックワード・リサンプリングでは標準再生産関係が真の場合と比較して、資源の回復年数も遅くなった。これは 2 年後の将来予測結果をもとに 2 年後の漁獲量を決定しているため、偶然 2 年続けて悪い加入がおこると将来の ABC を過大評価してしまい、資源を急激に減少させてしまうためである。このような ABC の過大評価は、特に不確実性が高い（ABC 算定時点ではまだ未加入の）0-1 歳の漁獲量を予測しなければいけない必要性から生じている。1 歳以下への選択率を下げ、将来予測における ABC 算定の不確実性を減らすことができれば、このような管理の実行誤差を最小限に抑えることができる（補足図 2-10）。

## 引用文献

Punt, A.E., A.D.M. Smith, G. Cui. (2001) Review of progress in the introduction of management strategy evaluation (MSE) approaches in Australia's South East Fishery. Marine and Freshwater Research, 52, 719-726

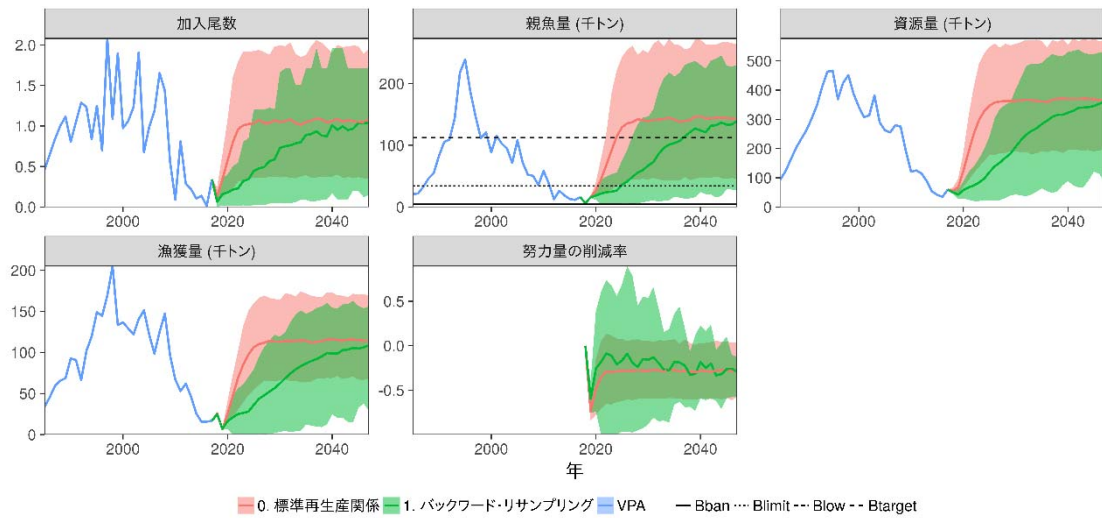


補足図 2-7. 簡易 MSE の概念図



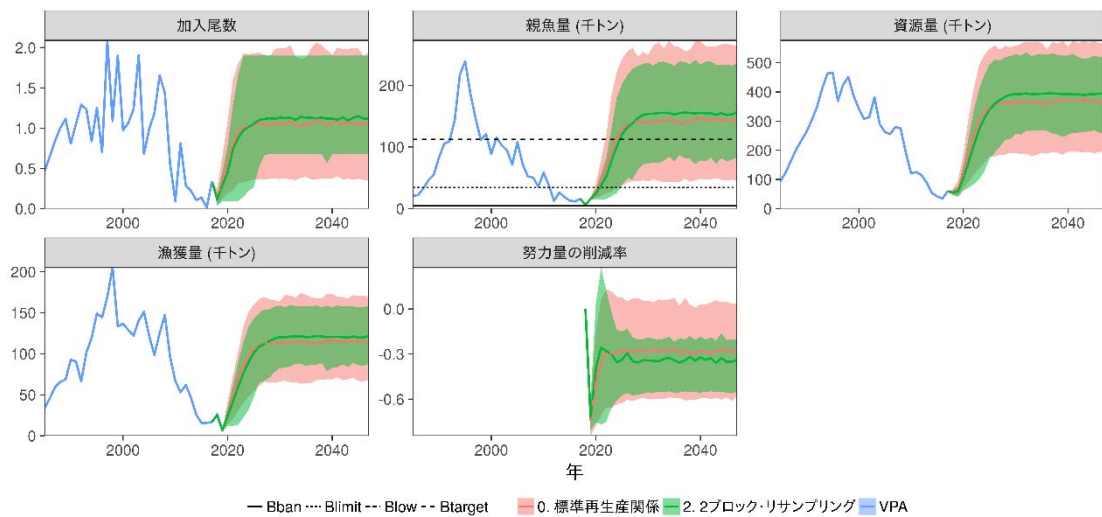
補足図 2-8. ABC 算定で用いる再生産関係と真の再生産関係が同じと仮定した MSE の結果（標準再生産関係（MSE））と、MSE でない通常の将来予測（標準再生産関係（non-MSE））との比較（ $\beta=0.8$ ）。

(a)バックワード・リサンプリング

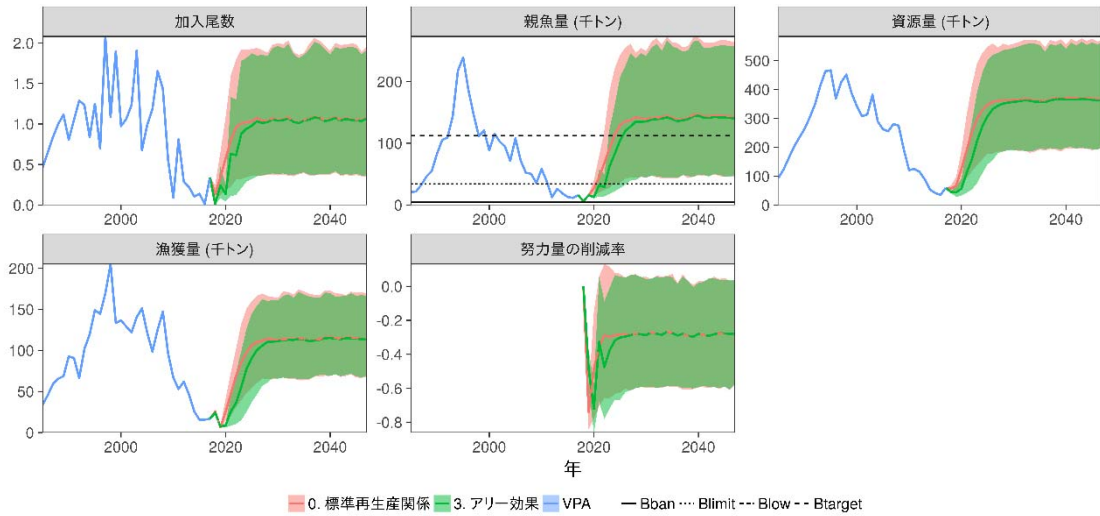


補足図 2-9. 標準再生産関係を仮定した将来予測における ABC と  $\beta=0.8$  の HCR を使って管理をする一方、真の再生産関係は低加入シナリオ (a)バックワード・リサンプリングだった場合の将来予測の比較。

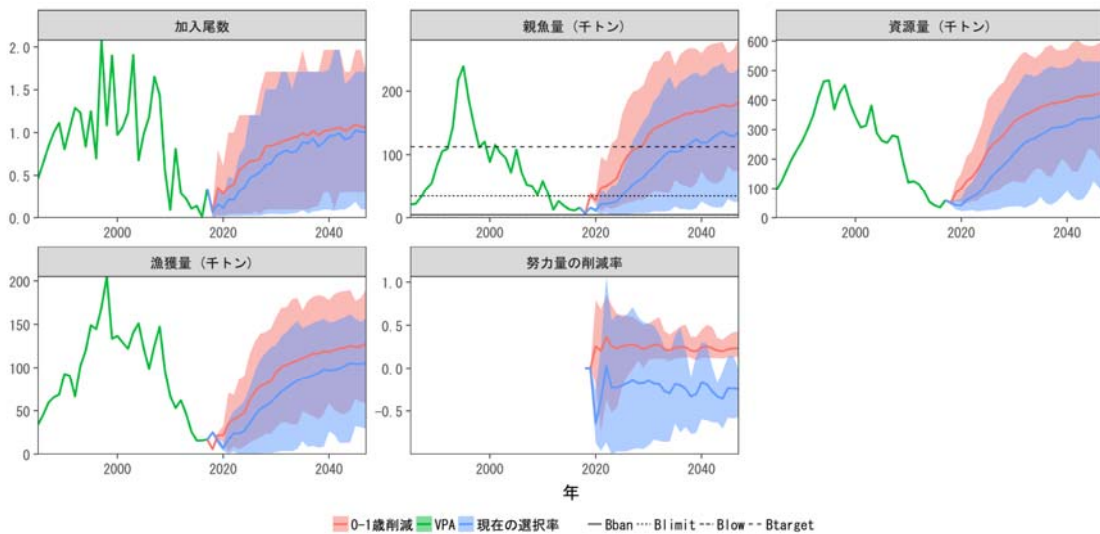
(b) 2ブロック・リサンプリング



(c)アリー効果



補足図 2-9. 標準再生産関係を仮定した将来予測における ABC と  $\beta=0.8$  の HCR を使って管理をする一方、真の再生産関係は低加入シナリオ。(b)2 ブロックリ・サンプリング、(c) アリー効果) だった場合の将来予測の比較。



バックワードリサンプリング

補足図 2-10. 若齢魚への選択率を小さくした場合のバックワードリサンプリングの MSE の結果。青は現在の選択率、 $\beta=0.8$  の HCR での MSE の結果、赤は  $F_{current}$  の 0-1 歳を 0.05 に下げ、他の年齢の F を 1.5 倍にしたときの結果。

補足表 2-1. 様々な  $\beta$  と加入シナリオにおける将来の親魚量が SBtarget, SBlimit, SBban 以上になる確率

シナリオの列の 1: 加入の間違いなし (通常加入)、2: バックワード・リサンプリング、3: 2 ブロック・リサンプリング、4: アリー効果、1-4 : 1-4 のシナリオの平均。

(a) 将来の親魚量が Starget を上回る確率 (%)

| シナリオ | $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2035 | 2036 | 2037 | 2038 | 2039 | 2040 |
|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1    | 1       | 0    | 0    | 0    | 2    | 4    | 15   | 21   | 29   | 32   | 35   | 34   | 32   | 33   | 33   | 35   | 36   | 36   | 35   | 36   | 38   | 37   | 36   | 33   |
| 1    | 0.9     | 0    | 0    | 0    | 2    | 4    | 18   | 26   | 35   | 40   | 44   | 42   | 42   | 41   | 41   | 43   | 43   | 44   | 43   | 44   | 46   | 46   | 44   | 44   |
| 1    | 0.8     | 0    | 0    | 0    | 2    | 5    | 22   | 32   | 42   | 49   | 53   | 52   | 53   | 54   | 52   | 54   | 52   | 56   | 54   | 55   | 55   | 57   | 56   | 55   |
| 1    | 0.7     | 0    | 0    | 0    | 2    | 6    | 28   | 40   | 51   | 59   | 65   | 65   | 65   | 67   | 65   | 64   | 64   | 66   | 69   | 68   | 68   | 68   | 68   | 68   |
| 1    | 0.6     | 0    | 0    | 0    | 2    | 7    | 33   | 50   | 63   | 71   | 77   | 78   | 78   | 79   | 80   | 79   | 77   | 78   | 82   | 81   | 79   | 80   | 81   | 80   |
| 1    | 0.5     | 0    | 0    | 0    | 2    | 9    | 39   | 60   | 75   | 83   | 87   | 89   | 91   | 90   | 91   | 91   | 89   | 89   | 92   | 92   | 90   | 90   | 91   | 91   |
| 1    | 0.4     | 0    | 0    | 0    | 3    | 11   | 45   | 71   | 87   | 92   | 95   | 97   | 97   | 98   | 97   | 98   | 97   | 98   | 98   | 98   | 98   | 97   | 97   | 98   |
| 2    | 1       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 5    | 7    | 11   | 13   | 16   | 23   | 28   | 32   | 27   | 28   | 32   | 38   | 42   | 34   |
| 2    | 0.9     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 3    | 8    | 12   | 16   | 19   | 23   | 29   | 36   | 37   | 35   | 35   | 41   | 48   | 51   | 43   |
| 2    | 0.8     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2    | 5    | 12   | 17   | 22   | 25   | 29   | 36   | 42   | 44   | 42   | 43   | 49   | 55   | 59   | 51   |
| 2    | 0.7     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 3    | 9    | 18   | 24   | 28   | 31   | 36   | 43   | 47   | 51   | 51   | 53   | 57   | 60   | 64   | 60   |
| 2    | 0.6     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 5    | 14   | 25   | 31   | 36   | 40   | 46   | 51   | 54   | 57   | 62   | 61   | 64   | 65   | 69   | 70   |
| 2    | 0.5     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 10   | 23   | 34   | 39   | 44   | 52   | 55   | 60   | 62   | 63   | 71   | 73   | 72   | 72   | 74   | 80   |
| 2    | 0.4     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2    | 5    | 17   | 33   | 45   | 53   | 55   | 66   | 68   | 71   | 70   | 72   | 81   | 84   | 83   | 80   | 80   | 88   |
| 3    | 1       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3    | 11   | 22   | 29   | 34   | 38   | 41   | 42   | 45   | 48   | 48   | 48   | 49   | 50   | 49   | 49   | 50   | 50   |
| 3    | 0.9     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 7    | 19   | 31   | 39   | 49   | 52   | 57   | 60   | 60   | 61   | 63   | 63   | 66   | 65   | 63   | 65   | 65   | 65   |
| 3    | 0.8     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 8    | 29   | 44   | 55   | 64   | 68   | 72   | 73   | 74   | 76   | 77   | 78   | 77   | 78   | 76   | 76   | 76   | 76   |
| 3    | 0.7     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 16   | 41   | 56   | 68   | 75   | 80   | 82   | 85   | 86   | 87   | 87   | 87   | 87   | 88   | 88   | 87   | 89   | 88   |
| 3    | 0.6     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 24   | 51   | 70   | 81   | 86   | 90   | 92   | 93   | 93   | 94   | 95   | 94   | 93   | 93   | 94   | 94   | 93   | 94   |
| 3    | 0.5     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 33   | 64   | 79   | 88   | 92   | 94   | 95   | 97   | 97   | 97   | 98   | 98   | 97   | 97   | 97   | 97   | 98   | 97   |
| 3    | 0.4     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 43   | 73   | 87   | 94   | 97   | 98   | 99   | 99   | 100  | 99   | 99   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 99   |
| 4    | 1       | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 10   | 10   | 19   | 23   | 27   | 30   | 30   | 31   | 31   | 33   | 34   | 35   | 34   | 36   | 37   | 35   | 35   | 33   |
| 4    | 0.9     | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 11   | 13   | 24   | 30   | 36   | 38   | 37   | 40   | 39   | 41   | 42   | 43   | 42   | 45   | 45   | 45   | 44   | 45   |
| 4    | 0.8     | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 12   | 17   | 30   | 37   | 45   | 46   | 50   | 52   | 51   | 52   | 51   | 55   | 54   | 55   | 55   | 56   | 55   | 55   |
| 4    | 0.7     | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 14   | 20   | 37   | 47   | 57   | 61   | 62   | 64   | 65   | 64   | 63   | 66   | 68   | 68   | 68   | 68   | 68   | 68   |
| 4    | 0.6     | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 16   | 26   | 46   | 60   | 70   | 74   | 75   | 77   | 79   | 78   | 77   | 78   | 81   | 81   | 80   | 80   | 80   | 80   |
| 4    | 0.5     | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 18   | 35   | 57   | 73   | 82   | 86   | 89   | 89   | 91   | 90   | 90   | 89   | 92   | 92   | 90   | 90   | 92   | 91   |
| 4    | 0.4     | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 22   | 44   | 69   | 84   | 92   | 95   | 96   | 98   | 97   | 98   | 97   | 98   | 98   | 99   | 98   | 98   | 97   | 98   |
| 1-4  | 1       | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 7    | 11   | 18   | 22   | 25   | 27   | 29   | 30   | 31   | 35   | 37   | 38   | 36   | 38   | 39   | 40   | 41   | 38   |
| 1-4  | 0.9     | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 9    | 15   | 23   | 28   | 34   | 36   | 38   | 40   | 41   | 44   | 46   | 47   | 46   | 48   | 49   | 51   | 51   | 49   |
| 1-4  | 0.8     | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 11   | 20   | 30   | 37   | 44   | 46   | 49   | 51   | 52   | 55   | 56   | 58   | 57   | 58   | 59   | 61   | 62   | 59   |
| 1-4  | 0.7     | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 15   | 26   | 37   | 46   | 54   | 58   | 59   | 62   | 63   | 65   | 65   | 68   | 69   | 69   | 70   | 71   | 72   | 71   |
| 1-4  | 0.6     | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 18   | 32   | 46   | 57   | 65   | 68   | 70   | 72   | 75   | 76   | 76   | 77   | 80   | 79   | 79   | 80   | 81   | 81   |
| 1-4  | 0.5     | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 23   | 40   | 55   | 67   | 74   | 77   | 80   | 82   | 84   | 85   | 85   | 85   | 88   | 89   | 87   | 87   | 89   | 90   |
| 1-4  | 0.4     | 0    | 0    | 0    | 1    | 3    | 28   | 48   | 65   | 76   | 82   | 86   | 87   | 90   | 91   | 92   | 91   | 92   | 94   | 95   | 95   | 94   | 94   | 96   |

(b) 将来の親魚量が SBlimit を上回る確率 (%)

| シナリオ | $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2035 | 2036 | 2037 | 2038 | 2039 | 2040 |
|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1    | 1       | 0    | 0    | 0    | 47   | 59   | 69   | 79   | 80   | 82   | 85   | 84   | 84   | 84   | 84   | 82   | 84   | 86   | 84   | 84   | 84   | 84   | 84   | 84   |
| 1    | 0.9     | 0    | 0    | 0    | 50   | 64   | 75   | 83   | 86   | 86   | 89   | 90   | 89   | 89   | 90   | 90   | 88   | 88   | 91   | 90   | 90   | 89   | 89   | 91   |
| 1    | 0.8     | 0    | 0    | 0    | 52   | 69   | 80   | 87   | 91   | 91   | 94   | 94   | 95   | 93   | 94   | 94   | 93   | 94   | 95   | 95   | 94   | 94   | 95   | 95   |
| 1    | 0.7     | 0    | 0    | 0    | 55   | 74   | 85   | 91   | 95   | 95   | 97   | 98   | 97   | 98   | 97   | 97   | 97   | 98   | 98   | 98   | 98   | 97   | 98   | 98   |
| 1    | 0.6     | 0    | 0    | 0    | 57   | 80   | 91   | 95   | 98   | 98   | 99   | 99   | 99   | 100  | 99   | 99   | 99   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 99   | 99   |
| 1    | 0.5     | 0    | 0    | 0    | 59   | 85   | 95   | 98   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 1    | 0.4     | 0    | 0    | 0    | 62   | 88   | 97   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 2    | 1       | 0    | 0    | 0    | 21   | 11   | 17   | 16   | 34   | 42   | 45   | 46   | 48   | 57   | 57   | 61   | 61   | 64   | 71   | 70   | 72   | 72   | 74   | 76   |
| 2    | 0.9     | 0    | 0    | 0    | 21   | 14   | 18   | 19   | 37   | 45   | 49   | 49   | 52   | 61   | 61   | 64   | 65   | 66   | 76   | 74   | 74   | 74   | 76   | 80   |
| 2    | 0.8     | 0    | 0    | 0    | 21   | 16   | 18   | 22   | 41   | 49   | 52   | 54   | 57   | 66   | 67   | 67   | 68   | 69   | 79   | 77   | 77   | 77   | 78   | 85   |
| 2    | 0.7     | 0    | 0    | 0    | 21   | 19   | 21   | 27   | 45   | 53   | 57   | 59   | 61   | 73   | 73   | 73   | 73   | 74   | 84   | 83   | 81   | 80   | 81   | 89   |
| 2    | 0.6     | 0    | 0    | 0    | 21   | 24   | 26   | 36   | 53   | 61   | 63   | 67   | 68   | 78   | 80   | 80   | 78   | 80   | 87   | 88   | 87   | 85   | 86   | 92   |
| 2    | 0.5     | 0    | 0    | 0    | 21   | 29   | 34   | 47   | 63   | 70   | 71   | 76   | 76   | 84   | 87   | 86   | 85   | 86   | 92   | 92   | 92   | 90   | 91   | 95   |
| 2    | 0.4     | 0    | 0    | 0    | 21   | 33   | 45   | 57   | 72   | 80   | 82   | 86   | 86   | 90   | 93   | 93   | 93   | 92   | 95   | 96   | 96   | 94   | 96   | 98   |
| 3    | 1       | 0    | 0    | 0    | 60   | 60   | 68   | 74   | 79   | 82   | 86   | 87   | 90   | 91   | 91   | 91   | 93   | 92   | 92   | 94   | 92   | 94   | 94   | 92   |
| 3    | 0.9     | 0    | 0    | 0    | 62   | 66   | 71   | 79   | 84   | 87   | 89   | 91   | 92   | 94   | 94   | 95   | 95   | 95   | 95   | 96   | 95   | 95   | 97   | 95   |
| 3    | 0.8     | 0    | 0    | 0    | 63   | 70   | 75   | 83   | 88   | 91   | 93   | 95   | 96   | 97   | 97   | 96   | 97   | 98   | 97   | 98   | 96   | 97   | 97   | 97   |
| 3    | 0.7     | 0    | 0    | 0    | 64   | 75   | 79   | 87   | 92   | 94   | 96   | 97   | 97   | 98   | 99   | 99   | 99   | 99   | 99   | 99   | 99   | 99   | 99   | 99   |
| 3    | 0.6     | 0    | 0    | 0    | 65   | 80   | 83   | 94   | 96   | 97   | 98   | 99   | 100  | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 3    | 0.5     | 0    | 0    | 0    | 66   | 83   | 86   | 94   | 96   | 97   | 99   | 99   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 3    | 0.4     | 0    | 0    | 0    | 67   | 86   | 91   | 96   | 99   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 4    | 1       | 0    | 0    | 0    | 27   | 7    | 58   | 48   | 68   | 71   | 77   | 78   | 80   | 80   | 81   | 82   | 80   | 83   | 84   | 82   | 84   | 82   | 82   | 84   |
| 4    | 0.9     | 0    | 0    | 0    | 29   | 8    | 61   | 56   | 74   | 78   | 84   | 85   | 87   | 87   | 88   | 89   | 87   | 88   | 90   | 90   | 89   | 88   | 89   | 90   |
| 4    | 0.8     | 0    | 0    | 0    | 29   | 10   | 65   | 64   | 80   | 84   | 89   | 92   | 93   | 92   | 93   | 93   | 92   | 93   | 95   | 95   | 94   | 93   | 95   | 95   |
| 4    | 0.7     | 0    | 0    | 0    | 29   | 13   | 68   | 73   | 86   | 91   | 95   | 96   | 96   | 97   | 96   | 97   | 97   | 98   | 98   | 98   | 98   | 98   | 98   | 98   |
| 4    | 0.6     | 0    | 0    | 0    | 30   | 17   | 72   | 81   | 92   | 95   | 98   | 99   | 99   | 100  | 99   | 99   | 99   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 99   |
| 4    | 0.5     | 0    | 0    | 0    | 31   | 21   | 77   | 87   | 95   | 98   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 4    | 0.4     | 0    | 0    | 0    | 32   | 26   | 82   | 92   | 98   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 1-4  | 1       | 0    | 0    | 0    | 39   | 34   | 53   | 54   | 65   | 69   | 73   | 74   | 76   | 78   | 78   | 80   | 79   | 81   | 83   | 83   | 83   | 83   | 84   | 84   |
| 1-4  | 0.9     | 0    | 0    | 0    | 41   | 38   | 56   | 59   | 70   | 74   | 78   | 79   | 80   | 83   | 83   | 85   | 84   | 84   | 88   | 88   | 87   | 87   | 88   | 89   |
| 1-4  | 0.8     | 0    | 0    | 0    | 41   | 41   | 60   | 64   | 75   | 79   | 82   | 84   | 85   | 87   | 88   | 88   | 88   | 89   | 92   | 91   | 90   | 90   | 91   | 93   |
| 1-4  | 0.7     | 0    | 0    | 0    | 42   | 45   | 63   | 70   | 80   | 83   | 86   | 88   | 88   | 92   | 91   | 92   | 92   | 92   | 95   | 95   | 94   | 94   | 94   | 96   |
| 1-4  | 0.6     | 0    | 0    | 0    | 43   | 50   | 68   | 77   | 85   | 88   | 90   | 91   | 92   | 94   | 95   | 95   | 94   | 95   | 97   | 97   | 97   | 96   | 96   | 98   |
| 1-4  | 0.5     | 0    | 0    | 0    | 44   | 55   | 73   | 82   | 88   | 91   | 92   | 94   | 94   | 96   | 97   | 97   | 96   | 97   | 98   | 98   | 98   | 98   | 98   | 99   |
| 1-4  | 0.4     | 0    | 0    | 0    | 46   | 58   | 79   | 86   | 92   | 95   | 96   | 97   | 97   | 98   | 98   | 98   | 98   | 98   | 99   | 99   | 99   | 99   | 99   | 100  |



補足表 2-2. 様々な  $\beta$  と加入シナリオにおける将来の漁獲量の平均値（千トン）。シナリオの番号は補足表 1-1 と同じ。

| シナリオ | $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2035 | 2036 | 2037 | 2038 | 2039 | 2040 |
|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1    | 1       | 26   | 22   | 12   | 39   | 64   | 78   | 90   | 99   | 101  | 106  | 106  | 105  | 106  | 105  | 108  | 106  | 107  | 109  | 108  | 108  | 108  | 108  | 106  |
| 1    | 0.9     | 26   | 22   | 11   | 37   | 63   | 78   | 91   | 101  | 105  | 109  | 110  | 109  | 109  | 110  | 111  | 110  | 111  | 113  | 113  | 113  | 112  | 112  | 110  |
| 1    | 0.8     | 26   | 22   | 10   | 35   | 61   | 77   | 92   | 102  | 107  | 111  | 112  | 112  | 112  | 112  | 114  | 113  | 114  | 115  | 116  | 116  | 115  | 115  | 113  |
| 1    | 0.7     | 26   | 22   | 9    | 32   | 58   | 76   | 91   | 102  | 108  | 112  | 113  | 113  | 113  | 113  | 115  | 114  | 115  | 116  | 117  | 117  | 116  | 116  | 114  |
| 1    | 0.6     | 26   | 22   | 8    | 29   | 55   | 73   | 88   | 100  | 106  | 110  | 112  | 111  | 112  | 112  | 114  | 113  | 114  | 115  | 116  | 116  | 115  | 115  | 113  |
| 1    | 0.5     | 26   | 22   | 6    | 26   | 50   | 68   | 84   | 95   | 102  | 106  | 108  | 108  | 108  | 108  | 110  | 109  | 110  | 111  | 112  | 111  | 111  | 111  | 109  |
| 1    | 0.4     | 26   | 22   | 5    | 22   | 43   | 60   | 76   | 88   | 95   | 99   | 101  | 101  | 101  | 102  | 103  | 102  | 103  | 104  | 105  | 105  | 104  | 104  | 103  |
| 2    | 1       | 25   | 15   | 8    | 19   | 22   | 22   | 24   | 33   | 42   | 48   | 50   | 54   | 61   | 67   | 72   | 77   | 81   | 82   | 84   | 88   | 92   | 97   | 92   |
| 2    | 0.9     | 25   | 15   | 8    | 18   | 23   | 23   | 25   | 34   | 43   | 50   | 53   | 57   | 64   | 69   | 74   | 79   | 83   | 85   | 87   | 89   | 93   | 97   | 95   |
| 2    | 0.8     | 25   | 15   | 7    | 17   | 24   | 24   | 27   | 36   | 45   | 52   | 56   | 60   | 66   | 72   | 76   | 81   | 85   | 87   | 89   | 91   | 94   | 98   | 97   |
| 2    | 0.7     | 25   | 15   | 6    | 16   | 24   | 25   | 28   | 37   | 46   | 54   | 58   | 62   | 68   | 75   | 79   | 82   | 86   | 89   | 91   | 93   | 95   | 98   | 98   |
| 2    | 0.6     | 25   | 15   | 5    | 14   | 24   | 26   | 30   | 38   | 48   | 55   | 60   | 63   | 70   | 77   | 81   | 84   | 87   | 90   | 92   | 94   | 95   | 98   | 98   |
| 2    | 0.5     | 25   | 15   | 4    | 13   | 23   | 26   | 31   | 39   | 49   | 56   | 61   | 65   | 71   | 78   | 82   | 84   | 87   | 89   | 92   | 94   | 95   | 97   | 98   |
| 2    | 0.4     | 25   | 15   | 4    | 11   | 22   | 26   | 31   | 39   | 49   | 56   | 61   | 65   | 70   | 76   | 80   | 82   | 85   | 87   | 89   | 91   | 92   | 93   | 94   |
| 3    | 1       | 25   | 20   | 11   | 36   | 57   | 67   | 77   | 88   | 97   | 103  | 106  | 110  | 112  | 113  | 114  | 116  | 117  | 118  | 118  | 117  | 117  | 119  | 118  |
| 3    | 0.9     | 25   | 20   | 10   | 34   | 56   | 68   | 80   | 91   | 100  | 106  | 110  | 113  | 116  | 117  | 118  | 119  | 119  | 120  | 120  | 120  | 119  | 121  | 120  |
| 3    | 0.8     | 25   | 20   | 9    | 32   | 55   | 67   | 81   | 93   | 102  | 109  | 113  | 116  | 117  | 119  | 120  | 121  | 121  | 121  | 121  | 121  | 120  | 121  | 121  |
| 3    | 0.7     | 25   | 20   | 8    | 29   | 53   | 66   | 81   | 94   | 103  | 110  | 113  | 116  | 117  | 118  | 120  | 121  | 121  | 121  | 121  | 120  | 120  | 121  | 121  |
| 3    | 0.6     | 25   | 20   | 7    | 26   | 50   | 64   | 81   | 94   | 104  | 110  | 114  | 116  | 116  | 117  | 118  | 119  | 119  | 119  | 118  | 118  | 118  | 119  | 119  |
| 3    | 0.5     | 25   | 20   | 6    | 23   | 45   | 60   | 77   | 90   | 99   | 106  | 110  | 112  | 112  | 113  | 114  | 114  | 114  | 115  | 114  | 114  | 114  | 115  | 115  |
| 3    | 0.4     | 25   | 20   | 5    | 19   | 40   | 54   | 70   | 84   | 93   | 100  | 103  | 105  | 106  | 106  | 107  | 107  | 107  | 107  | 107  | 107  | 107  | 108  | 108  |
| 4    | 1       | 24   | 13   | 5    | 26   | 25   | 51   | 63   | 75   | 86   | 93   | 97   | 99   | 101  | 101  | 104  | 102  | 104  | 106  | 105  | 106  | 106  | 105  | 104  |
| 4    | 0.9     | 24   | 13   | 5    | 24   | 26   | 50   | 67   | 78   | 90   | 98   | 101  | 104  | 105  | 106  | 109  | 108  | 109  | 110  | 111  | 111  | 111  | 110  | 108  |
| 4    | 0.8     | 24   | 13   | 4    | 22   | 26   | 49   | 69   | 81   | 93   | 101  | 105  | 107  | 109  | 110  | 112  | 111  | 112  | 113  | 115  | 115  | 114  | 114  | 112  |
| 4    | 0.7     | 24   | 13   | 4    | 20   | 27   | 48   | 69   | 83   | 95   | 103  | 107  | 109  | 110  | 111  | 113  | 113  | 113  | 115  | 116  | 116  | 115  | 115  | 113  |
| 4    | 0.6     | 24   | 13   | 3    | 18   | 26   | 46   | 68   | 83   | 95   | 103  | 107  | 108  | 110  | 110  | 112  | 112  | 112  | 114  | 114  | 114  | 114  | 114  | 112  |
| 4    | 0.5     | 24   | 13   | 3    | 16   | 25   | 43   | 65   | 80   | 92   | 100  | 104  | 105  | 106  | 107  | 109  | 108  | 109  | 110  | 111  | 110  | 110  | 110  | 109  |
| 4    | 0.4     | 24   | 13   | 2    | 13   | 23   | 39   | 60   | 74   | 85   | 93   | 97   | 99   | 100  | 100  | 102  | 102  | 102  | 103  | 104  | 104  | 103  | 103  | 102  |

### 補足資料3 リッカー型再生産曲線 (RI) に基づいた将来予測と管理基準値

1985年から2017年のデータに基づく再生産関係において、観測範囲内に密度効果のあるリッカー型再生産曲線 (RI、補足図 3-1) も AICc は HS 型再生産曲線に次いで低かった (補足図 1-1)。そのため、最適化方法は最小絶対値法とし、RI の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。ここで、目標管理基準値には標準値である MSY 水準における親魚量 (SBmsy)、限界管理基準値には MSY の 60% の漁獲が得られる親魚量 (SB0.6msy)、禁漁水準には 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は下表に示す。

| 管理基準値            | 親魚量     | 基準       |
|------------------|---------|----------|
| 目標管理基準値 SBtarget | 136 千トン | SBmsy    |
| 限界管理基準値 SBlimit  | 39 千トン  | SB0.6msy |
| 禁漁水準 SBban       | 4 千トン   | SB0.1msy |

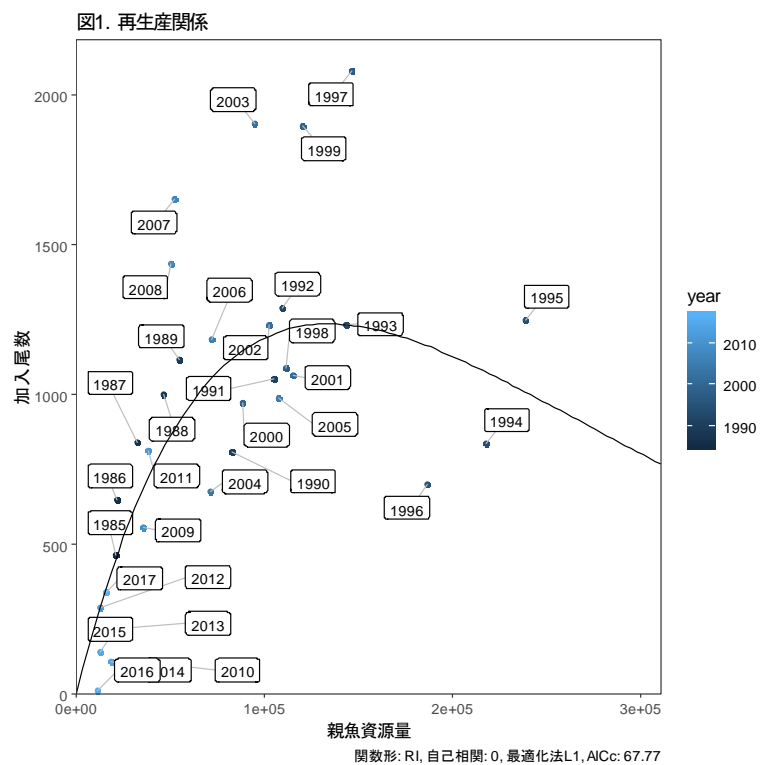
本系群における各基準値は補足表 3-1 に示す。ここで、SBmsy は全年の HS 再生産関係を用いて算出した目標管理基準値 (112 千トン) を上回る値となった。

上表の目標管理基準値を用いた神戸プロットを補足図 3-2 に示す。本系群における漁獲率は常に MSY を与える水準を越えおり、また現状の親魚量は目標管理基準値を大きく下回っていると判断される。目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準を用いた漁獲管理規則における親魚量と漁獲係数の関係は補足図 3-3 に示す。

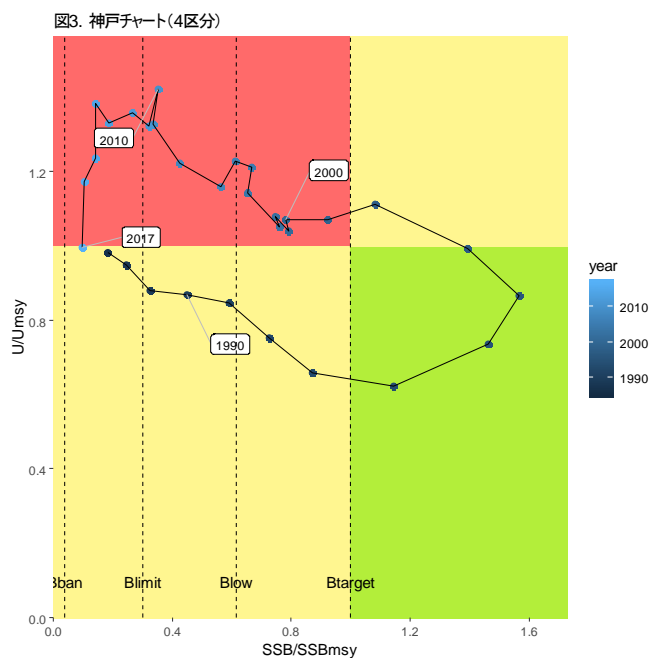
目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準に上表で示した値を用い、 $\beta$  にも標準値である 0.8 を用いた場合の資源量、親魚量、漁獲量、加入量、および努力量の削減率の推移を補足図 3-4 に示す。漁獲の制御は 2020 年から開始し、2018 年および 2019 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧で漁獲することとした。2020 年の漁獲量は約 8 千トンである。また 80% 信頼区間の幅は広い。

将来予測において  $\beta$  を 0~1 の間で変えた場合の、目標管理基準値へ回復した確率、限界管理基準値へ回復した確率、平均親魚量の推移、平均漁獲量の推移を補足表 3-2~3-5 にそれぞれ示す。 $\beta$  が高いほど親魚量は少なく、漁獲量は多くなる。 $\beta$  を 0.8 とした場合、SBtarget への回復確率は 2026 年に 50% を超える。親魚量は 2020 年まで SBlimit (39 千トン) を下回るが、その後は回復し、SBtarget (136 千トン) を超えるのは 2026 年である。

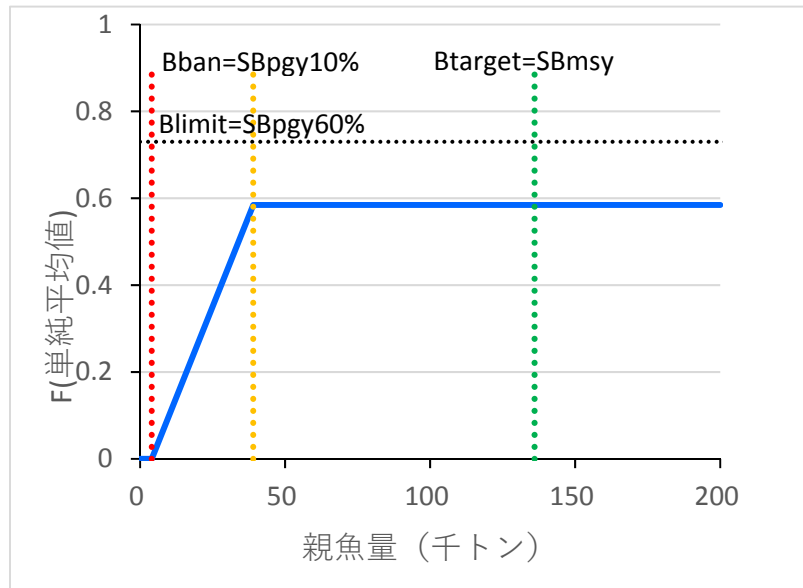
この場合におけるプロファイル尤度の変化は a、b 共に大きく (補足図 3-5)、モデルに対する残差の正規性 (補足図 3-6) では、HS を使用した場合とほぼ変わらなかった。残差の経年的なトレンド (補足図 3-7) では、残差は 2010 年以降明瞭な低下傾向が見られ、特に 2010、2016 年に大きく負に偏っていた。ジャックナイフ解析においても推定値は概ね安定しており各データの除去に対して比較的頑健であると考えられる (補足図 3-8、3-9)。



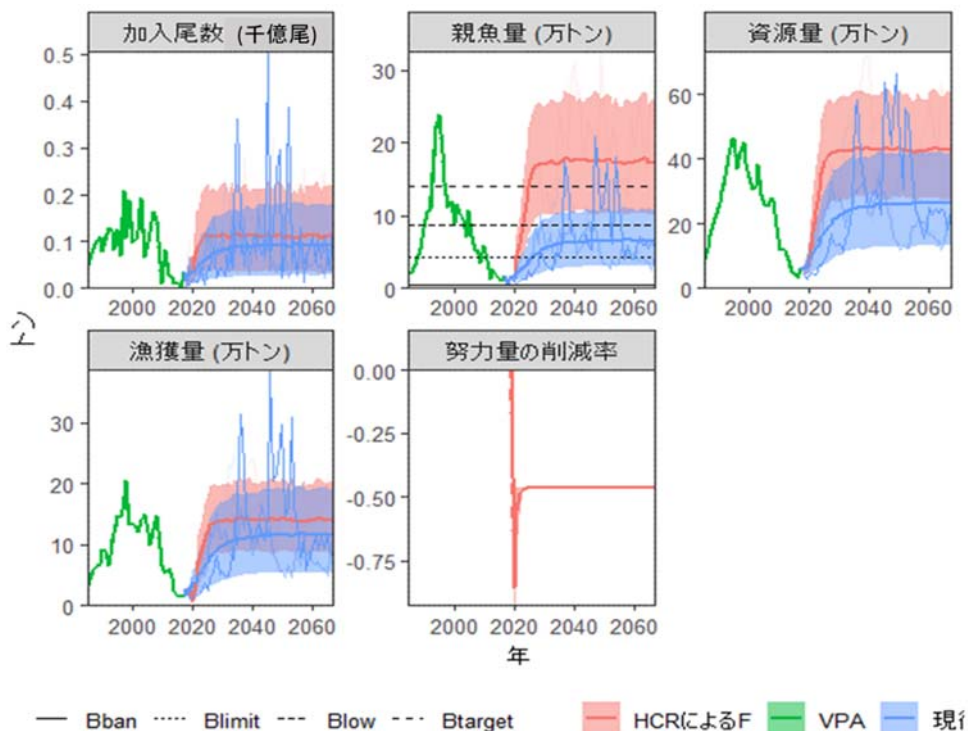
補足図 3-1. 1985～2017 年の再生産関係 図中の数字は年級群を示す。再生産曲線にはリッカー型 (RI) を用い、自己相関は考慮しない最小絶対値法によりパラメータ推定を行った。



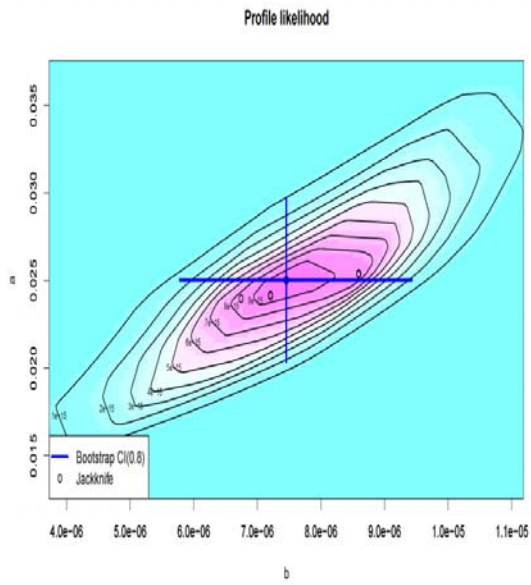
補足図 3-2. 1985～2017 年のデータに RI 型再生産関係を当てはめた場合の神戸プロット (4 区分)。管理基準値 S<sub>target</sub>、S<sub>limit</sub>、S<sub>ban</sub> にはそれぞれ S<sub>Bmsy</sub>、S<sub>B0.6msy</sub>、S<sub>B0.1msy</sub> を用いた。



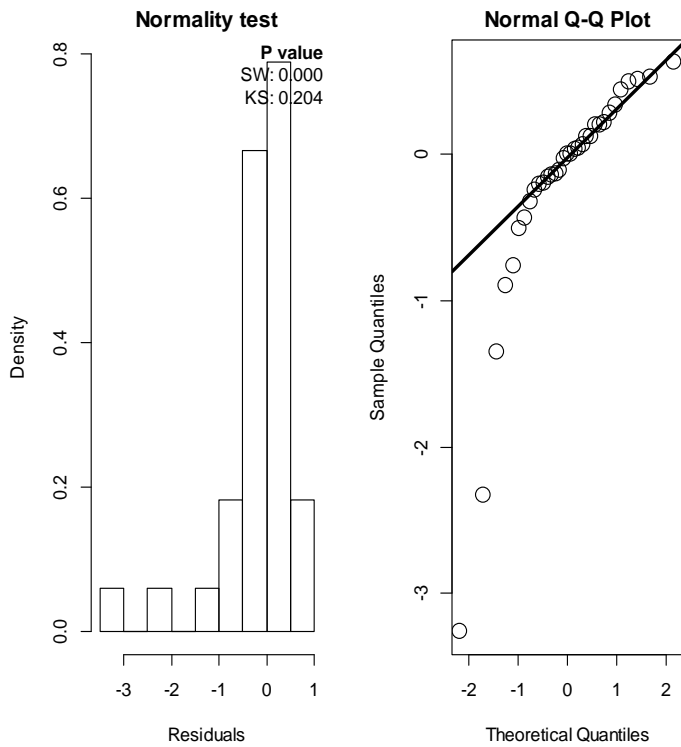
補足図 3-3. 1985～2017 年のデータに RI 型再生産関係を当てはめた場合の漁獲管理規則  
 図中の Btarget、Blimit、および Bban は、それぞれ親魚量に対する管理基準値  
 SBtarget、SBlimit、SBban を示す。これらにはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、  
 SB0.1msy を用い、 $\beta$ には標準値である 0.8 を用いた。



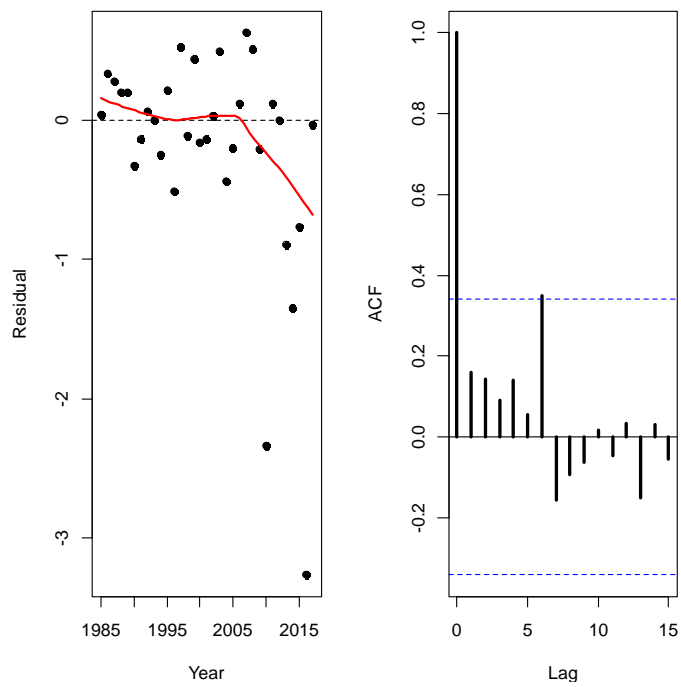
補足図 3-4. 漁獲管理規則による将来予測の平均値（実線）と 90%信頼区間 管理基準値  
 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用  
 い、 $\beta$ には標準値である 0.8 を用いた。



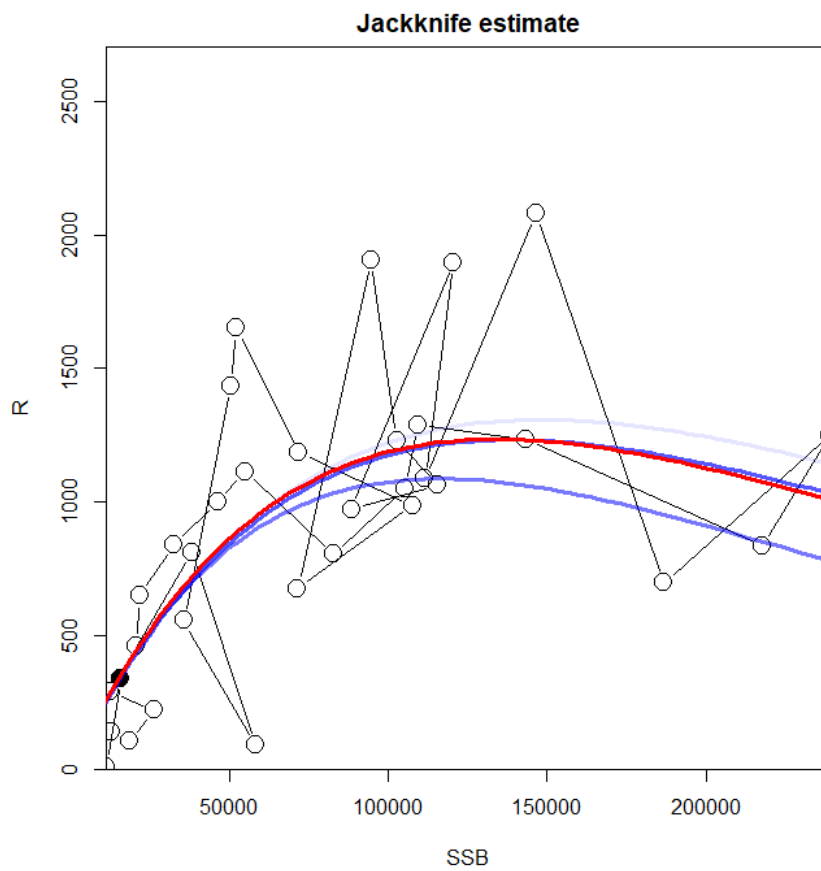
補足図 3-5. RI 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度 残差ブートストラップにおける 80%信頼区間（青線）とジャックナイフ解析における推定値（○）を併せて示した。



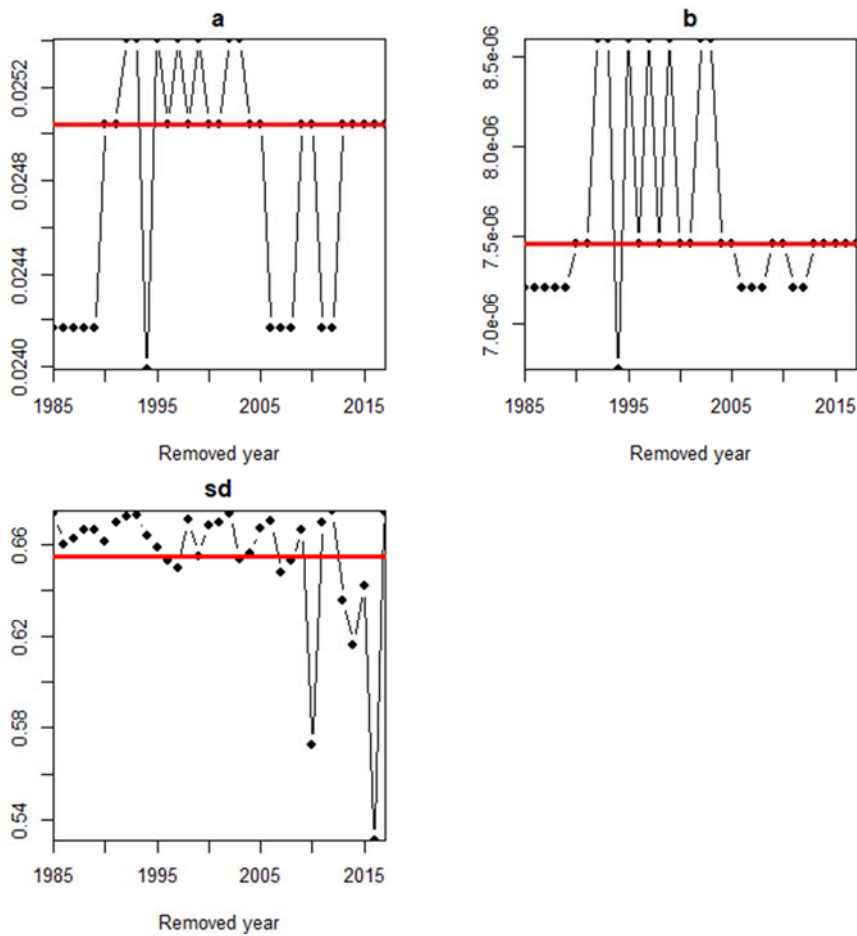
補足図 3-6. 残差分布の正規性テスト結果（左）と QQ プロット（右）  
残差分布の図の上の数値は Shapiro- Wilk 検定および Klomogorov- Smirnov 検定の結果である。



補足図 3-7. 残差のトレンド (左) と自己相関係数 (右)



補足図 3-8. 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。黒丸は 2017 年を示す。



補足図 3-9. 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)、残差標準偏差 (sd) 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. 1985~2017 年のデータに RI 型再生産関係を当てはめて算出した各種管理基準値と、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  | 漁獲量    | 漁獲率  | 努力量の乗数 |
|----------|-------------------|--------|--------|------|--------|
| Btarget0 | <b>SBmsy</b>      | 136000 | 130000 | 0.33 | 0.69   |
| Btarget1 | <b>SB0-20%</b>    | 79000  | 110000 | 0.39 | 0.94   |
| Btarget2 | <b>SB 0.95msy</b> | 98000  | 120000 | 0.37 | 0.85   |
| Blow0    | <b>SB 0.90msy</b> | 83000  | 110000 | 0.39 | 0.92   |
| Blimit1  | <b>64000 t</b>    | 64000  | 100000 | 0.4  | 1.01   |
| Blimit0  | <b>SB 0.60msy</b> | 39000  | 80000  | 0.43 | 1.15   |
| Bban0    | <b>SB 0.10msy</b> | 4000   | 10000  | 0.47 | 1.44   |

補足表 3-2. 1985～2017 年の RI 型再生産関係を用いた場合の将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

| $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1       | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 5    | 11   | 20   | 27   | 33   | 36   | 38   | 40   |
| 0.9     | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 6    | 17   | 28   | 39   | 47   | 51   | 52   | 53   |
| 0.8     | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 10   | 24   | 40   | 53   | 61   | 66   | 65   | 66   |
| 0.7     | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 14   | 33   | 53   | 68   | 76   | 79   | 79   | 79   |
| 0.6     | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 19   | 44   | 66   | 80   | 87   | 89   | 89   | 89   |
| 0.5     | 0    | 0    | 0    | 1    | 4    | 26   | 56   | 79   | 90   | 94   | 95   | 95   | 95   |
| 0.4     | 0    | 0    | 0    | 1    | 5    | 32   | 67   | 88   | 96   | 98   | 99   | 98   | 98   |
| 0.3     | 0    | 0    | 0    | 1    | 7    | 41   | 78   | 94   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.2     | 0    | 0    | 0    | 1    | 9    | 50   | 86   | 98   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.1     | 0    | 0    | 0    | 1    | 12   | 60   | 92   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0       | 0    | 0    | 0    | 1    | 15   | 68   | 95   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、2018 年および 2019 年は現状の漁獲圧で漁獲するものとした。

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 (%)

| $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1       | 0    | 0    | 0    | 45   | 66   | 87   | 95   | 98   | 99   | 99   | 100  | 100  | 100  |
| 0.9     | 0    | 0    | 0    | 47   | 72   | 91   | 97   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.8     | 0    | 0    | 0    | 49   | 78   | 94   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.7     | 0    | 0    | 0    | 51   | 82   | 97   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.6     | 0    | 0    | 0    | 53   | 86   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.5     | 0    | 0    | 0    | 55   | 89   | 99   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.4     | 0    | 0    | 0    | 57   | 92   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.3     | 0    | 0    | 0    | 58   | 94   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.2     | 0    | 0    | 0    | 60   | 95   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0.1     | 0    | 0    | 0    | 61   | 97   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 0       | 0    | 0    | 0    | 63   | 97   | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、2018 年および 2019 年は現状の漁獲圧で漁獲するものとした。

補足表 3-4. 1985～2017 年の RI 型再生産関係を用いた場合の将来の親魚量の平均値の推移 (千トン)

| $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1       | 6    | 16   | 15   | 43   | 51   | 71   | 88   | 104  | 116  | 124  | 128  | 131  | 134  |
| 0.9     | 6    | 16   | 15   | 44   | 54   | 77   | 98   | 119  | 134  | 143  | 147  | 150  | 152  |
| 0.8     | 6    | 16   | 15   | 45   | 58   | 84   | 111  | 136  | 154  | 164  | 168  | 169  | 172  |
| 0.7     | 6    | 16   | 15   | 46   | 61   | 93   | 125  | 156  | 177  | 188  | 190  | 190  | 192  |
| 0.6     | 6    | 16   | 15   | 46   | 65   | 102  | 141  | 179  | 204  | 214  | 214  | 212  | 213  |
| 0.5     | 6    | 16   | 15   | 47   | 69   | 112  | 160  | 205  | 233  | 243  | 240  | 235  | 234  |
| 0.4     | 6    | 16   | 15   | 48   | 74   | 124  | 181  | 235  | 267  | 275  | 267  | 259  | 257  |
| 0.3     | 6    | 16   | 15   | 49   | 79   | 137  | 206  | 270  | 306  | 311  | 298  | 285  | 281  |
| 0.2     | 6    | 16   | 15   | 50   | 84   | 152  | 234  | 311  | 351  | 353  | 333  | 315  | 307  |
| 0.1     | 6    | 16   | 15   | 51   | 90   | 168  | 267  | 357  | 403  | 402  | 375  | 350  | 339  |
| 0       | 6    | 16   | 15   | 52   | 96   | 187  | 304  | 412  | 465  | 463  | 430  | 398  | 380  |

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、2018 年および 2019 年は現状の漁獲圧で漁獲するものとした。

補足表 3-5. 1985～2017 年の RI 型再生産関係を用いた場合の将来の漁獲量の平均値の推移 (千トン)

| $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1       | 26   | 23   | 10   | 38   | 63   | 78   | 94   | 105  | 113  | 117  | 120  | 123  | 123  |
| 0.9     | 26   | 23   | 9    | 36   | 61   | 77   | 94   | 106  | 114  | 118  | 121  | 122  | 122  |
| 0.8     | 26   | 23   | 8    | 33   | 58   | 74   | 93   | 105  | 113  | 117  | 119  | 120  | 119  |
| 0.7     | 26   | 23   | 7    | 30   | 54   | 71   | 90   | 103  | 110  | 113  | 114  | 115  | 114  |
| 0.6     | 26   | 23   | 6    | 27   | 50   | 67   | 86   | 98   | 105  | 107  | 107  | 107  | 106  |
| 0.5     | 26   | 23   | 5    | 24   | 45   | 61   | 80   | 92   | 98   | 99   | 98   | 97   | 96   |
| 0.4     | 26   | 23   | 4    | 20   | 38   | 54   | 71   | 82   | 87   | 87   | 86   | 84   | 84   |
| 0.3     | 26   | 23   | 3    | 16   | 31   | 45   | 59   | 69   | 73   | 73   | 70   | 69   | 68   |
| 0.2     | 26   | 23   | 2    | 11   | 22   | 33   | 44   | 52   | 55   | 54   | 52   | 50   | 49   |
| 0.1     | 26   | 23   | 1    | 6    | 12   | 18   | 25   | 29   | 31   | 31   | 29   | 28   | 27   |
| 0       | 26   | 23   | 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、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、2018 年および 2019 年は現状の漁獲圧で漁獲するものとした。

#### 補足資料 4 近年の基準に基づく再生産関係と将来予測

道総研から提供を受けている年齢別漁獲尾数のデータは 2004 年以降、耳石による年齢査定が行われており、それ以前の Age-length Key を用いた年齢分解とデータの質が異なると考えられる（道総研）。そのため、2004 年以降の再生産関係を用いた場合の試算結果を示す。2004 年以降の再生産関係を用いた場合において、観測範囲内に密度効果は認められないため（補足図 4-2）、再生産曲線としては HS を用いることとした（補足図 4-1）。ここで、目標管理基準値には標準値である MSY 水準における親魚量（SBmsy）、限界管理基準値には MSY の 60% の漁獲が得られる親魚量（SB0.6msy）、禁漁水準には 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は下表に示す。

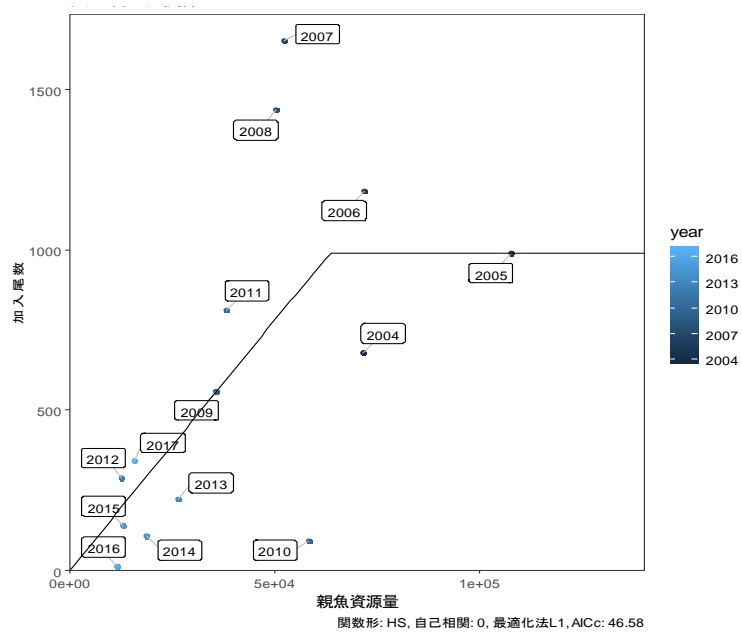
| 管理基準値            | 親魚量     | 基準       |
|------------------|---------|----------|
| 目標管理基準値 SBtarget | 160 千トン | SBmsy    |
| 限界管理基準値 SBlimit  | 50 千トン  | SB0.6msy |
| 禁漁水準 SBban       | 6 千トン   | SB0.1msy |

本系群における各基準値は補足表 4-1 に示す。ここで、SBmsy は全年の HS 再生産関係を用いて算出した目標管理基準値（112 千トン）を上回る値となったが、これは再生産曲線の傾きが緩やかになったことに起因していると考えられる。上表の目標管理基準値を用いた神戸プロットを補足図 4-3 に示す。本系群における漁獲率は常に MSY を与える水準を越えおり、また現状の親魚量は目標管理基準値を大きく下回っていると判断される。目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準を用いた漁獲管理規則における親魚量と漁獲係数の関係を足図 4-4 に示す。

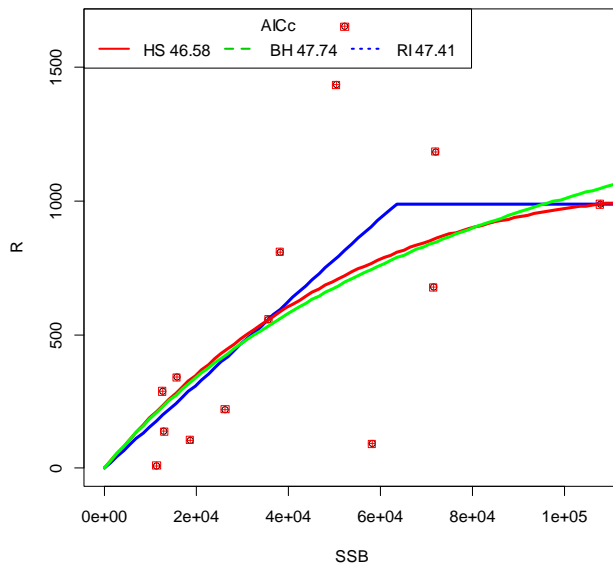
目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準に上表で示した値を用い、 $\beta$  にも標準値である 0.8 を用いた場合の資源量、親魚量、漁獲量、加入量、および努力量の削減率の推移を補足図 4-5 に示す。漁獲の制御は 2020 年から開始し、2018 年および 2019 年の漁獲量は現状の漁獲圧で漁獲することとした。2020 年の漁獲量は約 2 千トンである。また 80% 信頼区間の幅は広い。

将来予測において  $\beta$  を 0.5~1 の間で変えた場合の、目標管理基準値へ回復した確率、平均親魚量の推移、平均漁獲量の推移を補足表 4-2~4-4 にそれぞれ示す。全データでの結果と同様に  $\beta$  が高いほど親魚量は少なく、漁獲量は多くなる。 $\beta$  を 0.8 とした場合、SBtarget への回復確率は 2030 年に 50% を超える。親魚量は 2022 年まで SBlimit（51 千トン）を下回るが、その後は回復し、SBtarget（161 千トン）を超えるのは 2027 年である（補足図 4-5）。

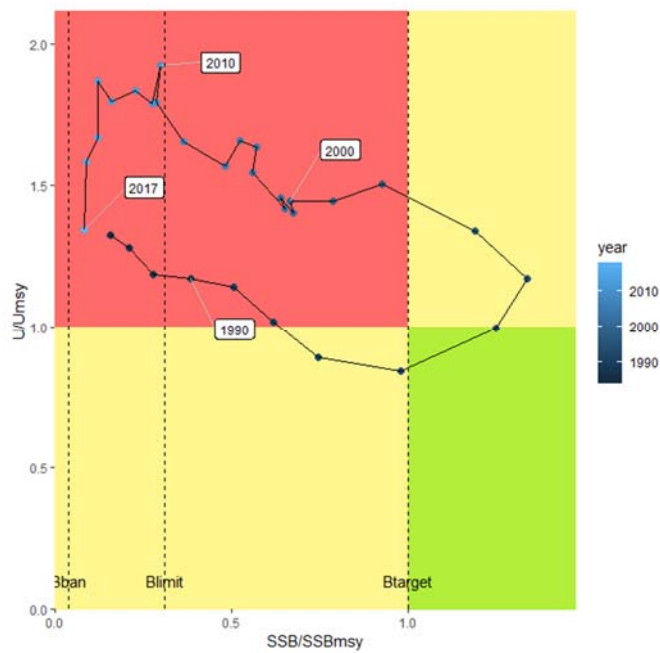
この場合におけるプロファイル尤度の変化は a、b 共に全年を使用した場合と比較して大きく（補足図 4-6）、モデルに対する残差の正規性（補足図 4-7）では、全年を使用した場合より逸脱は小さくなった。残差の経年的なトレンド（補足図 4-8）では、残差は 2010、2016 年に大きく負に偏っているものの、明確なパターンは認められない。ジャックナイフ解析においても推定値は概ね安定しており各データの除去に対して比較的頑健であると考えられる（補足図 4-9、4-10）。



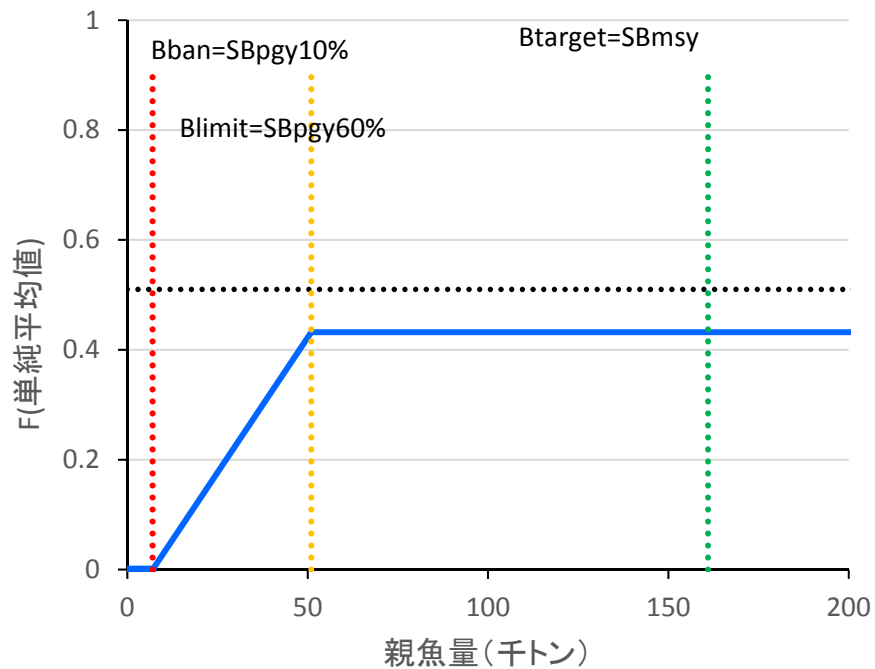
補足図 4-1. 2004 年級群以降の再生産関係 図中の数字は年級群を示す。再生産曲線にはホッカー・スティック型 (HS) を使い、自己相関は考慮しない最小二乗法よりパラメータ推定を行った。



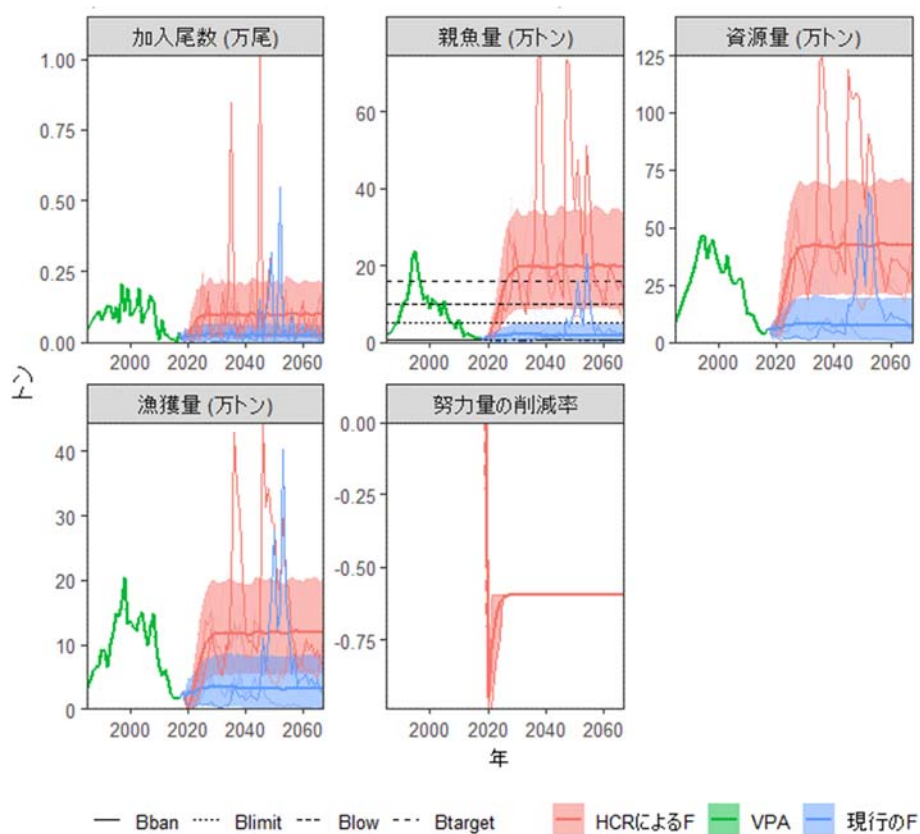
補足図 4-2. 各モデルにおける 2004 年以降の再生産曲線 赤線はホッカー・スティック型再生産曲線 (HS)、緑線はベバートン・ホルト型再生産曲線 (BH)、青線はリッカー型再生産曲線 (RI) での推定値をそれぞれ示す。図中上部の数値は補正赤池情報量基準 (AICc) の値である。



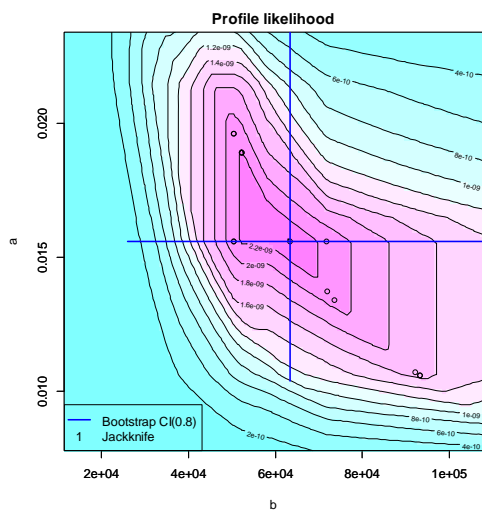
補足図 4-3. 2004 年以降の再生産関係を用いた場合の神戸プロット (4 区分) 管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用いた。



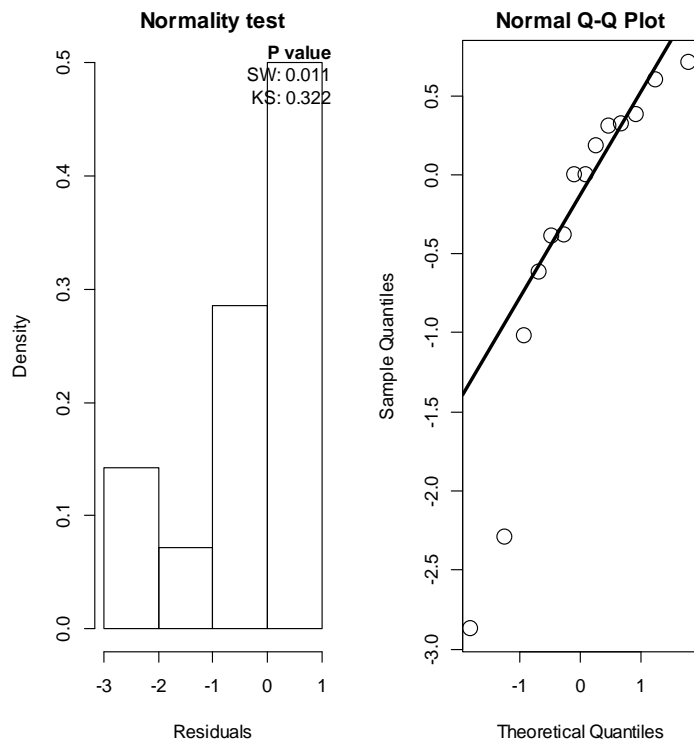
補足図 4-4. 2004 年以降の再生産関係を用いた場合の漁獲管理規則 図中の Btarget、Blimit、および Bban は、それぞれ親魚量に対する管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban を示す。これらにはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、 $\beta$  には標準値である 0.8 を用いた。



補足図 4-5. 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、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、 $\beta$  には標準値である 0.8 を用いた。

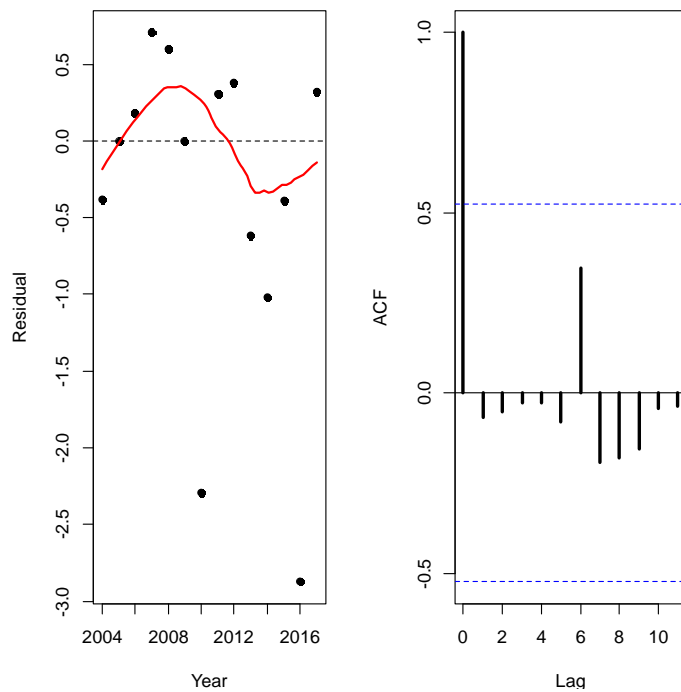


補足図 4-6. HS 曲線の推定パラメータに対するプロファイル尤度 残差ブートストラップにおける 80%信頼区間（青線）とジャックナイフ解析における推定値（○）を併せて示した。

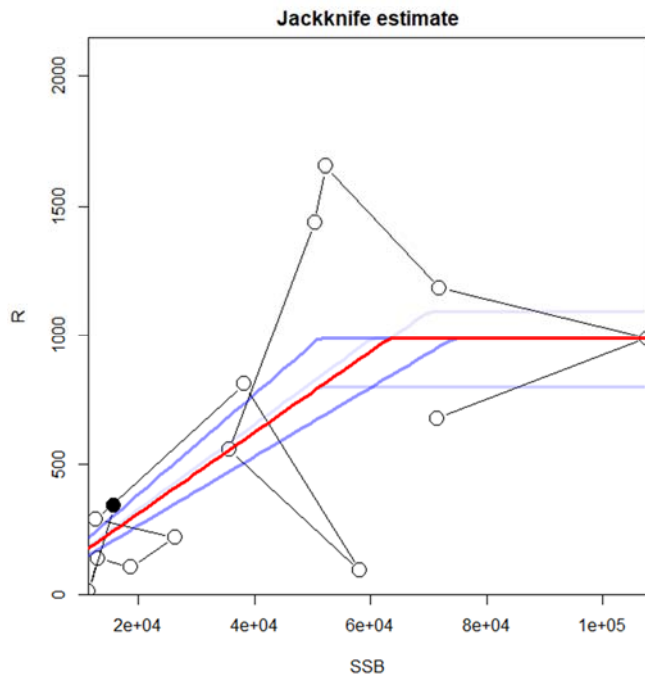


補足図 4-7. 残差分布の正規性テスト結果 (左) と QQ プロット (右)

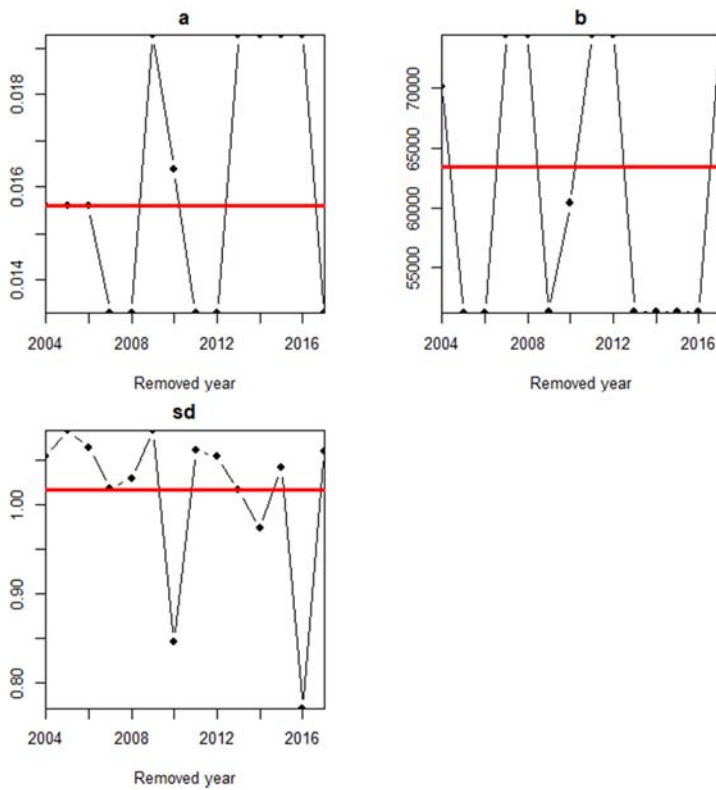
残差分布の図の左上の数値は Shapiro- Wilk 検定および Kolmogorov- Smirnov 検定の結果である



補足図 4-8. 残差のトレンド (左) と自己相関係数 (右)



補足図 4-9. 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。黒丸は 2017 年を示す。



補足図 4-10. 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)、残差標準偏差 (sd) 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 4-1. 2004 年以降の HS 型再生産関係を用いた各種管理基準値と、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  | 漁獲量    | 漁獲率  | 努力量の乗数 |
|----------|-------------------|--------|--------|------|--------|
| Btarget0 | <b>SBmsy</b>      | 160000 | 100000 | 0.28 | 0.5    |
| Btarget1 | <b>SB0-20%</b>    | 132000 | 100000 | 0.30 | 0.59   |
| Btarget2 | <b>SB 0.95msy</b> | 114000 | 100000 | 0.32 | 0.65   |
| Blow0    | <b>SB 0.90msy</b> | 98000  | 90000  | 0.34 | 0.70   |
| Blimit1  | <b>64000 t</b>    | 64000  | 70000  | 0.36 | 0.81   |
| Blimit0  | <b>SB 0.60msy</b> | 50000  | 60000  | 0.37 | 0.85   |
| Bban0    | <b>SB 0.10msy</b> | 6000   | 10000  | 0.42 | 1.05   |

補足表 4-2. 2004 年以降の HS 型再生産関係を用いた場合の将来の親魚量が目標管理基準値を上回る確率 (%)

| $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1       | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 5    | 11   | 18   | 24   | 28   | 31   | 33   | 34   |
| 0.9     | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 6    | 13   | 22   | 28   | 34   | 37   | 39   | 41   |
| 0.8     | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 7    | 15   | 25   | 33   | 41   | 43   | 46   | 50   |
| 0.7     | 0    | 0    | 0    | 1    | 3    | 8    | 18   | 29   | 39   | 48   | 52   | 55   | 58   |
| 0.6     | 0    | 0    | 0    | 1    | 3    | 10   | 21   | 33   | 45   | 55   | 61   | 64   | 67   |
| 0.5     | 0    | 0    | 0    | 1    | 3    | 11   | 24   | 39   | 52   | 62   | 69   | 73   | 76   |

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、2018 年および 2019 年は現状の漁獲圧で漁獲するものとした。

補足表 4-3. 2004 年以降の HS 型再生産関係を用いた場合の将来の親魚量の平均値の推移 (トン)

| $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1       | 6    | 16   | 13   | 35   | 47   | 68   | 90   | 112  | 129  | 141  | 146  | 152  | 157  |
| 0.9     | 6    | 16   | 13   | 36   | 48   | 71   | 96   | 122  | 142  | 156  | 163  | 170  | 175  |
| 0.8     | 6    | 16   | 13   | 36   | 50   | 75   | 103  | 133  | 157  | 173  | 181  | 190  | 196  |
| 0.7     | 6    | 16   | 13   | 36   | 51   | 79   | 111  | 145  | 174  | 193  | 203  | 212  | 220  |
| 0.6     | 6    | 16   | 13   | 36   | 53   | 83   | 119  | 159  | 192  | 215  | 228  | 239  | 247  |
| 0.5     | 6    | 16   | 13   | 37   | 55   | 88   | 129  | 175  | 214  | 241  | 256  | 270  | 280  |

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を用い、2018 年および 2019 年は現状の漁獲圧で漁獲するものとした。

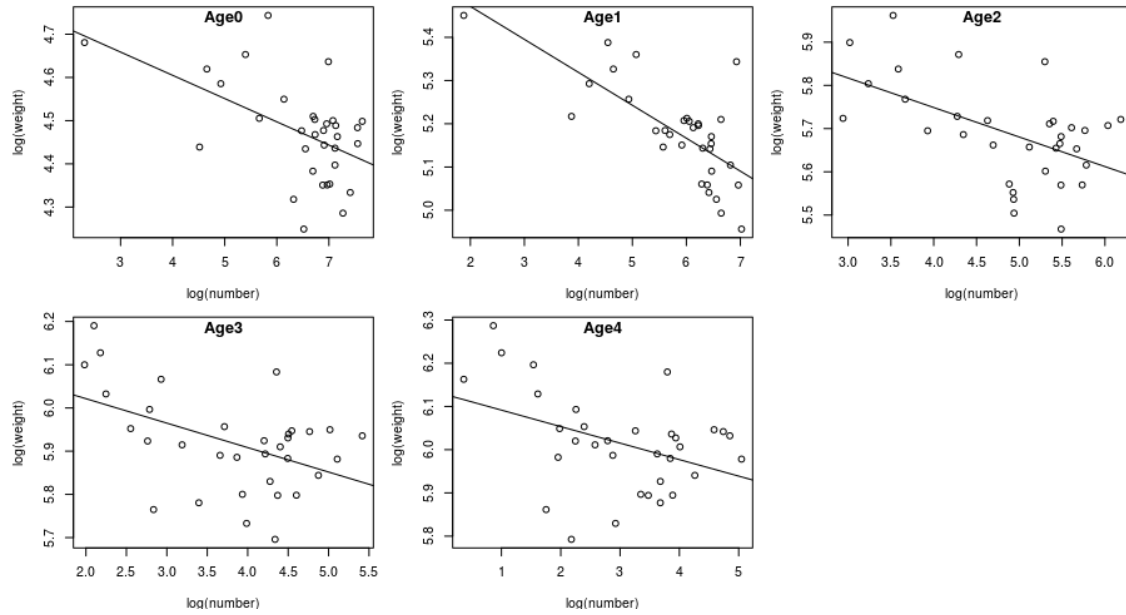
補足表 4-4. 2004 年以降の HS 型再生産関係を用いた場合の将来の漁獲量の平均値の推移  
(トン)

| $\beta$ | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1       | 25   | 18   | 3    | 16   | 32   | 47   | 64   | 76   | 85   | 90   | 95   | 97   | 97   |
| 0.9     | 25   | 18   | 3    | 15   | 30   | 45   | 62   | 75   | 83   | 89   | 94   | 96   | 97   |
| 0.8     | 25   | 18   | 2    | 13   | 28   | 43   | 59   | 72   | 81   | 87   | 92   | 94   | 95   |
| 0.7     | 25   | 18   | 2    | 12   | 26   | 40   | 56   | 69   | 78   | 84   | 89   | 92   | 92   |
| 0.6     | 25   | 18   | 2    | 11   | 24   | 37   | 52   | 64   | 74   | 80   | 84   | 87   | 88   |
| 0.5     | 25   | 18   | 2    | 9    | 21   | 33   | 47   | 59   | 68   | 74   | 79   | 81   | 82   |

管理基準値 SBtarget、SBlimit、SBban にはそれぞれ SBmsy、SB0.6msy、SB0.1msy を使い、  
2018 年および 2019 年は現状の漁獲圧で漁獲するものとした。

## 補足資料 5. 将来予測計算における年齢別体重の仮定

本系群では資源尾数と年齢別体重のあいだに負の相関関係が見られる（補足図 5）。そこで、管理基準値計算や将来予測計算では、年齢別体重に対する資源尾数の回帰式から算出した年齢別体重の予測値に観察された誤差を足したものをを用いた。



## 補足資料 6 検討に供した再生産関係式

管理基準値の算出および将来予測計算に使用する再生産関係として、ホッケー・スティック型再生産関係 (HS ; Barrowman and Myers 2000)、ベバートン・ホルト型再生産関係 (BH ; Beverton and Holt 1957) およびリッカー型再生産関係 (RI ; Ricker 1954) を検討の候補とした。また、補足資料 2A では低加入シナリオとしてアリー効果を加えた BH も検討に加えた。それぞれの再生産関係式の数式は以下の通りである ;

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

ここで  $R_y$  は  $y$  年の加入量、 $B_y$  は  $y$  年の親魚量である。アリー効果を加えない場合は、いずれの再生産関係式でも推定するパラメータは  $a$  および  $b$  の 2 つである。アリー効果を加える場合には、推定するパラメータは 3 つになる。再生産関係の検討の際には、推定された再生産曲線からの加入量の残差標準偏差 (s.d.) も併せて算出した。

### 引用文献

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