

# 平成 31 (2019) 年度スケトウダラ太平洋系群の 管理基準値等に関する研究機関会議報告書

担当水研：北海道区水産研究所

## 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。本系群の資源状態は、2 歳以上の資源量の推移から水準は中位、動向は横ばいと判断されている。本系群は、卓越年級群を含む豊度の高い年級群が発生する親魚量以上を維持することで持続的な利用が図られてきたが、近年 10 年間は卓越年級群の発生が見られていない。本系群の再生産関係式として、資源評価により推定された 1981～2014 年漁期の親魚量と加入量の情報に対するホッケー・スティック型再生産関係 (HS) の適用を提案する。HS 再生産関係のパラメータ推定方法には最小二乗法を使用する。目標管理基準値として、再生産関係に基づき算出される SBmsy (220 千トン) を、限界管理基準値として、これまで Blimit として使用してきた親魚量の最小観測値 SBmin (151 千トン) を提案する。禁漁水準として、10 年間で適切な水準まで回復させることが可能な親魚量の閾値をシミュレーションにより検討した結果を提案する。目標管理基準値 (SBmsy) を達成する漁獲圧は、現状の漁獲圧 (Fcurrent : 2013～2017 年漁期の平均の漁獲係数) の 2.32 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 (補足資料 6) として、ホッケー・スティック型再生産関係 (HS)、リッカー型再生産関係 (RI)、およびベバートン・ホルト型再生産関係 (BH) を仮定した場合について検討した。最適化方法として、最小二乗法および最小絶対値法を候補とした。なお、データとしては資源評価で推定された 1981～2014 年漁期の加入量および親魚量を用いた。加入量に仮定値を与える 2015～2017 年漁期の情報は使用しなかった。再生産関係の検討候補を下表に示す。

再生産関係式	最適化法	自己相関	AICc	$\Delta AICc$	$\Delta AICc$ の 順位	S.D.	データ数
ホッケー・スティック型	最小二乗法	無	60.34	8.09	3	0.532	34
リッカー型	最小二乗法	無	52.25	0	1	0.472	34
ベバートン・ホルト型	最小二乗法	無	60.34	8.09	3	0.532	34

ホッケー・スティック型	最小絶対値法	無	61.79	9.54	4	0.584	34
リッカー型	最小絶対値法	無	55.92	3.67	2	0.536	34
ベバートン・ホルト型	最小絶対値法	無	61.79	9.54	4	0.584	34

※ 候補として推奨する再生産関係を太字とした

本系群では、歴史的に親魚量が低水準の際の加入量の低下を捉えた情報が無く、BH型再生産関係では、親魚量が少ない場合の加入量の“傾き（スティーブネス）”を適切に推定できない（補足資料1）。HS型再生産関係では観測された最小親魚量に折れ点が推定され、それよりも親魚量が少ない場合には直線的に加入量も減少すると仮定される。RI型再生産関係では、親魚量が多く加入量が少ない2010～2014年漁期の5年間のデータで曲線の形が決まり、親魚量が少ない場合の加入量はHS型再生産関係の場合よりも多い曲線になる。使用する最適化方法として最小二乗法と最小絶対値法とで比較しても、結果に大きな差はない（補足資料1）。なお、補正赤池情報量基準（AICc）を比較するとRI型を当てはめた場合のほうがHS型およびBH型を当てはめた場合よりも低く、また、最小二乗法を用いた場合の方が最小絶対値法を用いた場合よりも低くなる。他魚種・系群では、残差に自己相関を考慮したモデルの使用も考えられているが、本系群の場合はHS型・RI型再生産関係を最小二乗法および最小絶対値法を用いて当てはめた場合のいずれでも残差に自己相関がみられず、再生産関係の検討に自己相関を積極的に考慮する必要は認められない（補足資料1）。

本系群では大型魚による小型魚の捕食（共食い）がみられるため（Yamamura 2004）、親魚量が多い場合に加入量が少なくなるRI型再生産関係が生物学的に起こり得ると考えられる。ただし、本系群で実際に親魚量が多く加入量が少なかった2010～2014年漁期は、代表的な捕食者であるソウハチ等も道南太平洋海域で高水準であり（北海道立総合研究機構 2019）、共食い以外の被食減耗や、その他の環境要因が同期間の加入量低下に影響した可能性にも留意が必要である。

本系群の再生産には、産卵場への親魚の来遊時期や卵仔魚の加入経路に、海洋環境の変化と関係した10年規模の変動が存在することが示唆されている（Shida et al. 2007, Shida et al. 2014）。そこで、再生産関係の検討にあたり、親魚量・加入量の情報から80年代・90年代を除いた場合の再生産関係式のパラメータ推定値への影響を感度試験として実施したが、これらの年代のデータを除いた影響は、HS型およびRI型の再生産関係の推定には軽微であった（補足資料2）。

### 1-3) 再生産関係の候補

前述の通り、本系群ではRI型再生産関係を仮定した場合には、HS型再生産関係を仮定した場合よりも、親魚量が少ない場合により高い加入量が予測される。親魚量が低水準の際の加入量の低下を捉えた観察データが無いところで、高い加入量を予測値として与えることは、将来予測に基づき適切な資源利用を図るうえではリスクとなる。そのため、本系群の再生産関係の候補としては、HS型再生産関係を提案する（図1）。再生産関係のパラメータ推定に使用するデータは、資源評価で推定された1981～2014年漁期の加入量および親魚量とし、

最適化方法としては最小二乗法を用いる。自己相関を考慮したモデルは用いない。

## 2. 管理基準値

### 2-1) データセットおよび計算方法

最大持続生産量（MSY）に対応する管理基準値の算出、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、資源評価で推定された 1981～2014 年漁期の加入量および親魚量に基づく HS 型再生産関係と、2013～2017 年漁期の年齢別 F 平均値（F<sub>current</sub>）、選択率、年齢別平均重量、成熟率、および自然死亡係数をシミュレーションの条件付けに用いた（下表）。

年齢	自然死亡 係数	成熟率	平均重量 (g)	選択率	現状の漁獲圧 (F <sub>current</sub> )
0	0.40	0.0	47	0.026	0.007
1	0.35	0.0	96	0.025	0.007
2	0.30	0.0	195	0.111	0.032
3	0.25	0.0	348	0.200	0.059
4	0.25	0.2	472	0.548	0.160
5	0.25	0.8	555	0.906	0.265
6	0.25	0.9	612	0.996	0.291
7	0.25	1.0	651	1.000	0.292
8+歳	0.25	1.0	696	1.000	0.292

本系群では、平均世代時間（8.46 年）の 20 倍の年数のシミュレーション期間後を平衡状態と仮定し、その際の平均漁獲量が最大化される F 値を F<sub>msy</sub>、その F<sub>msy</sub> で漁獲した場合の平衡状態での平均親魚量を SB<sub>msy</sub> とした。シミュレーションにおける加入量の計算方法として、再生産関係の確率分布（対数正規分布）の仮定に基づく方法と、加入量の残差をリサンプリングする必要が考えられるが、いずれの手法を用いても得られる結果にはほとんど差が生じないことから（補足資料 3）、本提案では確率分布を用いた加入量計算方法に基づく結果を示す。

### 2-2) 使用する再生産関係

MSY 管理基準値の算出に使用した再生産関係式は、最小二乗法で最適化した自己相関を考慮しないモデルによる HS 型再生産関係である。関係式のパラメータ（補足資料 6）の推定値を下表に、親魚量・加入量の観測値との関係を図 1 に示す。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.
ホッケー・スティック型	最小二乗法	無	12.455	150,944	0.532

ここで、a は HS の折れ点までの再生産曲線の傾き、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

目標管理基準値として MSY 水準における親魚量 (SB<sub>msy</sub>)、限界管理基準値として MSY の 60% の漁獲が得られる親魚量 (SB<sub>0.6msy</sub>)、禁漁水準として MSY の 10% の漁獲が得られる親魚量 (SB<sub>0.1msy</sub>) が標準値とされている。本系群では、目標管理基準値には標準値である SB<sub>msy</sub> を用いることを提案するが、限界管理基準値としては標準値である SB<sub>0.6msy</sub> では歴史的に観察されたことのある最低親魚量 (SB<sub>min</sub> : 151 千トン) を下回る外挿値となることから、限界管理基準値の代替値として上記 SB<sub>min</sub> を用いることを提案する。これは、これまで B<sub>limit</sub> として用いられてきた「豊度の高い年級群の発生が期待できる最低水準の親魚量 (1982 年級群が発生した親魚量 151 千トン)」と同じものであり、MSY の 90% の漁獲が得られる親魚量 (SB<sub>0.9msy</sub>) に近い (153 千トン)。

シミュレーションに基づくと、禁漁水準の標準値である SB<sub>0.1msy</sub> からでは、例え 10 年間禁漁したとしても目標管理基準値まで回復する確率が 50% を下回る (補足資料 4)。そのため、管理基準値候補に従い規定される漁獲管理規則での漁獲の下でも、10 年間で適切な水準まで 50% 以上の確率で回復する親魚量水準を代替の禁漁水準とすることを提案する。シミュレーションの結果に基づき、標準のチューニングパラメータ (安全係数) を使用した漁獲管理規則 ( $\beta=0.8$ 、後述) で漁獲を行った場合に、10 年間で目標管理基準値まで 50% 以上の確率で回復できる親魚量の閾値として、70 千トンを禁漁水準の代替値として推奨する。なお、10 年間で限界管理基準値の代替値 (SB<sub>min</sub>) まで回復できる閾値を禁漁水準の代替値とする場合には、30 千トンが候補になる。各水準における親魚量を下表に示す。

管理基準値	親魚量	基準
目標管理基準値 SB <sub>target</sub>	220 千トン	SB <sub>msy</sub>
限界管理基準値 SB <sub>limit</sub> (標準値)	91 千トン	SB <sub>0.6msy</sub>
限界管理基準値 SB <sub>limit</sub> (代替値)	151 千トン	SB <sub>min</sub>
禁漁水準 SB <sub>ban</sub> (標準値)	14 千トン	SB <sub>0.1msy</sub>
禁漁水準 SB <sub>ban</sub> (代替値候補 1)	70 千トン	10 年間で目標管理基準値へ 50% の確率で回復する閾値
禁漁水準 SB <sub>ban</sub> (代替値候補 2)	30 千トン	10 年間で限界管理基準値へ 50% の確率で回復する閾値

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 (SB<sub>0</sub>) 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。目標管理基準値として提案する SB<sub>msy</sub> は SB<sub>0</sub> の 19% に相当し、その親魚量において期待できる漁獲量の平均値 (MSY) は 176 千トンである。また、目標管理基準値に対応

する漁獲圧（MSY を与える漁獲圧）の、現状（2013～2017 年漁期）の漁獲圧に対する比（ $F_{msy}/F_{current}$ ）は 2.32 で、その時の漁獲率（ $U_{msy}$ ）は、18%である。なお、限界管理基準値として提案する SBmin は SB0 の 8%に相当する。SBmin に対応する漁獲圧の比は 2.91 で、その時の漁獲率は 20%である。SBmin にて期待できる漁獲量の平均値は 157 千トンであり MSY の 89%に相当する。禁漁水準の代替値として推奨する親魚量 70 千トンにて期待できる漁獲量の平均値は 83 千トン（MSY の 47%）であり、親魚量 30 千トンにて期待できる漁獲量の平均値は 37 千トン（MSY の 21%）である。様々に F 値を変えた場合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。ここでは、親魚量の資源水準が高いほど、平均的に漁獲される高齢魚の比率が高くなる傾向がみられる。

感度試験により、異なる年代の平均的な選択率を仮定した場合や、資源評価でのプラスグループを 8 歳から 10 歳に延長した場合に、算出される MSY 管理基準値に著しい変化は生じないことを確認している。ただし、資源評価での自然死亡係数の仮定を変更した場合には、資源量推定値の絶対値が大きく変化し、それに伴い管理基準値の算出にも多大な影響が生じる。資源評価の設定を大きく変更する場合には、管理基準値の設定についても見直しを行う必要がある（補足資料 2）。

#### 2-4) 目標管理基準値と漁獲割合

目標管理基準値 SBmsy と、その時の漁獲率  $U_{msy}$  もしくは漁獲圧  $F_{msy}$  を基準にした神戸プロットをそれぞれ図 4 に示す。本系群における漁獲率（U）は、2001 年漁期以降、2004 年漁期を除き MSY を与える水準を下回っていたと判断される。また、漁獲係数（F 値）を基準にすると 2001 年漁期以降 MSY を与える漁獲圧を下回っていたと判断される。現状の親魚量（2017 年漁期の親魚量）は目標管理基準値 SBmsy を上回っている。

#### 2-5) 漁獲管理規則

漁獲管理規則（HCR）は、限界管理基準値、および禁漁水準となる親魚量を閾値として、漁獲管理の基礎となる漁獲係数（F 値）を変えるルールであり、親魚量が限界管理基準値を下回ると禁漁水準まで直線的に漁獲圧を下げることを定めている。F 値の上限となる  $F_{msy}$  には安全係数となるチューニングパラメータ  $\beta$  を乗じる。限界管理基準値および禁漁水準に標準値を用いた場合（すなわち、 $SB_{limit}=SB0.6msy$ 、 $SB_{ban}=SB0.1msy$  の場合）の漁獲管理規則における親魚量と漁獲係数の関係を図 5-a に示す。また、今回提案する代替値を用いた場合の関係（すなわち、 $SB_{limit}=151$  千トン（SBmin）および  $SB_{ban}=70$  千トンの場合、もしくは  $SB_{ban}=30$  千トンの場合）を図 5-b および図 5-c に示す。なお、図に例示した漁獲管理規則は、いずれも  $\beta$  に標準値である 0.8 を用いている。

#### 2-7) 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

限界管理基準値・禁漁水準に標準値を用い、 $\beta$  を 0.8 とした漁獲管理規則（図 5-a）で将

来予測した場合の、資源量、親魚量、漁獲量、加入量、および努力量の増減率の推移を図 6-a に示す。また、今回提案する代替値を用いた漁獲管理規則（図 5-b および図 5-c）で将来予測した場合の結果を図 6-b および図 6-c に示す。なお今回の将来予測では、漁獲管理規則による漁獲制御は 2020 年漁期から開始し、2018 年漁期および 2019 年漁期の漁獲量は予測される資源量と最近年の漁獲圧（ $F_{current}$ ）から仮定した。

予測される 2020 年漁期の親魚量は目標管理基準値  $SB_{msy}$  を上回っているため、漁獲管理規則に従い、まず  $\beta F_{msy}$  での漁獲が行われる。 $\beta = 0.8$  の場合、 $\beta F_{msy}$  での漁獲圧は、現在の漁獲努力量を 86%増加させる漁獲圧に相当する。そのため、漁獲管理規則導入初年度には大きな漁獲量が予測される。これは短期的に親魚量を目標管理基準値以下へ低下させるリスクをもたらす。中長期的には、 $\beta F_{msy}$  での漁獲の継続により漁獲量は  $MSY$  水準へ、親魚量は  $SB_{msy}$  水準へ推移していくと予測される。この傾向は、限界管理基準値・禁漁水準に標準値を用いた場合と代替値を用いた場合とで、違いは見られない。

## (2) チューニングパラメータ $\beta$ を変えた場合

管理基準値として標準値もしくは代替値を用いた漁獲管理規則での将来予測について、それぞれ  $\beta$  を 0.0~1.0 の間で変えた場合の、親魚量が目標管理基準値を上回る確率、限界管理基準値を上回る確率、過去最低親魚量を上回る確率、親魚量平均値の推移、および漁獲量平均値の推移を表 2~6 に示した。限界管理基準値・禁漁水準に標準値と代替値のいずれを用いても、前述の通り、 $\beta$  が大きい場合には漁獲管理規則導入初年度の 2020 年漁期に大きな漁獲量が予測され（表 6）、2021 年漁期以降に親魚量が目標管理基準値を下回る確率が大きくなる（表 2）。例えば、 $\beta$  が 0.8 以上の場合、2022 年漁期に親魚量が目標管理基準値を下回る確率は 65%以上と推定され、親魚量減少のリスクが高い。このリスクを避けるため減少確率を 50%以下にするには、 $\beta$  を 0.7 以下にすることが必要と考えられる。この親魚量減少のリスクは、複数年の漁獲可能量（複数年 ABC）を設定して漁獲管理規則導入初期の漁獲量の変動を抑えても軽減されない（補足資料 5）。

$\beta$  が大きい場合には、加入量の年変化に起因する資源量変動と漁獲圧により、親魚量がこれまでに観測された最小値（ $SB_{min}$ ）を下回る可能性も認められる（表 4）。本系群では、近年 10 年間は卓越年級群の発生が観測されず、資源の減少期に当たることから、このリスクは可能な限り避ける必要があると考えられる。そのため、 $\beta$  を 0.9 以上にすることは、親魚量が最小値を下回る確率が 5%以上となることから推奨されない。なお、限界管理基準値に標準値（ $SB_{0.6msy}$ ）ではなく、より大きな基準値である代替値（ $SB_{min}$ ）を用いることで、親魚量が減少した場合にはより早い段階で漁獲圧が引き下げられ、親魚量の迅速な回復が期待される。

## 3. まとめ

本系群の再生産関係は、 $AICc$  に基づくと RI 型再生産関係の当てはまりが最も良いと判断されるが、加入量が外挿値となる親魚量が低水準の状況において、RI 型再生産関係では

HS型再生産関係と比べて高い加入量が仮定される。将来予測に基づき適切な資源利用を図る上で、高い加入量を仮定することはリスクを高めると考えられるため、本系群にはHS型再生産関係の使用を提案する。再生産関係のパラメータは、資源評価で推定された1981～2014年漁期の加入量および親魚量に基づき、自己相関を考慮しないモデルを最小二乗法により推定することを提案する。

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、上記の再生産関係から推定されるSB<sub>msy</sub>とすることを提案する。限界管理基準値としては、標準値であるSB<sub>0.6msy</sub>では歴史的に観察されたことのある最低親魚量(SB<sub>min</sub>: 151千トン)を下回る外挿値となることから、限界管理基準値の代替値として上記SB<sub>min</sub>を提案する。禁漁水準としては、標準の漁獲管理規則( $\beta=0.8$ )で漁獲した場合でも10年間で適切な水準まで50%以上の確率で回復する親魚量水準をシミュレーションに基づき提案する。10年間での目標管理基準値まで回復できる閾値として推奨される禁漁水準の閾値は70千トンである。なお、限界管理基準値まで回復できる閾値を禁漁水準とした用いる場合は30千トンが候補となる。

現在の本系群の親魚量は目標管理基準値以上にあると考えられるが、将来予測において短期的に50%以上の確率で親魚量を目標管理基準値以上に保ち続けるには $\beta$ を0.7以下にすることが必要である。また、親魚量がこれまでに観測された最小値(SB<sub>min</sub>)を下回るリスクを可能な限り下げするためには、 $\beta$ を0.9以上にすることは推奨されない。

#### 4. 今後の検討事項

本系群の資源評価では、コホート解析においてプラスグループとしてまとめる高齢年級群を8歳以上から10歳以上に変更することを予定しているが、感度試験(補足資料2)で検討した通り、プラスグループの延長がMSY管理基準値の算出に与える影響は小さいと考えられる。管理基準値の算出への影響が大きいのは、自然死亡係数の仮定の変更など、資源評価での基本的な条件を大きく変更する場合である。資源評価での基本的な条件を変更する場合には、その程度に応じて管理基準値や漁獲管理規則の再検討が必要になると考えられる。近年10年間は卓越年級群の発生が観察されず、ホッキー・スティック型再生産関係での期待値に比べて加入量が低い状況になっている。今後も低加入が続いた場合に、より頑健な漁獲管理を探るための管理戦略評価(MSE)の実施も将来課題と考えられる。

#### 5. 引用文献

Cox, S. P. and A. R. Kronlund (2008) Practical stakeholder-driven policies for groundfish fisheries in British Columbia, Canada. Fish. Res. 94: 224-237.

北海道立総合研究機構 (2019) 北海道水産資源管理マニュアル 2018年度, 北海道水産林務部水産局漁業管理課, 56pp.

Shida, O., T. Hamatsu, A. Nishimura, A. Suzaki, J. Yamamoto, K. Miyashita and Y. Sakurai. (2007) Interannual fluctuation in recruitment of walleye pollock in the Oyashio region related to environmental change. Deep Sea Research II, 54, 2822-2831

Shida, O., Y. Mihara, T. Mutoh, K. Miyashita (2014) Interannual changes in the timing of walleye pollock spawning migration and their impacts on the gillnet fishery in the southwestern Pacific coast of Hokkaido, Donan area, Japan. Fish Sci 80(2): 173-179

Yamamura, O. (2004) Trophodynamic modeling of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the Doto area, northern Japan: model description and baseline simulations. Fish. Oceanogr. 13(Suppl. 1), 138-154.

(執筆著者：境 磨、山下夕帆、千村昌之、石野光弘)

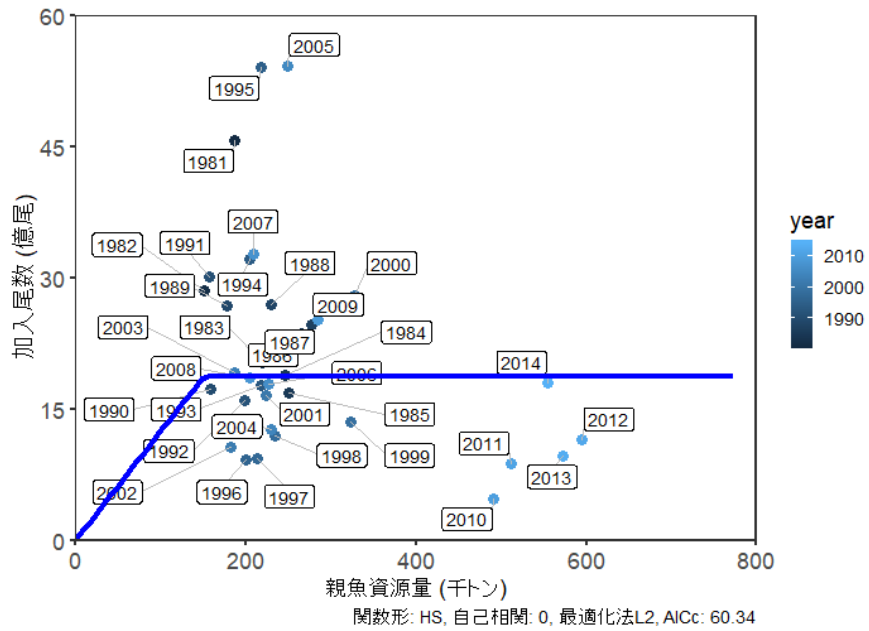


図 1. 再生産関係

図中の数字は加入群の年級（生まれ年）を示す。再生産関係にはホッケー・スティック型再生産関係式（HS）を用い、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。加入残差の自己相関を考慮したモデルは使用しなかった。

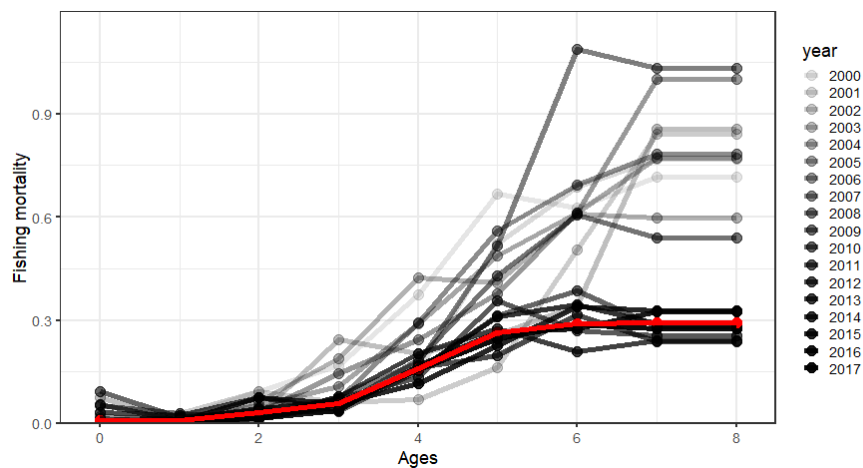


図 2. 年齢別の漁獲係数 (F 値)

灰色線は2000年漁期以降の各年の年齢別F値である。赤色線は最近年の漁獲圧(Fcurrent)であり、2013~2017年漁期のF値の平均である。

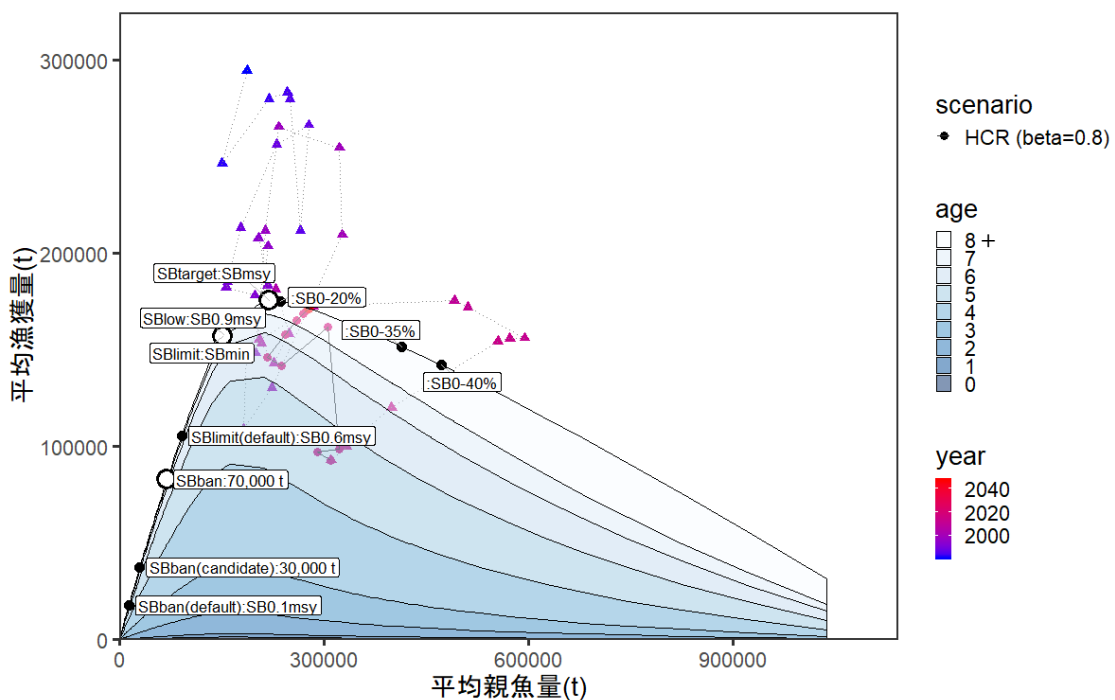
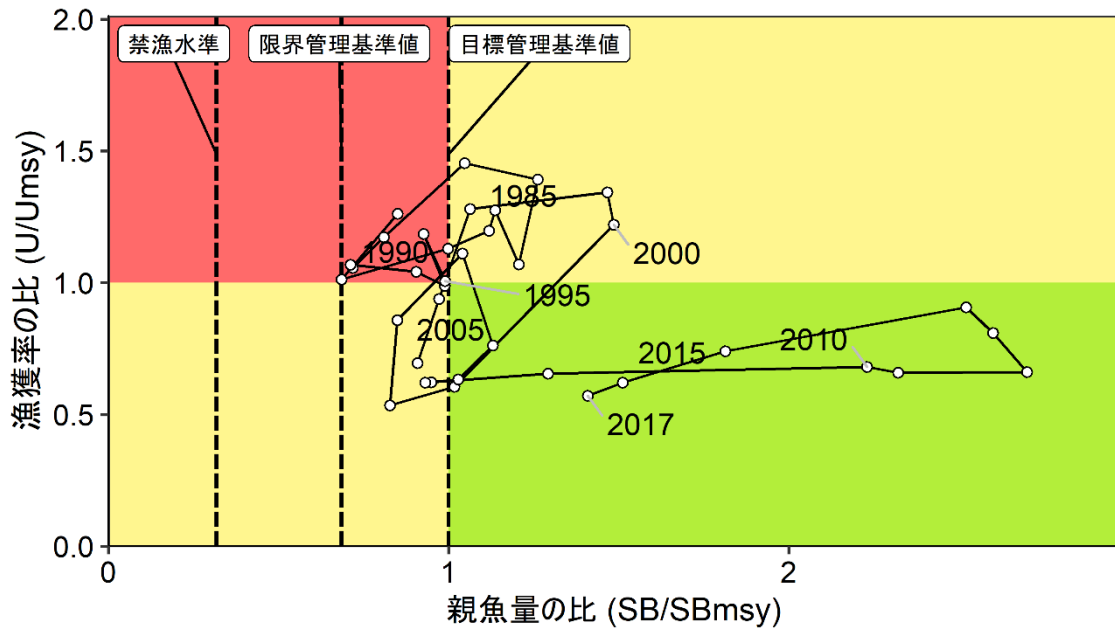


図 3. 管理基準値と年齢別漁獲量曲線の関係

将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値と、それぞれの管理基準値の位置関係を示す。三角▲は資源評価により推定された親魚量と漁獲量との関係を、丸印●は提案する管理基準値に基づく漁獲管理規則 (HCR) で漁獲を行った場合の将来予測での平均親魚量と平均漁獲量の推移を示す。HCR で使用したチューニングパラメータ  $\beta$  は 0.8 である。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 1181 千トンである。

a) 縦軸を漁獲率の比 (U/Umsy) で示した場合



b) 縦軸を漁獲圧の比 (F/Fmsy) で示した場合

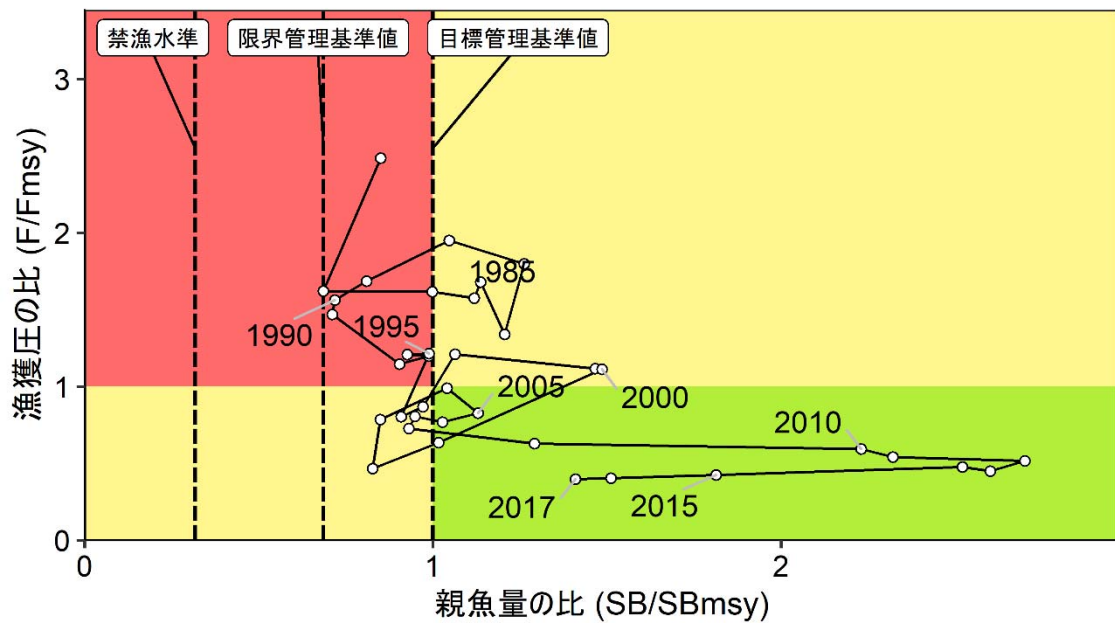
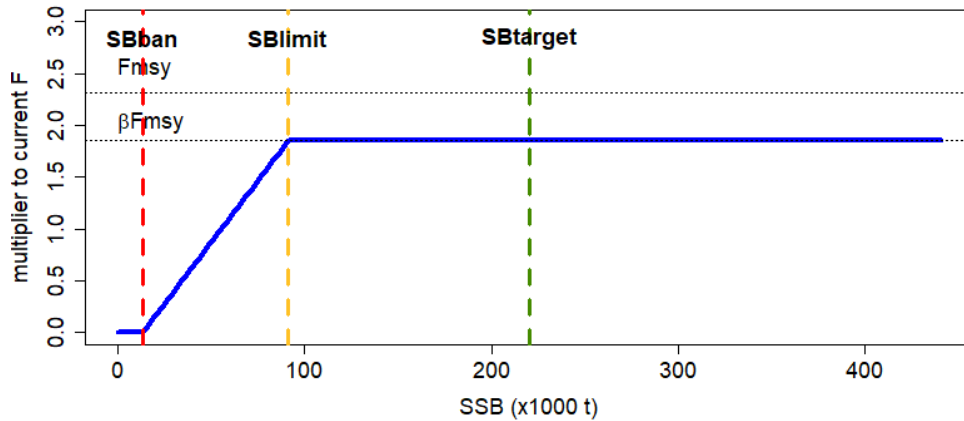


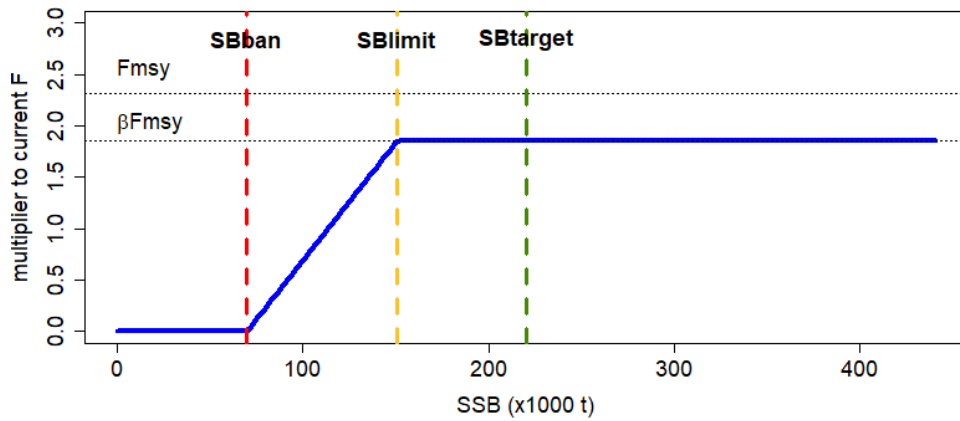
図4. 神戸プロット (4区分)

縦軸に漁獲率の比を用いた場合 (上図) および漁獲圧の比を用いた場合 (下図) を示す。図中の目標管理基準値、限界管理基準値、および禁漁水準には、それぞれ SBmsy、SBmin、および10年間ででの回復シミュレーションにより得られた70千トンを用いた。

5-a) SBlimitに SB0.6msy、SBbanに SB0.1msy を用いた標準の漁獲管理規則



5-b) SBlimitに SBmin、SBbanに 70 千トンを用いた推奨される代替の漁獲管理規則



5-c) SBlimitに SBmin、SBbanに 30 千トンを用いた代替の漁獲管理規則

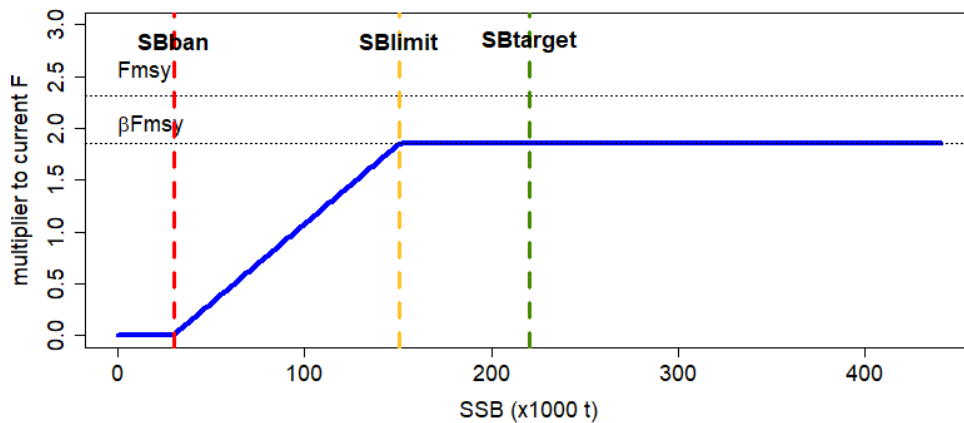


図 5. 漁獲管理規則

SBtargetはHS再生産関係に基づき算出したSBmsyである。6-a(上段)ではSBlimitおよびSBbanにそれぞれ標準値を、6-b(中段)では今回推奨する代替値を用いている。6-c(下段)はSBlimitにSBmin、SBbanに30千トンを用いた代替の漁獲管理規則である。チューニングパラメータ $\beta$ には標準値である0.8を用いた。

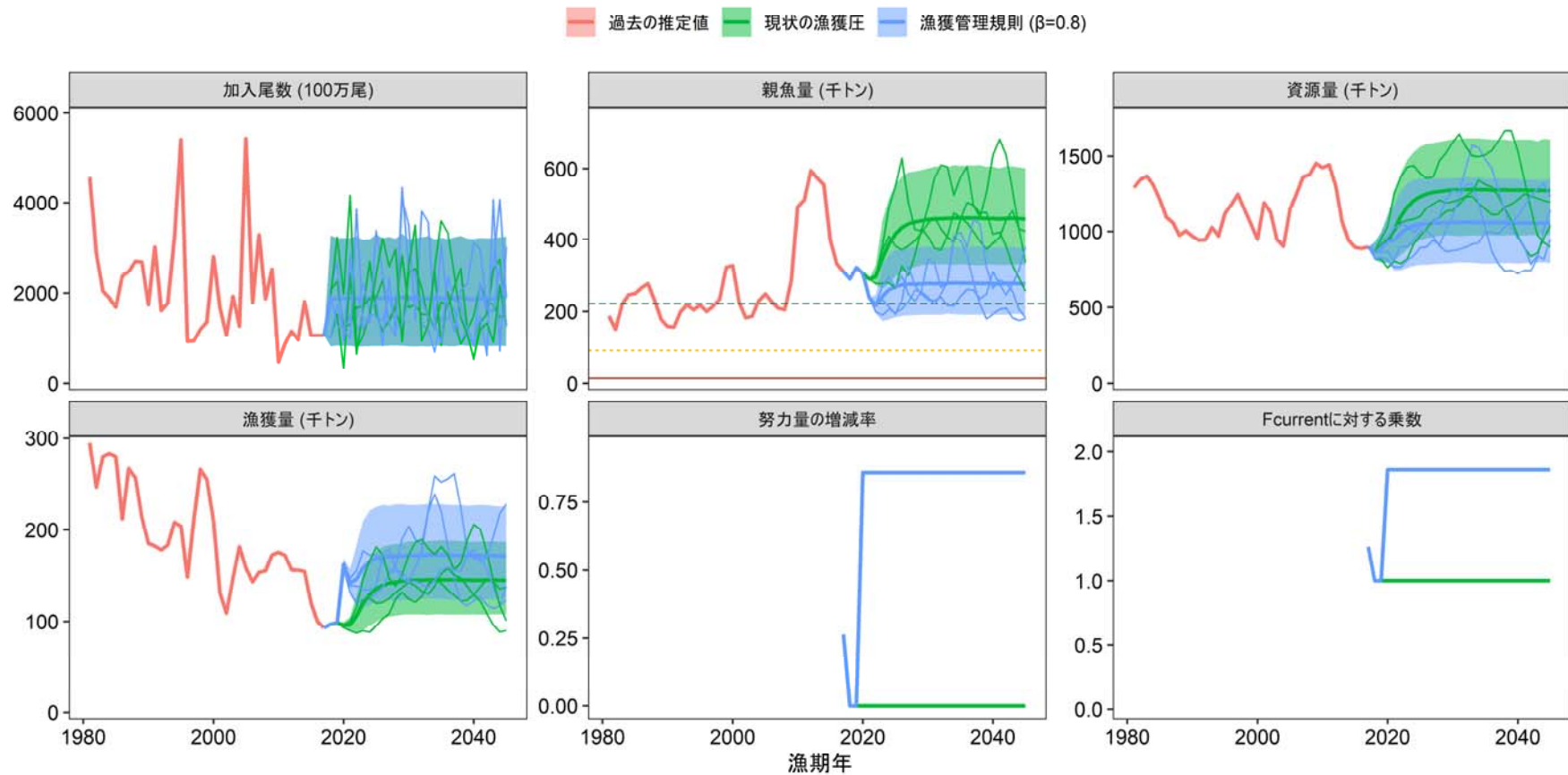


図 6-a. 標準の管理基準値に基づく漁獲管理規則を用いた場合の将来予測と  $F_{current}$  で漁獲を続けた場合の将来予測の比較

太実線は平均値、網掛けは 80%信頼区間、細線は 3 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 年・2019 年漁期の漁獲量は予測される資源量と  $F_{current}$  により仮定した。漁獲管理規則 (2020 年漁期以降) は標準の管理基準値に基づく (図 5-a)。 $\beta$  には 0.8 を用いた。

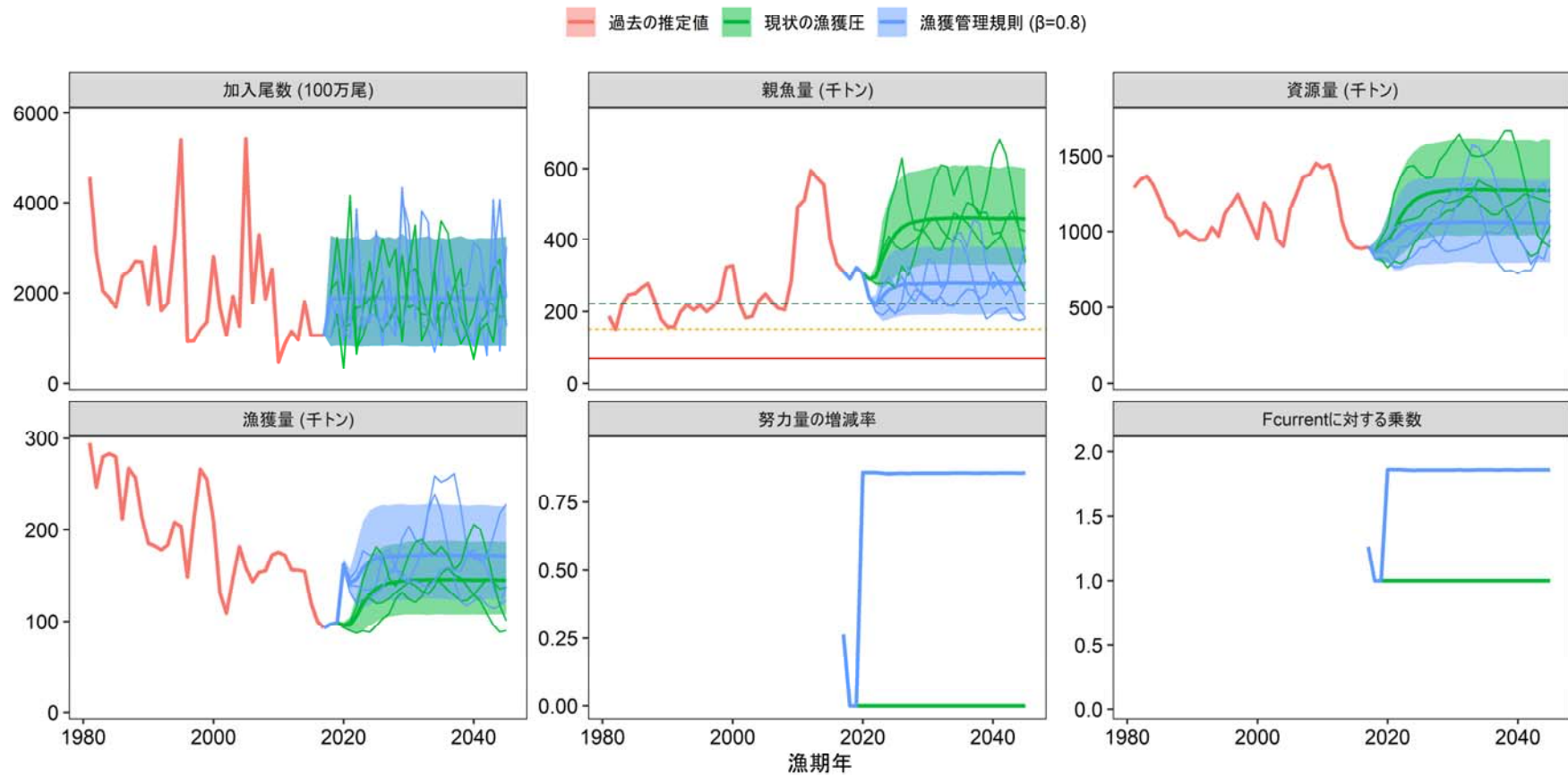


図 6-b. 推奨する代替の管理基準値に基づく漁獲管理規則を用いた場合の将来予測と  $F_{current}$  で漁獲を続けた場合の将来予測の比較

太実線は平均値、網掛けは 80%信頼区間、細線は 3 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 年・2019 年漁期の漁獲量は予測される資源量と  $F_{current}$  により仮定した。漁獲管理規則 (2020 年漁期以降) は推奨する代替値に基づく (図 5-b)。 $\beta$  には 0.8 を用いた。

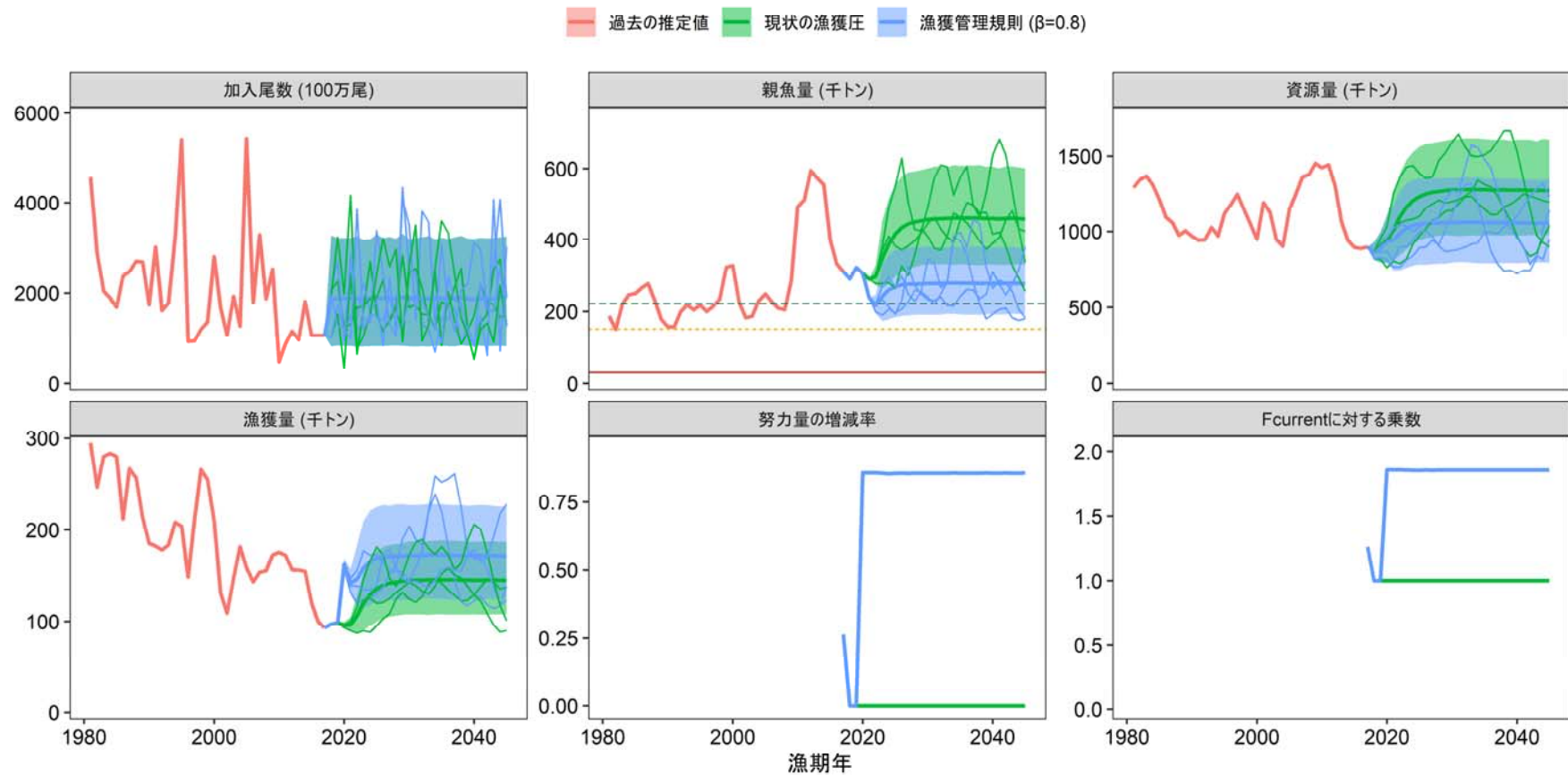


図 6-c. 代替の管理基準値に基づく漁獲管理規則を用いた場合の将来予測と  $F_{current}$  で漁獲を続けた場合の将来予測の比較

太実線は平均値、網掛けは 80%信頼区間、細線は 3 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 年・2019 年漁期の漁獲量は予測される資源量と  $F_{current}$  により仮定した。漁獲管理規則 (2020 年漁期以降) は代替値に基づく (図 5-c)。 $\beta$  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）に対する努力量の乗数の関係

管理基準値	説明	親魚資源量(t)	SB0に対する比	漁獲量(t)	漁獲量の変動係数	漁獲率	努力量の乗数
SBtarget	SBmsy	220000	0.19	176000	0.26	0.18	2.32
SBlow	SB0.9msy	153000	0.13	158000	0.32	0.20	2.90
SBlimit	SBmin	151000	0.13	157000	0.33	0.20	2.91
SBlimit(default)	SB0.6msy	91400	0.08	105000	0.56	0.21	3.18
SBban	70,000 t	70000	0.06	82900	0.70	0.21	3.25
SBban(candidate)	30,000 t	30000	0.03	37400	1.11	0.21	3.40
SBban(default)	SB0.1msy	13600	0.01	17600	1.45	0.22	3.50







表 5. 将来の親魚量の平均値の推移

$\beta$  を 0~1.0 で変更した場合の、標準の漁獲管理規則 (図 5-a) での将来予測 (a)、SBlimit を SBmin とし SBban を 70 千トンとした、推奨する代替の漁獲管理規則 (図 5-b) での将来予測 (b)、および SBban を 30 千トンとした代替の漁獲管理規則 (図 5-c) での将来予測の結果を示す。2018・2019 年漁期は Fcurrent で漁獲し 2020 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。

a) 標準の管理基準値に基づく漁獲管理規則の場合

(SBtarget=SBmsy、SBlimit=SB0.6msy、SBban=SB0.1msy) (千トン)

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040
1	291	323	305	215	185	204	215	221	223	223	221	221	222	221
0.9	291	323	305	226	200	222	236	243	247	248	247	247	248	248
0.8	291	323	305	238	217	243	260	270	274	277	276	277	278	278
0.7	291	323	305	251	236	267	288	300	307	311	311	312	314	314
0.6	291	323	305	265	257	293	320	337	347	352	354	355	357	357
0.5	291	323	305	279	280	324	357	380	394	402	406	408	411	412
0.4	291	323	305	295	306	360	402	432	453	465	471	475	479	482
0.3	291	323	305	311	335	401	454	495	524	543	554	561	567	575
0.2	291	323	305	329	368	449	517	573	614	643	661	674	685	704
0.1	291	323	305	347	404	504	593	668	728	773	804	826	845	889
0	291	323	305	367	445	569	684	787	874	943	995	1036	1070	1076

b) 禁漁水準を 70 千トンとした推奨する代替値の漁獲管理規則の場合

(SBtarget=SBmsy、SBlimit=SBmin、SBban=70 千トン) (千トン)

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040
1	291	323	305	215	185	204	217	223	225	225	224	224	225	225
0.9	291	323	305	226	200	222	237	244	247	249	248	248	249	249
0.8	291	323	305	238	217	243	260	270	275	277	277	277	278	278
0.7	291	323	305	251	236	267	288	301	307	311	311	312	314	314
0.6	291	323	305	265	257	293	320	337	347	352	354	355	357	357
0.5	291	323	305	279	280	324	357	380	394	402	406	408	411	412
0.4	291	323	305	295	306	360	402	432	453	465	471	475	479	482
0.3	291	323	305	311	335	401	454	495	524	543	554	561	567	575
0.2	291	323	305	329	368	449	517	573	614	643	661	674	685	704
0.1	291	323	305	347	404	504	593	668	728	773	804	826	845	889
0	291	323	305	367	445	569	684	787	874	943	995	1036	1070	1176

c) 禁漁水準を 30 千トンとした代替値の漁獲管理規則の場合

(SBtarget=SBmsy、SBlimit=SBmin、SBban=30 千トン) (千トン)

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040
1	291	323	305	215	185	204	217	222	225	225	223	223	224	224
0.9	291	323	305	226	200	222	236	244	247	248	248	248	249	249
0.8	291	323	305	238	217	243	260	270	275	277	277	277	278	278
0.7	291	323	305	251	236	267	288	301	307	311	311	312	314	314
0.6	291	323	305	265	257	293	320	337	347	352	354	355	357	357
0.5	291	323	305	279	280	324	357	380	394	402	406	408	411	412
0.4	291	323	305	295	306	360	402	432	453	465	471	475	479	482
0.3	291	323	305	311	335	401	454	495	524	543	554	561	567	575
0.2	291	323	305	329	368	449	517	573	614	643	661	674	685	704
0.1	291	323	305	347	404	504	593	668	728	773	804	826	845	889
0	291	323	305	367	445	569	684	787	874	943	995	1036	1070	1076

※ SBtarget 以上を青色のグラデーションで、SBtarget 未満を黄色で網掛けした。



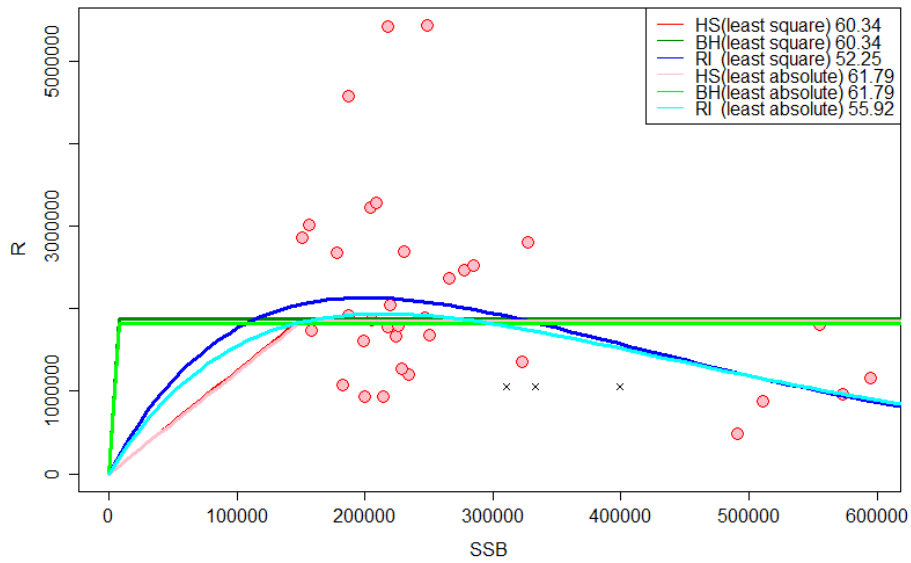
## 補足資料1 再生産関係式のモデル診断結果について

スケトウダラ太平洋系群の再生産関係として、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、最小二乗法・最小絶対値法により、残差に自己相関 (AR) を考慮したモデル・考慮しないモデルのそれぞれについて、1981～2014 年漁期の加入量・親魚量のデータに当てはめた (補足図 1-1)。その結果、BH 型再生産関係では、親魚量が少ない場合の加入量の傾きを適切に推定できないことが示された。

HS 型・RI 型再生産関係を、最小二乗法・最小絶対値法により当てはめた際の残差トレンドと自己相関プロットを補足図 1-2 に示す。HS 型および RI 型の再生産関係のいずれを仮定した場合でも、自己相関プロットの信頼区間に概ね収まっており、本系群については自己相関を考慮する必要はないと考えられた。なお、残差の時系列に着目すると、HS 型再生産関係を仮定した場合には、近年の加入量はモデルからの期待値よりも低く、減少傾向と解釈された。また、RI 型再生産関係を仮定した場合には近年の加入もモデルとよく合う形となった。再生産関係モデルに対する残差の正規性については、Shapiro-Wilk 検定および Kolmogorov-Smirnov 検定により検討した。その結果、HS 型・RI 型再生産関係のいずれでも、有意な逸脱は検出されなかった (補足図 1-3)。

自己相関を考慮しないモデルについて、HS 型・RI 型再生産関係を最小二乗法・最小絶対値法により当てはめる上での個々のデータの影響を、ジャックナイフ法で検討した。その結果、最小二乗法と最小絶対値法とで、推定の頑健性に大きな違いはみられなかった。ただし、RI 型を仮定する場合には、近年 (2010～2014 年漁期) からデータを除いた場合に再生産曲線の形が変わりやすいことが考えられた (補足図 1-4 および 1-5)。この結果に加えて、パラメータ推定の信頼区間を残差ブートストラップにより検討し (補足図 1-6 および 1-7)、プロファイル尤度と合わせて補足図 1-8 に示した。HS 型再生産関係では、親魚量が最小値よりも低い状況でパラメータ推定に与える情報が無く、親魚量最小値が折れ点 (パラメータ b) となる。HS 型・RI 型のいずれの再生産関係でも、パラメータは最適解として推定されていると考えられた。

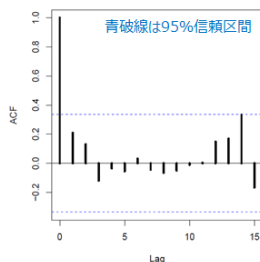
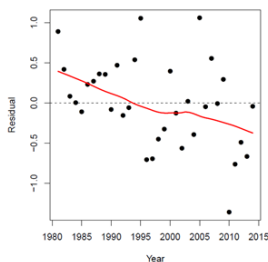
	再生産関係	a	b	S.D.	AICc
最小二乗法	ホッケー・スティック (HS)	12.45526	150944	0.532	<u>60.34</u>
	ベバートン・ホルト (BH)	139497734	74.20031	0.532	60.34
	リッカー (RI)	29.00107	4.997e-06	0.472	<u>52.25</u>
最小絶対値法	ホッケー・スティック (HS)	12.28661	150944	0.584	61.79
	ベバートン・ホルト (BH)	4.99649e+15	2746922404	0.584	61.79
	リッカー (RI)	24.70193	4.6836e-06	0.536	<u>55.92</u>



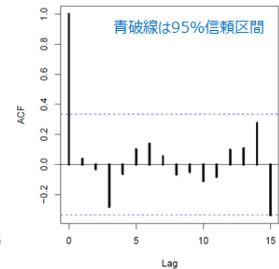
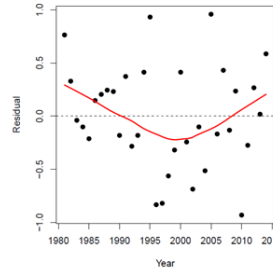
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

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、最小二乗法 (least square)・最小絶対値法 (least absolute) により当てはめた。図中右上の数値は、補正赤池情報量基準 (AICc) の値である。赤丸は分析に使用した親魚量・加入尾数 (1981~2014 年漁期)、×印は加入尾数に仮定値を与えているため分析に使用しなかった情報 (2015~2017 年漁期) である。

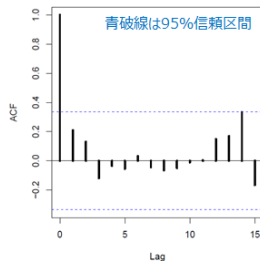
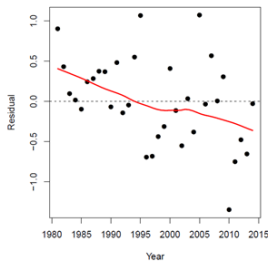
ホッケー・スティック型 (最小二乗法)



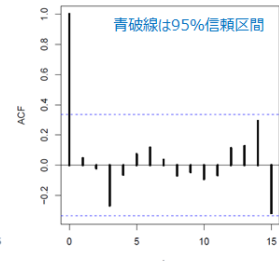
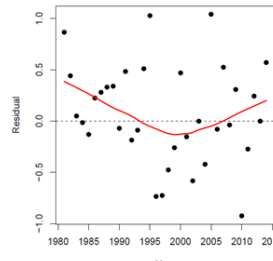
リッカー型 (最小二乗法)



ホッケー・スティック型 (最小絶対値法)



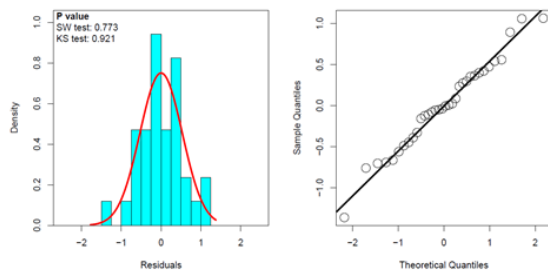
リッカー型 (最小絶対値法)



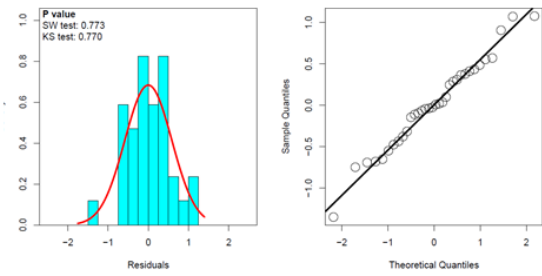
補足図 1-2. HS 型および RI 型再生産関係における残差トレンドと自己相関プロット

HS 型・RI 型の再生産関係式について、最小二乗法・最小絶対値法のそれぞれで当てはめた場合の残差トレンドと自己相関係数を示す。

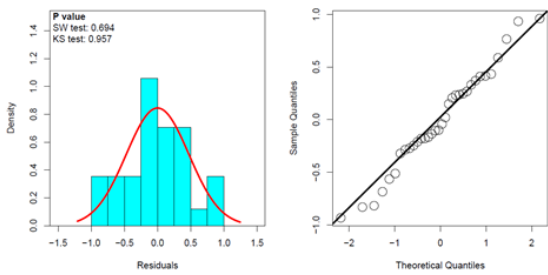
ホッケー・スティック型（最小二乗法）



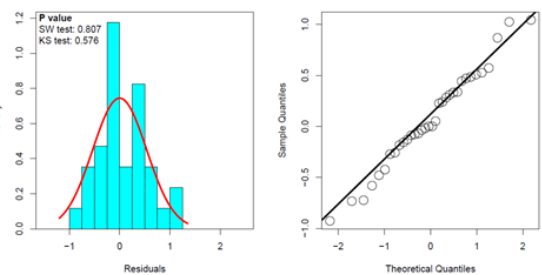
ホッケー・スティック型（最小絶対値法）



リッカー型（最小二乗法）

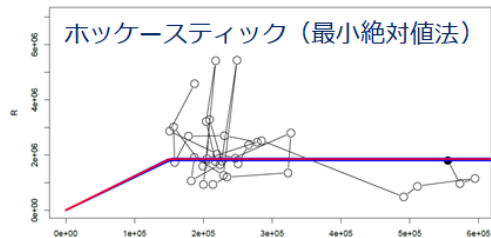
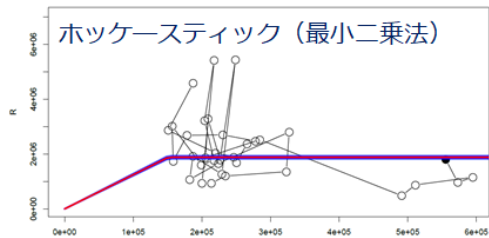
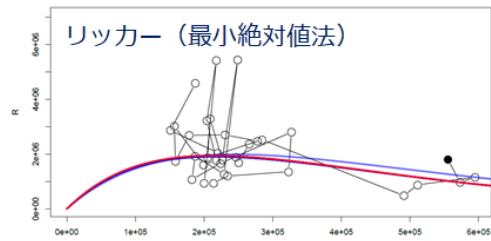
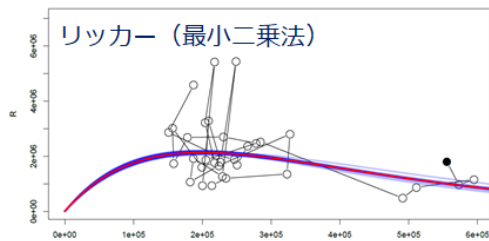


リッカー型（最小絶対値法）



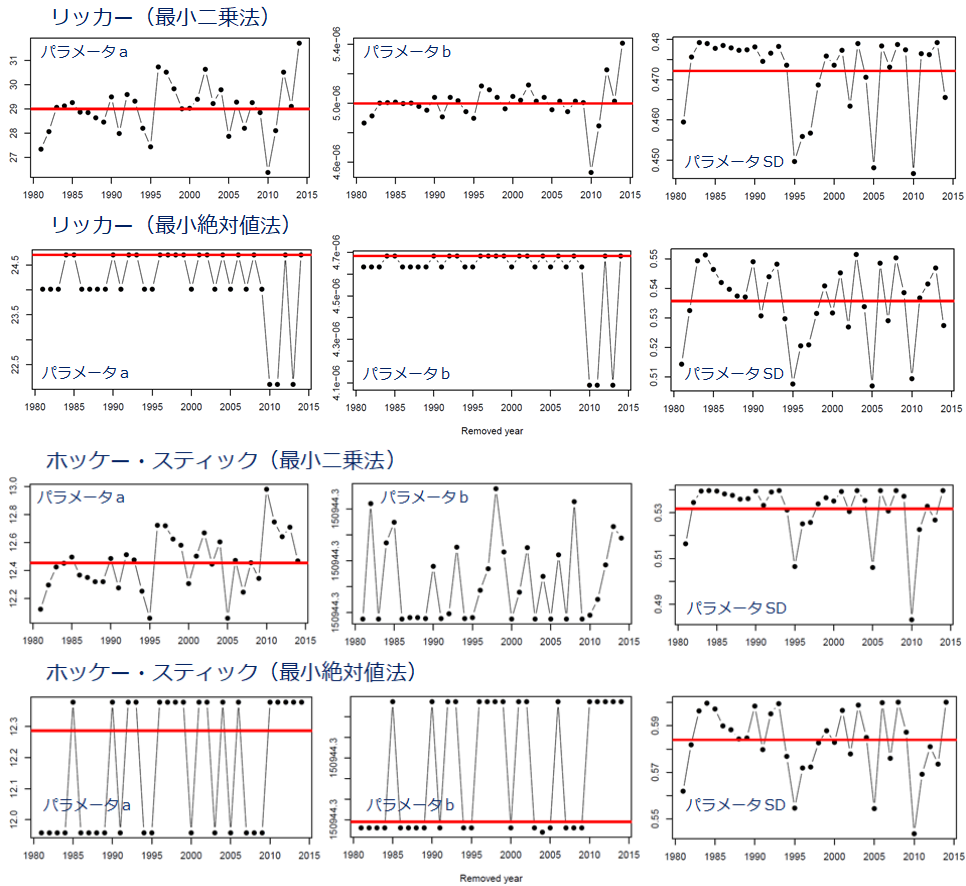
補足図 1-3. 残差分布の正規性テスト結果と QQ プロット

HS 型・RI 型の再生産関係式について、最小二乗法・最小絶対値法のそれぞれで当てはめた場合の残差分布の正規性テスト結果と QQ プロット結果を示す。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。



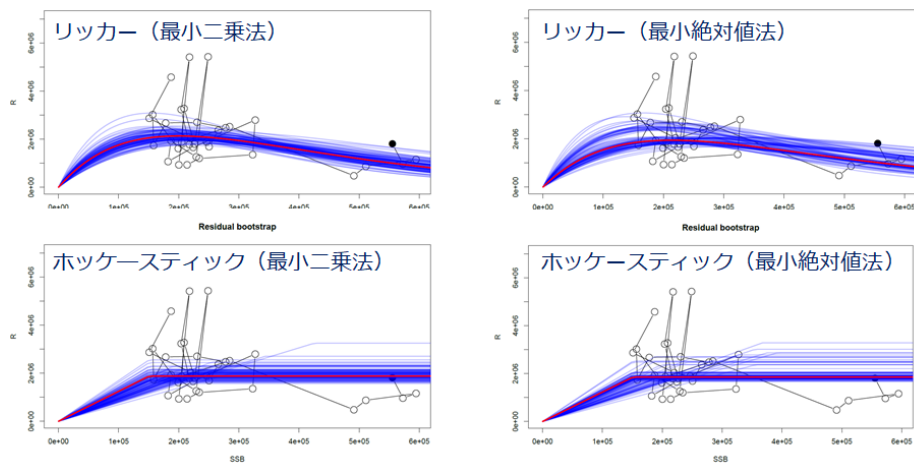
補足図 1-4. HS 型および RI 型再生産関係におけるジャックナイフ解析での推定結果

赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。分析に使用した親魚量・加入尾数を丸印で示す。黒丸は使用したデータ期間の最終年（2014 年漁期）を示す。



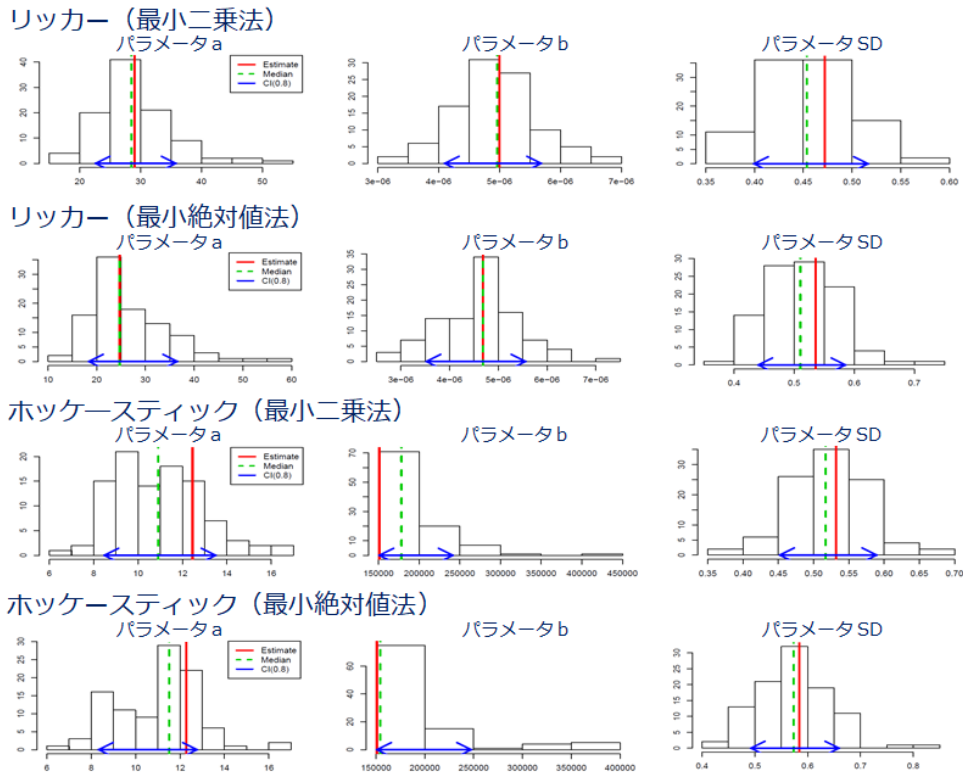
補足図 1-5. ジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

最小二乗法と最小絶対値法とで比較しても、各パラメータの推定の頑健性に大きな違いが見られないが、RI 型再生産関係を当てはめた場合には、近年のデータを除いた場合に再生産曲線の形が変わりやすいと判断される。

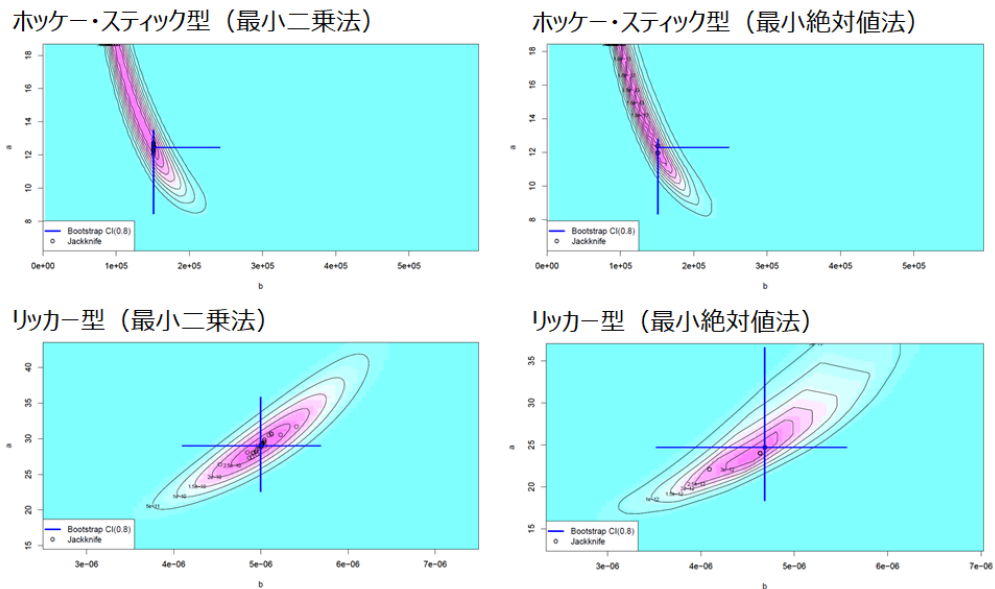


補足図 1-6. HS 型および RI 型再生産関係における残差ブートストラップ解析の結果

赤線は元データでの推定値、青線はノンパラメトリックブートストラップでの推定値である。分析に使用した親魚量・加入尾数を丸印で示す。黒丸は使用したデータ期間の最終年（2014 年漁期）を示す。



補足図 1-7. 残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線）  
赤線はパラメータの点推定値である。



補足図 1-8. HS 型および RI 型再生産関係の推定パラメータのプロファイル尤度  
丸印はジャックナイフ法で推定されたパラメータ値、青線は残差ブートストラップにより推定された推定値の 80%信頼区間である。

## 補足資料 2 再生産関係式と MSY 管理基準値推定の感度試験

### 1) 再生産関係による MSY 管理基準値の違い

仮定する再生産関係による MSY 管理基準値の違いを把握するため、AICc に基づき当てはまりが良いと判断された 3 通りの再生産関係と最適化方法の組み合わせで、それぞれ MSY 管理基準値を推定した。比較対象とした再生産関係と最適化方法の組み合わせは、本文書で提案する HS 型再生産関係を最小二乗法で当てはめた場合、RI 型再生産関係を最小二乗法で当てはめた場合、および RI 型再生産関係を最小絶対値法で当てはめた場合である。それぞれの再生産関係と最適化方法に基づき推定された MSY 管理基準値を下表に示す。

	HS 型 (最小二乗法)	RI 型 (最小二乗法)	RI 型 (最小絶対値法)
SBmsy	220,251 t	188,709 t	196,112 t
SB0.9msy	152,848 t	117,360 t	122,436 t
SB0.6msy	91,364 t	57,997 t	60,705 t
SB0.1msy	13,630 t	7,358 t	7,705 t
MSY	175,729 t	200,281 t	180,075 t
Umsy	0.181	0.201	0.191
Fmsy/Fcurrent	2.321	2.961	2.623

RI 型再生産関係を用いた場合、HS 型に比べて MSY 管理基準値 (SBmsy、SB0.9msy、SB0.6msy、および SB0.1msy) は低い値となる。また、Fcurrent に対する Fmsy の比は大きくなり、期待できる MSY も高くなる。

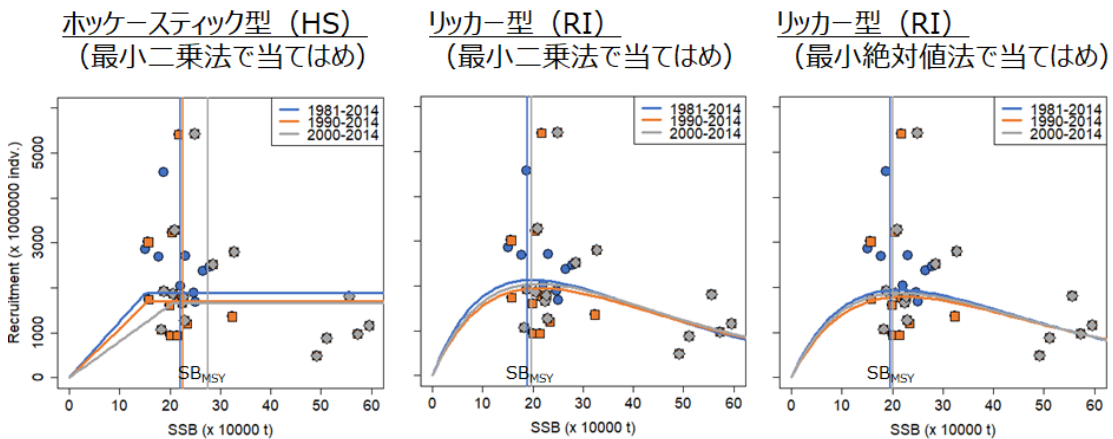
### 2) 使用するデータ年代の違いによる再生産関係と MSY 管理基準値への影響

本系群の再生産には、海洋環境の変化と関係した 10 年規模の変動が存在するとの指摘がある。そのため、再生産関係と MSY 管理基準値の検討にあたり、親魚量・加入量の情報から 80 年代・90 年代を除いた場合の推定値への影響を検討した。検討に用いた再生産関係・最適化方法の組み合わせは、上記 1) で検討した 3 通りである。推定された再生産関係のパラメータ値と、それらに基づく MSY 管理基準値について下表に示す。

	HS (最小二乗法)			RI (最小二乗法)			RI (最小絶対値法)		
	全期間	90 年代~	00 年代~	全期間	90 年代~	00 年代~	全期間	90 年代~	00 年代~
a	12.455	10.853	8.072	29.001	24.786	26.269	24.702	21.704	23.322
b	150944	156678	205128	5.00e-06	4.67e-06	4.73e-06	4.68e-06	4.46e-06	4.58e-06
s.d.	0.532	0.565	0.574	0.472	0.510	0.484	0.536	0.563	0.528

	HS (最小二乗法)			RI (最小二乗法)			RI (最小絶対値法)		
	全期間	90 年代~	00 年代~	全期間	90 年代~	00 年代~	全期間	90 年代~	00 年代~
Bmsy	970497	910813	953295	995519	943735	976026	941300	892643	926432
SBmsy	220251	225744	275556	188709	197399	196756	196112	201254	199865
MSY	175729	154950	142106	200281	179584	189709	180075	162825	173259
Umsy	0.181	0.170	0.149	0.201	0.190	0.194	0.191	0.182	0.187
Fmsy/Fcurrent	2.32	2.04	1.58	2.96	2.61	2.74	2.62	2.35	2.49

HS 型再生産関係を仮定した場合には、1980 年代・1990 年代のデータを使用しないと、HS の折れ点での親魚量は大きくなり、算出される SBmsy は全期間のデータを用いた場合に比べて 50 千トン程度大きくなる。一方、RI 型再生産関係を仮定した場合は、最小二乗法・最小絶対値法のいずれで最適化を行った場合でも、データ使用年代による SBmsy の算出値の違いは 10 千トン未満であった（補足図 2-1）。



補足図 2-1. 使用するデータ年代を変えた場合の再生産関係と SBmsy の推定の違い  
 垂線はそれぞれの再生産関係に基づき算出された SBmsy を示す。

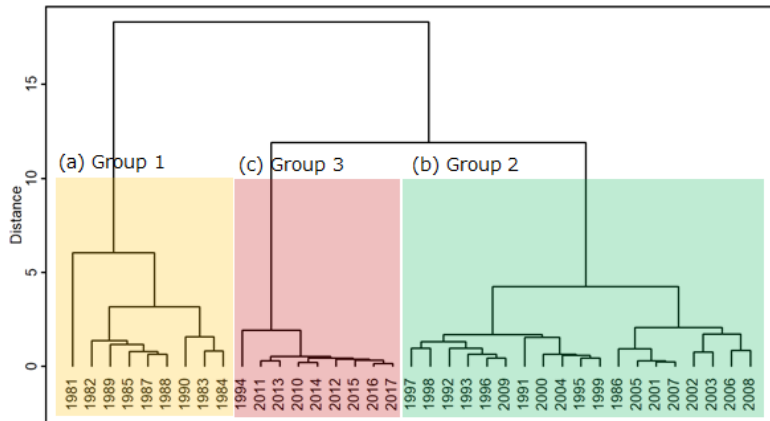
### 3) 仮定する年齢別 F 値（選択率）による MSY 管理基準値の算出への影響

MSY 管理基準値の算出に用いる選択率は、2013～2017 年漁期の F 値 (Fcurrent) に基づく年齢別の F 値に基づく。この選択率の仮定を変えた場合の、MSY 管理基準値の算出への影響について検討した。資源評価の結果、年齢別 F 値は概ね 1980 年代 (Group1)、1990～2000 年代 (Group2)、2010 年代 (Group3) の 3 グループに大別される (補足図 2-2)。グループ別に年齢別 F 値の平均値を算出し、これに基づき MSY 管理基準値を算出し、Fcurrent を用いた場合 (Base) と比較した。検討に用いた再生産関係・最適化方法の組み合わせは、上記 1) で検討した 3 通りである。得られた MSY 管理基準値について下表に示す。

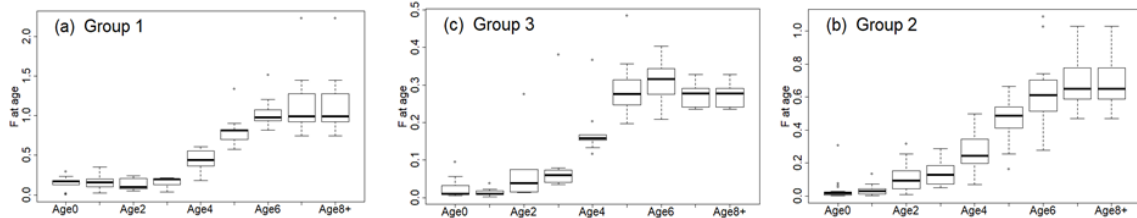
	HS (最小二乗法)				RI (最小二乗法)				RI (最小絶対値法)			
	Base	Group1	Group2	Group3	Base	Group1	Group2	Group3	Base	Group1	Group2	Group3
Bmsy	970497	906279	955978	963841	995519	906848	970475	986733	941300	868735	921457	934144
SBmsy	220251	231522	224682	221037	188709	200105	191749	189841	196112	207004	199096	197144
MSY	175729	157383	171553	174011	200281	176362	194498	197984	180075	159985	175366	178184
Umsy	0.181	0.174	0.179	0.181	0.201	0.194	0.200	0.201	0.191	0.184	0.190	0.191

各グループの年齢別 F 値を比較すると、1980 年代 (Group1) は近年よりも若齢魚の F 値が相対的に高い。若齢魚の F が高いことで、算出される SBmsy は高くなり、期待できる MSY は低くなることが示されたが、その差は SBmsy で約 10 千トン、MSY で 20～30 千トン程度であった。この傾向には、使用する再生産関係および最適化方法で大きな違いは見られない (補足図 2-3)。

a) 過去の年齢別 F 値のグループ分け

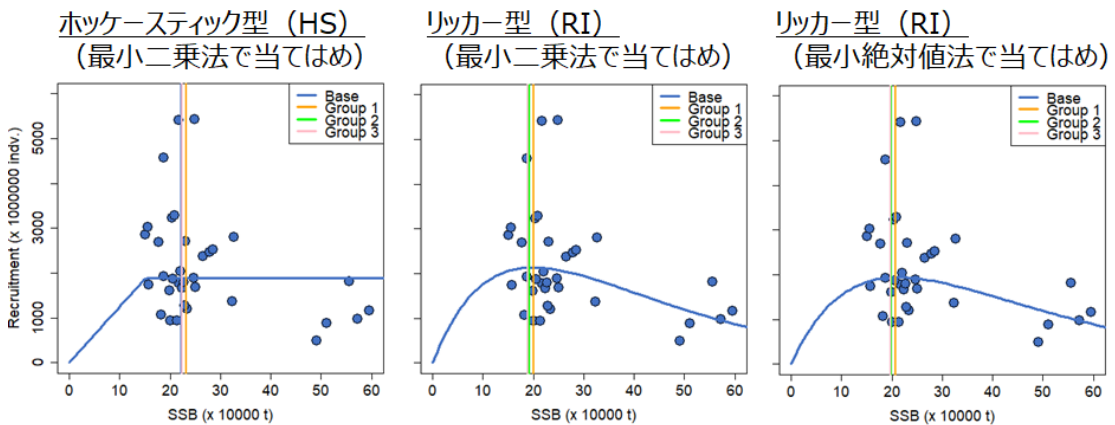


b) グループ分けされた年齢別 F 値



補足図 2-2. 感度試験に使用するための過去の年齢別 F 値のグループ分けの結果

資源評価により得られた各漁期年の年齢別 F 値をグループ分けした結果を a) に示す。間隔尺度にマンハッタン距離、クラスタ化にワード法を用いたクラスタ解析に基づく。3 つに分けられたグループは、おおむね 1980 年代 (Group1)、1990~2000 年代 (Group2)、2010 年代 (Group3) に相当する。



補足図 2-3. グループ分けした年齢別 F 値での SBmsy の推定の違い

垂線はそれぞれのグループの年齢別 F 値 (選択率) に基づき算出された SBmsy を示す。使用する選択率を変えても算出される SBmsy の差は 10 千トン未満であった。

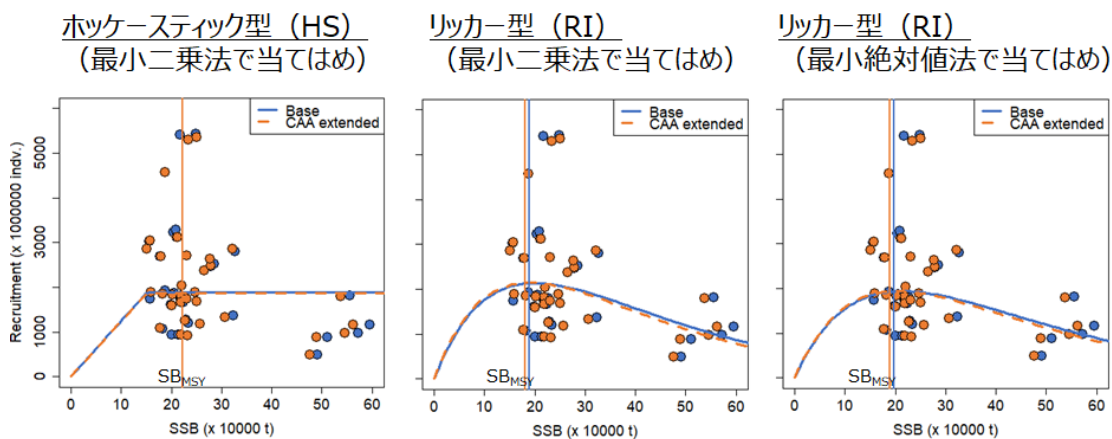
#### 4) 資源評価のプラスグループを延長による再生産関係と MSY 管理基準値への影響

資源評価モデルの改良の一環として、コホート解析の高齢部分（プラスグループ）を 8 歳以上でまとめていたものを、10 歳以上にまで延長することを計画している。このプラスグループの延長が、再生産関係や MSY 管理基準値の推定に与える影響を検討した。検討に用いた再生産関係・最適化方法の組み合わせは、上記 1) で検討した 3 通りである。推定された再生産関係のパラメータ値と、それらに基づく MSY 管理基準値について下表に示す。

	HS (最小二乗法)		RI (最小二乗法)		RI (最小絶対値法)	
	現行:8 歳+	延長:10 歳+	現行:8 歳+	延長:10 歳+	現行:8 歳+	延長:10 歳+
a	12.455	12.369	29.001	31.438	24.702	26.476
b	150944	150944	5.00e-06	5.38e-06	4.68e-06	5.03e-06
s.d.	0.532	0.533	0.472	0.470	0.536	0.535

	HS (最小二乗法)		RI (最小二乗法)		RI (最小絶対値法)	
	現行:8 歳+	延長:10 歳+	現行:8 歳+	延長:10 歳+	現行:8 歳+	延長:10 歳+
Bmsy	970497	970734	995519	986763	941300	932229
SBmsy	220251	222130	188709	181467	196112	189826
MSY	175729	174675	200281	201161	180075	181303
Umsy	0.181	0.180	0.201	0.204	0.191	0.194
Fmsy/Fcurrent	2.32	2.29	2.96	3.07	2.62	2.70

プラスグループを延長した資源評価による親魚量・加入量の推定値の変化の影響は、再生産関係の推定パラメータを大幅に変えるほどではなかった。そのため、算出される SBmsy についても、HS 型であればほぼ変わらず、RI 型でも差は 10 千トン未満であった（補足図 2-4）。



補足図 2-4. プラスグループを延長した場合の再生産関係と SBmsy の推定の違い

垂線は算出された SBmsy を示す。図中で、青のプロット・線は現行のプラスグループ（8 歳+）での結果を示す。橙のプロット・線はプラスグループを延長した（10 歳+）場合の結果である。

5) 自然死亡係数 M の仮定を変えた場合の再生産関係と MSY 管理基準値への影響

コホート解析での自然死亡係数 M の仮定は、資源量の絶対値の推定に大きく影響する。本資料では、自然死亡係数の仮定が再生産関係や SBmsy の推定に与える影響を検討した。資源評価にて仮定する年齢別自然死亡係数について、現行では 3 歳以上を 0.25 としているところを、0.05~0.40 の間で 0.05 刻みにて変更した（現行の仮定を含めて 8 シナリオ）。0 歳の自然死亡係数は 0.40 で固定し、1~2 歳の自然死亡係数は 0 歳・3 歳の値から線形補完した（補足図 2-5）。検討に用いた再生産関係・最適化方法の組み合わせは、上記 1) で検討した 3 通りである。推定された再生産関係のパラメータ値と、それらに基づく MSY 管理基準値について下表に示す。

	HS (最小二乗法)							
	M3+: 0.05	M3+: 0.10	M3+: 0.15	M3+: 0.20	M3+: 0.25	M3+: 0.30	M3+: 0.35	M3+: 0.40
a	9.006	9.595	10.278	11.235	12.455	13.976	15.905	18.412
b	113297	121818	131645	141040	150944	162005	174427	188471
s.d.	0.619	0.595	0.572	0.551	0.532	0.516	0.507	0.507

	RI (最小二乗法)							
	M3+: 0.05	M3+: 0.10	M3+: 0.15	M3+: 0.20	M3+: 0.25	M3+: 0.30	M3+: 0.35	M3+: 0.40
a	30.401	30.379	30.086	29.599	29.001	28.396	27.901	27.626
b	8.91e-06	7.93e-06	6.93e-06	5.95e-06	5.00e-06	4.10e-06	3.28e-06	2.55e-06
s.d.	0.552	0.527	0.505	0.486	0.472	0.464	0.463	0.470

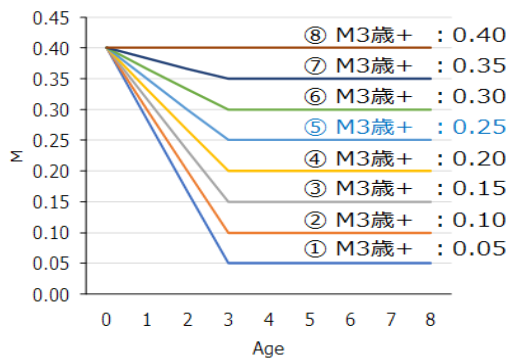
	RI (最小絶対値法)							
	M3+: 0.05	M3+: 0.10	M3+: 0.15	M3+: 0.20	M3+: 0.25	M3+: 0.30	M3+: 0.35	M3+: 0.40
a	30.537	25.161	22.270	21.829	24.702	25.510	26.991	27.769
b	8.87e-06	7.19e-06	5.87e-06	4.91e-06	4.68e-06	3.92e-06	3.24e-06	2.59e-06
s.d.	0.641	0.613	0.586	0.561	0.536	0.518	0.513	0.521

	HS (最小二乗法)							
	M3+: 0.05	M3+: 0.10	M3+: 0.15	M3+: 0.20	M3+: 0.25	M3+: 0.30	M3+: 0.35	M3+: 0.40
Bmsy	1263426	933858	851170	889615	970497	1087711	1247195	1466047
SBmsy	723997	371822	251305	226231	220251	224551	231121	244052
MSY	201080	182538	176678	175274	175729	180645	188706	203994
Umsy	0.159	0.195	0.208	0.197	0.181	0.166	0.151	0.139
Fmsy/Fcurrent	0.58	1.08	1.64	2.00	2.32	2.69	3.20	3.90

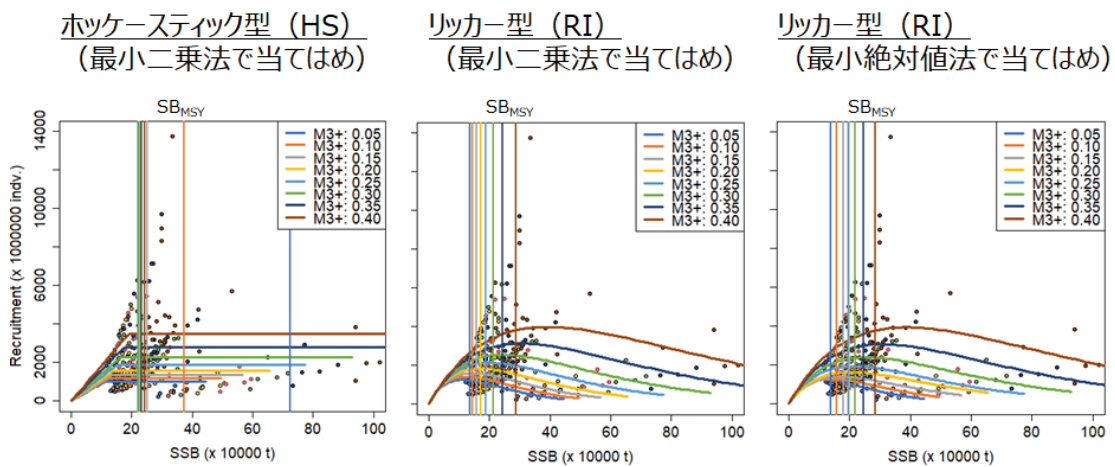
	RI (最小二乗法)							
	M3+: 0.05	M3+: 0.10	M3+: 0.15	M3+: 0.20	M3+: 0.25	M3+: 0.30	M3+: 0.35	M3+: 0.40
Bmsy	635118	702192	783349	876686	995519	1146917	1352947	1640453
SBmsy	135472	143803	156552	170424	188709	213231	244332	287407
MSY	192696	194405	196881	198861	200281	203819	208842	218994
Umsy	0.303	0.277	0.251	0.227	0.201	0.178	0.154	0.133
Fmsy/Fcurrent	2.40	2.54	2.67	2.82	2.96	3.13	3.33	3.59

	RI (最小絶対値法)							
	M3+: 0.05	M3+: 0.10	M3+: 0.15	M3+: 0.20	M3+: 0.25	M3+: 0.30	M3+: 0.35	M3+: 0.40
Bmsy	642181	682766	752887	853448	941300	1109619	1326889	1614292
SBmsy	137058	157266	179679	198111	196112	218990	247342	283489
MSY	194942	181671	174896	176414	180075	189062	203137	215338
Umsy	0.304	0.266	0.232	0.207	0.191	0.170	0.153	0.133
Fmsy/Fcurrent	2.40	2.25	2.16	2.25	2.62	2.86	3.22	3.59

自然死亡係数の仮定を変えると、資源評価結果の推定親魚量・加入量の絶対値が大きく変わるため、再生産関係の推定パラメータに与える影響も大きく、再生産関係に基づき算出される SBmsy の数値にも差異が生じる。RI 型を用いた場合は、親魚量の絶対値の変化に合わせて SBmsy の値も変化する。HS 型を用いた場合は、特に小さな自然死亡係数を与えた場合を除き、SBmsy の算出値に与える影響は RI 型よりも小さい。自然死亡係数として M3+ に 0.05 や 0.10 などの小さい値を用いると、SBmsy がこれまで観測された親魚量の範囲外の大きな値が算出される（補足図 2-6）。



補足図 2-5. 自然死亡係数 M の変更シナリオ（⑤は現行の資源評価での仮定）



補足図 2-6. 自然死亡係数を変更した場合の再生産関係と SBmsy の推定の違い  
垂線は算出された SBmsy を示す。

### 補足資料 3 シミュレーションでの加入量生成方法に残差リサンプリングを用いた場合

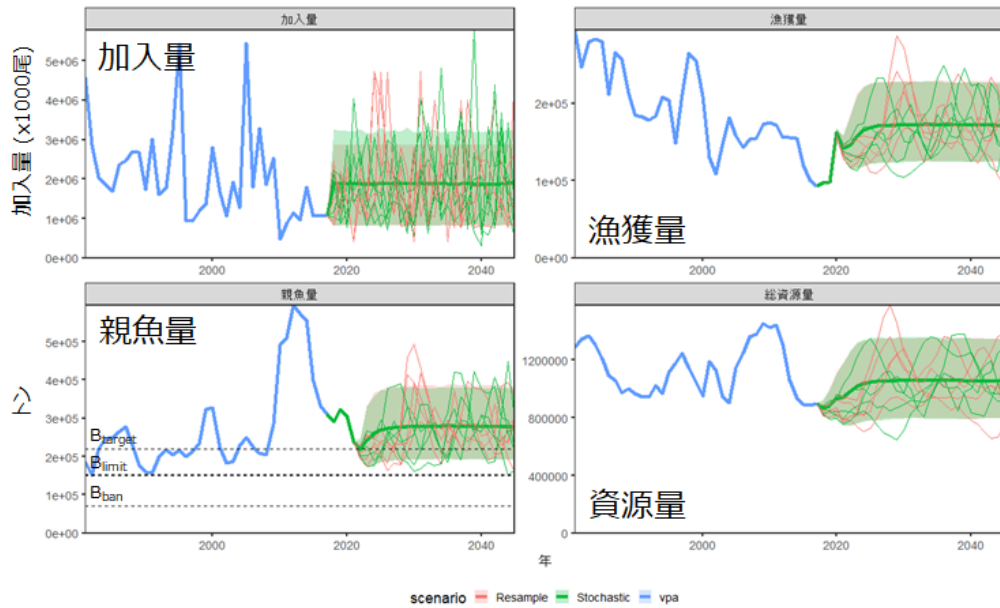
MSY 管理基準値の算出に用いるシミュレーションや将来予測において、加入量の生成方法には再生産関係に仮定した誤差の確率分布からランダムに生成する手法を用いている。代替の手法として、再生産関係に当てはめたモデルと観察値との残差をリサンプリングがある。両手法で得られる結果の違いを検討するため、両手法での MSY 管理基準値の算出および将来予測結果を比較した。検討は HS 型および RI 型再生産関係を最小二乗法で当てはめた場合について行った。得られた MSY 管理基準値について下表に示す。

	ホッカー・スティック型 (最小二乗法)		リッカー型 (最小二乗法)	
	確率分布	残差リサンプリング	確率分布	残差リサンプリング
SBmsy	220,251 t	221,039 t	188,709 t	188,604 t
SB0.9msy	152,848 t	152,572 t	117,360 t	117,334 t
SB0.6msy	91,364 t	91,308 t	57,997 t	58,026 t
SB0.1msy	13,630 t	13,698 t	7,358 t	7,364 t
MSY	175,729 t	176,138 t	200,281 t	200,450 t
Umsy	0.181	0.181	0.201	0.201
Fmsy/Fcurrent	2.321	2.321	2.962	2.969

HS 型および RI 型のいずれを用いても、加入量生成方法の違いで算出される MSY 管理基準値には殆ど差がみられなかった。将来予測の比較を補足図 2-7 および 2-8 に示す。補足図 2-7 は HS 型再生産関係に基づく将来予測の比較であり、同再生産関係により得られた SBmsy を目標管理基準値、SBmin (151 千トン) を限界管理基準値、70 千トンを禁漁水準 (補足資料 4 を参照) とした場合の漁獲管理規則での漁獲を仮定している。補足図 2-8 は RI 型再生産関係に基づく将来予測の比較であり、同再生産関係により得られた SBmsy を目標管理基準値、SBmin (151 千トン) を限界管理基準値、SB0.1msy を禁漁水準とした場合の漁獲管理規則での漁獲を仮定している。いずれの場合も  $\beta$  には標準値である 0.8 を用いた。結果として、加入量生成方法の違いによって、将来の加入量の 80% 区間には若干の差が見られたが、漁獲量・親魚量・資源量の予測値には殆ど差がみられなかった (補足図 3-1 および 3-2)。

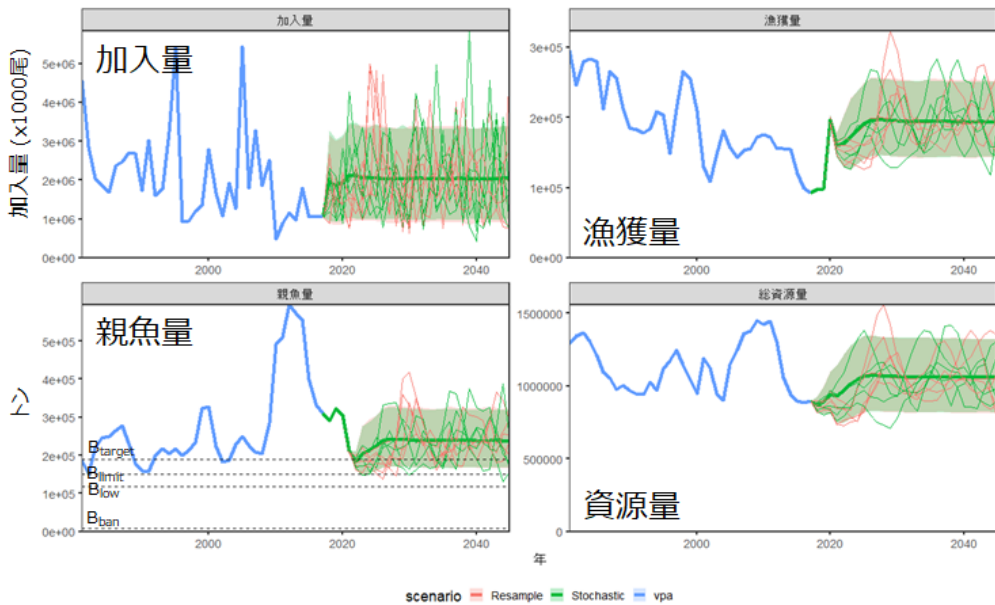
$\beta$  を様々に変更して漁獲管理規則の性能比較を行う場合でも、親魚量が目標管理基準値を上回る確率や、期待できる漁獲量の平均値については、両手法で結果に違いは見られない (補足表 3-1 および 3-2)。ただし、漁獲の安定性の指標である AAV (Average annual variability) では、加入量生成方法に確率分布を用いる手法に比べて残差リサンプリングを用いる手法のほうがごく僅かに値が低い場合がある (補足表 3-3)。

### ホッケースティック型 (最小二乗法)



補足図 3-1. HS 型再生産関係を仮定した場合の漁獲管理規則での将来予測 ( $\beta=0.8$ )  
 青太線はコホート解析の結果である。赤は加入料生成方法に残差リサンプリングを用いた場合、緑は確率分布を用いた場合である。将来予測の平均値や 80% 区間 (網掛け部分) は良く重なっており、結果にほとんど差が無いといえる。なお、図中の SBtarget および SBban は確率分布を用いたシミュレーションに基づき算出したものである。

### リッカー型 (最小二乗法)



補足図 3-2. RI 型再生産関係を仮定した場合の漁獲管理規則での将来予測 ( $\beta=0.8$ )  
 得られた結果は HS 型再生産関係の場合と同じである。

補足表 3-1. HS 型再生産関係を仮定した場合の将来予測の加入量生成方法による比較

$\beta = 0.5 \sim 1.0$  とした。漁獲管理規則による漁獲 2020 年漁期から開始し、2018 および 2019 年漁期は  $F_{current}$  で漁獲することとした。

a-1) 加入量を確率分布から生成した場合： 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	2031	2032	2033	2034	2035
1	100	100	100	0	7	31	40	44	45	46	45	45	45	45	46	46	46	46
0.9	100	100	100	100	15	42	52	57	60	60	61	61	61	60	61	62	61	61
0.8	100	100	100	100	34	56	67	71	75	76	76	77	76	77	76	77	76	77
0.7	100	100	100	100	74	73	80	85	87	89	89	90	90	89	89	89	89	90
0.6	100	100	100	100	100	88	92	94	95	96	96	97	97	97	97	97	97	97
0.5	100	100	100	100	100	98	98	99	99	99	99	99	99	100	99	100	100	100

a-2) 加入量を確率分布から生成した場合： 期待される漁獲量の平均値 (千トン)

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1	97	99	193	158	159	166	174	177	177	177	176	177	177	177	177	178	178	177
0.9	97	99	178	150	153	163	170	173	174	175	174	175	175	175	175	176	176	176
0.8	97	99	162	142	146	158	165	169	171	171	171	172	172	172	172	173	173	172
0.7	97	99	145	132	138	151	159	163	165	166	166	167	167	167	168	168	168	168
0.6	97	99	128	120	128	141	150	155	158	159	160	161	161	161	161	162	162	162
0.5	97	99	109	107	116	129	139	145	148	150	151	152	152	153	153	153	153	153

b-1) 加入量を残差リサンプリングで生成した場合： 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	2031	2032	2033	2034	2035
1	100	100	100	0	9	31	40	44	46	46	45	45	45	45	45	45	45	45
0.9	100	100	100	100	9	43	53	58	60	61	61	61	61	61	61	62	62	62
0.8	100	100	100	100	38	56	67	72	75	76	77	76	77	76	77	77	77	78
0.7	100	100	100	100	70	74	81	85	87	89	89	90	89	89	89	89	89	90
0.6	100	100	100	100	100	87	91	94	96	96	97	97	97	97	97	97	97	97
0.5	100	100	100	100	100	98	98	99	99	99	99	100	100	100	100	100	100	100

b-2) 加入量を残差リサンプリングで生成した場合： 期待される漁獲量の平均値 (千トン)

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1	97	99	193	158	158	166	174	176	177	177	177	177	177	177	177	177	177	178
0.9	97	99	178	150	153	163	170	173	174	175	175	175	175	175	175	175	175	176
0.8	97	99	162	142	146	158	165	169	171	171	172	172	172	172	172	172	172	173
0.7	97	99	145	132	138	150	159	163	165	166	167	167	167	167	167	167	168	168
0.6	97	99	128	120	128	141	150	155	158	159	160	161	161	161	161	161	161	162
0.5	97	99	109	107	116	129	139	144	148	150	151	152	152	153	153	153	153	153

補足表 3-2. RI 型再生産関係を仮定した場合の将来予測の加入量生成方法による比較

$\beta = 0.5 \sim 1.0$  とした。漁獲管理規則による漁獲 2020 年漁期から開始し、2018 および 2019 年漁期は  $F_{current}$  で漁獲することとした。

a-1) 加入量を確率分布から生成した場合： 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	2031	2032	2033	2034	2035
1	100	100	100	0	5	27	33	40	45	47	46	47	47	47	47	47	48	47
0.9	100	100	100	100	13	39	47	55	62	64	64	64	64	63	64	64	64	64
0.8	100	100	100	100	31	55	63	71	78	80	81	81	80	79	78	78	78	79
0.7	100	100	100	100	75	74	80	86	90	92	92	92	91	90	89	88	89	89
0.6	100	100	100	100	100	90	93	96	98	98	98	97	97	96	95	95	95	95
0.5	100	100	100	100	100	99	99	99	100	100	100	99	99	99	98	98	98	98

a-2) 加入量を確率分布から生成した場合： 期待される漁獲量の平均値 (千トン)

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1	97	99	232	174	168	180	189	197	200	200	200	201	201	201	202	202	202	202
0.9	97	99	215	168	168	176	186	194	199	200	199	200	200	199	199	200	200	200
0.8	97	99	197	160	163	173	182	190	196	197	196	196	195	195	194	194	194	194
0.7	97	99	177	151	155	168	176	185	191	192	191	189	188	186	185	185	185	185
0.6	97	99	157	139	146	159	169	176	182	183	181	179	176	173	172	172	172	173
0.5	97	99	135	126	134	148	158	165	170	170	167	163	159	156	154	154	155	156

b-1) 加入量を残差リサンプリングで生成した場合： 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	2031	2032	2033	2034	2035
1	100	100	100	0	6	27	33	40	46	47	47	47	47	48	47	47	47	48
0.9	100	100	100	100	12	41	47	55	62	64	64	64	64	64	63	63	63	63
0.8	100	100	100	100	38	56	64	71	77	80	81	80	80	79	78	77	77	78
0.7	100	100	100	100	79	73	80	86	90	92	92	92	91	90	89	88	88	88
0.6	100	100	100	100	100	90	92	95	97	98	98	98	97	96	95	95	94	95
0.5	100	100	100	100	100	99	99	99	100	100	100	100	99	99	98	98	98	98

b-2) 加入量を残差リサンプリングで生成した場合： 期待される漁獲量の平均値 (千トン)

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1	97	99	232	175	167	180	188	196	201	201	201	201	201	201	201	201	201	202
0.9	97	99	215	168	168	176	185	194	199	200	200	200	200	199	199	199	199	200
0.8	97	99	197	160	163	173	182	190	196	198	198	197	196	194	193	193	194	194
0.7	97	99	178	151	156	168	176	184	191	193	192	190	188	186	184	184	185	185
0.6	97	99	157	140	146	159	168	176	182	184	182	179	176	173	171	171	171	173
0.5	97	99	135	126	134	148	158	165	170	171	168	164	160	156	154	153	154	156

補足表 3-3. 漁獲量の安定性の指標（AAV）の加入量生成方法による比較

AAV\*（Average annual variability in catch; Cox and Kronlund 2008）は一定期間内に期待できる総漁獲量に対し、どのぐらい漁獲量の年変化があるかを示す。

(%)

	ホッケー・スティック型（最小二乗法）						リッカー型（最小二乗法）					
	確率分布			残差リサンプリング			確率分布			残差リサンプリング		
$\beta$	2020-2024	2020-2029	2020-2039	2020-2024	2020-2029	2020-2039	2020-2024	2020-2029	2020-2039	2020-2024	2020-2029	2020-2039
1	14.0	12.6	12.1	13.9	12.4	11.9	17.8	14.3	13.0	17.9	14.4	13.0
0.9	11.9	11.0	10.7	11.8	10.9	10.5	14.8	12.3	11.4	14.8	12.3	11.4
0.8	10.4	9.9	9.8	10.4	9.9	9.7	12.6	10.9	10.4	12.6	10.9	10.4
0.7	9.3	9.2	9.2	9.3	9.1	9.0	10.8	9.9	9.8	10.9	10.0	9.8
0.6	8.6	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	9.5	9.2	9.4	9.6	9.2	9.4
0.5	8.2	8.2	8.1	8.2	8.1	8.0	8.6	8.7	9.0	8.6	8.7	9.0

\*AAV の算出式；

$$AAV = \frac{\sum_{i=t1}^{i=t2} |C_i - C_{i-1}|}{\sum_{i=t1}^{i=t2-1} C_i}$$

ここで、t1～t2 年が AAV の算出期間になる。

C<sub>i</sub> は i 年の漁獲量を示す。

## 補足資料 4 Bban シミュレーション

水産政策の改革における新たな資源管理システムの構築では、限界管理基準を下回った場合には原則として 10 年以内に目標管理基準まで回復するための資源再建計画を立てて実行すると説明されている。本系群で HS 型再生産関係を最小二乗法で当てはめた場合、禁漁水準の標準値 (SB0.1msy) は 14 千トンと算出されるが、本資料では、まず、この禁漁水準の標準値から資源回復を図った場合に、どのような漁獲の下で、どの程度の確率で、どれほどの年数があれば目標管理基準値や限界管理基準値まで回復するかを検討した。更に、10 年間で目標管理基準もしくは限界管理基準値まで 50% の確率で親魚量を回復できる親魚量を、回復期間に許容する漁獲の強度 (すなわち漁獲管理規則の  $\beta$ ) ごとに検討し、禁漁水準の代替値として提案した。

検討のシミュレーションでは、回復開始時点の個体群の年齢組成と年齢別平均体重を 1981~2014 年の観察値からランダムに選び、漁獲管理規則に従った漁獲の下で親魚量の予測計算を行った。試行回数は漁獲シナリオや回復開始時点の親魚量水準 (すなわち禁漁水準の標準値や、代替値の候補) ごとに 10000 回である。漁獲管理規則に用いた限界管理基準は SBmin (151 千トン)、禁漁水準は回復開始時点の親魚量水準である。回復開始時点の親魚量が禁漁水準であるため、シミュレーションの初年度は禁漁となる。

### 1) 禁漁水準の標準値 (SB0.1msy) からの回復シミュレーション

禁漁水準の標準値から回復を開始した場合について、漁獲管理規則の  $\beta$  を 0~1 の間で変えた漁獲シナリオごとに、親魚量が目標管理基準値 (SBmsy) および限界管理基準値 (SBmin) を上回る確率を経過年数別に補足表 4-1 および補足表 4-2 にそれぞれ示した。結果として、禁漁水準の標準値からでは、もし 10 年間禁漁したとしても ( $\beta=0$ ) 親魚量が目標管理基準へ回復する確率は 43% であり、50% 以上の確率では回復しない。限界管理基準値へ 10 年間で 50% 以上の確率で回復させるには  $\beta$  を 0.2 以下にする必要がある。 $\beta$  が標準値の 0.8 の場合は、親魚量が限界管理基準値と目標管理基準値へ回復する確率が 50% 以上になるのが、それぞれ 14 年後と 19 年後である (補足表 4-1 および 4-2)。

### 2) 10 年間で目標管理基準・限界管理基準へ回復を条件とした禁漁水準候補の探索

回復を開始する親魚量を 5 千トン~150 千トンの間で変化させ、これらをそれぞれ漁獲管理規則の禁漁水準とした漁獲管理で資源回復を図った場合の、目標管理基準値および限界管理基準値への 10 年後の回復確率を推定した。その結果、回復期間に使用する漁獲管理規則の  $\beta$  次第で禁漁水準を何トン以上にすべきかわることが示された。例えば回復期間の  $\beta$  が 0 であれば 15 千トン以上、 $\beta$  が 0.8 であれば 70 千トン以上が、10 年間で目標管理基準への回復確率が 50% 以上となる禁漁水準候補となる (補足表 4-3)。また、10 年間で限界管理基準への回復確率が 50% 以上となる親魚量を禁漁水準とする場合は、 $\beta$  が 0.8 であれば 30 千トン以上が候補となる (補足表 4-4)。いずれの管理基準まで回復させる場合でも、漁獲圧を下げれば回復までの期間は短縮される (補足表 4-5 および 4-6)。

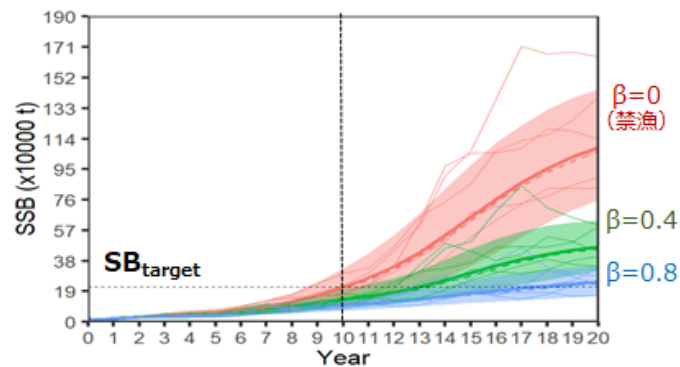
回復期間の  $\beta$  が高く (漁獲圧が高く)、禁漁水準候補が高い (回復開始時の資源量が大きい) ほど、期待できる漁獲量は大きくなる。低い禁漁水準から 10 年で回復させるには、回

復期間の $\beta$ を低くしなければならず、回復期間中に期待できる漁獲量は少ない（補足表 4-7）。 $\beta=0$ の場合を除くと、回復期間中に禁漁になる確率（すなわち $SB < SB_{ban}$ になる確率）は、 $\beta$ と禁漁水準候補が高いほど大きくなる（補足図 4-8）。したがって、高い $\beta$ ・高い禁漁水準の漁獲管理規則では、期待できる漁獲量は多くなるものの、禁漁水準に親魚量が落ちるリスクも増加するといえる。回復期間中の漁獲量の年変化は、 $\beta$ が高い場合に大きくなる。更に禁漁水準も高い場合には、禁漁になる確率も高くなることから漁獲量の変動はさらに大きくなる。逆に禁漁水準が極端に低い場合も、目標管理基準への回復までの資源量の変化が大きく、結果的に漁獲量の変動幅が大きくなる（補足図 4-9）。

以上をまとめると、回復期間の漁獲の仕方次第で、条件に整合する禁漁水準候補は変わるといえる。すなわち、回復期間中の漁獲量を多くしたければ禁漁水準も高くなり、禁漁水準を低くするならば回復期間中の漁獲量を抑える必要がある。なお、禁漁水準が限界管理基準に近いほど、資源が減少するとすぐに禁漁することになるため、漁獲量の安定性は低くなる。

新たな算定規則では、資源が減少している状況下では $\beta=0.8$ を基本とすることが推奨されている。 $\beta=0.8$ で漁獲しながら10年間で目標管理基準まで回復させるのであれば、禁漁水準は70千トン、もしくはそれ以上とすることが必要である。もし限界管理基準まで回復することを禁漁水準の条件とするのであれば、30千トンが候補となる。

10年間禁漁することで目標管理基準値および限界管理基準値に回復する親魚量の閾値は15千トンおよび10千トンであり、この水準を割り込んだ場合、10年間程度の禁漁が必要になると考えられる。



補足図 4-1. 禁漁水準の標準値 (SB<sub>0.1msy</sub>) からの回復シミュレーション  
漁獲管理規則の $\beta$ が0 (禁漁)、0.4、および0.8の場合について図示した。







## 補足資料 5 3年間一定の漁獲管理（3年ABC）

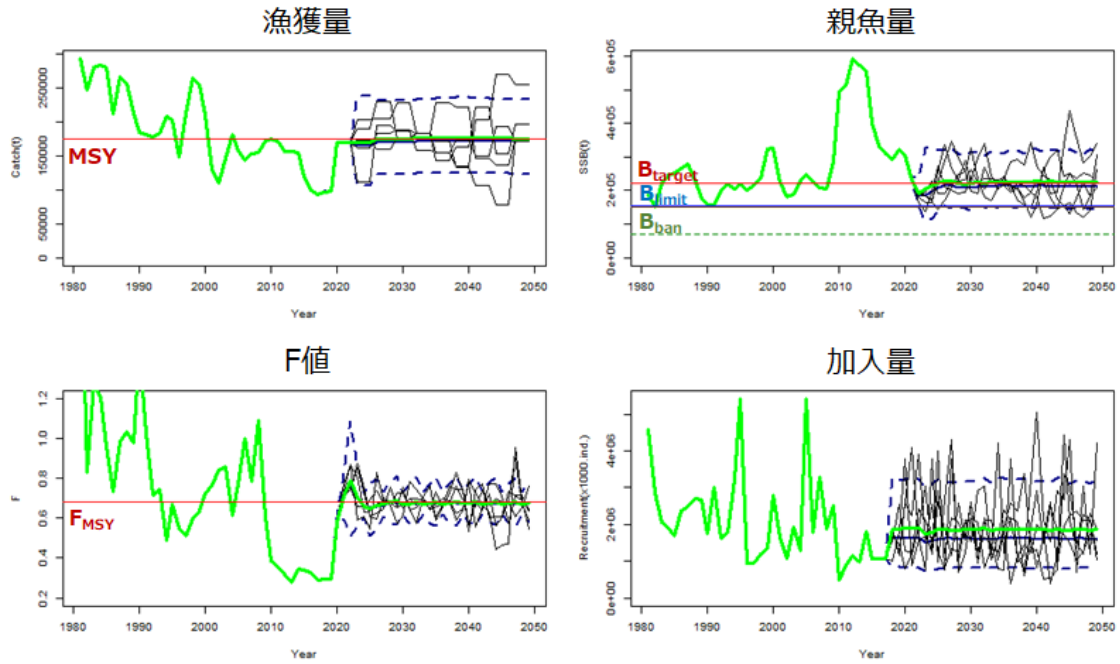
資源評価に基づき次の漁期のABCを算出する際には、将来予測によりABCを与える年の資源状況を加入量の不確実性を踏まえて予測し、その資源量の下で漁獲管理規則に定められた漁獲係数(F値)で漁獲した場合の漁獲量の平均値をABCとして算出する。このABCの算出に関わる将来予測年数を単年ではなく3年にし、そこで予測される漁獲量の平均値を当該年間で一定のABCとして算出する方法（以下、3年ABC）を検討した。この方法ではABCは3年ごとに更新される。使用する漁獲管理規則は、管理基準値として推奨する代替値に基づく（SBlimitにSBmin、SBbanに70千トン）。

3年ABCに基づき漁獲を行った場合の、漁獲管理規則の $\beta$ を0~1.0の間で変えた将来予測の結果（補足図5-1）について、漁獲量平均値の推移と親魚量が目標管理基準値を上回る確率とをそれぞれ補足表5-1と補足表5-2に示した。3年ABCでは漁獲量を3年間一定にするため、単年のABCでの将来予測でみられたような漁獲管理規則導入初期の漁獲量の大きな変化は軽減された（補足表5-1）。しかし、 $\beta$ が0.7以下でなければ2022年に50%以上の確率で親魚量が目標管理基準値を下回るなど（補足表5-2）、親魚量の短期的な減少の解決には至らなかった。

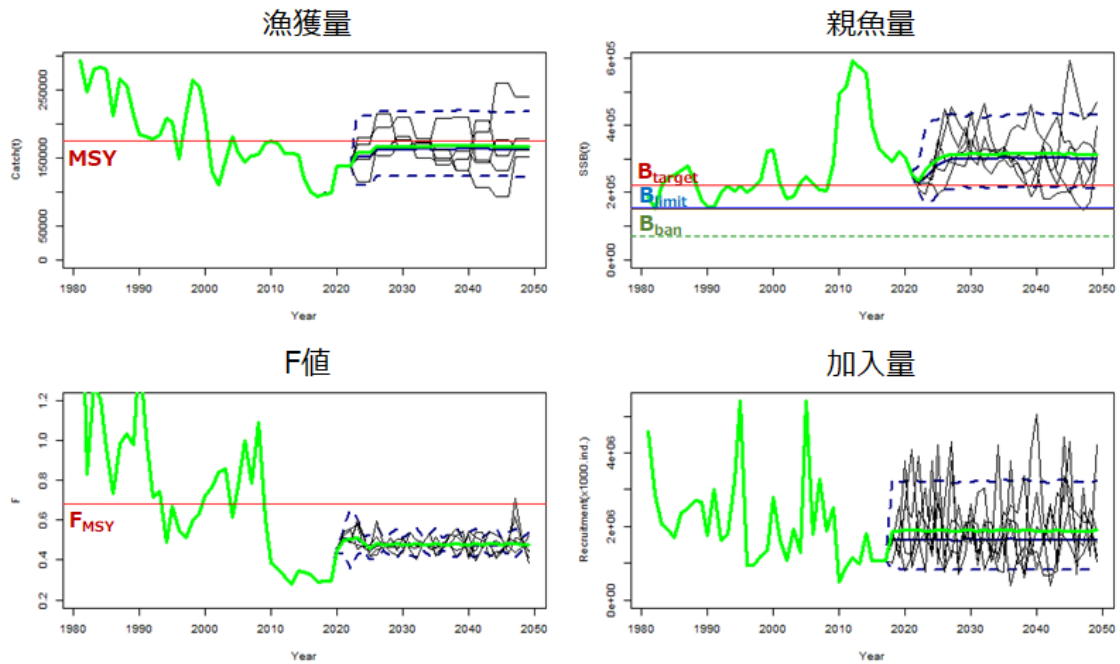
また、3年ABCでは3年分の漁獲量予測値の平均値をABCとするため、資源の変動に対する順応性が低下する。親魚量が目標管理基準値および限界管理基準値を上回る確率のそれぞれについて、単年のABCと3年ABCの漁獲管理規則での将来予測結果を比較すると、同じ $\beta$ 値であれば、3年ABCの場合のほうで親魚量が基準値を上回る確率が低下した（補足表5-2および5-3）。さらに、結果的にABCでの漁獲圧が $F_{msy}$ を上回るリスクが生じる。漁獲係数(F値)の予測値が $F_{msy}$ を上回る確率の将来予測結果では、 $\beta$ を0.7以下にすれば、漁獲管理規則導入初期の親魚量減少時以外はF値が $F_{msy}$ を上回るリスクを避けられるが、 $\beta$ が0.8以上だと中長期的にも加入の変動次第で漁獲圧が $F_{msy}$ を超える場合がみられた（補足表5-4）。なお、漁獲量の安定性は、3年ABCの場合では単年のABCの場合に比べて向上した（補足表5-5）。得られる平均的な漁獲量の期待値には、3年ABCと単年のABCとで大きな差はみられなかった（補足表5-1）。

3年ABCのように、複数年の漁獲量を一定と設定することで、漁獲量の年変化を抑えることができる。また、単年のABCに基づく場合に比べて、今後数年間の漁獲可能量をあらかじめ踏まえた管理・操業が可能になる等のメリットが生じると考えられる。しかし、上記の通り、基本的に管理の順応性が低下し、ABCでの漁獲圧が $F_{msy}$ による漁獲での水準を超えるリスクが生じる。もし3年ABCのような複数年のABCを使用するのであれば、漁獲管理規則に用いる $\beta$ は引き下げ（例えば、少なくとも0.7以下）、かつ、資源状態に想定外の状況が起きた場合のABC見直しに関するルールを明確にすることで、順応性の低下のリスクを補償することが必要である。

a)  $\beta=1.0$  の場合の 3 年 ABC での将来予測



b)  $\beta=0.7$  の場合の 3 年 ABC での将来予測



補足図 5-1. ABC を 3 年間固定した場合の将来予測

2018 年・2019 年漁期の漁獲量は予測される資源量と  $F_{current}$  により仮定した。漁獲管理規則は代替値の管理基準値に基づく。実線は平均値、点線は 80% 区間を示す。細線は 5 通りの将来予測の例示である。



補足表 5-4. ABC を 3 年間固定した場合の将来の漁獲係数が  $F_{msy}$  を上回る確率

2018 年・2019 年漁期の漁獲量は予測される資源量と  $F_{current}$  により仮定した。漁獲管理規則は代替値の管理基準値に基づく。

(%)

$\beta$	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1	0	0	0	66	66	57	34	39	42	38	51	49	42	46	47	42	47	47
0.9	0	0	0	31	49	34	5	13	20	5	17	22	5	14	22	5	14	22
0.8	0	0	0	1	27	12	0	1	5	0	1	5	0	1	5	0	1	5
0.7	0	0	0	0	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足表 5-5. ABC を 3 年間固定した場合と通常の場合（単年 ABC）の漁獲量の安定性

漁獲量の安定性の指標として、一定期間内に期待できる総漁獲量に対しどのくらい漁獲量が年々変化するかを示す AAV（Average annual variability in catch; Cox and Kronlund 2008）を示す。計算式は補足資料 3（36 ページ）を参照。

$\beta$	単年 ABC			3 年 ABC		
	2020-2024	2020-2029	2020-2039	2020-2024	2020-2029	2020-2039
1	14.0	12.6	12.1	6.2	7.9	7.1
0.9	11.9	11.0	10.7	5.8	7.4	6.7
0.8	10.4	9.9	9.8	5.5	7.0	6.4
0.7	9.3	9.2	9.2	5.5	6.8	6.1
0.6	8.6	8.6	8.6	5.6	6.7	5.9
0.5	8.2	8.2	8.1	6.0	6.6	5.7
0.4	8.5	8.0	7.7	6.7	6.8	5.6
0.3	9.8	8.2	7.4	7.8	7.0	5.5
0.2	11.8	8.6	7.1	9.1	7.5	5.4
0.1	14.0	9.3	6.8	10.8	8.2	5.4

## 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) を検討候補とした。それぞれの再生産関係式の数式は以下の通りである ;

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

ここで  $R_y$  は  $y$  年の加入量、 $B_y$  は  $y$  年の親魚量である。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。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.