

令和 2（2020）年度スルメイカ秋季発生系群の 管理基準値等に関する研究機関会議報告書

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

要 約

令和元年度本系群の資源評価データに仮定した中国の漁獲量を加えて計算しなおしたものをを用いて、再生産関係および管理基準値案等を検討した。1981～2017 年漁期の親魚尾数と1982～2018 年漁期までの加入尾数の情報に基づき、本系群の再生産関係式の候補として、加入の残差の自己相関を考慮しないホッケ－・スティック（HS）型再生産関係の適用を提案する。HS 型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（329 千トン）、限界管理基準値（SBlimit）として SB0.75msy（189 千トン）、禁漁水準（SBban）として SB0.15msy（30 千トン）をそれぞれ提案する。限界管理基準値案の SB0.75msy は、MSY の 75%が得られる親魚量であり、Fmsy で漁獲を継続した場合に、5 年目の平均親魚量が SBmsy の 95%を実現する親魚量に相当する。禁漁水準の SB0.15msy は、MSY の 15%が得られる親魚量であり、漁獲がなかった場合に 3 年目の平均親魚量が限界管理基準値の 95%を実現する親魚量に相当する。目標管理基準値案（SBmsy）を実現する漁獲圧（Fmsy）は、現状（2017～2019 年漁期の平均の漁獲圧）の 0.79 倍である。

親魚量 (千トン)	現状の親魚量 (2019 年漁 期) に対する 比	初期親魚 量に対す る比	期待できる 平均漁獲量 (千トン) *	現状の漁獲圧 (2017～2019 年漁 期) に対する比*	説 明
目標管理基準値案					
329	2.19	0.52	273	0.79	最大持続生産量を実現する親魚量 (SBmsy)
限界管理基準値案					
189	1.26	0.30	204	0.97	MSY の 75%の漁獲 が得られる親魚量 (SB0.75msy)
禁漁水準案					
30	0.20	0.05	41	1.13	MSY の 15%の漁獲 が得られる親魚量 (SB0.15msy)

2019年漁期****					
150**	1.00	0.24	198***	—	2019年漁期の値

* 漁獲量および漁獲圧は、日本、韓国、および仮定した中国の合計値。

** 再生産関係における2014～2018年漁期の加入量の残差に基づき算出した2019年漁期資源量（542千トン）から推定した2019年漁期終了後の親魚量。

*** 2019年の日韓計漁獲量（48千トン、暫定値）に仮定した中国の漁獲量150千トンを加えた値。

**** 漁期は4月～翌年3月。

1. 再生産関係

1-1) 使用するデータセット

管理基準値の推定に用いたデータセットは令和元年度 我が国周辺水域の漁業資源評価（水産庁・水産機構）に仮定した中国の漁獲量を加えて計算しなおしたものである（補足資料2）。

再生産関係を求めるにあたって、近年、日本海でスルメイカを漁獲していることが明らかとなっている中国および北朝鮮による漁獲量が不明であるが、これを想定した場合としない場合とで推定される親魚量（残存資源尾数）に差が生じ、再生産関係、将来予測、目標設定等にも影響が及ぶという大きな問題がある。中国および北朝鮮による日本海での漁獲は、漁期の特徴から大部分は秋季発生系群が対象になっていると想定される（補足資料3）。

このうち、北朝鮮による漁獲量を推定できる情報はほとんどない。また、ロシアによる漁獲もあるが、日本海での漁獲量は少なく（最大で5,000トン/年まで）、また公表値ではないためここでは考慮しなかった。一方、中国による日本海側北朝鮮周辺水域における漁獲推定値については報告がある（チョほか 2016, Park et al. 2020）。ただし、同報告における各年の漁獲量の推定精度はそのまま採用できるほど高くなく、今後も継続的に推定値が得られる保証がない。このため、本報告ではチョほか（2016）や Park et al.（2020）における記述等に基づき、中国が北朝鮮周辺水域で漁獲を開始した2004年漁期以降では、2004、2009および2013年漁期の3ヶ年を除き、毎年15万トンの漁獲があったと仮定するシナリオを採用した（補足資料3）。

令和元年度の資源評価で採用した2019年漁期の加入尾数は、例年通りに資源量指標値から求めた値ではなかったためここでは使用せず、2018年漁期の親魚尾数推定値と本報告書で提案する再生産関係に基づいて推定した（補足資料2）。

本系群の再生産関係式の設定は「令和2（2020）年度漁獲管理規則およびABC算定のための基本指針（6月26日）（FRA-SA2020-ABCWG02-01）」に従い、以下のデータセットを使用して実施した。解析にはRパッケージ frasyr (v2.10) および messir (v1.1) を用いた。frasyr および messir で用いている式の詳細は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和2年度研究機関会議版）（FRA2020-ABCWG01-02）」を参照のこと。

データセット	基礎情報、関係調査等
資源量・親魚量	令和元年度 我が国周辺水域の漁業資源評価（水産庁・水産機構）に仮定した中国の漁獲量を加えて計算しなおしたもの（補足資料2）
2019年漁期漁獲量	漁業・養殖業精算統計年報暫定値（農林水産省）、いか釣り漁獲成績報告書（水産庁）、全国イカ水揚げ集計表（全漁連）、水産統計（韓国海洋水産部）（ https://www.fips.go.kr/p/Main/ 、2020年6月）
日韓以外の漁獲量	チョほか（2016）、Park et al.（2020）等を参照し提示した仮定値

1-2) 再生産関係の検討

本系群の管理基準値案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 1）として、ホッケー・スティック（HS）型再生産関係、ベバートン・ホルト（BH）型再生産関係、およびリッカー（RI）型再生産関係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用いた。なお、データとしては資源評価で推定された 1981～2017 年漁期の親魚尾数および 1982～2018 年漁期までの資源尾数（単年性のため加入尾数に等しい）を用いた。スルメイカの再生産関係では、ある年の漁期後の残存資源尾数をその年の漁期の親魚尾数と表現し、ある年漁期の親魚が翌年漁期の資源（加入）を産み出す関係として再生産関係を求めた。直近の 2018 年親魚尾数と 2019 年漁期の加入尾数の関係は、2019 年漁期の加入尾数推定に際して再生産関係を適用して得た推定値であり、2018 年漁期までのように資源量指標値から求めた値ではないため、再生産関係を求める際には使用しなかった。以上の仮定により得られた再生産関係の検討候補を表 1 に示した。なお、中国や北朝鮮の漁獲量についてその他の仮定を取り入れて管理基準値等を推定し比較検討した結果を補足資料 3 に示した。

補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると、HS 型、BH 型および RI 型の間に大きな差は見られず、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った。なお、いずれの方法でも自己相関係数は有意でなかったため（補足資料 1）、本資源においては加入の残差の自己相関を反映させないこととした。自己相関を考慮せず最適化方法に最小二乗法を適用した各再生産関係のモデル診断の結果はいずれも予測力に問題はなく（補足資料 1）、求められた SBmsy（2-1 項を参照）の値は、HS 型、BH 型および RI 型でそれぞれ 329、250 および 275 千トンであった（補足資料 4）。令和元年度に行った資源管理目標案等を提示しない旧手法による資源評価では、資源回復措置の閾値となる Blimit（以下、旧 Blimit）は日韓の漁獲量のみを想定した計算により 365 千トンとしていたが、本報告書と同様に仮定した中国の漁獲を加えると旧 Blimit は 276 千トンとなる（補足資料 2）。各再生産曲線（自己相関なし、最小二乗法）で試算された SBmsy を新たに求めた旧 Blimit（276 千トン）と比較すると、それぞれ+19%（HS 型）、-10%（BH 型）および同程度（RI 型）であった。つまり、BH 型や RI 型を適用した場合は、これまで資源回復措置の閾値としていた水準と同じ親魚量为目标管理基準値として提案することとなる（補足資料 4）。なお、候補となる再生産関係のうち、RI 型はドーム型の曲線となることから、親魚量がある値を超えると加入量が減少する強い密度効果を表現している。しかし、スルメイカでは産卵後に親魚が死亡すること、および同年級群の個体間での共食いは想定されても、それによって稚幼魚期の個体密度が低い方が漁獲資源への加入量が増加するような状況になることは生物学的に考えにくい。また、観察されている範囲内での RI 型再生産曲線は BH 型と類似しており、また管理基準値も BH 型と類似しているため（補足資料 2）、RI 型は候補に含めないこととした。

次に、HS 型と BH 型で比べた場合、AICc には大きな違いがなかったため、異なる再生産関係を誤って選択した場合のリスクについて簡易 MSE（Management Strategy Evaluation、管

理戦略評価)により比較した(補足資料5)。簡易的MSEの計算方法は「簡易的MSEを用いた複数の管理基準値の頑健性の比較・HCRの検討(FRA-SA2020-BRP01-7)」を参照のこと。簡易MSEに関して、ドキュメント(FRA-SA2020-BRP-01-7)では加入量予測に基づき2年前に決定したABCで管理するプロセスを想定しているが、スルメイカの場合は実際の資源評価と合わせ、1年後の加入量を予測し、1年前に設定したABCで漁獲管理するプロセスを想定している点異なる。MSEでは、真の再生産関係がBH型もしくはHS型の資源であった場合に、今後の管理において想定する再生産関係がBH型もしくはHS型であった場合の組み合わせ、すなわち4通りのシミュレーションを実施した。シミュレーションでの将来予測に際して、全てのケースにおいて後に述べる低加入シナリオ(補足資料8)に従った加入を仮定した。その結果、真の再生産関係がBH型のときに誤ってHS型を仮定した管理を行った場合は、管理初年(2021年魚期)の漁獲が低く抑えられるものの、それ以降は親魚量、漁獲量ともに正しくBH型であることを仮定した管理と遜色ない将来予測となった(補足図5-1、補足表5-1、5-2)。一方、真の再生産関係がHS型である場合では、誤ってBH型を仮定した管理を行うと、管理初年~2年目(2021~2022年魚期)の漁獲量を多く見積もり、その間に減少した親魚量が回復するのに20年程度の時間を要する結果となった(補足図5-2、補足表5-3、表9~13)。これらことから、真の再生産関係がBH型の場合であっても、HS型の再生産関係を仮定した管理の方が、資源や漁獲の安定性が確保されやすいと考えられた。

スルメイカは、海洋環境により回遊や産卵場形成が変化し、稚仔の生残が変化すると考えられ、多くの小型浮魚類と同様に、レジームシフトに代表される気候変動や海水温の変動と資源動向の間に関係が見られる(Kidokoro et al. 2010, Sakurai et al. 2000)。再生産関係のシフトを検出することを目的として状態空間モデルを利用した資源解析によれば、スルメイカ資源の再生産関係は1991~2014年漁期を生産力の高い好適レジーム、1990年漁期以前および2015年漁期以降を生産力の低い不適レジームと分けるのが妥当と結論づけられた(Nishijima et al. accepted)。ただし、管理にあたって、この結論の通りのレジーム分けを適用するのが妥当かどうかは検討の余地がある。このため、Nishijima et al. (accepted)において検出されたレジームシフト年に従って、1991~2014年漁期を好適レジーム、1982~1990年漁期および2015~2018年漁期を不適レジームとして再生産関係をそれぞれ求めた場合の将来予測を行った(補足資料6)。レジーム別で再生産関係を求めた場合、同じ親魚量から推定される翌年の資源量がレジームにより1.7倍程度異なり、MSYはレジームによって3倍以上異なった。また、好適レジームにおける予測漁獲量は過去最大の漁獲量を超える一方、維持する親魚量(SB_{msy})は好適レジームの中では低めであり、好適レジームの管理方針に疑問が残った。さらに、レジームによる再生産の違いが大きく、レジームを正しく速やかに判断することが資源の有効利用の上で重要となるが、実際にはレジームの変化を1~2年で判断することは難しいため、レジームを分けて再生産関係を求める手法は採用できないと判断した。

1-3) 再生産関係の候補

上述の通り、本系群の再生産関係の候補としては、「再生産関係推定ガイドライン（FRA-SA2020-ABCWG01-03）」の a（予測力）、b（生物学的妥当性）、g（異なる再生産関係を用いた場合のリスクの非対称性）および h（自己相関）の基準に従い、最小二乗法で最適化した自己相関を考慮しない HS 型再生産関係式を候補として提案する（図 1）。

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 HS 型再生産関係である。各パラメータの推定値を補足資料 1（補足表 1-1）に、過去の親魚尾数・加入尾数の観測値との関係を図 1 に示す。加入尾数の誤差の分布は対数正規分布を仮定した。対数残差の標準偏差は、再生産関係の予測値と観測値の対数残差の標準偏差（S.D., 表 1）を用いた（再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート FRA-SA-2020-ABCWG01-02）。

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案等の算出、および将来予測は、「令和 2（2020）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2020-ABCWG02-01）」の 1 系資源の管理規則に従い、1-3）で候補とした再生産関係と、令和元年度我が国周辺水域の漁業資源評価（水産庁・水産機構）での将来予測計算に用いた各種設定（自然死亡係数、平均体重）を使用して実施した。F_{current} は、2017～2019 年漁期の漁獲係数（F 値）の平均値とした（図 2、表 2）。本系群では、尾数ベースでシミュレーションを行い、上記の平均体重をかけることで、重量に換算している。また、通常は世代時間の 20 倍の年数のシミュレーションを行うが、本資源は単年性で加入量変動がそのまま資源量変動となるため、年々の資源量の変化の幅が大きいことから、世代時間（1 年）の 50 倍にあたる 50 年のシミュレーション期間後を平衡状態と仮定した。その際の平均漁獲量が最大化される F 値を F_{msy}、その F_{msy} で漁獲した場合の平衡状態での平均親魚尾数を重量に換算した親魚量を SB_{msy} とした。

2-2) 管理基準値案と禁漁水準案

目標管理基準値（SB_{target}）として MSY を実現する親魚量（SB_{msy} : 329 千トン）、限界管理基準値（SB_{limit}）として MSY の 75% の漁獲が得られる親魚量（SB_{0.75msy} : 189 千トン）、禁漁水準（SB_{ban}）として MSY の 15% の漁獲が得られる親魚量（SB_{0.15msy} : 30 千トン）を用いることを提案する。目標管理基準値案（SB_{msy}）を実現する漁獲圧（F_{msy}）は、現状（2017～2019 年漁期の平均の漁獲係数）の 0.79 倍である。

限界管理基準値について、標準値である SB_{0.6msy}（143 千トン）は、2019 年漁期の親魚量（150 千トン）より低く、過去に SB_{0.6msy} を下回った年は 1985、86、89 および 90 年漁期の 4 ヶ年のみとなる。しかし、資源量が低水準にあったと考えられる 80 年代や、日本と韓国の漁獲量が減少してきている中、中国による漁獲圧が高まっていると考えられる近年

の親魚量水準は、回復を要する水準に相当すると考える方が妥当である。したがって、SB0.6msy は限界管理基準値として適当でないと考えた。

そこで、本系群では、資源がその水準を下回った場合には Fmsy で漁獲しても MSY 水準までの資源に一定以上の年数を要する水準をシミュレーションにより検討し、それを SBlimit とすることを提案する。具体的には、SB0.6msy から 0.05 刻みで、MSY に対して一定パーセントの漁獲が得られるときの親魚量を推定し（つまり、SB0.6msy、SB0.65msy、SB0.7msy...）、それぞれの親魚量を起点として、Fmsy により漁獲を継続した場合に、5 年目の平均親魚量がおおよそ SBmsy を実現する（SBmsy の 95% を実現する親魚量のうち最も小さい）値を選んだ（補足資料 7）。一方、限界管理基準値の標準値である SB0.6msy を起点とした場合は、Fmsy による漁獲を継続した場合に平均親魚量が SBmsy の 95% を実現するまで 9 年を要すると試算された（補足図 7-1）。併せて禁漁水準についても、SB0.1msy、SB0.15msy、SB0.2msy... 等の候補の中から、通常の加入を仮定した場合に、3 年間の禁漁により平均親魚量が限界管理基準値案（SB0.75msy）を実現するのに必要な親魚量として求めた（補足資料 7）。この値は、提案する漁獲管理規則（ $\beta=1.0$ ）による漁獲の下では 4 年目に限界管理基準値案（SB0.75msy）を実現する親魚量に相当する。本系群は単年性資源で環境変化の影響を受けやすく、加入量、すなわち資源量が長期的にも、また短期的にも変動しやすい資源である。このため、資源が減少した際には、回復を妨げないように資源を維持する必要があると考えられることから、禁漁水準には標準値よりもやや高い SB0.15msy を提案する。

限界管理基準値および禁漁水準に上述の提案値を採用した場合と標準値である SB0.6msy と SB0.1msy を適用した場合について、管理効果に与える影響を比較した（補足資料 7）。このため、後述の 2-6) で検討する 2 通りの将来予測シナリオ（通常予測シナリオおよび低加入シナリオ）のもとで、今後の親魚量や漁獲量の推移を比較した。通常予測シナリオの場合、管理基準値に提案値を適用した場合において 2021 年漁期の漁獲量が 10% 程度低く見積もられるほかはほとんど差が無く、その後 7~8 年目までの漁獲量および親魚量は提案値で僅かに多く、SBmsy を上回る確率も提案値で僅かに高く推定された（補足図 7-2、7-3、補足表 7-3、7-4）。低加入シナリオにおいては、提案値による予測の方が 2030 年漁期までの漁獲量、親魚量が多く、また SBmsy を上回る確率が高い傾向が、通常予測シナリオよりも明瞭であったが、いずれにしても管理基準値による将来予測の差は小さかった（補足図 7-4、補足表 7-5、7-6）。また、平衡状態（2040~2050 年漁期）における平均漁獲量と平均親魚量には、適用する管理基準値案による差はほとんど見られなかった。以上のように、管理効果としては限界管理基準値と禁漁水準に提案値を用いた場合と標準値を用いた場合との差は小さい。しかし、SB0.6msy は再生産が好転しても資源の回復に時間が掛かる水準であり、後述のように低加入が想定される状況下においては SB0.6msy を当面の暫定目標として参照する意義が小さい。一方、SB0.75msy は再生産が好転した際により速やかに資源回復が図れる水準であり、低加入が想定される期間でも資源管理を実施する上で参照する意義のある値になると考えられる。

各基準値案について、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量（SB0）に対する比、平

平衡状態の時の平均漁獲量、%SPR 換算した漁獲圧、漁獲割合、現状の漁獲圧に対する比、および MSY を実現する漁獲圧における漁獲係数 (Fmsy) を表 3 に示す。目標管理基準値として提案する SBmsy は SB0 の 52% に相当し、その親魚量において期待できる平均漁獲量 (MSY) は 273 千トンである。また、目標管理基準値案に対応する漁獲圧 (MSY を実現する漁獲圧) の、現状の漁獲圧に対する比 (Fmsy/Fcurrent) は 0.79 で、その時の漁獲割合 (Umsy) は、28% である。なお、限界管理基準値として提案する SB0.75msy は SB0 の 30%、禁漁水準として提案する SB0.15msy は SB0 の 5% である。なお、中国および北朝鮮の漁獲に関する仮定による各パラメータの振れ幅は、中国の漁獲量としてゼロおよび 30 万トンを仮定したシナリオを除けば、本提案の値と比べて SBmsy で -5~+2%、MSY で -4~+9%、SB0 で -1~+1%、Fmsy で -4~+11%、Fmsy/Fcur で -29~+54% となる (補足表 3-2)。中国・北朝鮮による漁獲を考慮しない (ゼロと見なす) 場合でも、本提案 (15 万トンを仮定) との違いは SBmsy で -1%、MSY で -9%、SB0 で -3%、Fmsy で -7% と、これらのパラメータの変化は小さいものの、Fmsy/Fcur は +335% であり、Fcurrent の推定値が顕著に異なる。中国の漁獲量を 30 万トンと仮定したシナリオでは 2019 年漁期時点で想定漁獲量 (348 千トン) が資源量 (343 千トン) を上回ったため、2019 年漁期の F に 2016~2018 年漁期の平均 F を充てた上で各管理基準値を算出したが、本報告書で適用した仮定 (補足資料 3 におけるシナリオ A、15 万トンを仮定) で得られた値との違いは SBmsy で -13%、MSY で +16%、SB0 で -2%、Fmsy で +25%、Fmsy/Fcur は -42% となり、他の仮定を置いた場合よりも本報告書で適用した仮定による値からより外れた値が算定された (補足表 3-2)。

様々に F 値を変えたときの平衡状態における親魚量、およびこれに対する漁獲量の平均値の変化については図 3 に示す。

2-3) 目標管理基準値案と漁獲割合

目標管理基準値案 (SBmsy) と、その時の漁獲圧 Fmsy もしくは漁獲割合 Umsy 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係数 (F 値) は、1980 年代後半には MSY 水準を上回っていたが、1990 年代から 2000 年代前半にかけては 1998 年漁期を除き MSY 水準を下回った。中国の漁獲が本格化した 2005 年漁期以降でも、MSY 水準を下回るが多かったが、2016 年漁期以降は MSY 水準を上回っており、2019 年漁期の漁獲圧は Fmsy の 1.4 倍となっている。また、漁獲割合 (U 値) を基準にしても同様の傾向がみられた。現状の親魚量 (150 千トン) は限界管理基準値案 (SB0.75msy : 189 千トン) を下回っている。現状の親魚量に対する目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案の比は、それぞれ 2.19、1.26 および 0.20 である (要約表参照)。

2-4) 漁獲管理規則案

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 Fmsy には安全係数 β を乗じる。限界管理基準値案に SB0.75msy および禁漁水準案に SB0.15msy

を用いた場合の漁獲管理規則案における親魚量と漁獲係数の関係を図 5a に、この漁獲管理規則案で漁獲した場合に期待できる平均的な漁獲量との関係を図 5b に示す。図に例示した漁獲管理規則案は、いずれも β に標準値である 0.8 を用いている。なお、この漁獲量には日本と韓国の漁獲量に加え、仮定した中国の漁獲量が含まれる。

2-5) 漁獲管理規則案に基づく資源の将来予測

(1) 安全係数 β に標準値を用いた場合

限界管理基準値案・禁漁水準案に提案値（それぞれ SB0.75msy、SB0.15msy）を用い、 β を 0.8 とした漁獲管理規則案（図 5a）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 に示す。漁獲管理規則案による漁獲制御は 2021 年漁期から開始し、2019 年漁期の漁獲量を 198,154 トン（日本 14,588 トン（概数値）、韓国 33,566 トン（概数値）、中国 150,000 トン（仮定値））、2020 年漁期の漁獲量を予測される 2020 年漁期資源量と現状の漁獲圧（ F_{current} 、2017～2019 年漁期の F の平均値）から仮定値として求めた。

今後、推定された再生産関係に従った加入があると仮定した場合（通常加入シナリオ）、2020 年漁期の平均親魚量（2021 年漁期の加入を生む親魚量）は 163 千トンで限界管理基準値案（SB0.75msy）を下回っているため、漁獲管理規則案に従い、2021 年漁期はまず $\gamma \times \beta F_{\text{msy}}$ での漁獲が行われる。親魚量が 163 千トンのときは $\gamma = 0.84$ 、 $F = \gamma \times \beta F_{\text{msy}} = 0.84 \times 0.8 \times 0.48 = 0.32$ となり、現在の漁獲圧（ $F_{\text{current}} = 0.609$ ）の 53% に相当する漁獲圧となる。その後、平均親魚量は 2021 年漁期に 237 千トンとなり SB0.75msy を上回り、2023 年漁期に 348 千トンとなり SBmsy を上回る。親魚量が SB0.75msy を上回る確率は 2021 年漁期で 62%、2023 年漁期で 87% である。親魚量が SBmsy を上回る確率は 2021 年漁期で 17%、2023 年漁期で 49%、2024 年漁期で 56% であり、50% を上回るのは 2024 年漁期以降である。10 年目（2030 年漁期）で親魚量が SBmsy を上回る確率は 64% と、50% を超える。中長期的には、平均漁獲量は 250 千トン前後（MSY の 92%）、平均親魚量は 400 千トン前後（SBmsy の 122%）で推移していくと予測される（表 4～8）。

一方、近年の加入の残差は負に偏っており（補足図 1-2）、また 2015 年漁期からスルメイカの再生産関係が生産力の低い不適レジームに変化したと考えられることから（Nishijima et al. accepted）、当面は近年の低加入が続くことを想定した予測も必要である。このため、低加入シナリオとして、近年（過去 5 年、2015～2019 年漁期）の低加入が 5 年間継続した後、徐々に好転する将来予測を行った（図 7）（補足資料 8）。

低加入シナリオにおいては、2020 年漁期の平均親魚量は 124 千トンで限界管理基準値案（SB0.75msy）を下回っているため、漁獲管理規則案に従い、まず $\gamma \times \beta F_{\text{msy}}$ での漁獲が行われる。 $\beta = 0.8$ の場合、2021 年漁期の $\gamma \times \beta F_{\text{msy}}$ での漁獲圧は 0.23 であり、現在の漁獲圧の 37% に相当する。ただし、2021 年漁期の加入から通常シナリオよりも低加入を想定するため、その後の平均親魚量は 2021 年漁期で 150 千トン、2023 年漁期で 187 千トンと、それぞれ通常予測シナリオの 63%、54% となる。平均親魚量が SB0.75msy を上回るのは 2022 年

漁期以降、SBmsy を上回るのは 2028 年漁期以降である。親魚量が SB0.75msy を上回る確率は 2021 年漁期で 14%、2023 年漁期で 45%であり、2024 年漁期以降で 50%を超える。親魚量が SBmsy を上回る確率は 2023 年漁期まで 0%、2025 年漁期で 16%で、50%を上回るのは 2028 年漁期以降である。以上のように、各管理基準値案を上回る確率は、低加入シナリオにおいては通常予測シナリオよりも低めで推移する。低加入シナリオにおいて 10 年目(2030 年漁期)で親魚量が SBmsy を上回る確率は 52%と、50%を超える。中長期的には、平均漁獲量は 260 千~270 千トン、平均親魚量は 410 千~430 千トンで推移していくと予測される(表 9~13)。

(2) 安全係数 β を変えた場合

管理基準値案として標準値を用いた漁獲管理規則案での将来予測について、それぞれ β 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案を上回る確率、限界管理基準値案を上回る確率、禁漁水準案を上回る確率、平均親魚量の推移、および平均漁獲量の推移を表 4~15 に示す。このうち、表 4~8 および表 14 は通常予測シナリオ、表 9~13 および表 15 は低加入シナリオによる推移をそれぞれ示す。

通常予測シナリオの場合、 $\beta=0.9$ でも管理開始後 5 年目(2025 年漁期)に SBmsy を上回る確率が 50%を超える。このときの平均漁獲量は 2021~2023 年漁期まで、それぞれ 128、188、223 千トンと推定される。また、 $\beta=1.0$ では SBmsy を 50%以上の確率で上回ることはないものの、2025 年漁期に SBmsy を上回る確率は 44%で、このときの平均漁獲量は 2021~2023 年漁期まで、それぞれ 140、198、232 千トンと試算される。 $\beta=1.0$ であっても、管理開始後 1 年目の 2021 年漁期で親魚量が SB0.75msy を上回る確率は 59%と、50%を超える。Fcurrent では 2023~2030 年漁期で SBmsy を上回る確率は 12~15%、SB0.75msy を上回る確率は 41~43%で、このときの 2021~2023 年漁期までの平均親魚量はそれぞれ 176、185、189 千トン、平均漁獲量はそれぞれ 200、210、214 千トンと試算された。Fcurrent では、2023~2030 年漁期まで平均親魚量は 190 千トン前後、平均漁獲量は 210~220 トンで安定して推移すると試算された。

低加入シナリオの場合、管理開始後 5 年目(2025 年漁期)に平均親魚量が SBmsy を上回る確率が 50%を超えるのは $\beta=0.5$ 以下のときで、10 年目(2030 年漁期)に平均親魚量が SBmsy を上回る確率が 50%を超えるのは $\beta=0.8$ 以下のときである。また、5 年目(2025 年漁期)に SB0.75msy を上回る確率が 50%を超えるのは $\beta=0.9$ 以下のときである。 $\beta=0.9$ のときの平均漁獲量は 2021~2023 年漁期まで、それぞれ 60、83、99 千トンと試算される。Fcurrent では 2030 年漁期で SBmsy を上回る確率は 1%、SB0.75msy を上回る確率は 6%で、このときの 2021~2023 年漁期の平均親魚量はそれぞれ 103、86、71 千トンで、平均漁獲量はそれぞれ 117、97、81 千トンと試算される。Fcurrent では、2030 年漁期まで親魚量、漁獲量ともに極めて低い水準で推移し、2030 年漁期に平均親魚量 65 千トン、平均漁獲量 73 千トンと試算される。その後、加入の予測が好転するように移行するのに従って両者ともに徐々に増加する予測となる。なお、この漁獲量には日本と韓国の漁獲量に加え、仮定した中国の漁獲量が含まれる。

以上のように、提案する再生産関係に基づき通常通りの予測を行った場合は、Fcurrent で

あっても、親魚量は10年目でも現状よりも高い値で維持され、MSY水準には到達しないまでも、SB0.75msyを上回る確率が40%を超えると試算される。しかし、特に2015年漁期以降は $F_{current}$ に近い漁獲圧の中で資源量は減少傾向にあり、 $F_{current}$ が継続しても資源が維持されるという通常予測シナリオは近い将来の推移として想定しにくいと考えられる。このため、管理にあたっては、近年の加入の残差が負に偏っていること（補足図1-2）を重視した低加入シナリオに基づく将来予測も参照するのが望ましい。

なお、今後の資源評価における将来予測の際には、新たな年で得られる加入の残差が将来予測に反映されるよう、5年ずつで区切られた参照年を1年ずつ後の年にシフトしていく予定である。すなわち、例えば2020年度の資源評価においては、2021～2025年漁期の加入を、2016～2020年漁期の残差から重複を許してリサンプリングすることとする。このような対処により、再生産に回復の兆しが生じた場合は、それに従ってより良い加入を想定した将来予測に徐々にシフトしていくこととなる。一方、もし低加入の状態が継続するならば、目標管理基準値への回復を目指す通過点として、限界管理基準値の達成確率も参照しつつ管理することも想定される。このとき、SB0.6msyでは過去にこれを下回った年は4ヶ年しかなく、維持回復を図るための基準としては参照しにくい。一方、SB0.75msyであれば、再生産関係が好転した際に速やかに目標管理基準値を実現することを目指すことが可能となる水準であることから、低加入が予測される期間において参照可能な値と考えられる。

3. まとめ

本系群の再生産関係のモデルには、令和元年度本系群の資源評価データに仮定した中国の漁獲量を加えて計算しなおした1981～2017年漁期の親魚尾数および1982～2018年漁期までの加入（資源）尾数に基づき、自己相関を考慮しないHS型再生産関係を使用し、そのパラメータ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を実現する親魚量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SBmsy（329千トン）とすることを提案する。限界管理基準値としてSB0.75msy（189千トン）、禁漁水準としてSB0.15msy（30千トン）をそれぞれ提案する。限界管理基準値案のSB0.75msyは、再生産関係が通常に戻った際に速やかに親魚量のMSY水準への回復が期待される水準であり、通常の将来予測により F_{msy} により漁獲を継続した場合に5年間でSBmsyの95%水準まで回復するための親魚量水準に相当する。禁漁水準案のSB0.15msyは、通常の将来予測により、漁獲がない場合に3年目に限界管理基準値案への回復が期待される水準である。

現在の本系群の親魚量は限界管理基準値案未満にあると考えられる。MSYを実現するときの漁獲割合は28%、漁獲圧は $F_{current}$ の0.79倍である（表3）。

本系群は、今後数年は低加入が続く可能性が高く、そのような状況下でも、5年目に限界管理基準値案を50%以上の確率で上回るような管理を行うことが望ましく、そのための β は0.9である（表10）。ここで挙げる低加入の予測では、将来の加入は通常の状態よりも少なく仮定しているため、 β が同じであっても、漁獲量は通常の状態よりも少なく予測されることに注意を要する（表8、表13）。また、5年間低加入が続いたとしても、限界管理基準値案まで資源を回復させれば、6年目以降に再生産が通常の状態に戻った場合、10年目に親

魚量は目標管理基準値案付近まで回復する。なお、今後の加入が通常の状態であれば、10年後に目標管理基準値案を50%以上の確率で上回るための β は0.9以下である（表4）。

以上に述べた漁獲量および漁獲圧は、日本、韓国および仮定した中国の合計値である。

4. 今後の検討事項

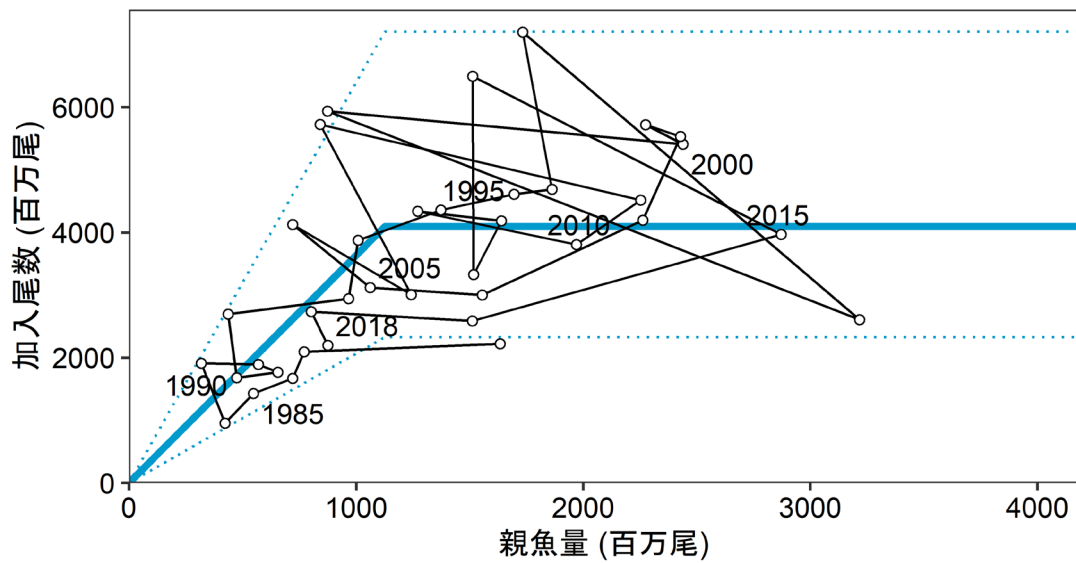
本資源の資源評価結果に大きな不確実性をもたらす要因として、中国漁船や北朝鮮漁船による漁獲の影響を無視できず、特に中国漁船による漁獲量は日本と韓国の合計漁獲量に匹敵、もしくは大きく上回っていると推定され（チョほか 2016, Park et al. 2020）、漁獲圧の現状評価、目標管理基準値の提案、将来予測等に際して、仮定値であっても同国の漁獲量を導入せざるを得ない点が挙げられる。ある程度の想定範囲内であれば、管理基準値案や本系群に対する漁業の現状認識に大きな違いは生じてないことが本報告書で示されたものの（補足資料3）、より確度の高い推定が可能となるよう、漁獲動向に関する情報収集やモニタリングを継続することが肝要である。

2019年漁期の資源量は、日本海におけるスルメイカの回遊経路に特異的な変化が生じた結果、我が国沿岸域での漁獲や韓国での漁獲がある程度維持された一方で、我が国沖合域での漁獲が極めて低水準に落ち込んだ。このため、我が国EEZの日本海沖合域を中心として実施している漁場一斉調査による資源量指標値から2019年漁期の資源量を求めることができず、前進計算による推定値を2019年漁期の資源量と扱わざるを得ない問題が生じた。今後も同様な分布変化が起きる可能性があるため、漁場一斉調査の結果のみを指標値とする現行の資源評価手法を再検討し、複数の指標値を活用できる方法に移行する必要がある。

5. 引用文献

- チョ ジョンヒ・チョン ミョンファ・ムン ソ克蘭・イ ドンリム・キム セイン (2016) 中国漁業北朝鮮水域操業被害調査研究 (중국어선 북한수역조업피해조사 연구). 韓国海洋水産開発院. 1-113. (韓国語)
- Kidokoro, H., T. Goto, T. Nagasawa, H. Nishida, T. Akamine and Y. Sakurai (2010) Impact of a climate regime shift on the migration of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) in the Sea of Japan. ICES J. Mar. Sci., **67**, 1314-1322.
- Nishijima S., H. Kubota, T. Kaga, S. Okamoto, H. Miyahara and H. Okamura (2020) State-space modeling clarifies productivity regime shifts of Japanese flying squid. Popul. Ecol. <https://doi.org/10.1002/1438-390X.12062>
- Park, J., J. Lee, K. Seto, T. Hochberg, B. A. Wong, N. A. Miller, K. Takasaki, H. Kubota, Y. Oozeki, S. Doshi, M. Midzik, Q. Hanich, B. Sullivan, P. Woods and D. A. Kroodsma (2020) Illuminating dark fishing fleets in North Korea. Sci. Adv., **6**, eabb1197.
- Sakurai, Y., H. Kiyofuji, S. Saitoh, T. Goto and Y. Hiyama (2000) Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. ICES J. Mar. Sci., **57**, 24-30.

(執筆: 久保田洋、宮原寿恵、西嶋翔太、加賀敏樹、岡本 俊)



関数形: HS, 自己相関: 0, 最適化法L2, AICc: 32.67

図1. 再生産関係

1981～2017年漁期の親魚尾数と1982～2018年漁期の加入尾数の関係を示す。図中の数字は加入年を示す。再生産関係には自己相関を考慮しないホッケー・スティック（HS）型再生産関係式を用い、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。パラメータ推定の際は加入尾数の推定値に不確実性の高い2019年漁期のデータを除いた。図中の再生産関係式（青線）の上下の青点線は、仮定されている再生産関係において観察データの90%が含まれると推定される範囲である。

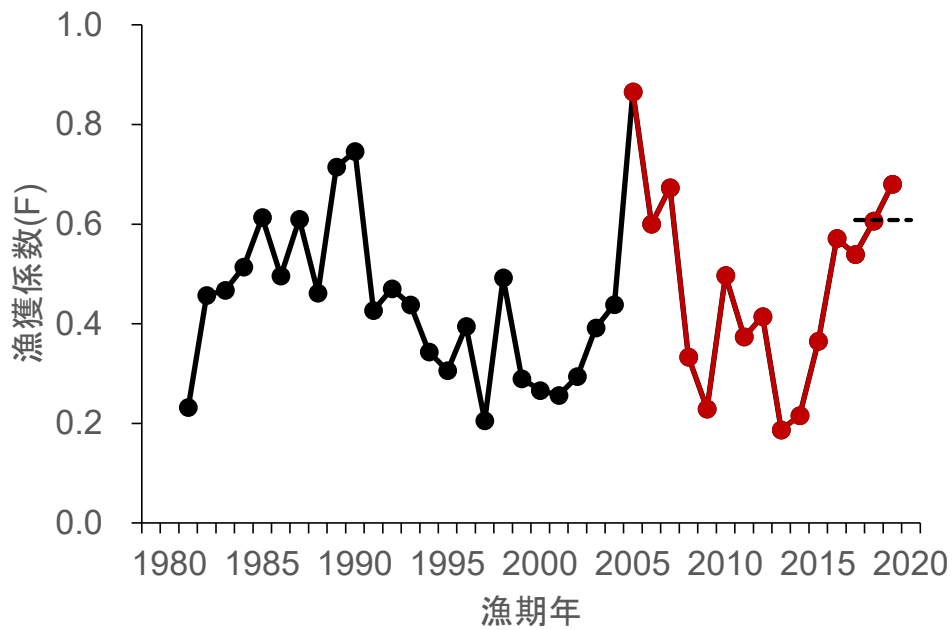


図2. 1981～2019年漁期の漁獲係数（F値）の推移

2005年漁期以降（赤）は日本と韓国の漁獲量に加えて仮定した中国の漁獲量を含んだ漁獲量から計算されるF値。破線は2017～2019年のF値の平均を示す。

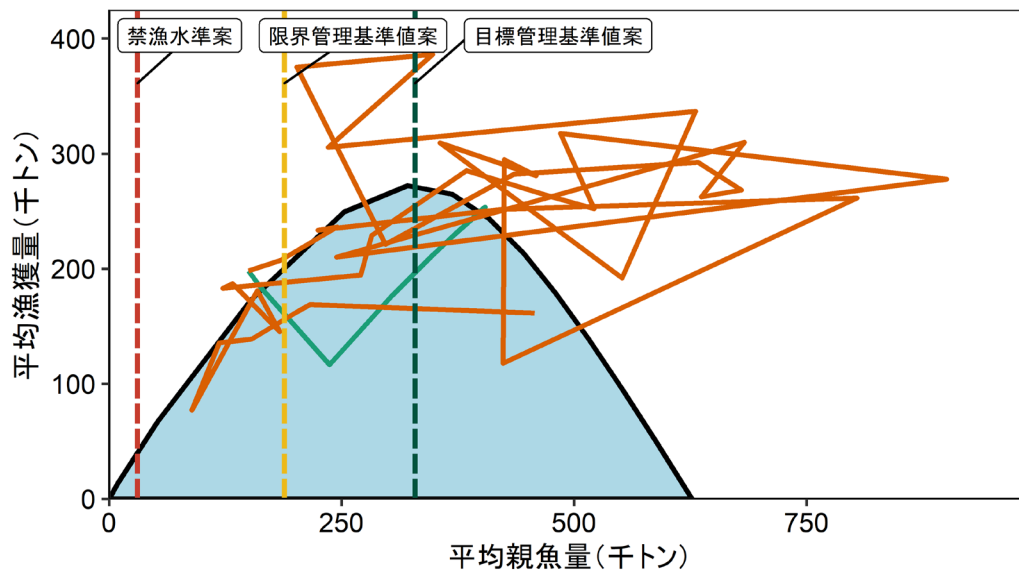
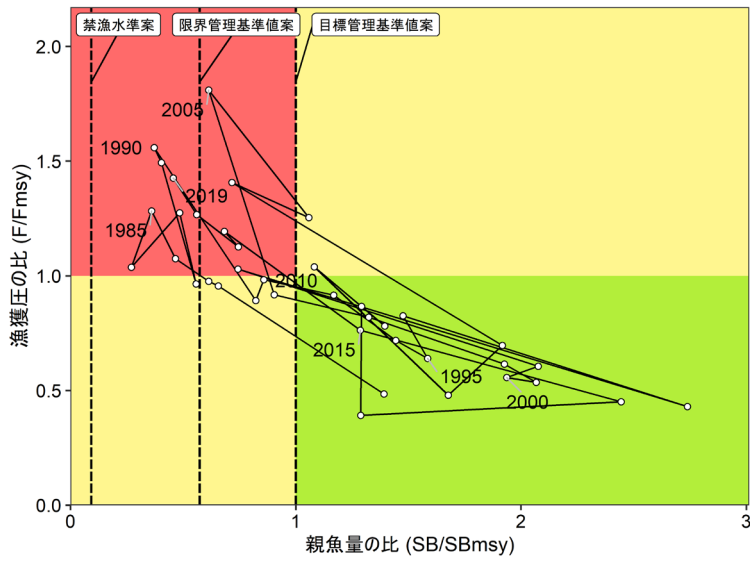


図3. 管理基準値案と漁獲量曲線の関係

将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、親魚量に対する平均漁獲量と、それぞれの管理基準値案の位置関係を示す。赤線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、緑線は提案する管理基準値案に基づく漁獲管理規則案（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で使用した安全係数 β は0.8である。なお、漁獲がなかった場合を仮定した初期親魚量（SB0）は627千トンである。

a) 縦軸を漁獲圧の比 (F/Fmsy) で示した場合



b) 縦軸を漁獲割合の比 (U/Umsy) で示した場合

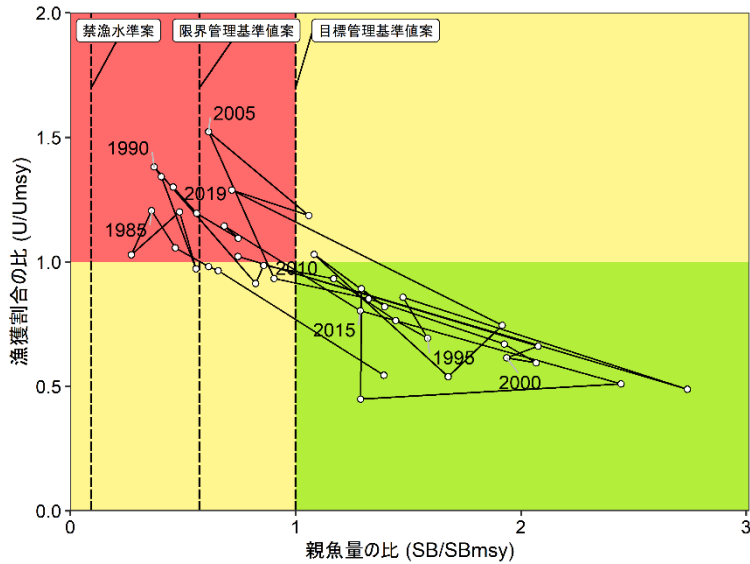
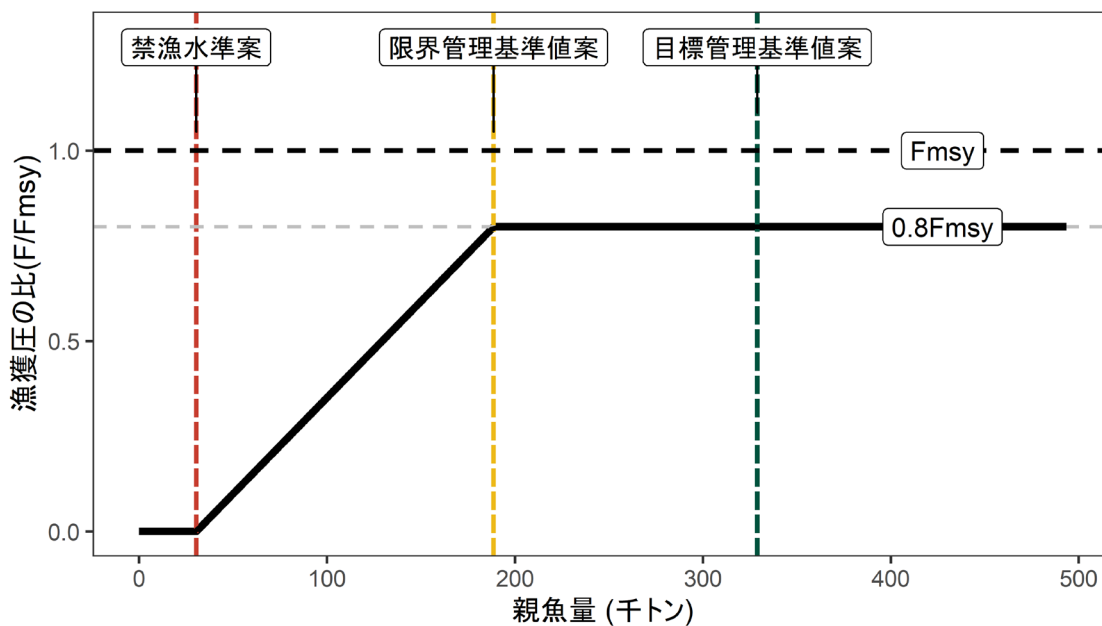


図4. 神戸プロット (4 区分)

縦軸に漁獲圧の比を用いた場合 (上図) および漁獲割合の比を用いた場合 (下図) を示す。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

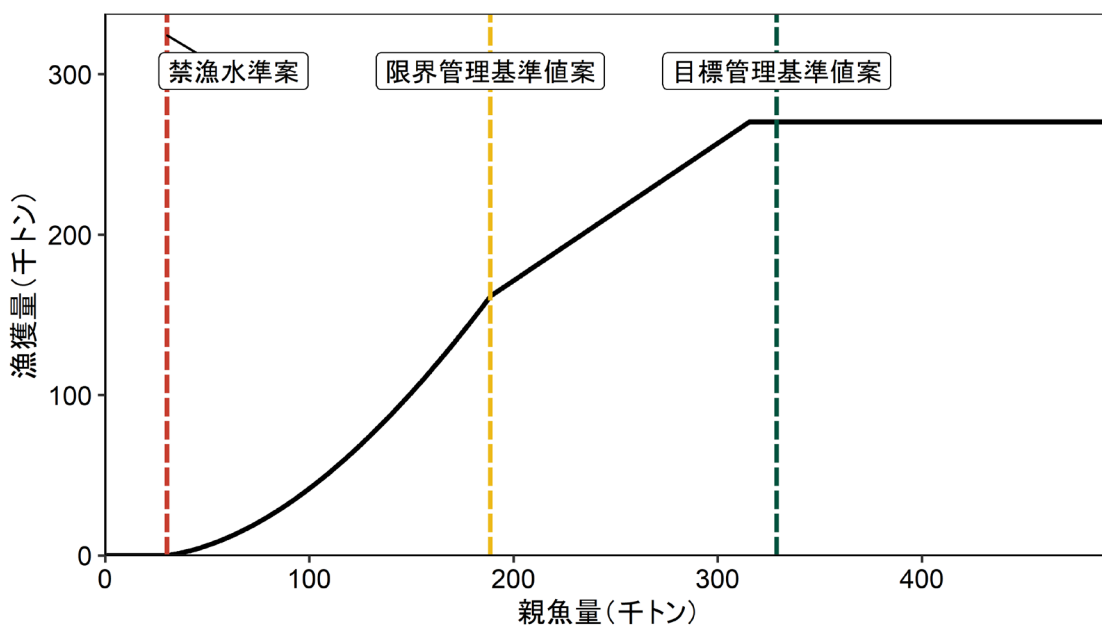


図 5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は HS 型再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値 (SBlimit) 案および禁漁水準 (SBban) 案には、それぞれ $SB_{0.75msy}$ および $SB_{0.15msy}$ を用いている。安全係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤破線は禁漁水準案、黄破線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。

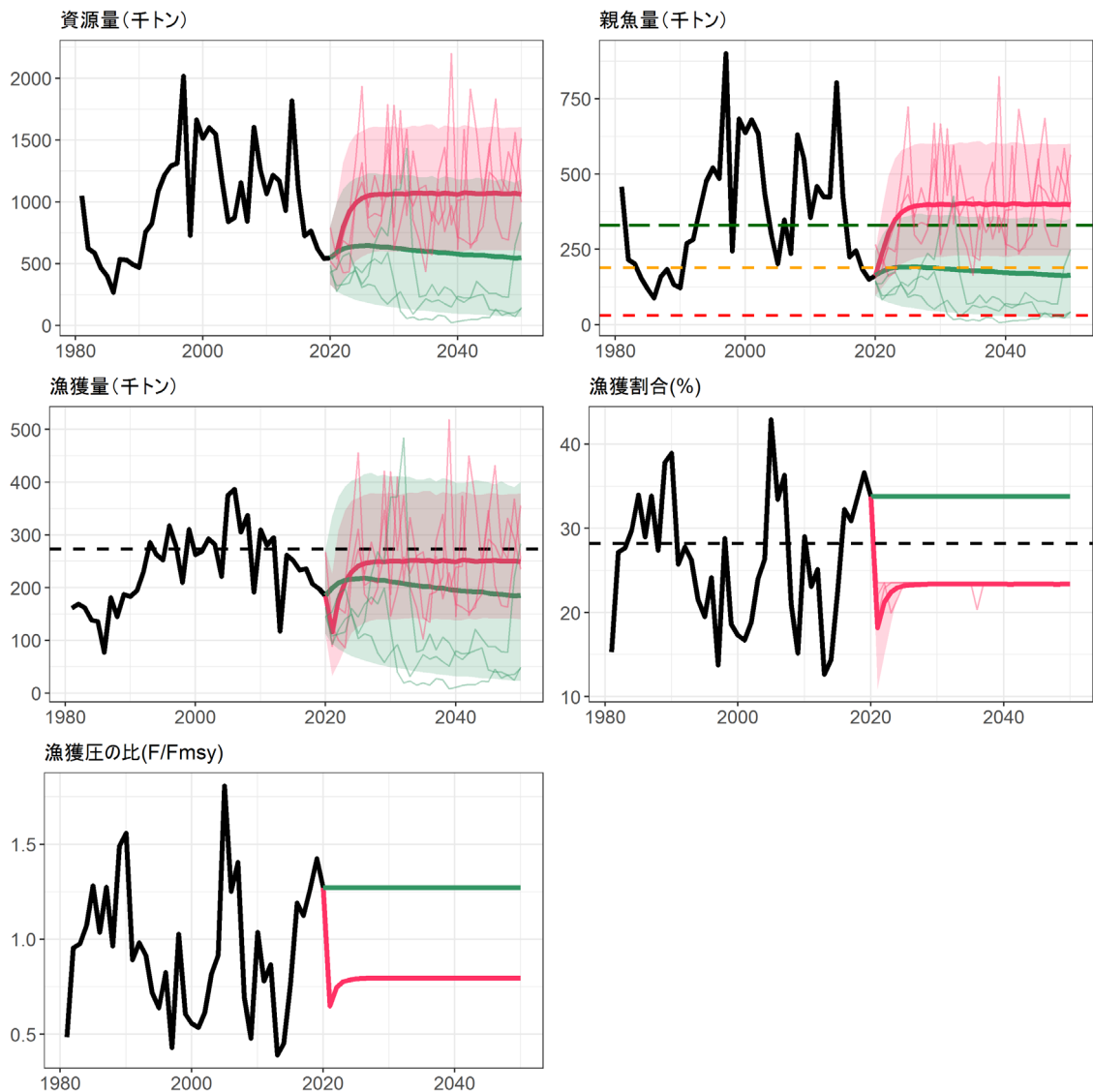


図 6. 通常加入シナリオを適用し、管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 80%が含まれる 80%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。赤色で漁獲管理規則案を用いた将来予測、青色で現状の漁獲圧による将来予測を示した。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2020 年の漁獲量は予測される資源量と $F_{current}$ により仮定した。漁獲管理規則案 (2021 年以降) は標準の管理基準値案に基づく (図 5)。安全係数 β には 0.8 を用いた。

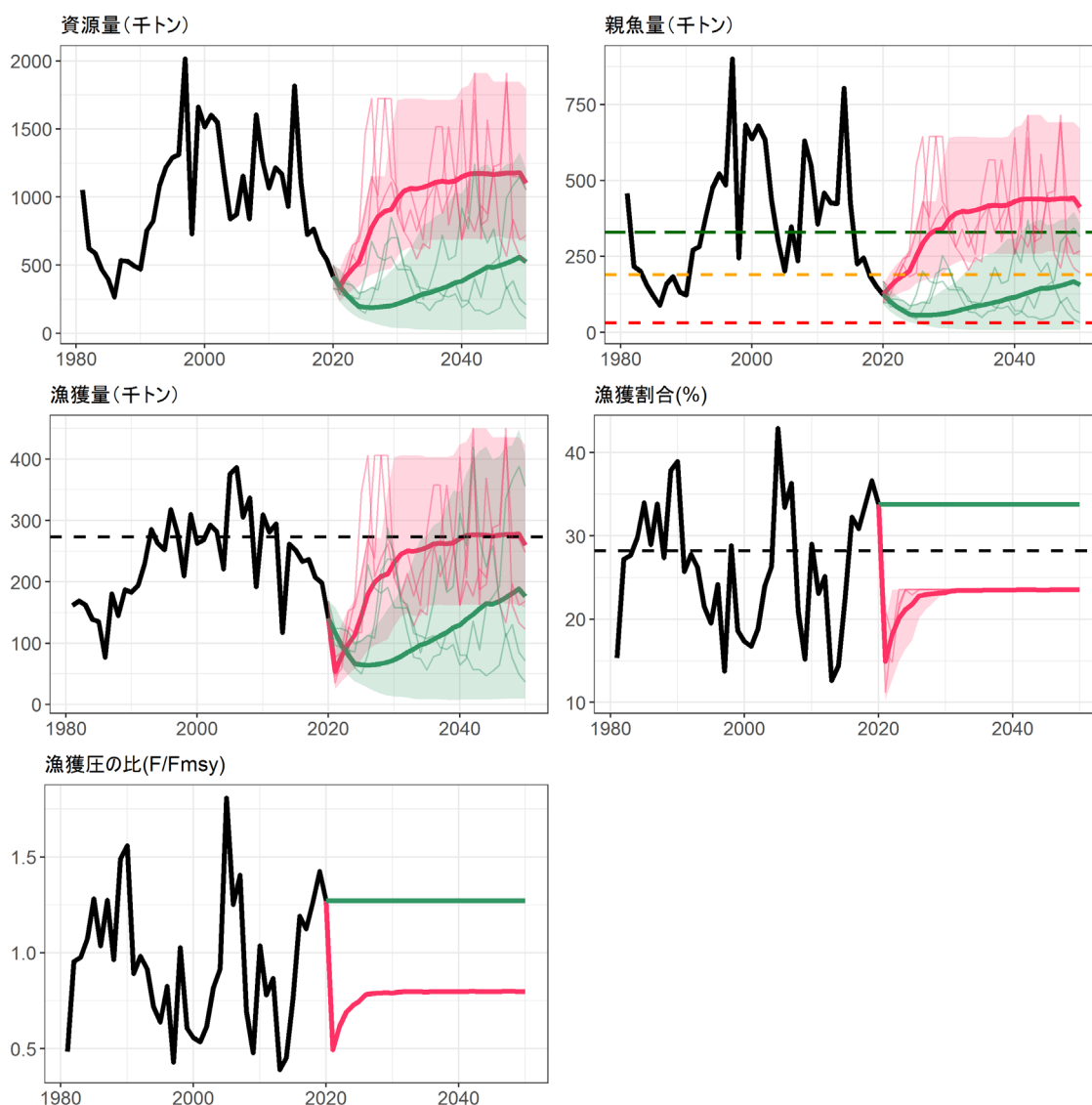


図 7. 低加入シナリオを適用し、管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測の比較

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 80%が含まれる 80%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。赤色で漁獲管理規則案を用いた将来予測、青色で現状の漁獲圧による将来予測を示した。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄破線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2020 年の漁獲量は予測される資源量と $F_{current}$ により仮定した。漁獲管理規則案 (2021 年以降) は標準の管理基準値案に基づく (図 5)。安全係数 β には 0.8 を用いた。

表 1. 再生産関係式の検討候補

再生産関係式	最適化法	自己 相関	AICc	Δ AICc	Δ AICc の 順位	S.D.	データ数
HS 型	最小絶対値法	無	36.1	4.4	5	0.349	37
BH 型	最小絶対値法	無	36.9	5.2	6	0.361	37
RI 型	最小絶対値法	無	35.4	3.8	4	0.348	37
HS 型	最小二乗法	無	32.7	1.0	2	0.344	37
BH 型	最小二乗法	無	33.5	1.9	3	0.348	37
RI 型	最小二乗法	無	31.7	0.0	1	0.339	37

推奨する再生産関係を太字とした。また、S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標で、対数残差の標準偏差（Standard Deviation、平均二乗誤差の平方根）である。

表 2. MSY を実現する親魚量の算出および将来予測計算に用いた各種設定

自然死亡係数	平均重量(g)	現状の漁獲圧 (Fcurrent)
0.6	280	0.609

表 3. 各種管理基準値案および禁漁水準案に対応する漁獲量や漁獲圧等

管理基準値案 又は禁漁水準案	説明	親魚量 (千トン)	SB0 に 対する比 ※	漁獲量 (千ト ン) ※※	漁獲 圧 ※※※	漁獲 割合 ※※※※	現状の 漁獲圧に 対する比 ※※※※※
目標管理基準値案	SBmsy	329	0.52	273	62%	0.28	0.79
限界管理基準値案	SB0.75msy	189	0.30	204	55%	0.33	0.97
禁漁水準案	SB0.15msy	30	0.05	41	50%	0.37	1.13
MSY を実現する漁獲圧	Fmsy	0.48					

※漁獲がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) に対する管理基準値案や禁漁水準案の比

※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧の下での平衡状態における平均漁獲量

※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧を%SPR に換算した値

※※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲割合

※※※※※管理基準値案や禁漁水準案に対応する漁獲圧の現状の漁獲圧に対する比

表 4. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%) (通常加入シナリオ)

安全係数 β を 0.0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで変更した場合の、漁獲管理規則案 (図 5) での将来予測および $F_{current}$ による将来予測。目標管理基準値案 SB_{target} に SB_{msy} を用いた。2020 年漁期は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	0	2	12	25	34	39	43	45	46	47	47	47	46	47
0.9	0	2	14	30	42	48	52	54	55	55	55	56	55	56
0.8	0	2	17	35	49	56	60	62	62	64	63	64	63	64
0.7	0	2	19	41	56	63	68	69	70	71	70	71	70	71
0.6	0	2	21	47	63	71	74	75	76	77	76	77	76	77
0.5	0	2	24	53	70	77	80	81	81	82	81	81	81	82
0.4	0	2	27	59	76	82	84	85	86	86	85	86	85	86
0.3	0	2	30	64	80	86	88	89	89	89	89	89	89	89
0.2	0	2	32	69	85	90	91	91	92	92	91	91	91	92
0.1	0	2	36	74	88	93	93	94	94	94	93	93	94	93
0.0	0	2	39	78	91	95	95	95	95	96	95	95	95	95
$F_{current}$	0	2	7	10	12	13	13	14	15	14	14	14	12	12

表 5. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%) (通常加入シナリオ)

安全係数 β を 0.0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで変更した場合の、漁獲管理規則案 (図 5) での将来予測および $F_{current}$ による将来予測。限界管理基準値案 SB_{limit} に $SB_{0.75msy}$ を用いた。2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	0	28	56	70	79	84	86	87	88	89	89	89	89	90
0.9	0	28	59	75	83	88	90	92	92	93	93	93	93	93
0.8	0	28	62	79	87	92	93	95	95	96	96	96	95	96
0.7	0	28	65	82	91	95	96	97	97	97	97	97	97	97
0.6	0	28	68	86	93	96	97	98	98	99	99	98	98	99
0.5	0	28	70	88	95	98	98	99	99	99	99	99	99	99
0.4	0	28	72	91	97	99	99	99	99	100	100	99	99	99
0.3	0	28	75	92	98	99	99	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	28	77	94	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	28	79	95	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	28	80	96	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$F_{current}$	0	28	36	40	41	43	43	43	43	43	43	42	38	36

表 6. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%) (通常加入シナリオ)

安全係数 β を 0.0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで変更した場合の、漁獲管理規則案 (図 5) での将来予測および $F_{current}$ による将来予測。禁漁水準案 SB_{ban} に $SB_{0.15msy}$ を用いた。2020 年漁期は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$F_{current}$	100	100	100	100	99	99	98	97	97	96	96	95	89	85

表 7. 将来の平均親魚量（千トン）の推移（通常加入シナリオ）

安全係数 β を 0.0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで変更した場合の、漁獲管理規則案（図 5）での将来予測および $F_{current}$ による将来予測。2020 年漁期は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	150	163	219	266	297	315	327	334	338	340	340	341	341	341
0.9	150	163	228	284	322	343	357	364	368	369	369	371	370	370
0.8	150	163	237	304	348	372	387	394	397	398	398	400	398	399
0.7	150	163	246	325	376	402	416	423	426	427	426	428	425	426
0.6	150	163	256	348	405	432	446	452	454	455	453	455	452	454
0.5	150	163	266	372	435	462	475	480	481	482	480	483	479	481
0.4	150	163	276	397	466	493	504	508	509	510	507	510	507	508
0.3	150	163	287	424	497	524	534	537	537	538	535	538	535	536
0.2	150	163	299	452	530	555	563	566	566	567	563	567	563	564
0.1	150	163	311	482	563	587	593	596	596	596	592	597	592	593
0.0	150	163	323	513	597	619	624	627	626	627	623	627	623	624
$F_{current}$	150	164	176	185	189	191	192	193	191	189	189	187	172	164

表 8. 将来の平均漁獲量（千トン）の推移（通常加入シナリオ）

安全係数 β を 0.0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで変更した場合の、漁獲管理規則案（図 5）での将来予測および $F_{current}$ による将来予測。2020 年漁期は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	198	185	140	198	232	251	264	270	275	276	277	278	278	278
0.9	198	185	128	188	223	243	255	261	264	265	266	267	266	267
0.8	198	185	116	177	212	230	241	246	248	249	249	251	249	250
0.7	198	185	104	163	197	213	222	226	228	229	228	229	228	228
0.6	198	185	91	147	178	192	199	202	203	204	203	204	203	203
0.5	198	185	77	129	156	168	173	175	176	176	175	176	175	175
0.4	198	185	63	108	131	140	143	145	145	145	144	145	144	145
0.3	198	185	48	85	103	109	111	112	112	112	111	112	111	112
0.2	198	185	33	59	71	75	76	77	77	77	76	77	76	76
0.1	198	185	17	31	37	39	39	39	39	39	39	39	39	39
0.0	198	185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$F_{current}$	198	185	200	210	214	217	217	218	217	214	214	211	195	185

平均漁獲量は日本、韓国および仮定した中国の漁獲量の合計。

表 9. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率 (%) (低加入シナリオ)

安全係数 β を 0.0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで変更した場合の、漁獲管理規則案 (図 5) での将来予測および $F_{current}$ による将来予測。目標管理基準値案 SB_{target} に SB_{msy} を用いた。2020 年漁期は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	0	0	0	0	0	0	5	14	22	28	32	34	53	50
0.9	0	0	0	0	0	0	8	20	30	37	39	41	59	54
0.8	0	0	0	0	0	2	16	32	46	52	55	52	67	62
0.7	0	0	0	0	2	7	28	48	60	64	66	69	77	68
0.6	0	0	0	0	7	16	44	63	70	73	74	76	78	74
0.5	0	0	0	2	14	28	59	73	76	78	78	86	87	83
0.4	0	0	0	5	24	46	76	85	88	90	89	93	91	86
0.3	0	0	0	9	34	59	84	88	89	90	90	93	91	89
0.2	0	0	0	14	51	81	97	99	100	100	100	100	100	97
0.1	0	0	0	21	64	90	99	100	100	100	100	100	100	97
0.0	0	0	0	30	75	95	100	100	100	100	100	100	100	97
$F_{current}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	9	14

表 10. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%) (低加入シナリオ)

安全係数 β を 0.0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで変更した場合の、漁獲管理規則案 (図 5) での将来予測および $F_{current}$ による将来予測。限界管理基準値案 SB_{limit} に $SB_{0.75msy}$ を用いた。2020 年は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	0	0	7	15	22	25	48	60	65	66	67	79	93	94
0.9	0	0	10	23	32	39	63	72	75	77	78	88	97	97
0.8	0	0	14	31	45	55	77	84	86	88	89	95	99	99
0.7	0	0	17	40	58	70	87	92	94	95	96	98	100	100
0.6	0	0	22	49	69	82	94	97	98	99	99	100	100	100
0.5	0	0	26	57	79	90	98	99	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	30	66	87	96	99	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	33	74	92	98	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	37	80	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	41	85	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	0	47	89	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$F_{current}$	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	5	6	23	36

表 11. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%) (低加入シナリオ)

安全係数 β を 0.0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで変更した場合の、漁獲管理規則案 (図 5) での将来予測および $F_{current}$ による将来予測。禁漁水準案 SB_{ban} に $SB_{0.15msy}$ を用いた。2020 年漁期は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$F_{current}$	100	100	100	100	99	94	88	80	72	65	59	60	65	75

表 12. 将来の平均親魚量（千トン）の推移（低加入シナリオ）

安全係数 β を 0.0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで変更した場合の、漁獲管理規則案（図 5）での将来予測および $F_{current}$ による将来予測。2020 年漁期は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	150	124	141	153	160	165	196	226	249	265	274	297	363	356
0.9	150	124	145	161	173	181	219	256	283	299	308	333	398	384
0.8	150	124	150	171	187	202	250	294	322	336	342	372	431	412
0.7	150	124	154	181	205	227	287	336	362	372	376	412	463	440
0.6	150	124	159	192	226	257	331	379	399	406	408	450	492	466
0.5	150	124	164	205	249	290	376	418	431	436	437	482	519	491
0.4	150	124	168	219	276	326	421	453	461	463	463	510	547	518
0.3	150	124	174	235	305	362	461	483	487	488	487	536	574	543
0.2	150	124	179	252	336	398	497	510	511	512	511	563	602	570
0.1	150	124	184	270	370	432	529	536	537	537	536	590	632	598
0.0	150	124	190	291	404	464	559	563	563	564	562	619	663	627
$F_{current}$	150	124	103	86	71	59	57	57	57	59	61	65	115	156

表 13. 将来の平均漁獲量（千トン）の推移（低加入シナリオ）

安全係数 β を 0.0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで変更した場合の、漁獲管理規則案（図 5）での将来予測および $F_{current}$ による将来予測。2020 年漁期は $F_{current}$ で漁獲し、2021 年漁期から漁獲管理規則案による漁獲とした。

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	198	141	66	86	99	107	131	170	194	207	216	231	296	292
0.9	198	141	60	83	99	111	139	176	199	211	217	234	287	278
0.8	198	141	54	79	99	113	145	180	199	209	213	231	271	259
0.7	198	141	48	75	96	113	148	178	193	199	201	221	249	236
0.6	198	141	42	69	92	110	145	169	179	182	183	202	221	209
0.5	198	141	35	61	85	103	136	153	157	159	160	176	190	179
0.4	198	141	29	52	75	92	119	129	131	132	132	145	156	147
0.3	198	141	22	42	62	75	96	101	101	102	101	112	120	113
0.2	198	141	15	30	45	54	67	69	69	69	69	76	82	77
0.1	198	141	8	16	24	29	35	35	36	36	35	39	42	40
0.0	198	141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$F_{current}$	198	141	117	97	81	67	65	64	65	67	69	73	130	177

平均漁獲量は日本、韓国および仮定した中国の漁獲量の合計。

表 14. 通常加入シナリオにより予測される親魚量、漁獲量、および親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

安全係数 β を 0.0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで変更した結果および F_{current} での結果をまとめて示す。

β	10年目 (2030年漁期)の 平均親魚 量(千ト ン)	10年目 (2030年漁 期)に親魚 量が目標管 理基準値案 を上回る確 率	1年目 (2021年漁 期)の予測 漁獲量(千 トン)	5年目 (2025年漁 期)の予測 漁獲量(千 トン)	10年目 (2030年漁 期)の予測 漁獲量(千 トン)	10年目 (2030年漁 期)に親魚 量が限界管 理基準値案 を上回る確 率
1	341	47%	140	264	278	89%
0.9	371	56%	128	255	267	93%
0.8	400	64%	116	241	251	96%
0.7	428	71%	104	222	229	97%
0.6	455	77%	91	199	204	98%
0.5	483	81%	77	173	176	99%
0.4	510	86%	63	143	145	99%
0.3	538	89%	48	111	112	100%
0.2	567	91%	33	76	77	100%
0.1	597	93%	17	39	39	100%
0	627	95%	0	0	0	100%
F_{current}	186	14%	199	218	211	42%

予測漁獲量は日本、韓国および仮定した中国の漁獲量の合計。

表 15. 低加入シナリオで予測される親魚量、漁獲量、および親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

安全係数 β を 0.0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで変更した結果および F_{current} での結果をまとめて示す。

β	10年目 (2030年漁期)の 平均親魚 量(千ト ン)	10年目 (2030年漁 期)に親魚 量が目標管 理基準値案 を上回る確 率	1年目 (2021年漁 期)の予測 漁獲量(千 トン)	5年目 (2025年漁 期)の予測 漁獲量(千 トン)	10年目 (2030年漁 期)の予測 漁獲量(千 トン)	10年目 (2030年漁 期)に親魚 量が限界管 理基準値案 を上回る確 率
1	297	34%	66	131	231	79%
0.9	333	41%	60	139	234	88%
0.8	372	52%	54	145	231	95%
0.7	412	69%	48	148	221	98%
0.6	450	76%	42	145	202	100%
0.5	482	86%	35	136	176	100%
0.4	510	93%	29	119	145	100%
0.3	536	93%	22	96	112	100%
0.2	563	100%	15	67	76	100%
0.1	590	100%	8	35	39	100%
0	619	100%	0	0	0	100%
F_{current}	65	1%	118	65	74	6%

予測漁獲量は日本、韓国、および仮定した中国の漁獲量の合計。

補足資料 1 再生産関係式のモデル診断結果について

管理基準値案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 (HS) 型再生産関係 (Clark et al., 1985)、ベバートン・ホルト (BH) 型再生産関係 (Beverton and Holt 1957) およびリッカー (RI) 型再生産関係 (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 ;

$$R_y = \begin{cases} ab & \text{if } B_y > b \\ aB_y & \text{if } B_y \leq b \end{cases} \quad (\text{Hockey stick, HS})$$

$$R_y = \begin{cases} \frac{aB_y}{(1 + bB_y)} & (\text{Beverton Holt, BH}) \\ aB_y \exp(-bB_y) & (\text{Ricker, RI}) \end{cases}$$

ここで R_y は y 年の加入量、 B_y は y 年の親魚尾数である。HS 型の場合、 a は折れ点までの再生産曲線の傾き (千尾/トン)、 b は折れ点となる親魚尾数を示す。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。なお、推定された再生産関係のそれぞれについて、加入量の残差標準偏差 (S.D.) も併せて算出した。

1981~2017 年漁期までの親魚尾数と 1982~2018 年漁期までの加入尾数を用いて、HS 型、BH 型および RI 型の再生産関係のパラメータを最小二乗法および最小絶対値法により、残差の自己相関 (AR) を考慮せずに推定した。推定された 3 つの再生産関係は、データのある期間において類似した関係を示した (補足図 1-1)。

HS 型、BH 型および RI 型の各再生産関係を最小二乗法で推定する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。いずれの再生産関係の場合でも、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。また Shapiro-Wilk 検定により残差の正規性を確認し、いずれも 5%水準で正規性からの有意な逸脱がみられなかった。

自己相関を考慮しないモデルについて、HS 型、BH 型および RI 型の各再生産関係のパラメータを最小二乗法により推定する際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、再生産関係の違いによる推定の頑健性に大きな違いはみられなかった (補足図 1-4 および 1-5)。推定されたパラメータの信頼区間を残差ブートストラップにより計算した (補足図 1-6 および 1-7)。また、プロファイル尤度を補足図 1-8 に示した。いずれの結果においても、HS 型、BH 型および RI 型の各再生産関係において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。

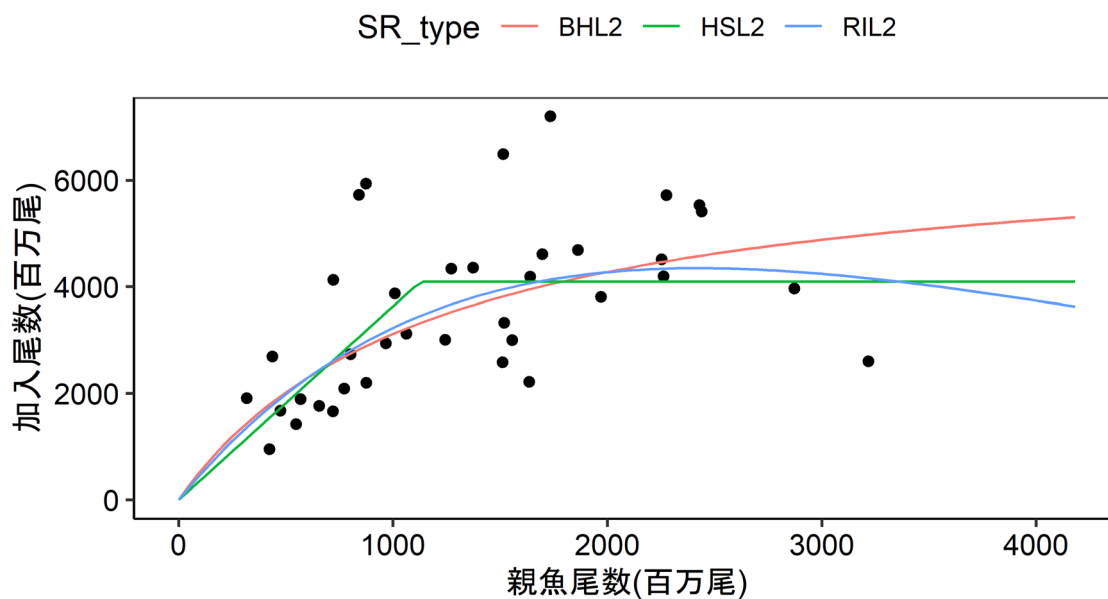
補足表 1-1. MSY 管理基準値算出に使用した再生産関係における各パラメータ推定値

再生産関係	最適化法	自己 相関	a	b	S.D.	AICc
HS 型	最小絶対 値法	無	3.33	1286	0.35	36.1
BH 型	最小絶対 値法	無	4.23	4.13E-04	0.36	36.9
RI 型	最小絶対 値法	無	4.14	3.22E-04	0.35	35.4
HS 型	最小二乗 法	無	3.64	1127	0.34	32.7
BH 型	最小二乗 法	無	5.74	8.43E-04	0.35	33.5
RI 型	最小二乗 法	無	4.88	4.13E-04	0.34	31.7

推奨する再生産関係を太字で示す。また、S.D.は加入のばらつきの大きさをあらわす指標で、対数残差の標準偏差（Standard Deviation、平均二乗誤差の平方根）である。

引用文献

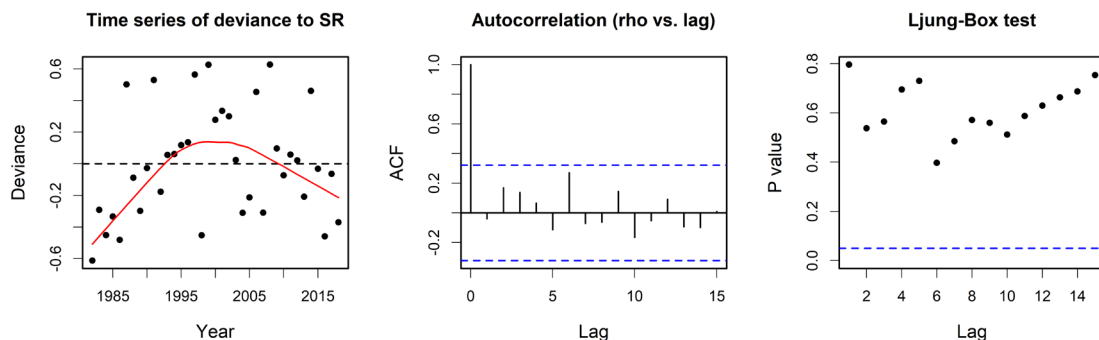
- Clark C. W., A. T. Charles, J. R. Beddington, and M. Mangel (1985). Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Marine Resource Economics*, 2: 25-53.
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957). On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Ricker W. E. (1954). Stock and recruitment. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 11: 559-623.



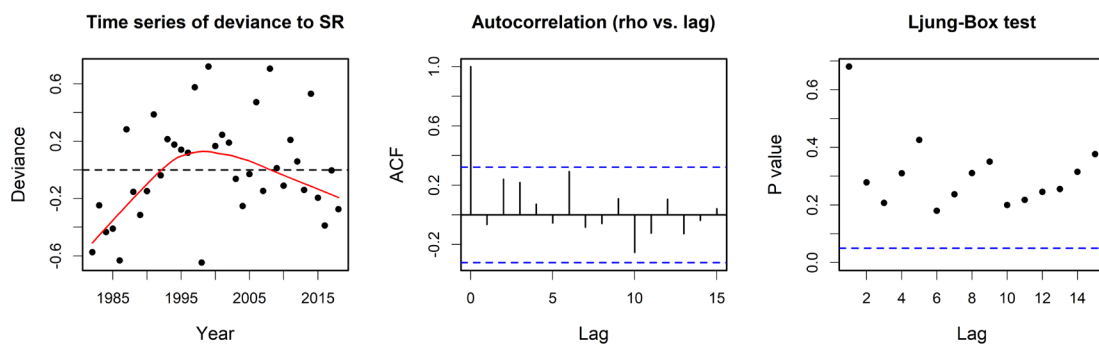
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

最小二乗法により推定した HS 型、BH 型および RI 型再生産関係。黒丸は分析に使用した親魚尾数（1981～2017 年漁期後）および加入尾数（1982～2018 年漁期）である。緑線、赤線および青線はそれぞれ、HS 型、BH 型および RI 型再生産曲線を示す。

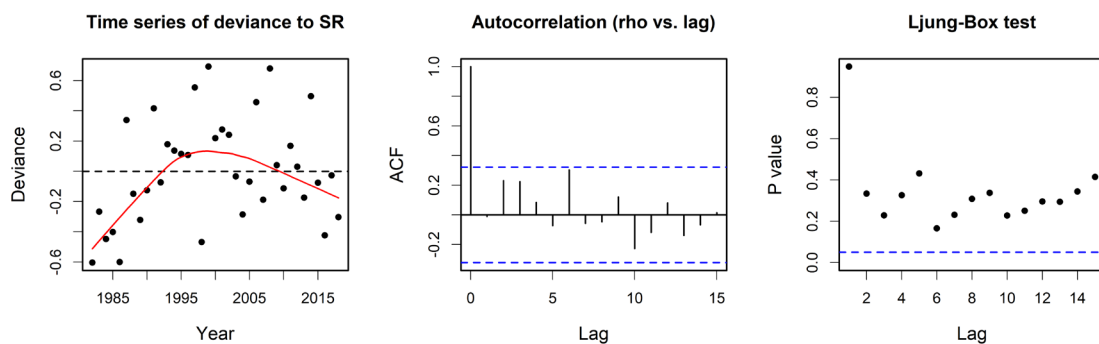
ホッケー・スティック型（最小二乗法）の場合



ベバートン・ホルト型（最小二乗法）の場合



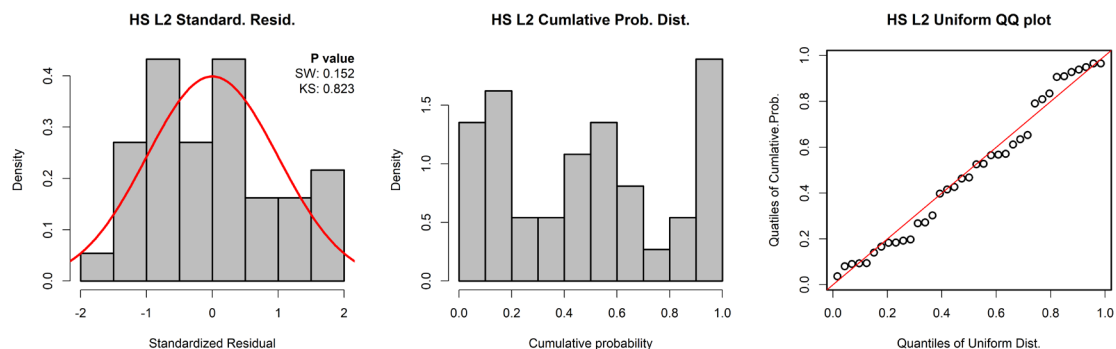
リッカー型（最小二乗法）の場合



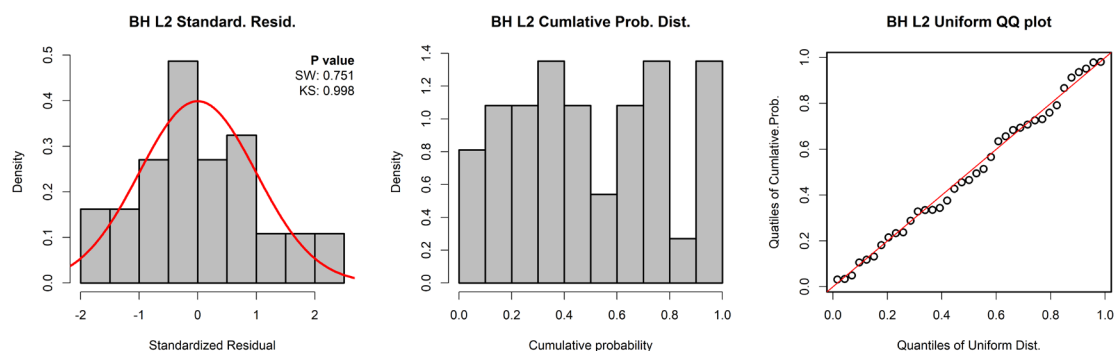
補足図 1-2. 最小二乗法により推定した HS 型、BH 型および RI 型再生産関係における残差のトレンド（左）、自己相関プロット（コレログラム、中央）および Ljung-Box 検定における P 値

残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線、コレログラムの図中の青色の点線は 95%信頼区間、および Ljung-Box 検定における P 値の図中の青色の点線は 5%水準を表している。

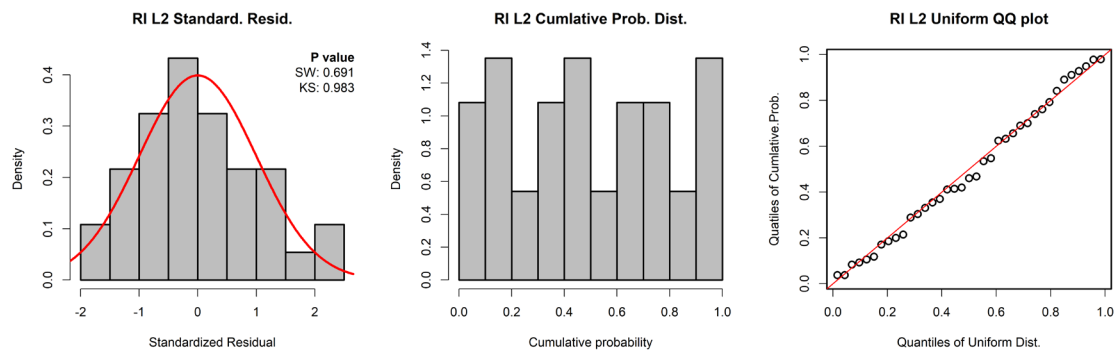
ホッケー・スティック型（最小二乗法）の場合



ベバートン・ホルト型（最小二乗法）の場合



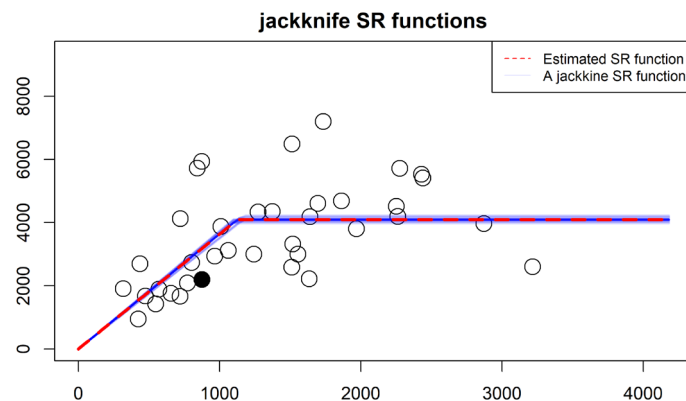
リッカー型（最小二乗法）の場合



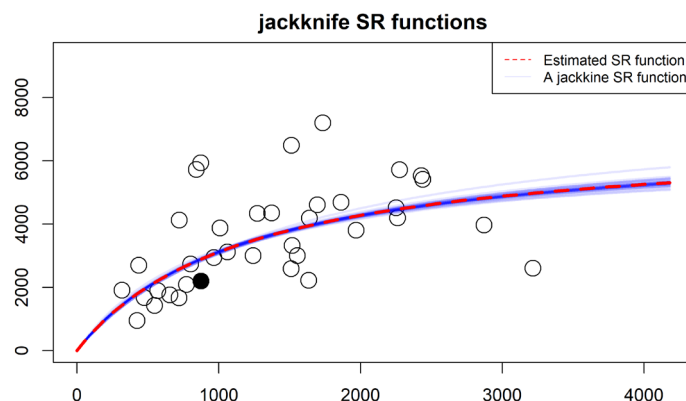
補足図 1-3. 最小二乗法により推定した HS 型、BH 型および RI 型再生産関係の残差分布の正規性の検定結果と QQ プロット

残差分布図の右上の数値は Shapiro-Wilk 検定 (SW) と Kolmogorov-Smirnov 検定 (KS) の結果である。残差分布の赤実線および QQ プロットの赤実線は理論値を示す。

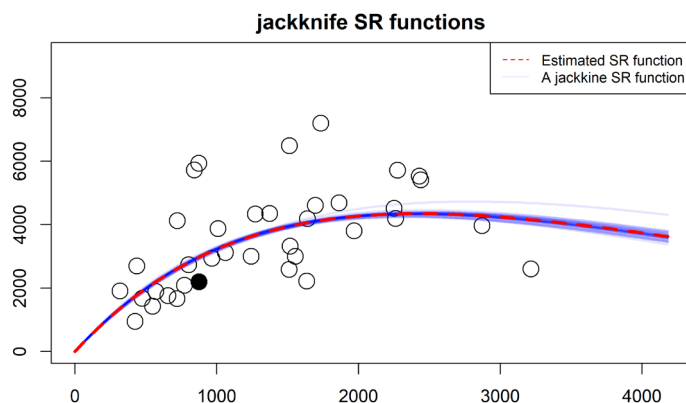
ホッケー・スティック型（最小二乗法）の場合



ベバートン・ホルト型（最小二乗法）の場合



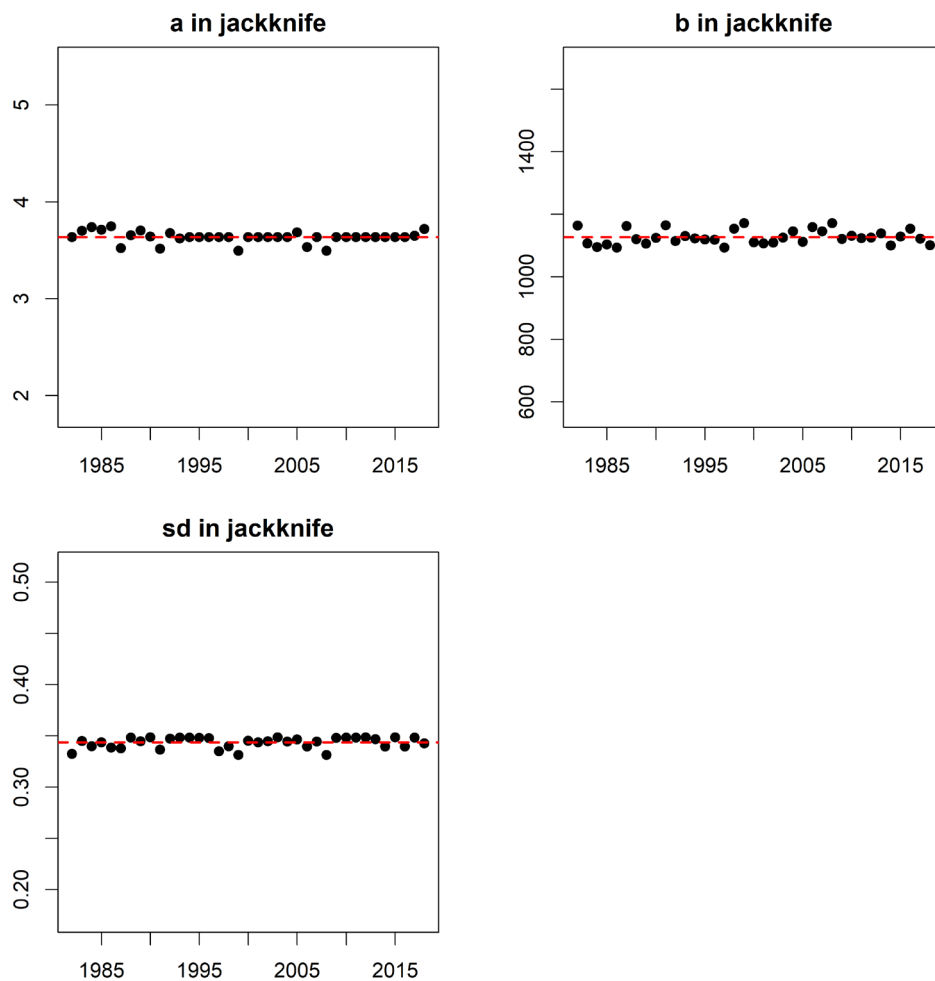
リッカー型（最小二乗法）の場合



補足図 1-4. 最小二乗法により推定した HS 型、BH 型および RI 型再生産関係におけるジャックナイフ解析の結果

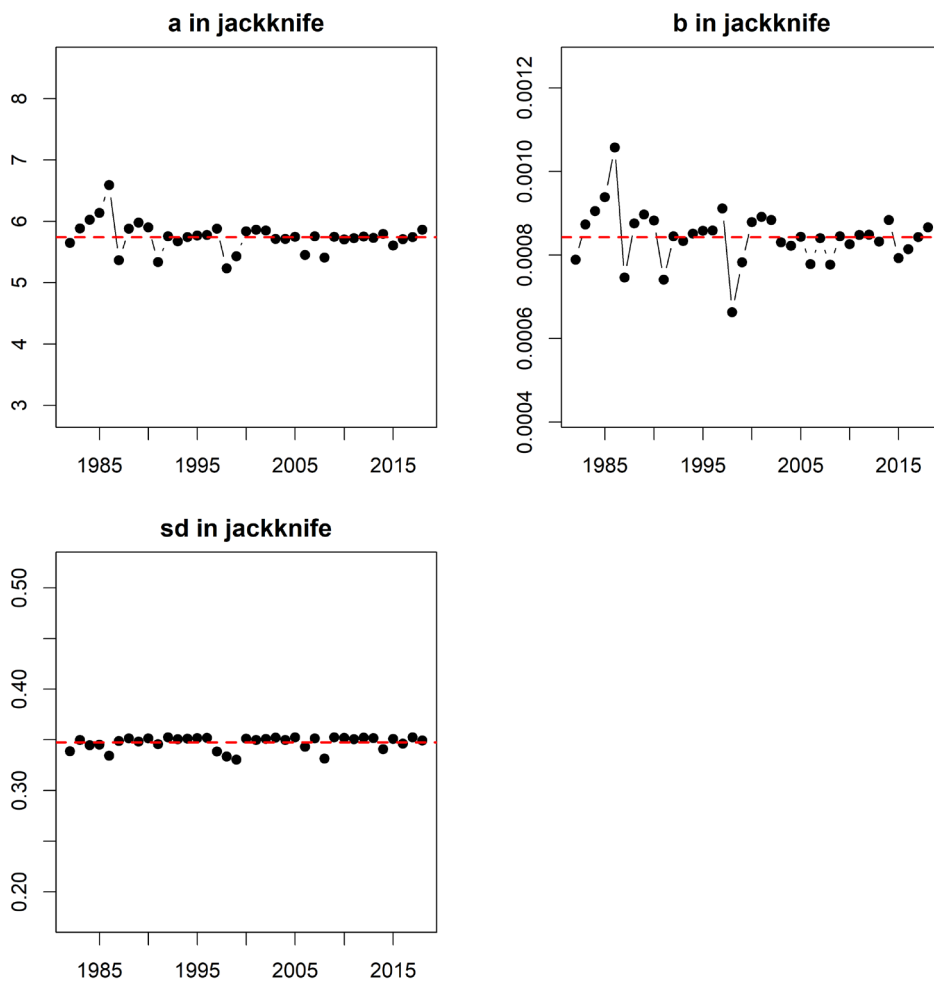
赤線は全データで推定した再生産曲線、青線は各年のデータを除外した場合の再生産曲線を示す。横軸は親魚尾数（百万尾）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚尾数・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2017 年親魚尾数と 2018 年加入尾数）を示す。

HS 型の場合



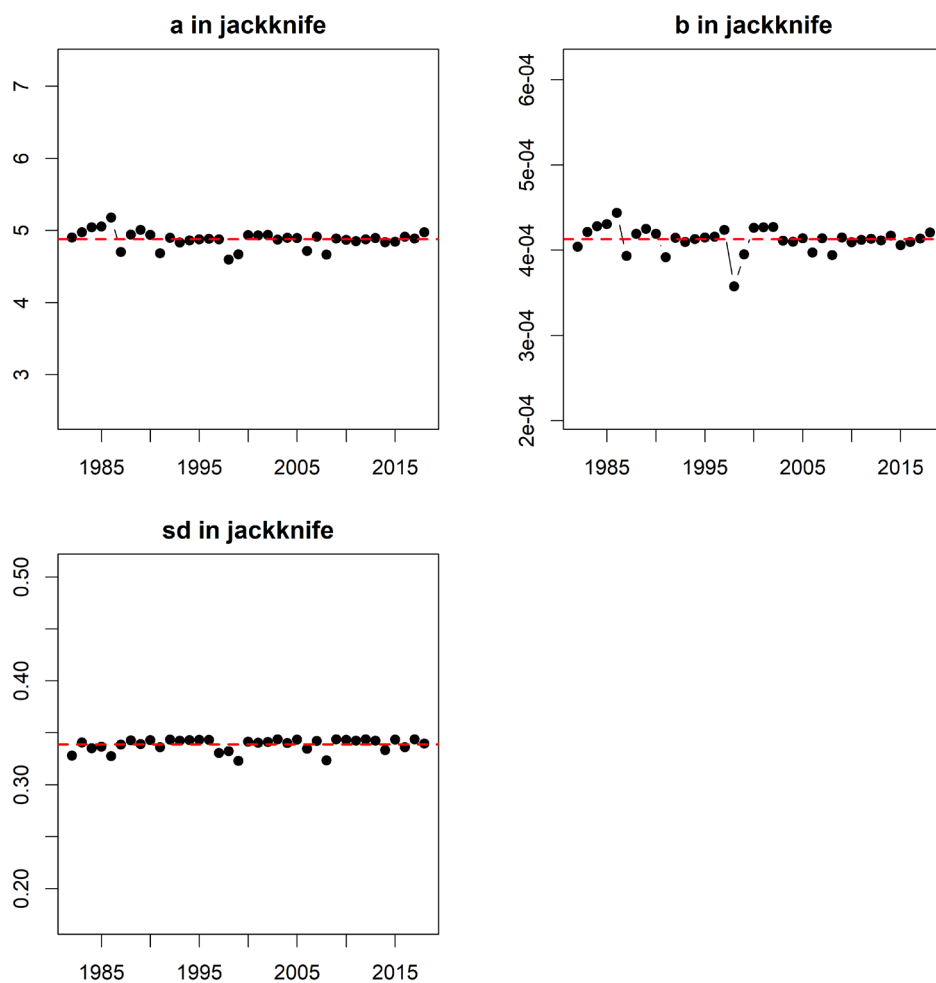
補足図 1-5. 最小二乗法により推定した HS 型、BH 型および RI 型再生産関係におけるジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

BH 型の場合



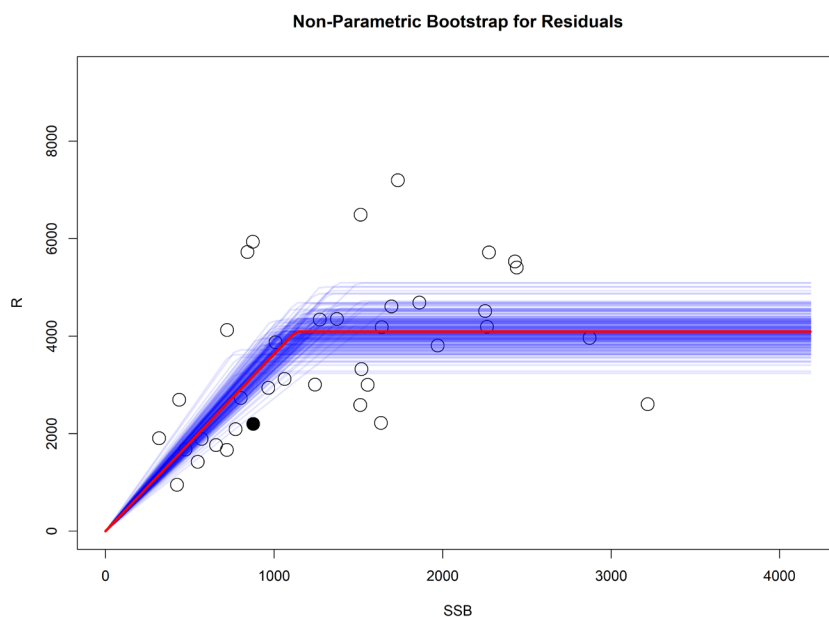
補足図 1-5 (続き) . 最小二乗法により推定した HS 型、BH 型および RI 型再生産関係におけるパラメータ別の影響

RI 型の場合

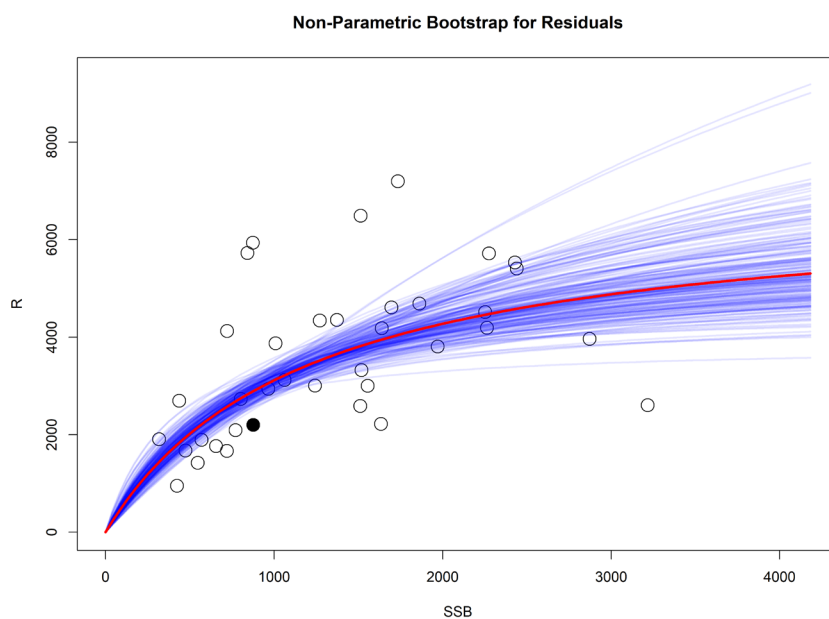


補足図 1-5 (続き) . 最小二乗法により推定した HS 型、BH 型および RI 型再生産関係におけるパラメータ別の影響

HS 型の場合



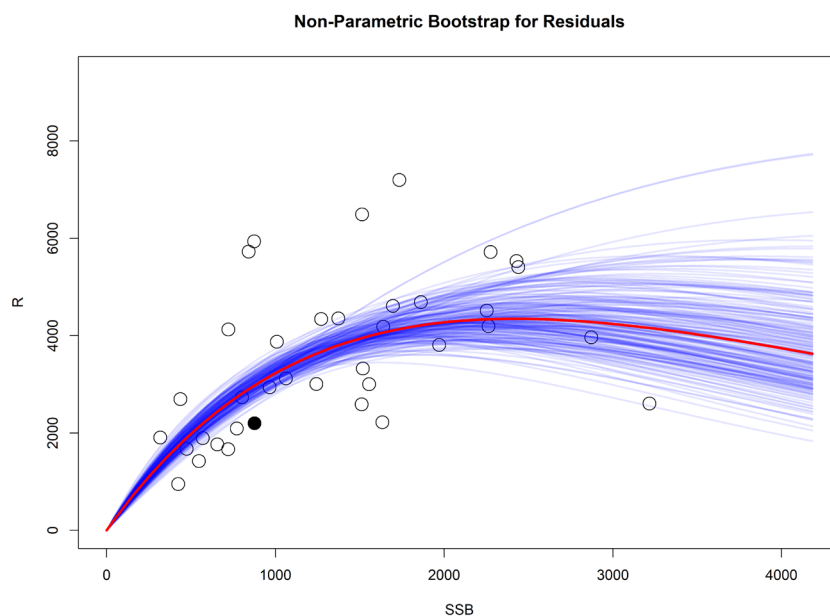
BH 型の場合



補足図 1-6. 最小二乗法により推定した HS 型、BH 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。横軸は親魚尾数（百万尾）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚尾数・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2017 年漁期親魚尾数と 2018 年漁期加入尾数）を示す。

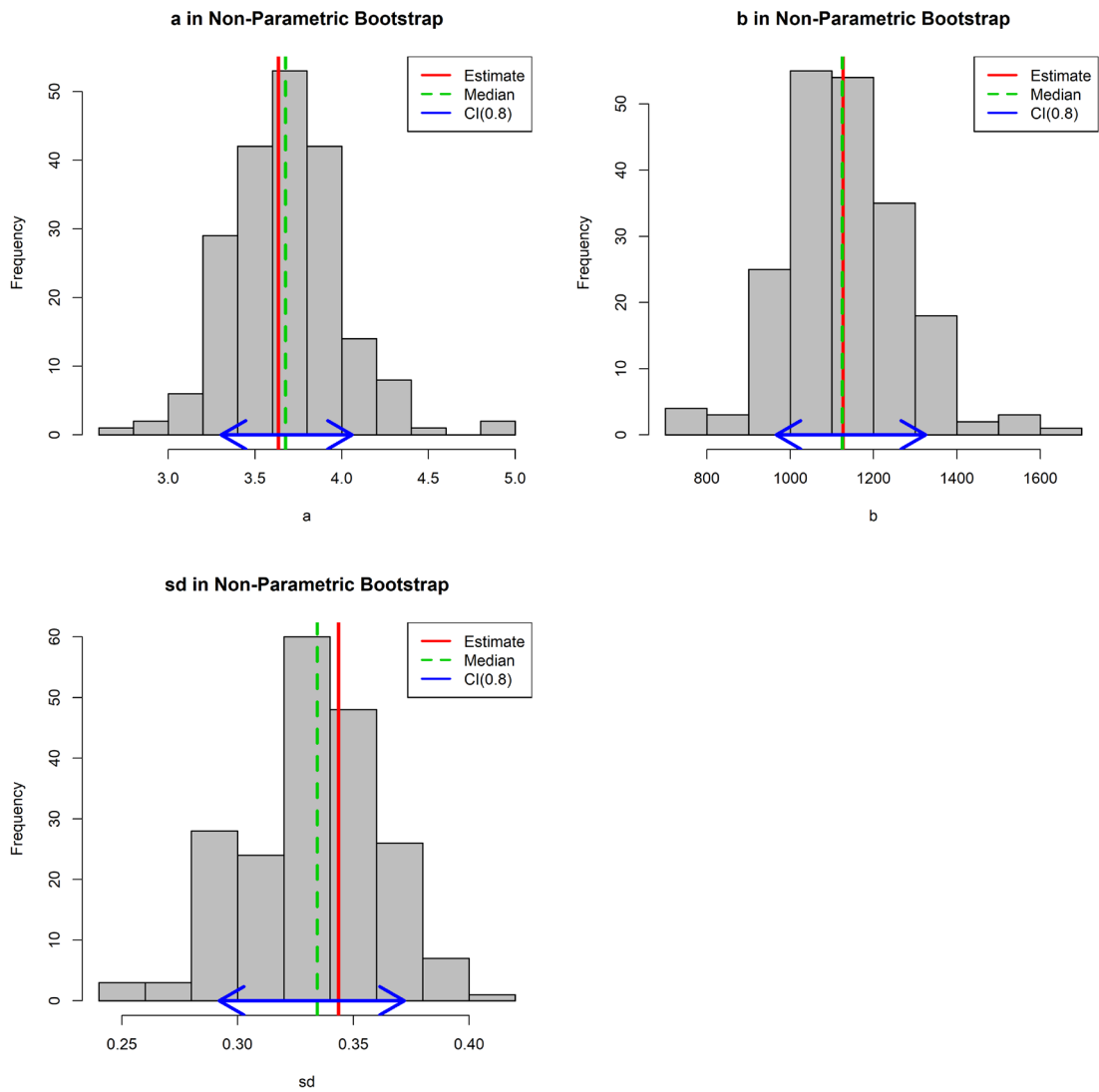
RI 型の場合



補足図 1-6（続き）．最小二乗法により推定した HS 型、BH 型、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

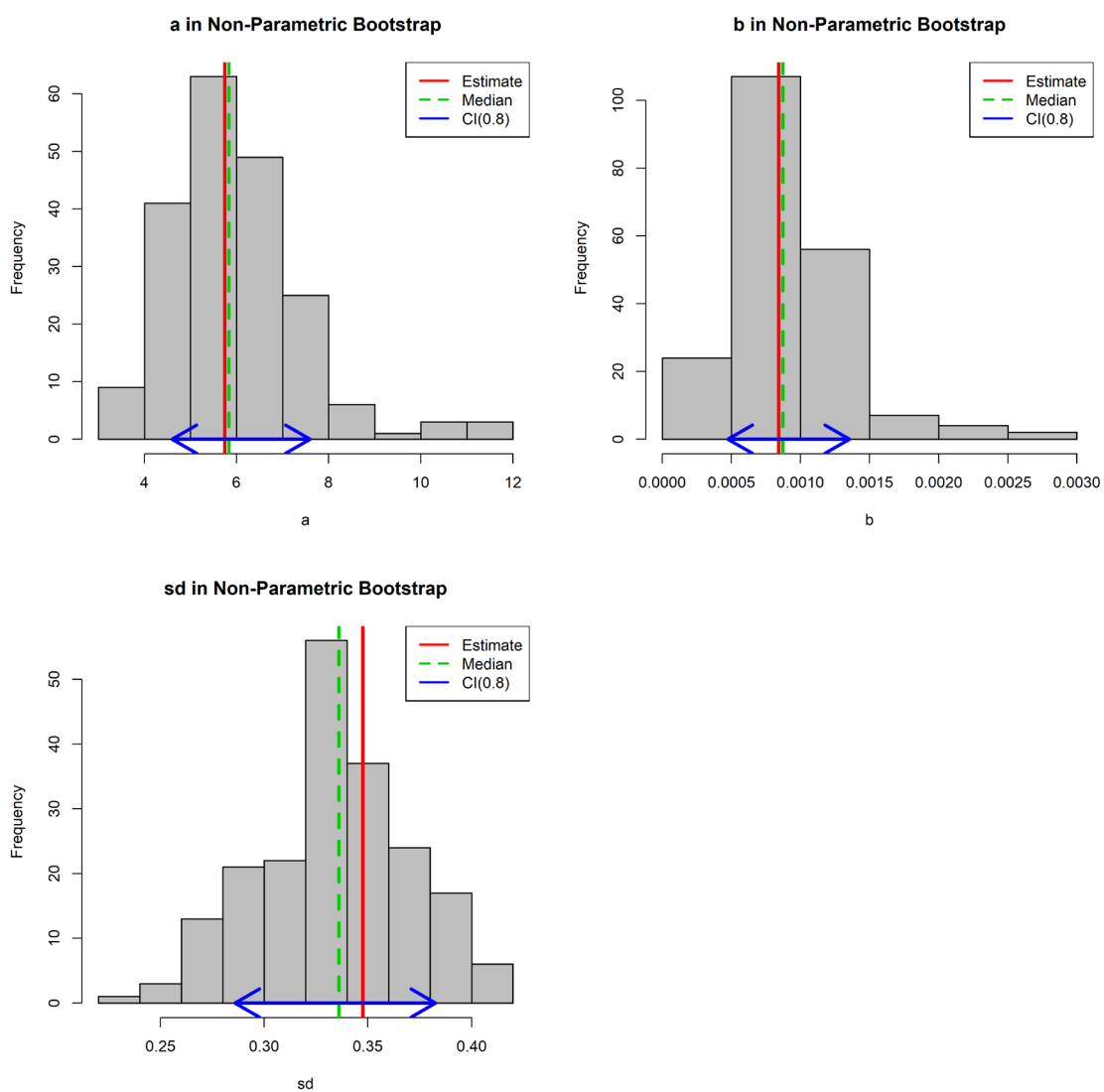
赤線は元データでの推定値、青線はノンパラメトリックブートストラップでの推定値である。横軸は親魚尾数（百万尾）、縦軸は加入尾数（百万尾）である。丸印は分析に使用した親魚尾数・加入尾数であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2017 年漁期親魚尾数と 2018 年漁期加入尾数）を示す。

HS 型の場合



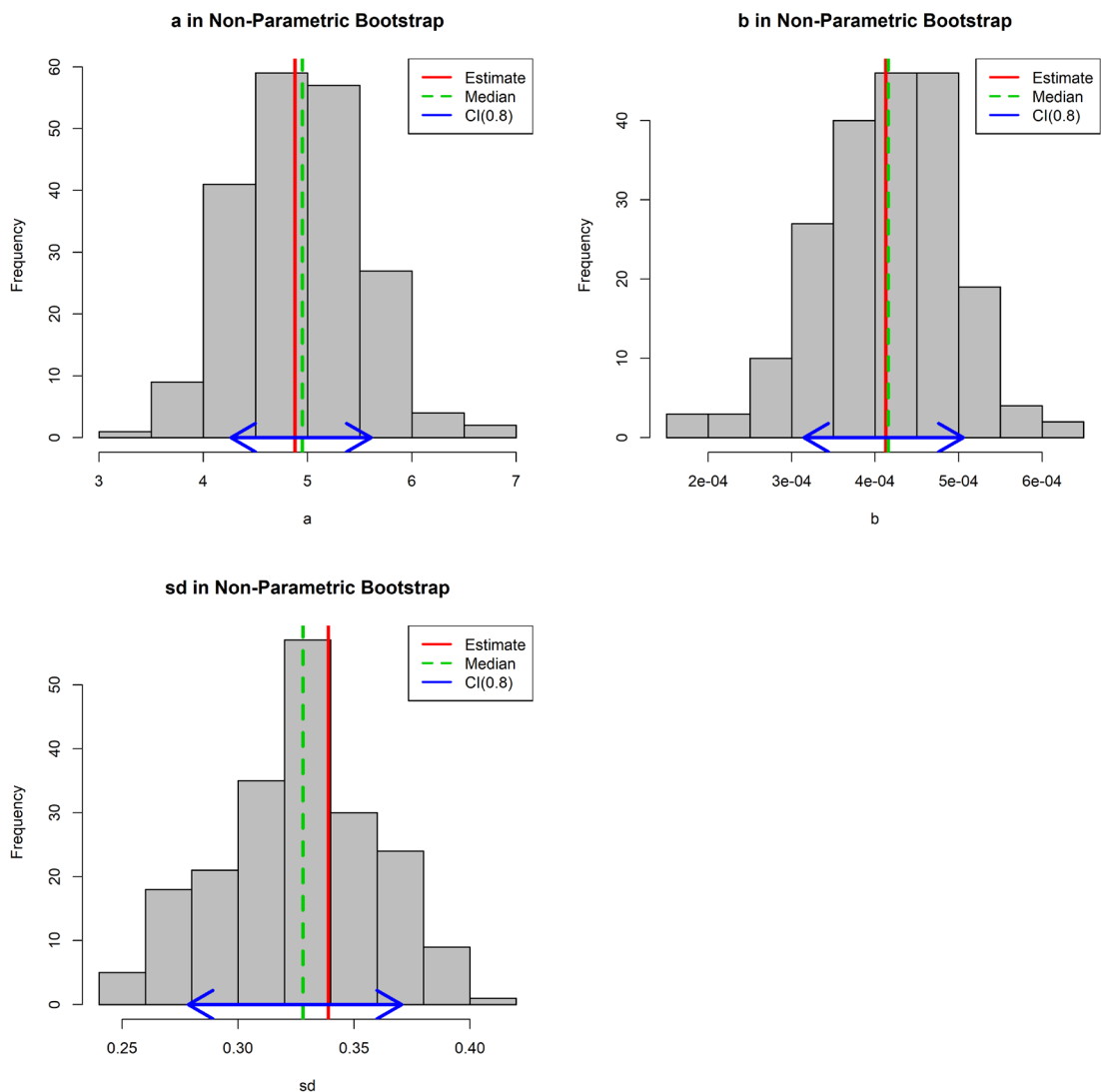
補足図 1-7. 最小二乗法により推定した HS 型、BH 型および RI 型再生産関係における残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線）赤線はパラメータの点推定値である。

BH 型の場合



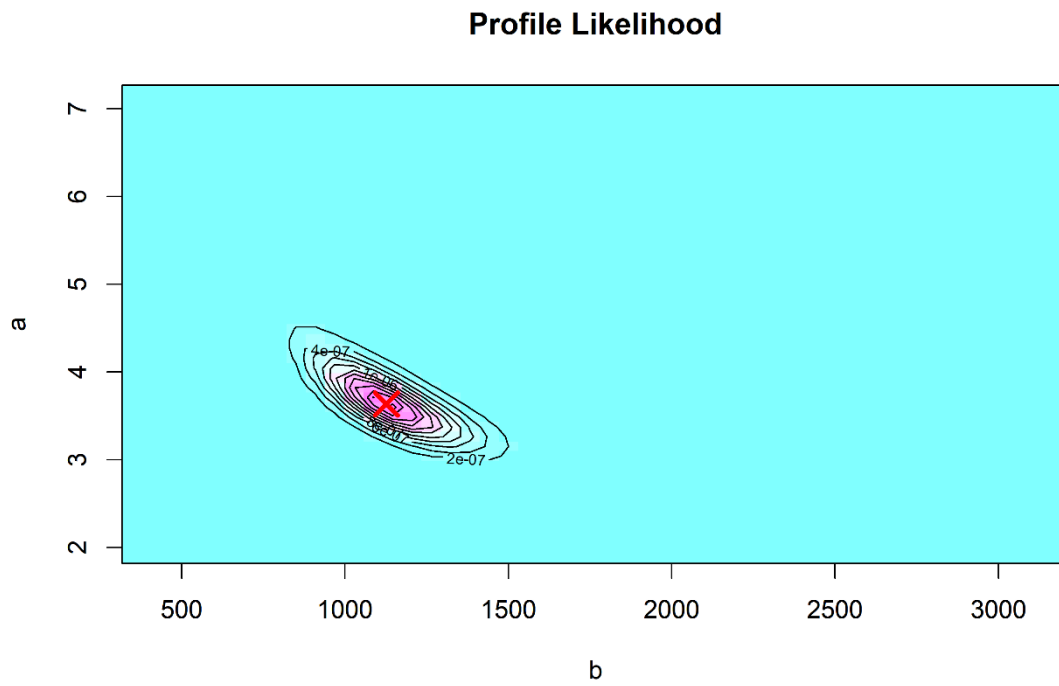
補足図 1-7 (続き) . 最小二乗法により推定した HS 型、BH 型および RI 型再生産関係における残差ブートストラップ解析での中央値 (緑点線) と 80%信頼区間 (青線)
赤線はパラメータの点推定値である。

RI 型の場合

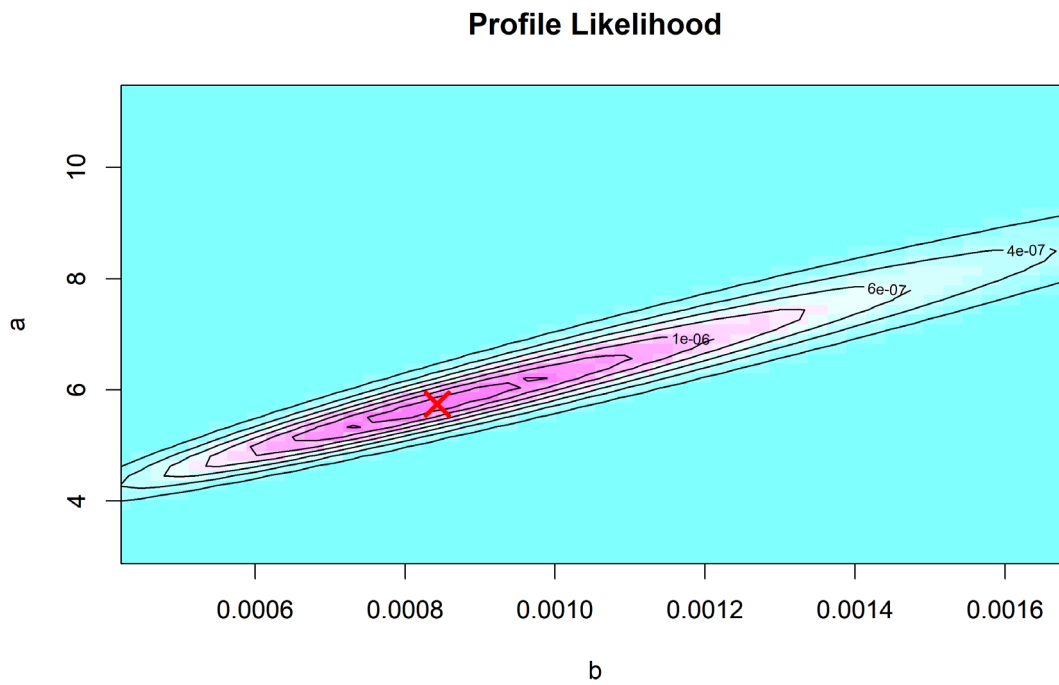


補足図 1-7 (続き) . 最小二乗法により推定した HS 型、BH 型および RI 型再生産関係における残差ブートストラップ解析での中央値 (緑点線) と 80%信頼区間 (青線)
赤線はパラメータの点推定値である。

HS 型の場合



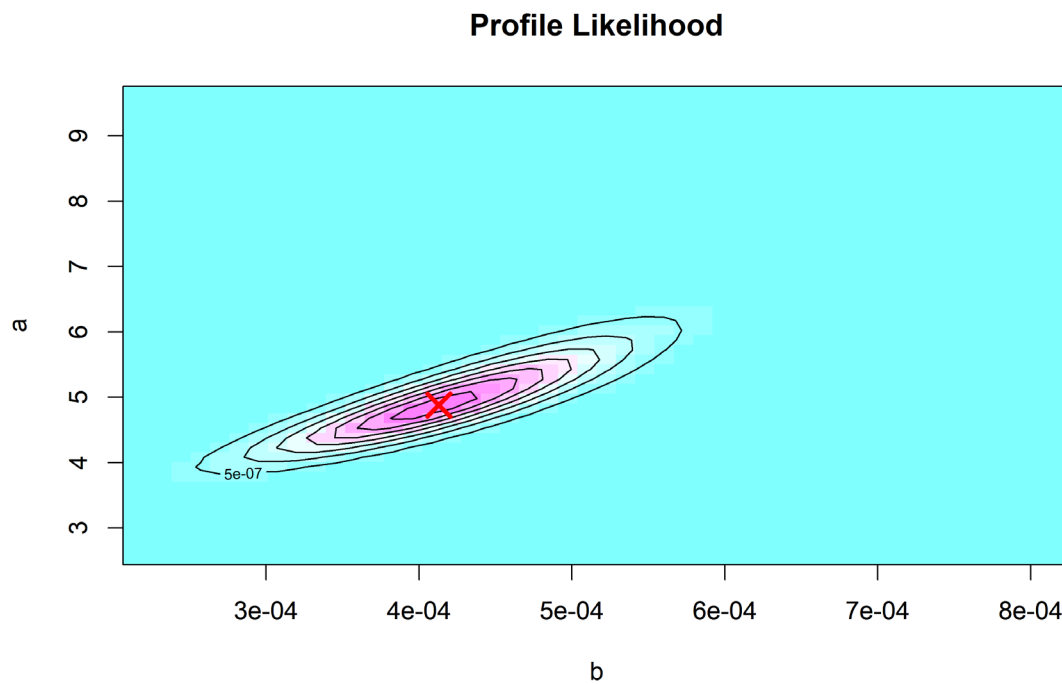
BH 型の場合



補足図 1-8. 最小二乗法により推定した HS 型、BH 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

×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。

RI 型の場合



補足図 1-8（続き）．最小二乗法を用いたときの HS 型、BH 型、RI 型の各再生産関係の推定パラメータのプロファイル尤度
 ×印は推定されたパラメータ値における尤度に相当する。

補足資料 2 令和元年度資源評価と本報告書で適用した資源動向の違い

令和元年度の本系群の資源評価では、資源尾数推定値から、自然死亡と日本と韓国の漁獲による死亡を考慮して得られた残存資源尾数を親魚尾数としていた。一方、本報告書では、再生産関係の推定にあたって、より尤もらしい親魚量を推定する必要があるとの考えから、2004年漁期から北朝鮮周辺水域においてスルメイカを対象とした漁を開始した中国による漁獲を無視することはできないと考えた。中国漁船による漁獲量に関して、信頼に足る情報はないものの、いくつかの仮定により試算しつつ（詳細は補足資料3参照）、本報告では中国の漁獲量として、2005年漁期以降は15万トン（ただし2009、2013年漁期は0トン）とする仮定を採用した。このことによって、2005年漁期以降の漁獲量、親魚量、漁獲係数（F）、再生産成功率（資源尾数/前年親魚尾数の比。令和元年資源評価まで、加入の良否の判定や将来予測の加入の見積りに利用していた値）が変化する（補足表2-1、補足図2-1）。併せて、 $F_{current}$ （2017～2019年漁期のFの平均値）や令和元年度の資源評価における資源回復措置の閾値である B_{limit} （以下、旧 B_{limit} ）も変化する。 $F_{current}$ は令和元年度評価ベースでは0.15であるが、本報告書では仮定した中国の漁獲量として15万トンを日韓の漁獲量に加えているため、0.61となる。また、旧 B_{limit} は、令和元年度評価では365千トンであったが、本報告書と同様に仮定した中国の漁獲量を加えて算出すると276千トンとなった。資源量は調査結果（日本海スルメイカ漁場一斉調査）から推定しているため、中国等の漁獲の仮定によらず2018年漁期までは変化しない（2019年漁期の資源量推定については後述）。一方、中国の漁獲量の仮定値を加えることによって、2005年漁期以降の親魚量は平均27%少なく推定される（2009、2013年漁期を除いた場合）。また、漁獲割合および漁獲係数（F）は、日韓の漁獲量だけで見た場合では1990年代から減少傾向で、2008年漁期以降はそれぞれ6～15%程度および0.09～0.23と低い値で推移していた。一方、本報告書での仮定では、2005年漁期以降、80年代に匹敵する高い水準となり、2008年漁期以降では漁獲割合は14～37%、漁獲係数は0.22～0.68となった（2009、2013年漁期を除いた場合）。仮定した中国の漁獲量を加えても、資源量推定値は変わらないものの親魚量が減少する結果、毎年の再生産成功率は上昇し、令和元年の資源評価の将来予測に使用した1999年漁期以降での再生産成功率の中央値（ RPS_{med} ）は2.14から2.51に上方修正された。

さらに、令和元年度の本系群の資源評価では、2019年漁期の漁場一斉調査結果が同年漁期の資源量を正しく反映していないと判断したことから、2019年漁期の資源尾数を2018年漁期後の推定親魚尾数に1999～2018年漁期の再生産成功率の中央値を乗じることにより求めていた。しかし、本報告書ではHS型再生産曲線を採用したこと、および日韓以外の漁獲の仮定が再生産関係の推定にも影響を及ぼすことから、2019年漁期の資源尾数も本報告書における再生産関係から求める方が整合的であると判断した。2019年漁期の資源尾数を求めるにあたっては、2019年漁期の日韓計の漁獲量は2018年漁期を下回ったことから、2019年漁期の資源尾数は、近年の低加入の傾向が続いていると考えた。このため、HS型再生産曲線からの加入尾数の残差が負であった直近4年（2015～2018年漁期）の残差をランダムに与えることによって得られる加入尾数の平均値（実質的には、2018年漁期後親魚量から2019年漁期加入尾数を求める際に、2015～2018年漁期の4ヶ年の残差をそ

れぞれ適用して得られる4通りの加入尾数の平均値)を重量に換算し、542千トンと推定した。この値は、2018年漁期の資源量(612千トン)の88%に相当する(補足表2-2)。なお、2019年の資源尾数の推定にあたって、加入の残差として過去5年(2014~2018年漁期)を適用した場合、2019年漁期の資源量は632千トン(2018年漁期の+3%)となるが、2019年漁期の漁獲量は2018年漁期を下回っていることから(日韓では16%減)、加入の残差が大きく正に偏った2014年漁期を除く過去4年の残差により推定する方がより妥当であると判断した。2019年漁期の資源量の推定にあたってこのような方法を採用したことから、日韓以外の漁獲量の仮定によって2019年漁期の推定資源量は変化する。補足資料3において、日韓以外の漁獲量についていくつかの仮定に基づく試算を行っているが、その際にここで述べた方法と同様にして求めた2019年漁期資源量推定値の変動幅は、日韓以外の漁獲を0トンとした場合(+37%)と毎年30万トン(-37%)とした場合を除き、-11%~+16%の範囲(2018年漁期の-21%~+2%)であった(補足資料3)。

補足表 2-1. 令和元年度の資源評価結果と本報告書で適用した資源量等の推移の比較

A は令和元年度資源評価の値。B は本報告書で適用した値で、2005 年以降の中国の漁獲量を 15 万トン（ただし 2009、2013 年漁期は 0 トン）と仮定した値。A の漁獲尾数、漁獲量、親魚尾数、親魚量、漁獲割合および漁獲係数は資源評価時の推定値。B の値のうち、A と同じものは空欄とした。A の値のうち、2019 年漁期の*付きの値は令和元年度資源評価時の 2019 年漁期の漁獲の仮定（F2016～F2018 の平均の漁獲圧で漁獲が行われたと仮定）に基づく値。2019 年漁期の B の値は、2019 年漁期の漁獲量として日韓漁獲量暫定値に中国漁獲量仮定値を加えた漁獲を適用して得られた計算値。

漁期年	資源尾数 (億尾)		資源量 (千トン)		漁獲尾数 (億尾)		漁獲量 (千トン)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1981	37.56		1,052		5.76		161	
1982	22.20		622		6.04		169	
1983	20.94		586		5.79		162	
1984	16.67		467		4.97		139	
1985	14.25		399		4.84		136	
1986	9.51		266		2.76		77	
1987	19.09		535		6.46		181	
1988	18.93		530		5.19		145	
1989	17.67		495		6.68		187	
1990	16.77		470		6.53		183	
1991	26.98		755		6.94		194	
1992	29.40		823		8.17		229	
1993	38.77		1,086		10.19		285	
1994	43.57		1,220		9.38		263	
1995	46.09		1,291		9.01		252	
1996	46.90		1,313		11.34		318	
1997	72.00		2,016		9.92		278	
1998	26.05		729		7.51		210	
1999	59.39		1,663		11.07		310	
2000	54.11		1,515		9.37		262	
2001	57.20		1,602		9.59		268	
2002	55.32		1,549		10.45		292	
2003	41.94		1,174		10.08		282	
2004	30.02		840		7.90		221	
2005	31.22		874		8.04	13.40	225	375
2006	41.26		1,155		8.44	13.80	236	386
2007	30.07		842		5.56	10.91	156	306
2008	57.28		1,604		6.68	12.03	187	337
2009	45.15		1,264		6.86	6.86	192	192
2010	38.08		1,066		5.69	11.05	159	309
2011	43.41		1,215		4.67	10.03	131	281
2012	41.87		1,172		5.17	10.53	145	295
2013	33.25		931		4.21	4.21	118	118
2014	64.94		1,818		3.98	9.34	112	262
2015	39.68		1,111		3.63	8.99	102	252
2016	25.87		724		2.99	8.34	84	234
2017	27.35		766		3.09	8.44	86	236
2018	21.99		616		2.05	7.41	57	207
2019	22.55	19.32	631	541	2.42*	7.08	68*	198

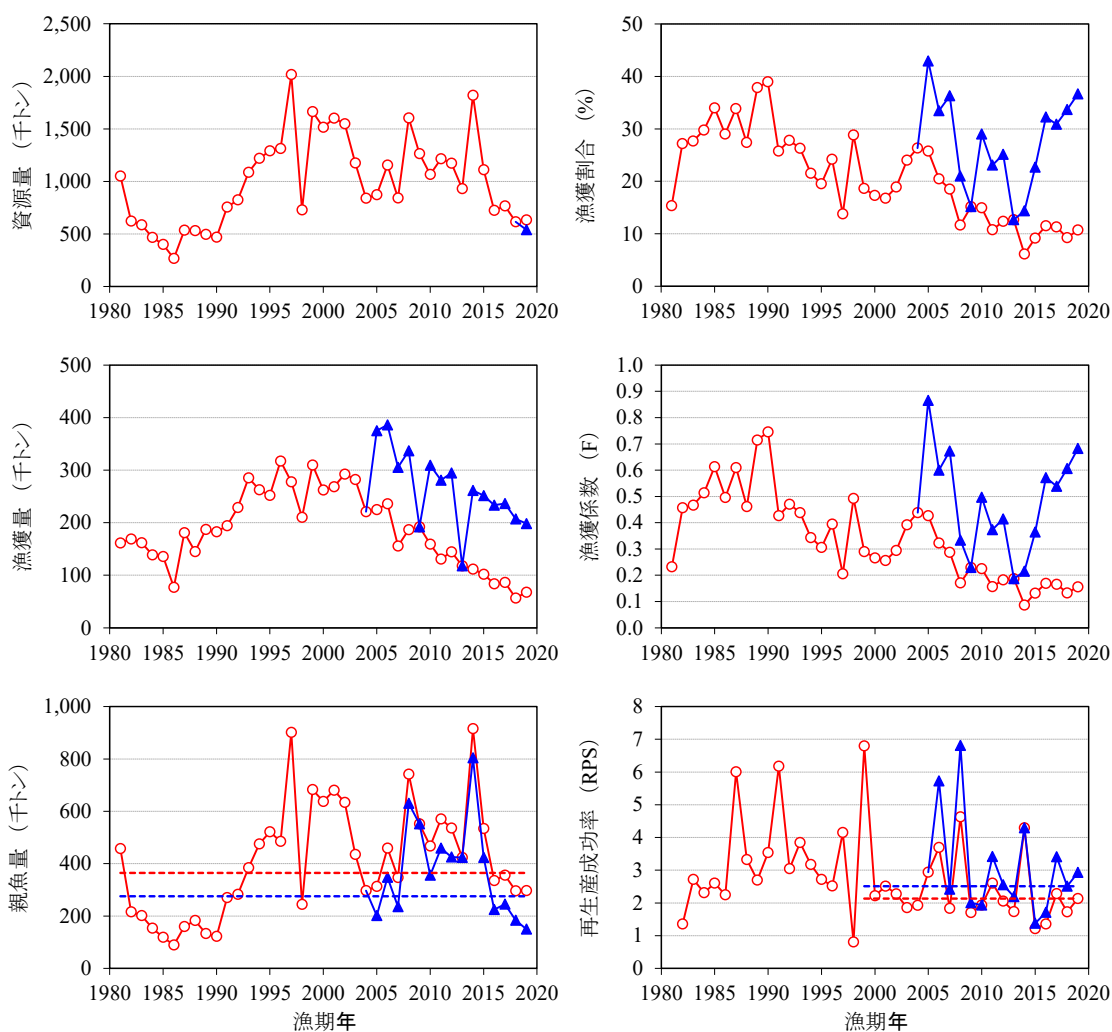
補足表 2-1 (続き) .

漁期年	親魚尾数 (億尾)		親魚量 (千トン)		漁獲割合 (%)		漁獲係数 (F値)		再生産成功率 (RPS)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1981	16.34		458		15.3		0.23			
1982	7.71		216		27.2		0.46		1.36	
1983	7.20		202		27.7		0.47		2.72	
1984	5.47		153		29.8		0.51		2.31	
1985	4.23		119		34.0		0.61		2.60	
1986	3.18		89		29.0		0.50		2.25	
1987	5.69		159		33.8		0.61		6.01	
1988	6.55		183		27.4		0.46		3.33	
1989	4.74		133		37.8		0.71		2.70	
1990	4.37		122		38.9		0.75		3.54	
1991	9.66		271		25.7		0.43		6.18	
1992	10.08		282		27.8		0.47		3.04	
1993	13.73		384		26.3		0.44		3.85	
1994	16.96		475		21.5		0.34		3.17	
1995	18.62		521		19.5		0.31		2.72	
1996	17.34		485		24.2		0.40		2.52	
1997	32.17		901		13.8		0.21		4.15	
1998	8.74		245		28.8		0.49		0.81	
1999	24.39		683		18.6		0.29		6.80	
2000	22.75		637		17.3		0.27		2.22	
2001	24.29		680		16.8		0.26		2.51	
2002	22.62		633		18.9		0.29		2.28	
2003	15.55		435		24.0		0.39		1.85	
2004	10.62		297		26.3		0.44		1.93	
2005	11.18	7.21	313	202	25.8	42.9	0.43	0.87	2.94	
2006	16.40	12.43	459	348	20.4	33.4	0.32	0.60	3.69	5.72
2007	12.38	8.41	347	236	18.5	36.3	0.29	0.67	1.83	2.42
2008	26.49	22.52	742	631	11.7	21.0	0.17	0.33	4.63	6.81
2009	19.70	19.70	552	552	15.2	15.2	0.23	0.23	1.70	2.00
2010	16.68	12.71	467	356	15.0	29.0	0.23	0.50	1.93	1.93
2011	20.36	16.39	570	459	10.8	23.1	0.16	0.37	2.60	3.41
2012	19.15	15.18	536	425	12.4	25.1	0.18	0.41	2.06	2.55
2013	15.13	15.13	424	424	12.7	12.7	0.19	0.19	1.74	2.19
2014	32.69	28.72	915	804	6.1	14.4	0.09	0.22	4.29	4.29
2015	19.08	15.11	534	423	9.2	22.7	0.13	0.37	1.21	1.38
2016	11.99	8.02	336	225	11.5	32.2	0.17	0.57	1.36	1.71
2017	12.73	8.76	356	245	11.3	30.9	0.17	0.54	2.28	3.41
2018	10.55	6.58	295	184	9.3	33.7	0.13	0.61	1.73	2.51
2019	10.58*	5.36	296*	150	10.7*	36.6	0.16*	0.68	2.14	2.94

補足表 2-2. スルメイカ秋季発生系群の国別漁獲量

日本および韓国の漁獲量は、令和元年度資源評価時点以降に得られた情報を加味して、追加・修正された値。中国の漁獲量は補足資料 3 による検討の結果、適用する仮定値。

漁期年	漁獲量 (トン)			計
	日本	韓国	中国(仮定値)	
1981	131,396	29,962		161,358
1982	130,649	38,360		169,009
1983	136,247	25,908		162,155
1984	114,006	25,017		139,023
1985	105,080	30,548		135,628
1986	53,938	23,265		77,203
1987	137,254	43,580		180,834
1988	113,332	31,915		145,247
1989	145,374	41,767		187,140
1990	137,936	44,991		182,926
1991	128,797	65,641		194,438
1992	157,623	71,179		228,802
1993	150,544	134,771		285,314
1994	134,173	128,597		262,770
1995	126,623	125,558		252,181
1996	178,290	139,259		317,548
1997	139,028	138,714		277,741
1998	107,152	102,992		210,144
1999	139,000	170,980		309,980
2000	109,724	152,677		262,401
2001	122,408	146,033		268,441
2002	142,191	150,286		292,477
2003	121,071	161,075		282,146
2004	89,699	131,476	0	221,175
2005	101,975	123,152	150,000	375,127
2006	108,143	128,124	150,000	386,267
2007	62,518	93,088	150,000	305,606
2008	77,124	109,789	150,000	336,912
2009	76,913	115,095	0	192,008
2010	61,969	97,474	150,000	309,442
2011	51,415	79,393	150,000	280,808
2012	56,266	88,569	150,000	294,835
2013	39,852	77,981	0	117,833
2014	39,632	71,898	150,000	261,530
2015	32,503	69,265	150,000	251,768
2016	27,838	55,756	150,000	233,594
2017	34,462	51,968	150,000	236,430
2018	24,773	32,583	150,000	207,356
2019	14,588	33,566	150,000	198,154



補足図 2-1. 令和元年度の資源評価結果と本報告書で適用した資源量等の推移の比較

赤丸および赤破線は令和元年度資源評価の値。青三角および青破線は本報告書で適用した値で、2005年以降の中国の漁獲量を15万トン（ただし2009、2013年漁期は0トン）と仮定した値。親魚量の図の破線は各時系列で求めた令和元年度の資源評価における資源回復措置の閾値である B_{limit} (旧 B_{limit})。再生産成功率の図の破線は各時系列における1999年漁期以降での再生産成功率の中央値。

補足資料3 中国・北朝鮮の不明な漁獲の仮定による管理基準値と神戸プロットの変化

近年、漁獲量情報のある日本と韓国以外の国でも夏秋季（5～12月）に日本海においてスルメイカを主対象とした漁業が行われている。2004年漁期以降、中朝間の漁業権取引により、中国漁船による日本海での漁業が始まった。また近年、主に北朝鮮漁船の漁灯と推測される夜間光が1日あたり最大約3,000個観察されており、北朝鮮による漁獲の増加も懸念される（久保田ほか 2020, Park et al. 2020）。ロシアによる日本海でのスルメイカの漁獲も近年は増加してきた。これら漁船の主な出現時期が11月までであることから、漁獲されているスルメイカは大部分が秋季発生系群であると想定される。ここでは、これらの国々による不明漁獲量をいくつか仮定したシナリオを設定し、シナリオによって管理目標等の設定にどの程度の影響が生じるかを検討した。

1) 各国の漁獲に関する情報と漁獲量の仮定の考え方

中国：日本海北朝鮮水域周辺への2そうびき船を主体とする中国漁船の入域は2004年に始まり、2005年には隻数が激増した（Kang et al. 2006）。当時の漁場は北朝鮮北部沿岸域が中心であり、2005年7月8日～9月14日の間に84組の漁船で調査された漁獲量は1,563トン、操業日数69日間で、1組平均391トンの漁獲、1日1組あたりでは5.66トンの漁獲であった（Song et al. 2008）。中国により北朝鮮水域への入域が許可された隻数は2004年で54隻、2005年で510隻であったが、韓国による推定値は2004年で144隻、2005年で944隻であった（Kang et al. 2006）。韓国による推定値は、漁船の種別が不明で運搬船等も含まれる可能性があり、過大評価の可能性がある一方、中国の許可隻数には多数存在すると推測される無許可船が含まれておらず、過小評価と考えられる。1組（2隻）での平均漁獲量を391トンとし、漁船数を510隻～944隻とすると、2005年漁期には中国漁船により100千トン～185千トンの漁獲があったと推定される。2006年以降も韓国では対馬西水道を通過する中国漁船のモニタリングが継続されており、2005～2015年で年あたり325隻（2008年）～1,904隻（2014年）、平均982隻/年の中国漁船が北朝鮮に入域したと推定された（チョほか 2016）。同報告では中国漁船が1隻あたり75トンの配分（2012年の一例の値）通りの漁獲をした場合の漁獲量として、24千トン（2008年）から108千トン（2012年）と推定したが、1隻あたり195トン漁獲した報告もあり（Song et al. 2008）、過小推定と考えられる。また、Park et al. (2020) は、複数の人工衛星およびAIS（Automatic Identification System、船舶自動識別装置）から得られる情報から、北朝鮮周辺水域で操業する中国の漁船数を半月ごとに推定し、1日あたり漁獲量（CPUE）として、韓国の1そうびき底びき網の漁獲量や、南シナ海における中国のかぶせ網漁船と底びき網との漁獲量の比を利用し、中国漁船による漁獲量を2017年漁期で101,300トン、2018年漁期で62,800トンと推定した。なお、同様の手法により2019年漁期の中国漁船による漁獲量を推定した結果は、76,700トンであった（Global Fishing Watch 2020）。Park et al. (2020) は、当該海域での漁業種別の漁船数を客観的かつ高精度で推定していると考えられるものの、人工衛星やAISで把握できる範囲がある程度限られた中での推定結果であり、また漁船数に掛けるCPUEの妥当性の判断も難しい。一方、

Park et al. (2020) の補足資料 (Supplementary Materials, Section S8 の 8.3.) には、韓国でモニタリングされている漁船数をもとにした推定結果も掲載されており、その場合、2017 年は 103 千トン～260 千トン、2018 年は 82 千トン～207 千トンであった。こうした中国漁船による漁獲量推定値が今後も発表される可能性はあるものの、長期的に同じ手法を適用し、かつ信憑性の高い情報を得ていくことは困難であると考えられる。なお、中朝間の協定や中国漁船の動向 (チョほか 2016) から、北朝鮮周辺海域へ入漁する中国漁船の隻数が少なかった 2004 年漁期のほか、2009 年および 2013 年漁期でも中国漁船による漁獲は他年漁期に比べ少なかったと推測される。

中国漁船による年間漁獲量の推定値として、挙げられるものは次のとおりである。2005 年では、Kang et al. (2006) および Song et al. (2008) から 100 千トン～185 千トンと推定できる。2007 年～2012 年では過小推定と考えられるが、チョほか (2016) により 24 千トン (2008 年) ～108 千トン (2012 年) と推定された。また、Park et al. (2020) では手法により異なり、2017 年で 101 千トン～260 千トン、2018 年で 63 千トン～207 千トンと推定された。また、漁場は明確ではないが、中国船団のスルメイカ漁獲量 (商社筋情報) として、2018 年漁期は 14～15 万トン、2019 年漁期は 8 月までで 15 万トンとの情報がある (「さかなの動き 1773 冷凍イカ」みなと新聞、2019 年 9 月 18 日)。以上のように、推定値や情報はいくつかあるものの、いずれも憶測の域を出ず、今後も継続的に情報が得られる保証がない。このため、中国による 2005 年漁期以降の漁獲量として、推定された値の中間的な値である 15 万トンで一定 (2009、2013 年漁期は 0 トン) と仮定する比較的簡便な方法を本報告では採用した (シナリオ A)。これに加えて、本補足資料では、推定された中国の年間漁獲量の中で比較的高めの 20 万トンで一定を仮定したシナリオ (シナリオ B)、および中国の漁獲が資源量に応じて行われたと想定 (F を一定と仮定) し、2005 年漁期以降 (2009、2013 年漁期を除く) の平均漁獲量が 15 万トンまたは 20 万トンとなるシナリオ (シナリオ C、D) も加えた。さらに、かなり高めと考えられる 30 万トンで一定を仮定したシナリオも加えたが、後述のように 2019 年漁期において資源量が漁獲量を下回ったため、参考シナリオとした。

北朝鮮: 北朝鮮によるスルメイカの漁獲が始まった年は明瞭でないが、Park et al. (2020)、人工衛星夜間可視光データの解析結果 (久保田ほか 2020) や報道資料 (「外国船の違法漁横行」北國新聞、2016 年 10 月 29 日) から、2016 年漁期頃より北朝鮮とみられる木造船が目立って増加してきたと考えられる。人工衛星夜間可視光データの解析結果から、漁業活動のピークとなる 9～10 月には、2016 年漁期以降、1 日あたり最大約 1,000～3,000 隻が操業していると推測されるが、北朝鮮漁船による漁獲量に関する公表資料はなく、推定値も得られていない。このように、得られている情報が極めて限られているが、漁船数の多さから、無視できないほどの漁獲がある可能性もある。ここでは、根拠はないものの、2016 年以降、年間 3 万トンの漁獲があったと仮定したシナリオ (シナリオ E) を加えた。

ロシア：日本海での漁獲量は2017年漁期から漁獲量が増加しているものの、他国と比べると少ない（最大で5,000トン/年まで）。ただし、公表された漁獲量ではないため、ここでは考慮しないこととした。

2) 各シナリオにおける想定漁獲量と管理基準値案等

1) のように得られている情報をもとに7つのシナリオを想定した（補足表3-1、補足図3-1）。このうち、シナリオAは本報告書で採用したシナリオである。漁獲量仮定値が変わることによって、親魚量推定値が変化するため、2005年漁期以降の親子関係が変わるため、推定される再生産曲線がシナリオごとに異なり、その影響で管理基準値案等も変化する。また、 $F_{current}$ （2017～2019年のFの平均値）もシナリオごとに異なる。各シナリオで算定された管理基準値案等を補足表3-2に示した。なお、管理基準値案等は下記の(1)～(5)の条件のもとで推定した。

- (1) 本報告書で提案した管理基準値案等との比較を簡便にするため、どのシナリオでも再生産曲線にホッカー・スティック（HS）型を採用した。
- (2) 各管理基準値案は、本報告書で適用した方法と同様とした。すなわち、目標管理基準値（SBtarget）案はSBmsyとした。また、限界管理基準値（SBlimit）案は、実現される漁獲量をMSYより5%刻みで減じた場合の親魚量を起点として、 F_{msy} により漁獲を継続した場合に、5年目の親魚量がSBmsyの95%以上を実現する最も低い親魚量として求めた。禁漁水準（SBban）案は、実現される漁獲量をMSYより5%刻みで減じた場合の親魚量を起点として、漁獲がなかった場合に3年目の親魚量が限界管理基準値案の95%以上を実現する親魚量として求めた。
- (3) 2019年漁期資源量は、各シナリオにおける過去4年（2015～2018年漁期）の加入の残差をランダムに与えることによって得られる加入量（資源量）の平均値（実質的には2018年漁期後親魚量から2019年加入量を求める際に、2015～2018年漁期の4ヶ年の残差をそれぞれ適用して得られる4通りの加入量の平均値）として求めた。ただし、中国の漁獲量を30万トンとしたシナリオ（参考）では、2019年漁期において資源量が漁獲量を下回ったため、MSYを求めるためのシミュレーションは2018年漁期資源量を起点とした。
- (4) 2019年漁期漁獲量は、日韓の漁獲量暫定値（48,154トン）に、各シナリオで仮定する中国等の漁獲量を加えた。
- (5) 2020年漁期の加入量は2019年漁期後親魚量とHS型再生産曲線から求め、2020年のFには各シナリオで求められる全体（日韓+仮定値）の漁獲量での $F_{current}$ を与えた。

各シナリオにおける再生産プロットと再生産曲線を補足図3-2に示した。スルメイカでは、資源量は調査船調査による指標値から求められるため、漁獲量仮定値が変化しても資源量には影響しないが、漁獲量仮定値が大きくなるほど、漁期後残存資源量として推定される親魚量が減少し、再生産プロットは図の左側にずれる。シナリオによる変化が明瞭となる

2005 年以降のプロットを補足図 3-2 では赤で示した。補足表 3-2 および補足図 3-1 から、2005 年以降のプロットがある程度左に移動しても、再生産関係を求める際には大きな差は生じないと言える。ただし、日韓以外に 30 万トンの漁獲を仮定したシナリオ（参考）のみは、他のシナリオよりも HS 型再生産曲線の折れ点が左（親魚量が少ない側）に偏り、SBmsy の推定値も下がる等、管理基準値にも少なからぬ影響を与えた。

各シナリオにおける神戸プロットのうち縦軸を漁獲圧の比 (F/F_{msy}) としたものを補足図 3-3 に示した。シナリオ F（漁獲量は日韓のみ）以外では、2016 年漁期以降の親魚量は SBmsy を下回っている。また、シナリオ A、B、E および参考シナリオでは 2016 年漁期以降の漁獲圧が F_{msy} を上回っている。シナリオ C および D では、中国の漁獲を資源量に応じて与えていることから、2016 年以降も漁獲圧は大きくなりすぎず、 F_{msy} 未満または F_{msy} を超えても F_{msy} 付近となっている。一方、シナリオ F（漁獲量は日韓のみ）においては、2010 年漁期頃以降の推移は他のシナリオと比べて特異的であり、漁獲圧が低下傾向にある中でも親魚量が減少していく傾向が見られる。もし資源と漁獲の動向がこの通りであれば、近年の再生産は過去と比べて極めて低い状態にあることとなる。しかし実際には他のシナリオでの想定程度の漁獲があったと考える方が妥当と考えられる状況であることから、シナリオ F のように日韓のみの漁獲により神戸プロットを提示するのは適切でないと考えられる。

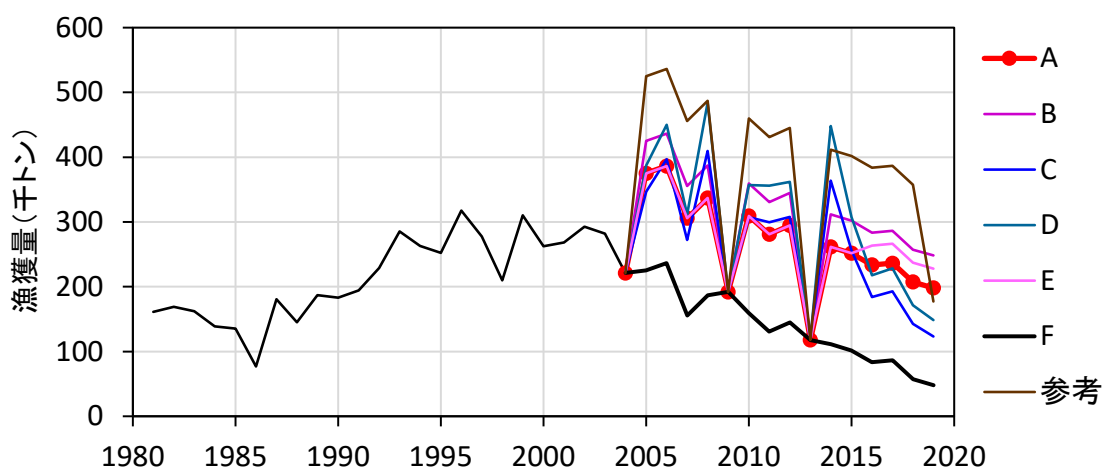
引用文献

- チョ ジョンヒ・チョン ミョンファ・ムン ソクラン・イ ドンリム・キム セイン (2016) 中国漁業北朝鮮水域操業被害調査研究 (중국어선 북한수역조업피해조사 연구) . 韓国海洋水産開発院. 1-113. (韓国語)
- Global Fishing Watch (2020) Illuminating Dark Fishing Fleets in North Korea -Analysis for 2019. <https://globalfishingwatch.org/wp-content/uploads/Illuminating-Dark-Fishing-Fleets-in-North-Korea-Analysis-for-2019-1.pdf> (2020 年 7 月 27 日閲覧)
- Kang, J., J. Nam, S. Choi, J. Kim, S. Kim, H. Lee, J. Hwang and K. Sim (2006) A study on cooperation plans in the field of maritime affairs and fisheries in preparation for unification between South and North Korea. Korea Maritime Institute. 1-650. (In Korean with English abstract)
- 久保田洋・宮原寿恵・松倉隆一・岡本 俊・西嶋翔太 (2020) 令和元 (2019) 年度スルメイカ秋季発生系群の資源評価. 令和元年度我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 1-67.
- Park, J., J. Lee, K. Seto, T. Hochberg, B. A. Wong, N. A. Miller, K. Takasaki, H. Kubota, Y. Oozeki, S. Doshi, M. Midzik, Q. Hanich, B. Sullivan, P. Woods and D. A. Kroodsma (2020) Illuminating dark fishing fleets in North Korea. Sci. Adv., 6, eabb1197.
- Song L., X. Qu and C. Yuan (2008) Analysis of fishing ground and resources of squid *Todarodes pacificus* in eastern coast of Korea. J. Dalian Fish. Univ. 23(2), 123-127. (In Chinese with English abstract)

補足表 3-1. 各シナリオで日韓の漁獲量に加算する漁獲量

シナリオ C および D の各漁期年の漁獲量は、2005～2018 年漁期（2009、2013 年漁期を除く）で中国の漁獲圧が一定との条件のもと、これら 12 ヶ年での平均漁獲量がそれぞれ 15 万トン、20 万トンとなる F を推定（それぞれ $F=0.208$ および 0.288 ）した結果得られた漁獲量。シナリオ C および D での 2019 年の中国漁獲量は、各シナリオで推定された中国単独での F により 2019 年資源量から推定した漁獲量。30 万トン一定シナリオ（参考）では 2019 年漁期の予測資源量が 2019 年漁期の日韓漁獲量暫定値（48,154 トン）+30 万トンを下回ったため、2019 年漁期の F を F2016～F2018 の平均値として漁獲量を 177,242 トンと算出し、日韓漁獲量を差し引いた残り 129 千トンを中国の漁獲量仮定値とした。

年	シナリオ						参考
	A	B	C	D	E	F	
	15万トン一定	20万トン一定	F一定で平均15万トン	F一定で平均20万トン	15万トン一定、2016年以降+3万トン	ゼロ	
2004	0	0	0	0	0	0	0
2005	150	200	121	162	150	0	300
2006	150	200	160	214	150	0	300
2007	150	200	117	156	150	0	300
2008	150	200	223	297	150	0	300
2009	0	0	0	0	0	0	0
2010	150	200	148	197	150	0	300
2011	150	200	169	225	150	0	300
2012	150	200	163	217	150	0	300
2013	0	0	0	0	0	0	0
2014	150	200	252	337	150	0	300
2015	150	200	154	206	150	0	300
2016	150	200	101	134	180	0	300
2017	150	200	106	142	180	0	300
2018	150	200	85	114	180	0	300
2019	150	200	75	100	180	0	(129)



補足図 3-1. 各シナリオ（A～G、参考）で仮定する漁獲量の推移

補足表 3-2. 中国・北朝鮮による漁獲を仮定した管理基準値案等

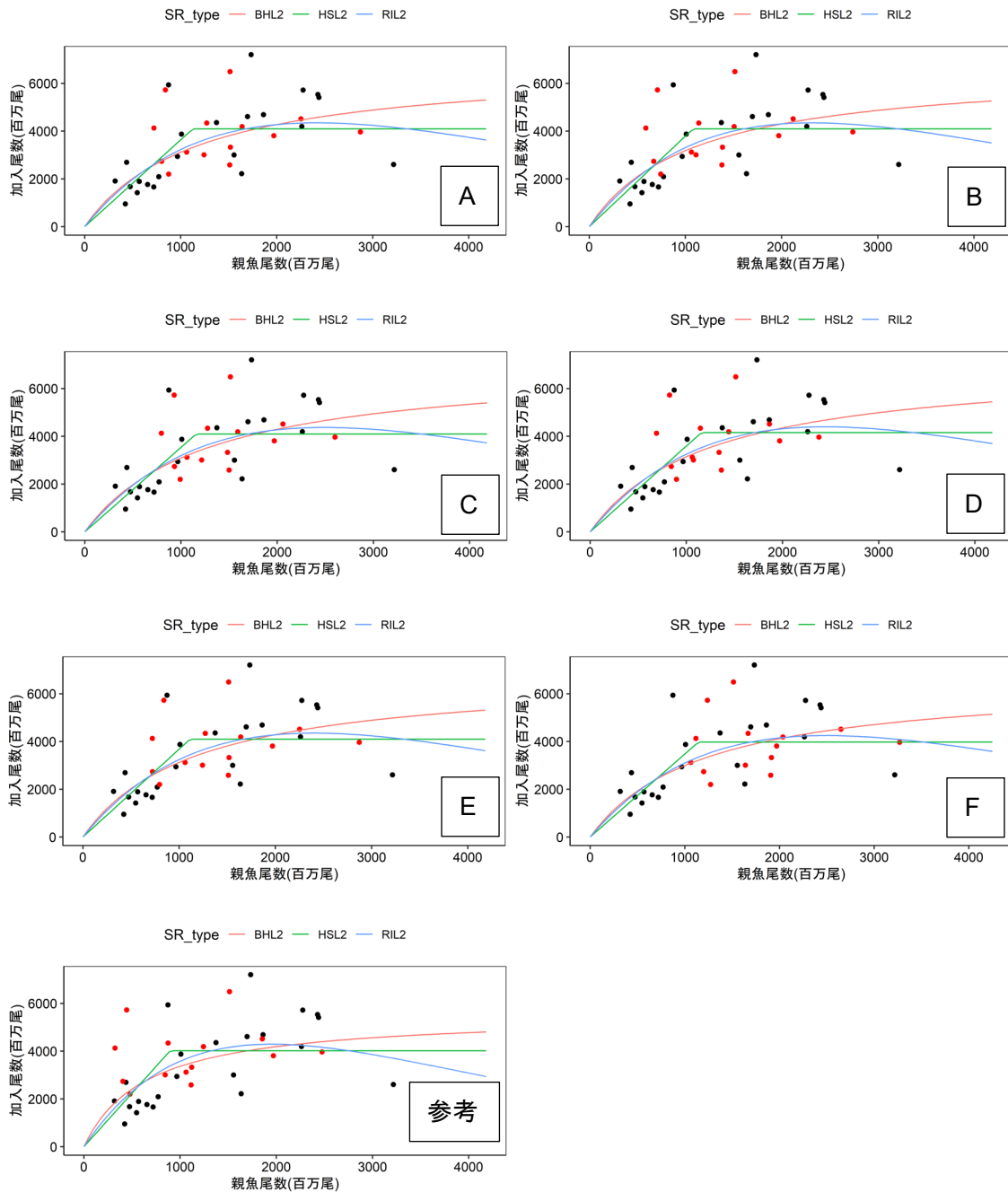
シナリオ	目標管理 基準値案 (SBmsy)	5年目に SBmsy の 95% に達する初期親魚量	限界管理基 準値案	3年目に SBlimit の 95% に達する初期親魚量	禁漁 水準案
A	329	SB0.75msy	189	SB0.15msy	30
B	321	SB0.75msy	186	SB0.15msy	30
C	334	SB0.75msy	190	SB0.15msy	30
D	335	SB0.75msy	191	SB0.15msy	31
E	327	SB0.75msy	189	SB0.15msy	31
F	326	SB0.80msy	203	SB0.15msy	30
参考	287	SB0.65msy	136	SB0.10msy	17

補足表 3-2 (続き) .

シナリオ	MSY	Umsy	Fmsy/Fcurrent	SBmsy/SB0	2019 年漁期資源量**
A	273	0.28	0.79	0.52	541
B	285	0.29	0.56	0.51	483
C	261	0.27	1.21	0.53	627
D	270	0.28	0.98	0.53	599
E	279	0.29	0.63	0.52	504
F	247	0.27	3.42	0.54	742
参考	317	0.33	0.46	0.47	341

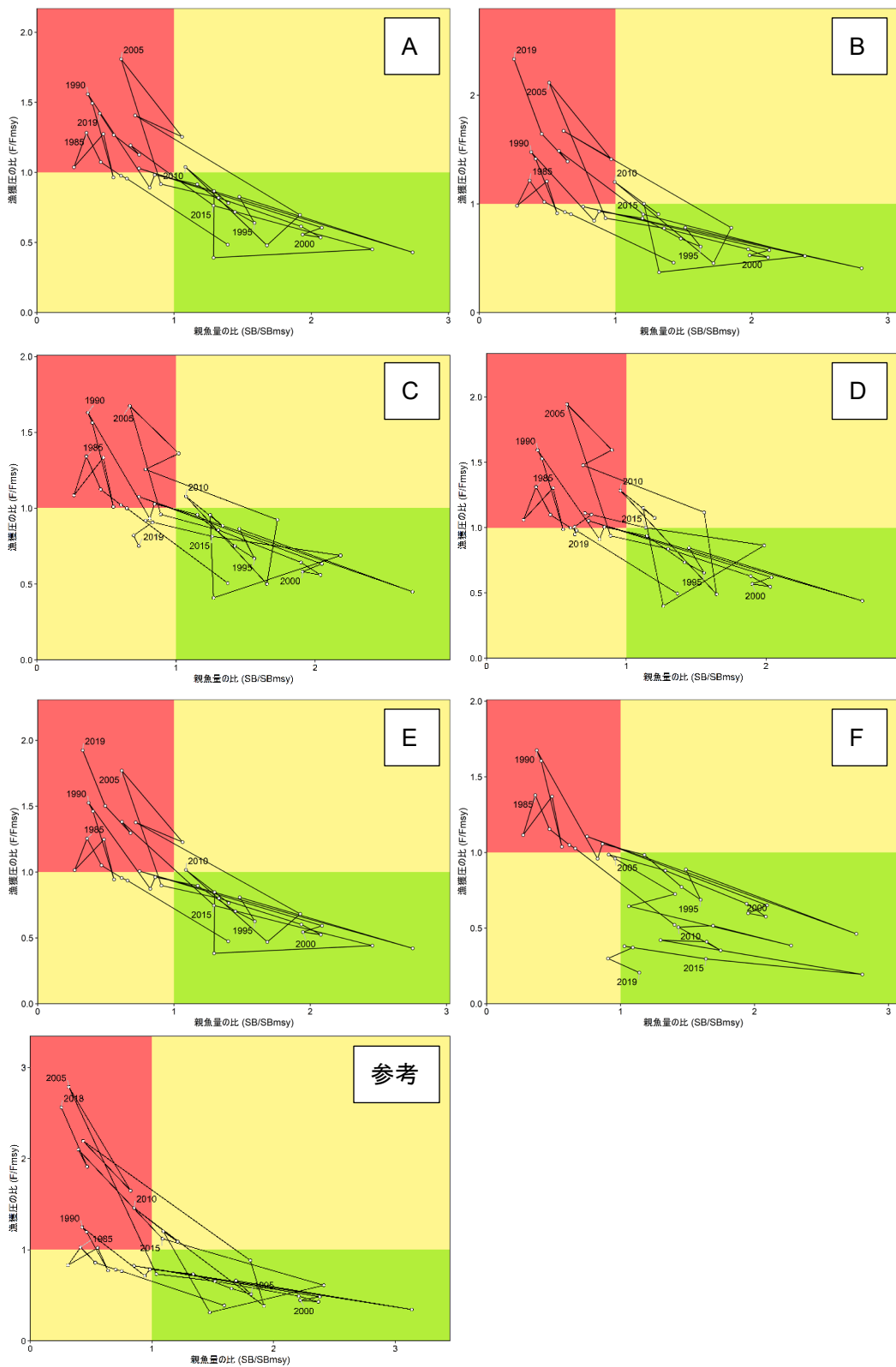
*中国漁獲量 30 万トン一定シナリオは、2019 年漁期想定漁獲量 (348 千トン) が 2019 年漁期資源量 (341 千トン) を上回ったため、30 万トンの仮定を 2018 年漁期までとして、2019 年漁期の F には F2016~2018 の平均値を充ててシミュレーションを行い、各管理基準値を算出した。

**2019 年漁期の資源量は、シナリオ毎に、過去 4 年 (2015~2018 年漁期) の加入の残差をランダムに与えることによって得られる加入量 (資源量) の平均値。



補足図 3-2. 各シナリオにおける再生産関係式

HS 型、BH 型および RI 型再生産関係を最小二乗法により推定した。丸は分析に使用した親魚尾数（1981～2017 年漁期後）および加入尾数（1982～2018 年漁期）で、うち赤丸は 2005 年漁期以降の点を示す。



補足図 3-3. 各シナリオでの神戸プロット

補足資料 4 仮定する再生産関係式による管理基準値案等への影響

仮定する再生産関係による管理基準値案等への影響を把握するため、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、それぞれの管理基準値案等を推定した。比較対象とした再生産関係と最適化法の組み合わせは、HS 型、BH 型および RI 型再生産関係それぞれを最小二乗法で推定した場合である。それぞれの再生産関係と最適化法に基づき推定された管理基準値案等を補足表 4-1 に示す。BH 型や RI 型を用いた場合、HS 型に比べて目標管理基準値案、限界管理基準値案、禁漁水準案は低い値となる。また、 $F_{current}$ に対する F_{msy} の比は大きくなり、期待できる MSY は小さくなる。

補足表 4-1. 仮定する再生産関係（最適化法は最小二乗法）による管理基準値案等の変化

	HS型	BH型	RI型		HS型	BH型	RI型
SB1.00msy	329	250	275	目標管理 基準値案	329	250	275
SB0.95msy	271	181	208	5年目に	SB0.75msy	SB0.85msy	SB0.85msy
SB0.90msy	246	155	181	SBmsyの95%			
SB0.85msy	225	136	161	に達する 初期親魚量			
SB0.80msy	206	120	144				
SB0.75msy	189	107	130	限界管理 基準値案	189	136	161
SB0.70msy	173	95	117	3年目に	SB0.15msy	SB0.10msy	SB0.10msy
SB0.65msy	157	85	105	SBlimitの95%			
SB0.60msy	143	75	94	に達する 初期親魚量			
SB0.55msy	129	67	84	禁漁水準案	30	9	12
SB0.50msy	115	59	74	MSY	273	243	254
SB0.45msy	102	51	65	Umsy	0.28	0.31	0.30
SB0.40msy	89	44	56	Fmsy/Fcurrent	0.79	0.89	0.86
SB0.35msy	77	37	48				
SB0.30msy	65	31	40				
SB0.25msy	53	25	33				
SB0.20msy	42	20	26				
SB0.15msy	30	14	19				
SB0.10msy	20	9	12				
B0	627	683	630				

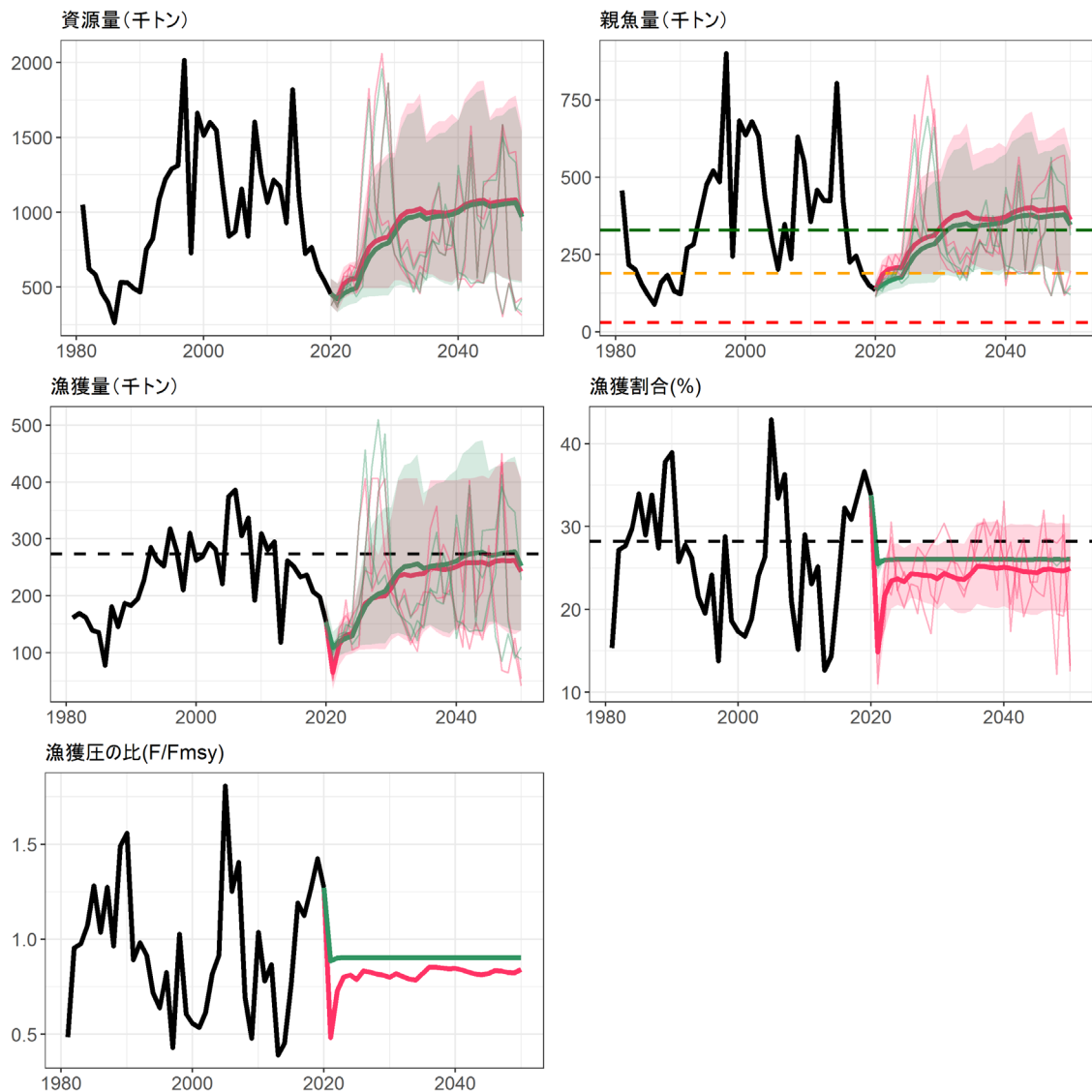
補足資料 5 再生産関係の仮定が誤っていた場合の感度分析結果

本系群の再生産関係に自己相関を考慮しない最小二乗法で最適化したホッケー・スティック（HS）型再生産曲線を仮定したが、同条件のベバートン・ホルト（BH）型再生産関係の AICc との差は明確ではなかったため（補足表 1-1）、再生産関係の仮定が実際の再生産関係と異なるものを仮定した場合に生ずるリスクについて、簡易 MSE により検討した。具体的には、本系群の再生産関係が HS 型もしくは BH 型であったとき、漁獲管理の際に仮定する再生産関係が実際と異なった場合に、資源管理の結果として、乱獲もしくは漁獲量損失が生じるリスクについて比較検討した。

真の再生産関係のもとでの MSY を得るために、最小二乗法で最適化した BH 型再生産関係を用いた場合に、本案で提案する管理基準値の計算方法により管理基準値を定め、それに基づく漁獲管理規則で漁獲した場合のシミュレーションを実施した（補足図 5-1）。将来の加入の仮定には、バックワードリサンプリング（補足資料 8）により今後数年間は低加入が継続した後に、徐々に回復すると仮定した。今後の漁獲について、 $\beta = 0.8$ で継続した場合について検討した。

真の再生産関係が BH 型であったときに、誤って HS 型を仮定した漁獲管理を行った場合は、正しく BH 型を仮定した場合と比べ、管理開始後 1 年目（2021 年漁期）の漁獲量が低く見積もられた。しかし、それ以降の平均漁獲量および平均親魚量については、正しく BH 型を仮定した場合とほぼ同様に推移すると試算された（補足図 5-1、補足表 5-1、5-2、5-3）。一方、真の再生産関係が HS 型であったときに、誤って BH 型を仮定した漁獲管理を行った場合は、正しく HS 型を仮定した場合と比べ、管理開始後 1～2 年目（2021～22 年漁期）の漁獲量が高く見積もられ、その結果、平均親魚量が減少し、親魚量の回復に 20 年程度多く時間が掛かると試算された（補足図 5-2、補足表 5-3、表 12～13）。

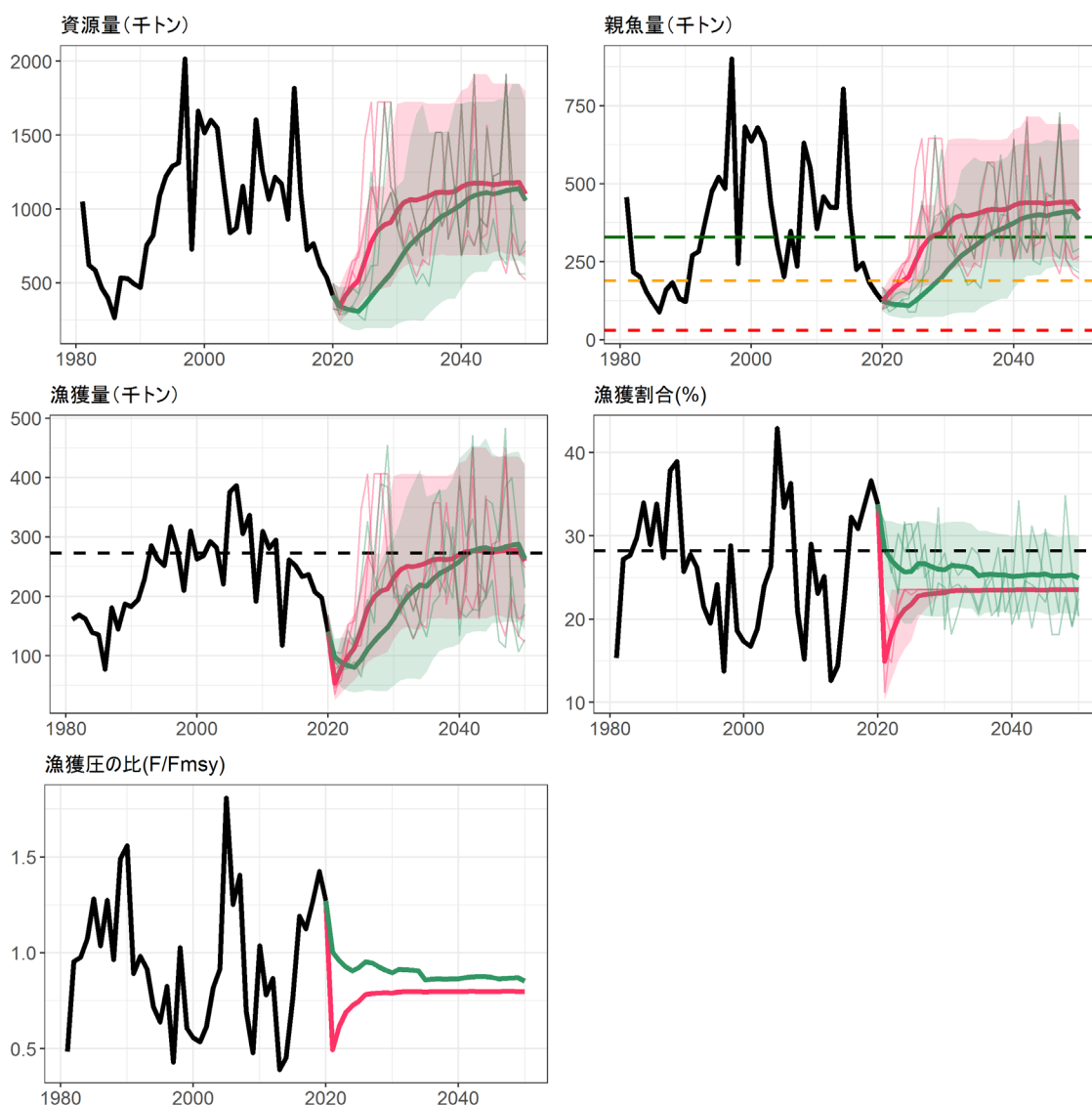
以上のことから、HS 型の再生産関係を想定していた方が、再生産関係の仮定が誤っていた場合でも、乱獲のリスクが上がることはなく、漁獲量損失も管理開始後 1 年目に生ずるのみであり、管理上の問題を生じさせる危険性が低いと考えられた。



補足図 5-1. 加入の仮定を今後数年間は低加入とし、漁獲管理規則に基づき漁獲した場合の将来予測の平均値（実線）と 80%予測区間

真の再生産関係が BH 型である資源に対し、再生産関係を正しく BH 型を仮定した漁獲管理規則による漁獲を継続した場合（緑）と誤って HS 型の状態を仮定した場合（赤）の管理効果を示す。親魚量の図には全期間の再生産関係から求めた各管理基準値案

（SBtarget、SBlimit、SBban はそれぞれ SBmsy、SB0.85msy、SB0.15msy）を示す。漁獲量の図の点線、漁獲割合の図の点線および漁獲圧の比の分母の Fmsy は、それぞれ MSY、MSY が実現したときの漁獲割合、MSY を実現する F で、いずれも全期間の再生産関係から求めた値。漁獲管理規則での漁獲は 2021 年漁期から開始し、2020 年漁期の漁獲量は Fcurrent による漁獲とした。β に 0.8 を用いた場合について示した。



補足図 5-2. 加入の仮定を今後数年間は低加入とし、漁獲管理規則に基づき漁獲した場合の将来予測の平均値（実線）と 80%予測区間

真の再生産関係が HS 型である資源に対し、再生産関係を正しく HS 型を仮定した漁獲管理規則による漁獲を継続した場合（赤）と誤って BH 型を仮定した場合（緑）の管理効果を示す。親魚量の図には全期間の再生産関係から求めた各管理基準値案（SBtarget、SBlimit、SBban はそれぞれ SBmsy、SB0.85msy、SB0.15msy）を示す。漁獲量の図の点線、漁獲割合の図の点線および漁獲圧の比の分母の Fmsy は、それぞれ MSY、MSY が実現したときの漁獲割合、MSY を実現する F で、いずれも全期間の再生産関係から求めた値。漁獲管理規則での漁獲は 2021 年漁期から開始し、2020 年漁期の漁獲量は Fcurrent による漁獲とした。β に 0.8 を用いた場合について示した。

補足表 5-1. 将来の平均親魚量（千トン）の推移

真の再生産関係が BH 型である資源に対し、a) 再生産関係を正しく BH 型を仮定した漁獲管理規則による漁獲を継続した場合、b) 誤って HS 型を仮定した場合の管理効果を示す。

a) 再生産関係に正しく BH 型を仮定し、漁獲管理規則により漁獲した場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	151	136	137	138	138	138	166	189	205	214	220	238	284	277
0.9	151	136	144	150	153	156	189	216	234	244	250	271	319	310
0.8	151	136	152	164	172	177	217	248	267	278	284	307	357	345
0.7	151	136	161	179	192	201	248	283	304	314	319	346	396	382
0.6	151	136	169	196	214	227	282	321	342	352	357	388	439	421
0.5	151	136	179	214	239	256	319	361	383	392	397	431	483	463
0.4	151	136	188	234	266	287	359	404	425	435	438	477	530	507
0.3	151	136	199	255	295	320	402	449	470	479	482	526	580	553
0.2	151	136	209	278	327	357	447	497	518	526	528	577	633	602
0.1	151	136	221	303	362	396	496	547	568	575	577	631	688	654
0.0	151	136	233	330	399	437	547	600	620	627	628	688	747	709

b) 再生産関係に誤って HS 型を仮定し、漁獲管理規則により漁獲した場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	150	136	175	185	186	186	227	245	254	259	262	287	308	295
0.9	150	136	180	193	195	196	239	261	274	281	285	311	337	326
0.8	150	136	185	203	207	209	255	282	297	306	311	339	372	362
0.7	150	136	190	213	222	225	275	307	326	336	342	372	415	402
0.6	150	136	196	226	238	244	300	337	358	370	377	410	460	445
0.5	150	136	201	239	258	267	330	371	395	408	415	451	507	489
0.4	150	136	207	254	280	294	364	411	437	449	455	495	555	532
0.3	150	136	213	271	305	324	404	455	481	493	498	541	603	576
0.2	150	136	220	289	334	359	450	503	528	538	542	591	651	620
0.1	150	136	226	309	365	397	498	552	575	583	586	640	699	665
0.0	150	136	233	330	399	437	547	600	620	627	628	688	747	709

補足表 5-2. 将来の平均漁獲量（千トン）の推移

真の再生産関係が BH 型である資源に対し、a) 再生産関係に正しく BH 型を仮定した漁獲管理規則による漁獲を継続した場合、b) 誤って BH 型を仮定した場合の管理効果を示す。

a) 再生産関係に正しく BH 型を仮定し、漁獲管理規則により漁獲した場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	198	154	129	131	131	131	157	182	197	207	212	229	275	268
0.9	198	154	119	126	129	131	160	183	198	207	212	229	270	263
0.8	198	154	109	119	125	129	159	181	196	204	208	225	261	252
0.7	198	154	97	111	119	125	154	176	189	195	199	216	247	238
0.6	198	154	86	101	111	118	146	166	177	183	185	201	227	218
0.5	198	154	73	90	100	107	134	152	161	165	166	181	203	194
0.4	198	154	60	76	87	94	117	132	139	142	143	156	173	165
0.3	198	154	46	61	70	76	96	107	112	114	115	125	138	132
0.2	198	154	32	43	51	55	69	77	80	81	82	89	98	93
0.1	198	154	16	23	27	30	37	41	43	43	43	47	52	49
0.0	198	154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

b) 再生産関係に誤って HS 型を仮定し、漁獲管理規則により漁獲した場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	198	154	79	125	136	137	161	200	210	214	215	229	270	265
0.9	198	154	72	120	135	136	160	194	204	207	209	223	263	256
0.8	198	154	65	114	131	134	158	187	195	198	200	214	251	243
0.7	198	154	58	107	124	129	154	177	184	187	187	201	234	224
0.6	198	154	50	97	116	122	146	165	169	171	171	185	211	201
0.5	198	154	43	86	105	112	135	148	151	151	151	165	184	175
0.4	198	154	35	73	91	98	119	127	128	128	128	140	153	145
0.3	198	154	26	58	73	80	97	100	100	101	101	110	119	113
0.2	198	154	18	41	53	57	68	69	69	69	69	76	82	77
0.1	198	154	9	22	28	30	35	35	36	36	35	39	42	40
0.0	198	154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足表 5-3. 将来の平均親魚量および平均漁獲量の推移

真の再生産関係が HS 型である資源に対し、再生産関係に誤って BH 型を仮定した漁獲管理規則による漁獲を継続した場合の、a) 平均親魚量（千トン）および b) 平均漁獲量（千トン）の推移

a) 平均親魚量（千トン）の推移

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	151	124	103	91	84	79	88	95	101	108	115	130	259	303
0.9	151	124	110	102	96	92	102	113	124	137	150	170	316	348
0.8	151	124	117	114	111	110	125	142	161	181	200	225	374	386
0.7	151	124	125	128	131	135	160	189	219	246	268	297	427	420
0.6	151	124	133	144	156	170	211	255	294	322	339	374	471	450
0.5	151	124	141	162	187	214	277	332	369	389	399	442	504	478
0.4	151	124	150	183	223	265	351	403	428	440	444	491	533	504
0.3	151	124	159	206	264	320	420	458	471	475	475	525	561	531
0.2	151	124	169	231	309	374	478	498	502	504	502	554	592	560
0.1	151	124	179	260	356	422	523	531	532	532	531	585	626	592
0.0	151	124	190	291	404	464	559	563	563	564	562	619	663	627

b) 平均漁獲量（千トン）の推移

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	198	141	117	91	75	65	72	88	98	106	113	122	233	266
0.9	198	141	107	91	80	73	82	98	110	120	129	142	252	271
0.8	198	141	98	89	84	81	94	111	125	137	147	163	259	263
0.7	198	141	88	86	86	87	105	124	140	153	165	183	253	247
0.6	198	141	77	81	85	90	113	133	150	163	172	191	234	224
0.5	198	141	66	73	81	88	115	135	151	160	165	182	207	197
0.4	198	141	54	63	72	82	109	127	138	142	144	159	174	165
0.3	198	141	41	51	61	70	93	108	113	115	115	127	137	130
0.2	198	141	28	37	45	52	70	79	80	81	81	89	96	91
0.1	198	141	15	20	25	29	38	42	42	42	42	47	50	47
0.0	198	141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足資料 6 レジーム別に管理基準値を設定した場合の管理効果

本系群では、1989/90年および2014/15年に再生産関係に変化が生じ、近年は生産力が低い（同じ親魚量でも予測される加入が少ない）状態になっている可能性もある（Nishijima et al. accepted）。しかし、こうした再生産関係の変化を仮定して管理方針に反映することが有効か否かについては検討が必要である。ここでは、期間別にデータセットを分け、それぞれの期間、すなわち好適レジームと不適レジームにおけるHS型再生産関係を推定し、それぞれの期間での管理基準値案を求めた（補足図 6-1、補足表 6-1）。再生産関係のパラメータ推定にあたっては、対数残差の標準偏差（S.D.）をレジームで共通としたモデルのAICcが低く、S.D.を同じとして指定した。将来予測の際に適用する管理基準値案は、標準値と同様、すなわちSBtargetをSBmsy、SBlimitをSB0.6msy、SBbanをSB0.1msyとした。以上の仮定を置いたうえで、以下の将来予測に基づく試算を行った。

1) 今後、不適レジームに従った再生産があると仮定した場合（不適シナリオ）

このとき、正しく不適レジームを想定した漁獲管理規則に従った場合と、誤ってバックワードリサンプリングに基づく低加入を想定した漁獲管理規則に従った場合とで比較した（補足図 6-2、補足表 6-2、6-3）。

$\beta = 1.0 \sim 0.8$ のとき、前者の管理規則で予測される平均親魚量は、2022年漁期以降で後者よりも常に高く、2023年漁期で7~9%、2025年漁期で30%、2030年漁期で66~74%それぞれ高く推定された。また、 $\beta = 1.0 \sim 0.8$ のときの平均漁獲量は、2022年漁期以降で最大20%程度低いが、 $\beta = 1.0$ では2026年漁期、 $\beta = 0.9$ では2027年漁期、 $\beta = 0.8$ では2028年漁期からそれぞれ逆転した。以上のように、正しく不適レジームによる加入を想定した方が、年が経つにつれ、平均親魚量も平均漁獲量もともに今後10年程度の間で多くなり、その後平衡状態に近づくとして予測された（補足図 6-2、補足表 6-2、6-3）。誤って低加入シナリオを想定した場合は、長期的には平均親魚量は漸減し、平均漁獲量も減少すると予測された。

ただし、低加入シナリオでは、管理開始5年目（2025年漁期）以降に加入が徐々に回復することを想定して予測しているが、不適レジームの加入が継続した場合、全期間の再生産曲線から見れば加入の残差の低い年が多くなり、年々の評価において直近の状況が反映され、将来の再生産も回復しにくい予測に変化すると考えられる。本報告書の試算においては、低加入シナリオにおいて年々の評価で参照する残差が新しい情報に更新されていくことを盛り込めていない。このため、低加入シナリオでも、管理開始後に不適レジーム相当の加入の悪い状態が続いた場合は、ここでの試算より漁獲は抑えられ、2025年漁期以降に顕著に見られるほどには親魚量は低下しないと考えられる。

2) 今後、低加入シナリオに従った再生産があると仮定した場合（低加入シナリオ）

このとき、正しく低加入シナリオを想定した漁獲管理規則に従った場合（表 12~13）と不適レジームを想定した漁獲管理規則に従った場合（不適シナリオ、補足表 6-4）とで比

較した（補足図 6-3）。 $\beta = 1.0 \sim 0.8$ のとき、前者の管理規則での 2024 年漁期までの平均親魚量は後者と比べて $\pm 6\%$ までの差に留まるが、2025 年漁期以降で明瞭に後者より少なくなると推定された。また、 $\beta = 1.0 \sim 0.8$ のとき、前者の管理規則での将来の平均漁獲量は、後者と比べて 2021 年漁期で 14% 少ないが、2022～2024 年漁期では 5～22% 多く、2025 年漁期以降で明瞭に多くなると推定された。以上のように、誤って不適レジームを想定した管理を行った場合、正しく低加入を想定した管理を行った場合と比べて、2024 年漁期までは平均親魚量が同水準である中、2021 年漁期の漁獲がやや多く、2022～2024 年漁期の漁獲量をやや少なくなり、2025 年漁期以降は漁獲量は明瞭に少なく、一方で平均親魚量は明瞭に多くなると推定された。不適レジームを想定した管理では、2025 年漁期以降に加入が徐々に好転する中で漁獲を抑えすぎる懸念があるが、加入の動向を観察しつつ、2025 年漁期以降でのどこかの時点で好適レジームを想定した管理に切り替える判断が必要になることが想定される。

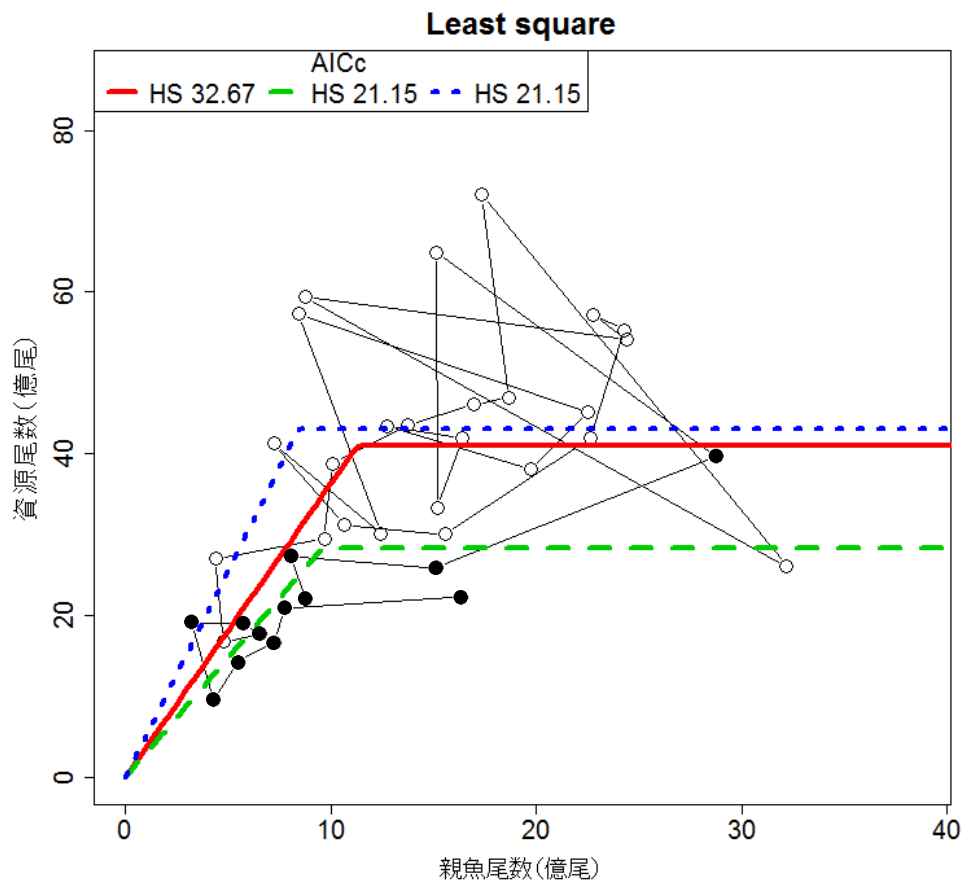
3) 今後、好適レジームに移行した場合（好適シナリオ）

もし好適レジームに移行した場合にはどのような管理が想定されるかを確認するため、今後の加入に好適レジームを想定し、かつ正しく好適レジームを想定した漁獲管理規則に従った場合の将来予測も行った（補足図 6-4、補足表 6-5）。

$\beta = 1.0$ のとき、平均親魚量は 2021、2023、2025 および 2030 年漁期でそれぞれ 254、268、269、272 千トン、平均漁獲量は同 4 年漁期でそれぞれ 433、456、459、464 千トンとなる。 $\beta = 0.8$ のとき、平均親魚量は 2021、2023、2025 および 2030 年漁期でそれぞれ 299、334、336、339 千トン、平均漁獲量は同 4 年漁期でそれぞれ 372、417、419、423 千トンとなる。管理開始 4 年目の 2024 年漁期以降で概ね平衡状態となり、 $\beta = 1.0$ のとき、平均親魚量、平均漁獲量ともにほぼ好適レジームの MSY 水準となる。同様に $\beta = 0.8$ のとき、管理開始 4 年目以降、平均親魚量は SBmsy の 125% 程度、平均漁獲量は MSY の 90% 程度で平衡状態となる。

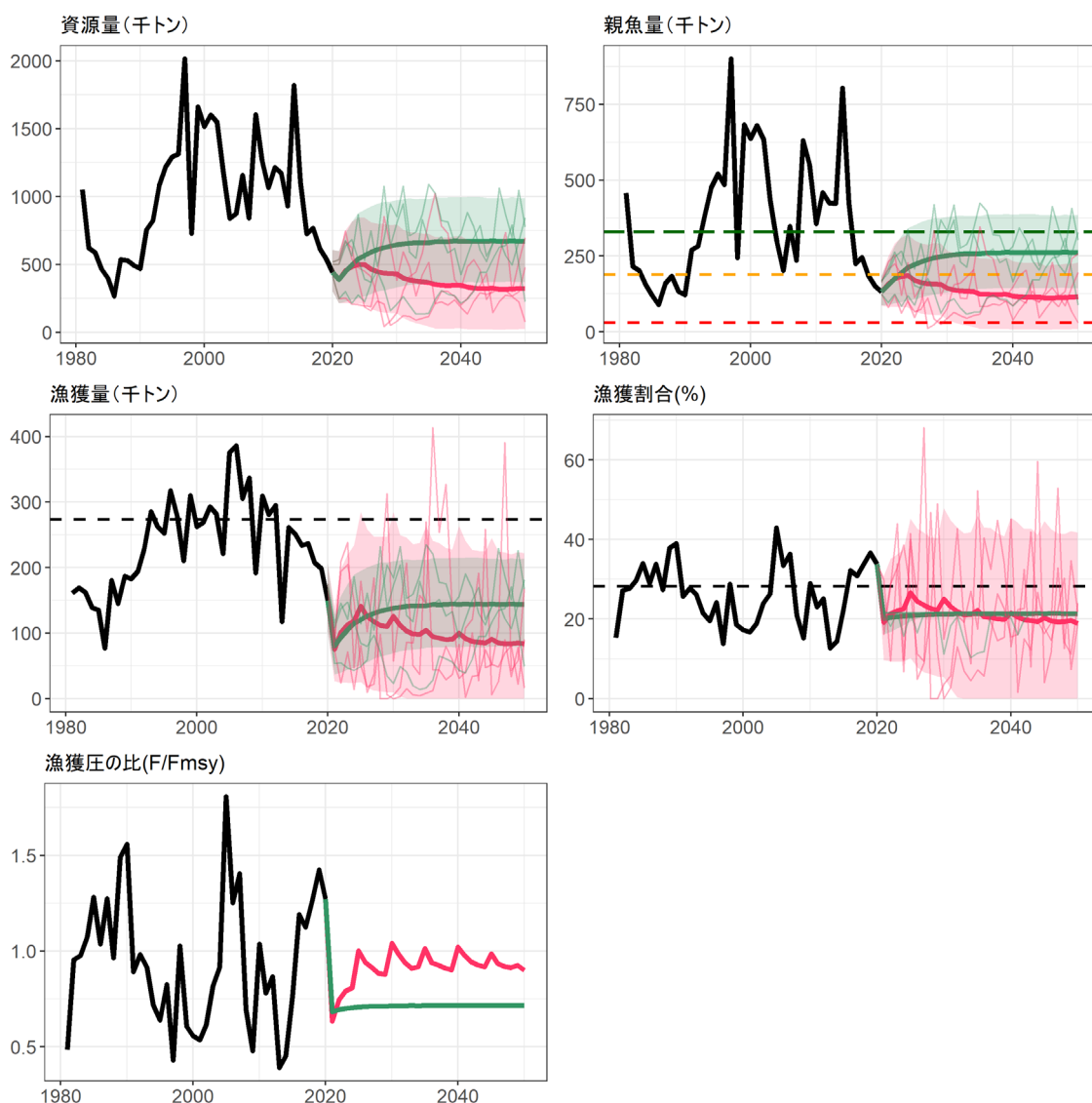
過去の最大漁獲量は、中国の漁獲量に 15 万トン一定の仮定を入れた場合で 2006 年漁期の 386 千トンで、日韓 2 国の漁獲量では 1996 年漁期の 318 千トンが過去最大であるところ、好適レジームの MSY は 461 千トンで、過去に経験のなかった漁獲量となっている。また Fmsy は 0.82 と過去最大レベルである一方、SBmsy は 270 千トンと、本報告書での中国の漁獲量の仮定値を適用した場合の最近 4 年間の親魚量よりは多いものの、好適レジーム期における親魚量のほぼ最低水準となっている。レジーム別に再生産関係を求めることによって、好適レジームでは極めて高い再生産力があり、強い漁獲圧を与えても資源が維持されると推定された。一方、不適レジームにおける SBmsy は 256 千トンと、好適レジームの SBmsy (270 千トン) とほとんど同じレベルである（補足表 6-1）。従って、レジーム別に再生産関係を適用する場合は、維持すべき親魚量にはレジームにより大きな差がないものの、親魚量（漁獲後に残された資源量）から予測される翌年漁期の加入の見積もりが、レジームにより 1.7 倍程度異なる結果、推奨される漁獲量は 3 倍以上異なることとなる。従って、レジーム別に再生産関係を求めたうえでレジーム別に管理を行う場合は、レジームの判断が非常に重要なウェイトを占めることとなる。しかし、実際には、再生産関係の変化を速やかに判断できるほど精度の高い現状把握や今後の想定をすることは困難で

あり、レジーム別管理を導入することは現段階では現実的でないと考えられる。なお、将来予測において当面は近年の低加入を想定しても、実際の加入が不適レジームの再生産関係に基づいていた場合、資源の回復が遅れるリスクはあるが、バックワードリサンプリングを用いて、かつ毎年情報が1年追加するごとに参照期間を1年ずつずらしていく手法であれば、ある程度のタイムラグはあるものの、資源動向に追隨した管理が可能と考えられる。



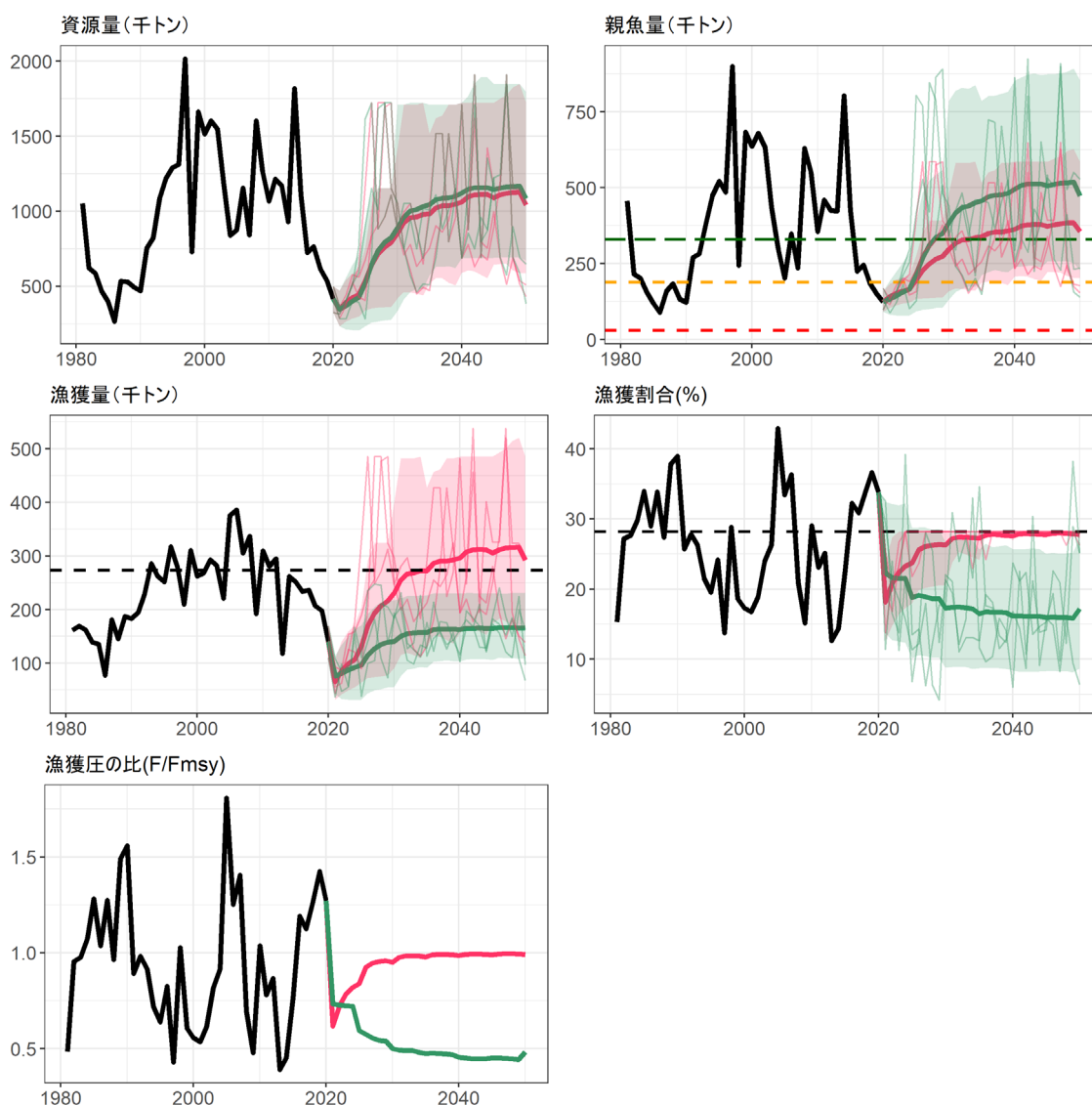
補足図 6-1. レジーム別の再生産関係

期間で分けた HS 型再生産関係式を用い、最小二乗法によりパラメータ推定を行った。青点線は好適レジームと仮定した期間（1991～2014 年漁期）の再生産関係、緑破線は不適レジーム（1982～1990 年漁期および 2015～2018 年漁期）と設定した期間の再生産関係、赤線は全期間の再生産関係である。図中左上の数値は、補正赤池情報量規準（AICc）の値である。丸は分析に使用した親魚尾数（1981～2017 年漁期）・加入尾数（1982～2018 年漁期）の各年の対応関係であり、白丸は好適レジーム、黒丸は不適レジームに相当する。



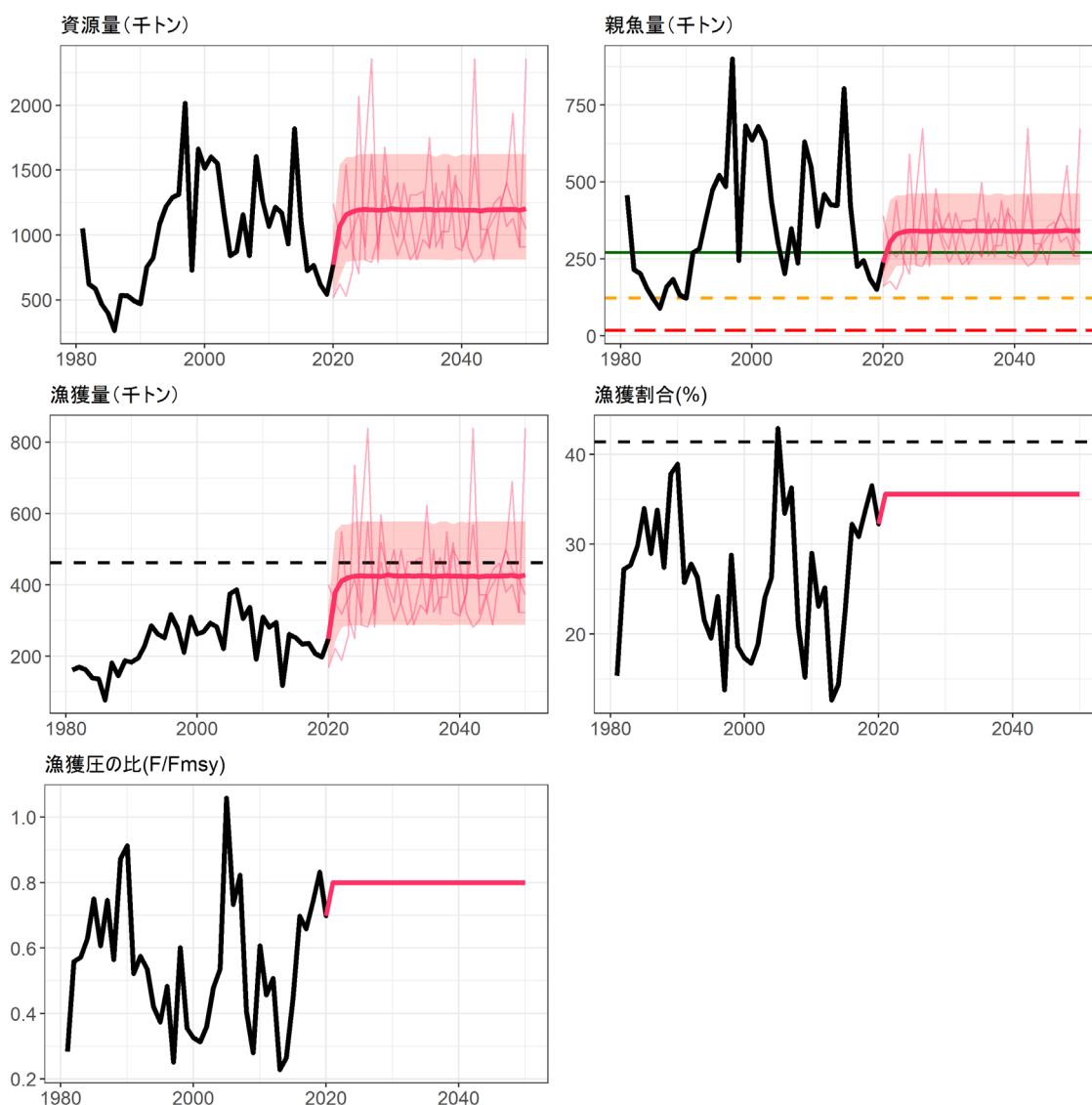
補足図 6-2. 漁獲管理規則による将来予測の平均値（実線）と 80%予測区間

真の再生産関係が不適レジームの状態にある資源に対し、再生産関係を正しく不適レジームを想定した漁獲管理規則による漁獲を継続した場合（緑）と再生産関係を誤って低加入の状態を想定した場合（赤）の管理効果を示す。親魚量の図には全期間の再生産関係から求めた各管理基準値案（SBtarget、SBlimit、SBban をそれぞれ SBmsy、SB0.85msy、SB0.15msy）を示す。漁獲量の図の点線、漁獲割合の図の点線および漁獲圧の比の分母の Fmsy は、それぞれ MSY、MSY が実現したときの漁獲割合、MSY を実現する F で、いずれも全期間の再生産関係から求めた値。漁獲管理規則での漁獲は 2021 年漁期から開始し、2020 年漁期の漁獲量は Fcurrent による漁獲とした。β には 1.0 を用いた。



補足図 6-3. 漁獲管理規則による将来予測の平均値（実線）と 80%予測区間

真の再生産関係がバックワードリサンプリングで仮定する低加入の状態にある資源に対し、再生産関係を正しく低加入の状態を想定した漁獲管理規則による漁獲を継続した場合（赤）と再生産関係を誤って不適レジームの状態を想定した場合（緑）の管理効果を示す。親魚量の図には全期間の再生産関係から求めた各管理基準値案（SBtarget、SBlimit、SBban をそれぞれ SBmsy、SB0.85msy、SB0.15msy）を示す。漁獲量の図の点線、漁獲割合の図の点線および漁獲圧の比の分母の Fmsy は、それぞれ MSY、MSY が実現したときの漁獲割合、MSY を実現する F で、いずれも全期間の再生産関係から求めた値。漁獲管理規則での漁獲は 2021 年漁期から開始し、2020 年漁期の漁獲量は $F_{current}$ による漁獲とした。 β には 1.0 を用いた。



補足図 6-4. 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

真の再生産関係が好適レジームの状態にある資源に対し、正しく好適レジームを想定した漁獲管理規則による漁獲を継続した場合の管理効果を示す。親魚量の図には好適レジームの再生産関係から求めた各管理基準値案（SBtarget、SBlimit、SBban をそれぞれ SBmsy、SB0.60msy、SB0.10msy）を示す。漁獲量の図の点線、漁獲割合の図の点線および漁獲圧の比の分母の Fmsy は、それぞれ MSY、MSY が実現したときの漁獲割合、MSY を実現する F で、いずれも好適レジームの再生産関係から求めた値。漁獲管理規則での漁獲は 2021 年漁期から開始し、2020 年漁期の漁獲量は Fcurrent による漁獲とした。β には 0.8 を用いた。

補足表 6-1. レジーム別に求めた HS 型再生産関係（最適化方法は最小二乗法）による管理基準値案等

	SBmsy (千トン)	SB0.6msy (千トン)	SB0.1msy (千トン)	MSY (千トン)	Umsy	Fmsy	SB0	B0
好適レジーム	270	123	18	461	0.41	0.82	661	1,205
不適レジーム	256	114	16	142	0.22	0.34	433	789
(全期間)	329	143	20	273	0.28	0.48	627	1,142

補足表 6-2. 将来の平均親魚量（千トン）の推移

真の再生産関係が不適レジームの状態にある資源に対し、a) 再生産関係を正しく不適レジームを想定した漁獲管理規則による漁獲を継続した場合と b) 再生産関係を誤って低加入の状態を想定した場合の管理効果を示す。

a) 再生産関係に不適レジームを想定し、漁獲管理規則により漁獲した場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	150	132	154	176	195	212	222	231	238	244	248	251	261	261
0.9	150	132	159	187	211	232	244	255	263	269	273	277	285	285
0.8	150	132	165	199	229	253	267	278	287	293	297	300	305	305
0.7	150	132	170	212	247	275	290	301	309	315	318	320	323	323
0.6	150	132	176	225	266	296	312	323	330	335	337	339	340	340
0.5	150	132	182	239	286	318	333	343	349	353	355	356	356	356
0.4	150	132	188	254	306	340	353	363	367	370	371	372	372	372
0.3	150	132	194	269	327	361	373	381	384	386	387	388	387	387
0.2	150	132	200	285	348	381	391	398	400	402	403	403	402	402
0.1	150	132	207	302	370	401	409	415	416	418	418	418	418	418
0.0	150	132	214	320	391	421	427	431	432	434	434	434	433	433

b) 再生産関係に今後数年間は低加入の状態を想定し、漁獲管理規則により漁獲した場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	150	132	158	174	182	186	170	163	159	157	156	144	118	116
0.9	150	132	163	184	196	202	187	180	176	174	173	161	133	131
0.8	150	132	168	195	211	220	206	200	196	195	193	181	153	150
0.7	150	132	173	207	227	240	227	222	219	218	217	205	178	175
0.6	150	132	178	219	246	262	252	248	246	245	244	233	208	206
0.5	150	132	183	233	266	285	278	276	275	275	275	265	243	242
0.4	150	132	189	248	288	310	306	307	307	308	307	300	282	282
0.3	150	132	195	264	311	337	336	338	339	341	341	335	323	323
0.2	150	132	201	281	337	365	366	370	371	373	373	369	362	363
0.1	150	132	207	300	363	393	396	401	402	404	404	402	399	400
0.0	150	132	214	320	391	421	427	431	432	434	434	434	433	433

補足表 6-3. 将来の平均漁獲量（千トン）の推移

真の再生産関係が不適レジームの状態にある資源に対し、a) 再生産関係を正しく不適レジームを想定した漁獲管理規則による漁獲を継続した場合と b) 再生産関係を誤って低加入の状態を想定した場合の管理効果を示す。

a) 再生産関係に不適レジームを想定し、漁獲管理規則により漁獲した場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	198	150	81	94	105	115	121	126	130	134	136	138	144	144
0.9	198	150	74	89	101	112	118	124	128	131	133	135	139	139
0.8	198	150	66	83	96	107	113	118	122	125	126	128	130	130
0.7	198	150	59	76	90	100	106	110	113	116	117	118	119	119
0.6	198	150	51	68	82	91	96	100	102	104	104	105	105	105
0.5	198	150	44	59	72	80	84	87	88	89	90	90	90	90
0.4	198	150	35	50	61	67	70	72	73	74	74	74	74	74
0.3	198	150	27	39	48	53	55	56	56	57	57	57	57	57
0.2	198	150	18	27	33	37	38	38	38	39	39	39	39	39
0.1	198	150	9	14	17	19	19	20	20	20	20	20	20	20
0.0	198	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

b) 再生産関係に今後数年間は低加入の状態を想定し、漁獲管理規則により漁獲した場合

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	198	150	75	101	113	119	141	125	117	112	110	125	100	84
0.9	198	150	69	97	111	119	143	129	123	117	116	131	108	91
0.8	198	150	62	92	109	118	143	132	126	122	120	136	116	98
0.7	198	150	56	85	104	115	140	132	128	124	123	138	123	106
0.6	198	150	48	78	98	109	134	128	126	123	122	137	127	112
0.5	198	150	41	69	89	100	123	120	119	118	117	131	127	114
0.4	198	150	33	59	77	87	108	107	107	106	106	119	119	109
0.3	198	150	26	47	63	71	88	88	89	89	88	98	101	95
0.2	198	150	17	33	45	51	63	63	64	64	64	71	75	70
0.1	198	150	9	18	24	27	33	34	34	34	34	37	40	38
0.0	198	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足表 6-4. 将来の平均親魚量および平均漁獲量の推移

真の再生産関係がバックワードリサンプリングで仮定する今後数年間は低加入の状態にある資源に対し、再生産関係を誤って不適レジームを想定した漁獲管理規則による漁獲を継続した場合の、(a) 平均親魚量 (千トン) と (b) 平均漁獲量 (千トン) の推移

a) 平均親魚量 (千トン) の推移

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	150	124	134	144	156	166	216	268	310	336	350	385	496	473
0.9	150	124	138	154	172	187	248	305	347	369	380	421	519	492
0.8	150	124	143	165	189	212	284	345	383	402	410	458	541	509
0.7	150	124	148	177	209	240	323	385	418	433	439	491	560	526
0.6	150	124	154	190	232	271	366	424	451	461	465	521	576	542
0.5	150	124	159	204	256	304	409	460	478	485	487	544	592	557
0.4	150	124	165	219	283	339	450	489	500	504	504	562	606	571
0.3	150	124	171	235	311	374	486	513	518	520	519	576	620	584
0.2	150	124	177	252	342	407	516	532	534	535	533	590	634	598
0.1	150	124	183	271	373	437	540	548	548	549	547	605	648	612
0.0	150	124	190	291	404	464	559	563	563	564	562	619	663	627

b) 平均漁獲量 (千トン) の推移

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	198	141	76	81	87	92	96	115	127	135	139	141	163	166
0.9	198	141	69	78	86	93	98	116	127	133	136	137	152	154
0.8	198	141	63	73	83	92	99	114	123	127	130	131	139	140
0.7	198	141	56	68	80	90	97	109	115	119	120	121	125	125
0.6	198	141	49	62	74	85	91	101	105	107	108	108	109	110
0.5	198	141	41	54	67	77	83	89	91	92	93	93	93	93
0.4	198	141	33	46	58	66	70	74	75	76	76	76	76	76
0.3	198	141	25	36	46	53	56	57	57	58	58	58	58	58
0.2	198	141	17	26	33	37	38	39	39	39	39	39	39	39
0.1	198	141	9	13	17	19	20	20	20	20	20	20	20	20
0.0	198	141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足表 6-5. 将来の平均親魚量および平均漁獲量の推移

真の再生産関係が好適レジームの状態にある資源に対し、再生産関係を正しく好適レジームを想定した漁獲管理規則による漁獲を継続した場合の、(a) 平均親魚量（千トン）、(b) 平均漁獲量（千トン）、(c) 将来の親魚量が好適レジームの SBmsy を上回る確率（%）の推移

a) 平均親魚量（千トン）の推移

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	150	229	254	264	268	270	269	270	271	272	271	272	272	271
0.9	150	229	276	295	301	305	303	305	305	306	306	307	306	306
0.8	150	229	299	327	334	338	336	337	337	339	339	339	338	338
0.7	150	229	325	361	368	371	368	370	369	371	371	371	370	370
0.6	150	229	352	396	402	405	401	403	403	404	404	404	404	404
0.5	150	229	382	433	438	440	437	438	438	440	440	440	439	439
0.4	150	229	415	473	476	478	474	476	476	477	478	477	477	477
0.3	150	229	450	515	517	519	515	517	516	518	518	518	518	518
0.2	150	229	488	561	561	563	559	561	560	563	563	562	562	562
0.1	150	229	530	609	609	611	607	609	608	611	611	610	610	610
0.0	150	229	575	662	661	663	658	660	660	663	663	662	662	662

b) 平均漁獲量（千トン）の推移

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	198	259	433	450	456	461	459	460	461	464	463	464	464	463
0.9	198	259	404	432	442	447	445	447	448	450	450	450	450	449
0.8	198	259	372	407	417	421	419	421	421	422	422	423	422	422
0.7	198	259	338	376	384	387	384	386	385	387	387	387	386	386
0.6	198	259	301	339	344	346	343	344	344	346	346	346	345	345
0.5	198	259	260	296	299	300	298	299	299	300	300	300	299	299
0.4	198	259	216	247	249	250	248	249	249	249	250	249	249	249
0.3	198	259	169	193	194	195	193	194	194	195	195	195	194	194
0.2	198	259	117	134	135	135	134	135	134	135	135	135	135	135
0.1	198	259	61	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
0.0	198	259	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

c) 将来の親魚量が好適レジームの SBmsy を上回る確率（%）

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
1.0	0	24	38	43	45	46	45	46	46	46	46	47	46	46
0.9	0	24	48	57	60	61	62	62	62	62	62	63	63	62
0.8	0	24	58	70	73	75	75	75	74	74	75	75	75	75
0.7	0	24	67	80	83	84	84	84	84	84	84	85	84	85
0.6	0	24	75	88	91	90	90	90	90	91	91	91	91	91
0.5	0	24	82	93	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
0.4	0	24	87	97	98	97	97	97	97	97	97	97	97	97
0.3	0	24	91	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.2	0	24	94	99	100	99	99	99	99	99	99	99	99	99
0.1	0	24	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	0	24	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足資料 7 限界管理基準値・禁漁水準に提案値および標準値を採用した場合の将来予測の比較

本資源の再生産関係には1年単位で有意な自己相関が検出されなかったものの（補足図1-2）、資源が減少傾向で、加入の残差が負に偏る年が続いており、過去にはレジームシフトと同期した大きな資源変動が起きていたことから、本報告書においては、近年の低加入が当面継続する将来予測を採用した。こうした再生産の状況下では、漁獲管理のみによって過去に経験した平均的な再生産関係を想定して求めた目標管理基準値案を実現することは困難であると考えられる。一方で、限界管理基準値を標準的なSB0.6msy（143千トン）とした場合、過去に経験した親魚量の中でも低いレベルに相当するため、限界管理基準値として適当でないと考えた。そこで、将来の加入が通常の状態に戻った場合に、速やかにMSY水準まで資源が回復できる親魚量をシミュレーションにより算出し、その値を限界管理基準値案として提案した。具体的には、「Fmsyで漁獲を継続し、通常の状態の再生産関係で将来予測を行った際に、5年目の平均親魚量が目標管理基準値案の95%を実現する親魚量」を計算した結果、SB0.75msy（189千トン、MSYの75%の漁獲を得られる親魚量）を限界管理基準値案として提案する。これは、これまで用いられてきたBlimit（本報告書で採用した中国の漁獲量の仮定値を組み込んで再計算した場合で276千トン、補足資料2）より小さいものの、2019年漁期の親魚量（150千トン）より大きい値である。

限界管理基準値として推奨する標準値であるSB0.60msyを起点とした場合、同条件（Fmsyで漁獲を継続し、通常の状態の再生産関係で将来予測）では、5年目の平均親魚量は目標管理基準値案の86%であり、95%を実現するのは9年目である（補足図7-1、補足表7-1、補足表7-2）。このように、資源の再生産が好転したときの回復速度を重視し、SB0.75msyを限界管理基準値として提案した。

禁漁水準（SBban）については、SBlimitを求めたときと似た条件設定として、通常の状態の再生産関係の下で、3年間の禁漁により平均親魚量が限界管理基準値案（SB0.75msy）を実現するのに必要な親魚量で（補足図7-2、補足表7-3、7-4）、漁獲管理規則（ $\beta=1.0$ ）による漁獲の下では4年目に限界管理基準値案を実現する親魚量に相当する（補足図7-3、補足表7-5、補足表7-6）。本系群は単年性資源で、加入尾数がそのまま漁期始めの資源尾数となる資源である。また、環境変化の影響を受けやすく、資源量は長期的にも短期的にも変動しやすい。このため、加入量が急激に変化しても資源量もしくは親魚量の変動はある程度緩やかとなる年齢構成のある資源よりも、資源が減少したときのリスクは大きい資源であると考えられる。そのため、回復速度および資源の安定性を考慮し、禁漁水準には標準値よりもやや高いSB0.15msyを提案する。

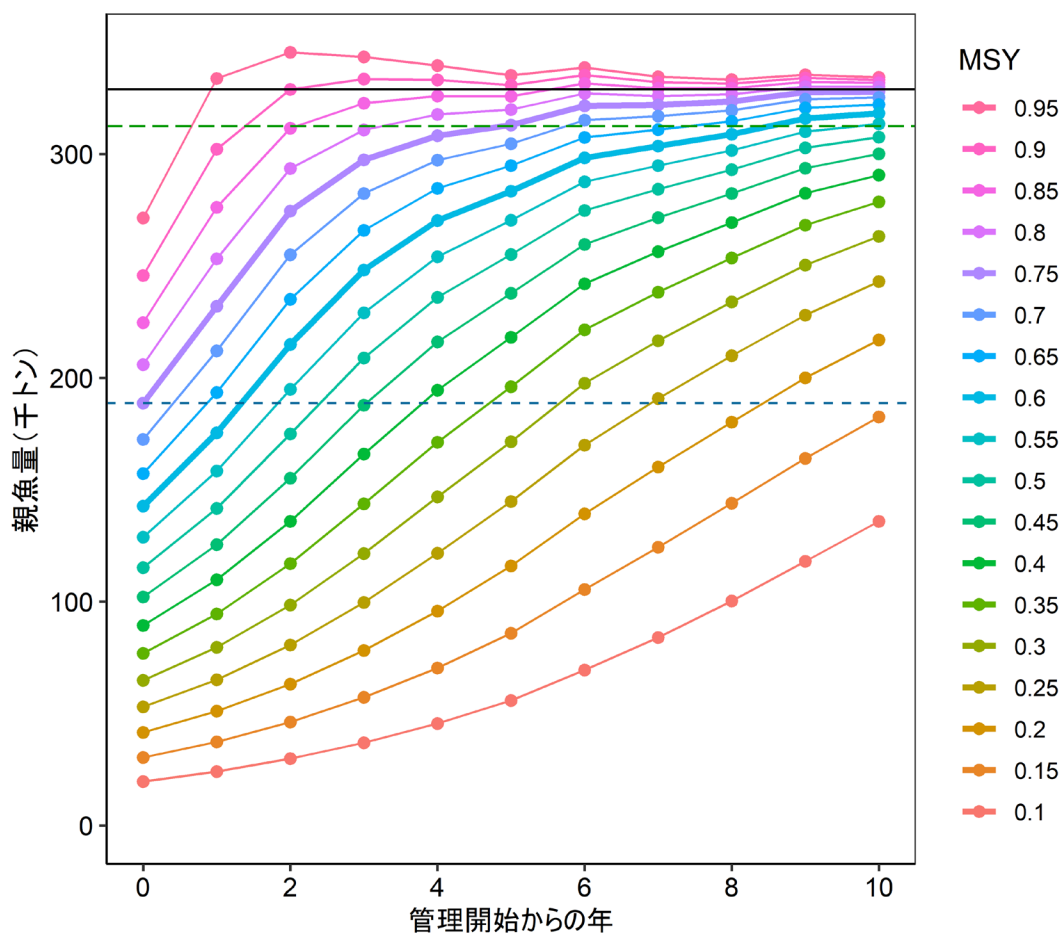
以上のように、標準値よりも高い（管理としては厳しい）値を限界管理基準値として提案している点について、資源の保全という観点では問題はないものの、当面の漁獲量が減少する可能性と、将来の漁獲量や資源量の安定性を犠牲にする可能性がある。このため、現状を起点として管理基準値を標準値とした場合の将来予測を行い、提案値とした場合の将来予測と比較した（補足図7-4～7-7、補足表7-7、7-8）。管理基準値に標準値を適用した場合の将来予測には、本報告書で適用した手法と同様に、推定されたHS型再生産関係に従った加入がある想定（通常予測シナリオ）および近年の低加入が5年間継続した後、

徐々に好転する想定（低加入シナリオ、補足資料 8）を適用し、提案値による将来予測（図 6～7、表 4～13）と比較した。また、 F_{msy} に乗ずる安全係数 β については、1.0 と 0.8 の場合で比較した。

通常予測シナリオの場合、管理基準値に提案値を適用した場合に 2021 年漁期の漁獲量が 10%程度低く見積もられるほかはほとんど差が無く、その後 7～8 年目までの漁獲量および親魚量は提案値で僅かに多く、 SB_{msy} を上回る確率も提案値で僅かに高く推定された（補足図 7-4、7-5）。

低加入シナリオの場合は、通常予測シナリオよりも、提案値による予測の方が 2030 年漁期までの漁獲量および親魚量が多く、また SB_{msy} を上回る確率が高い傾向が、通常予測シナリオよりも明瞭ではあったが、その違いは最大でも 25%程度と小さかった。 $\beta = 1.0$ のときは、管理開始初年の 2021 年漁期の平均漁獲量が提案値において 23%少なくなったが、2023～2030 年漁期では管理基準値を提案値とした方が平均漁獲量では 10～25%、平均親魚量では 14～23%高くなる傾向があった。漁獲量および親魚量の 90%予測区間には、提案値と標準値との間で明瞭な傾向を伴った差は見られなかった。 $\beta = 0.8$ とした場合は、管理基準値を提案値とした場合に 2021 年漁期の平均漁獲量が 24%少なくなるが、2023～2030 年漁期では 7～13%多くなった。平均親魚量は 2021～2030 年漁期で継続して提案値による管理の方が 7～20%高く推定された。漁獲量と親魚量の 90%予測区間には、提案値と標準値との間で明瞭な傾向を伴った差は見られなかった（補足図 7-6、7-7、補足表 7-7、7-8）。

以上の検討結果から、管理基準値に提案値を採用した場合は、標準値を採用した場合よりも、管理開始初年の漁獲がやや減少するものの、その分資源が早く回復するためにその先 10 年の平均漁獲量および平均親魚量は提案値の方がやや高くなる傾向が見られた。90%予測区間には明瞭な傾向を伴った差が見られなかった。なお、いずれのケースでも βF_{msy} が F の上限値であるため、2040 年漁期および 2050 年漁期では、適用する管理基準値案による平均親魚量や平均漁獲量に違いはほとんどなく、ほぼ平衡状態に達していると考えられる。



補足図 7-1. MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として F_{msy} で漁獲を継続した場合に得られる平均親魚量の推移

HS 型再生産曲線に従って将来予測を行った。太実線は SB_{msy} 、緑破線は SB_{msy} の 95%、青破線は $SB_{0.75msy}$ をそれぞれ示す。管理開始時の親魚量が $SB_{0.75msy}$ および $SB_{0.6msy}$ から始まる平均親魚量の推移を太線とした。

補足表 7-1. MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として Fmsy で漁獲を継続した場合に得られる親魚量平均値の推移

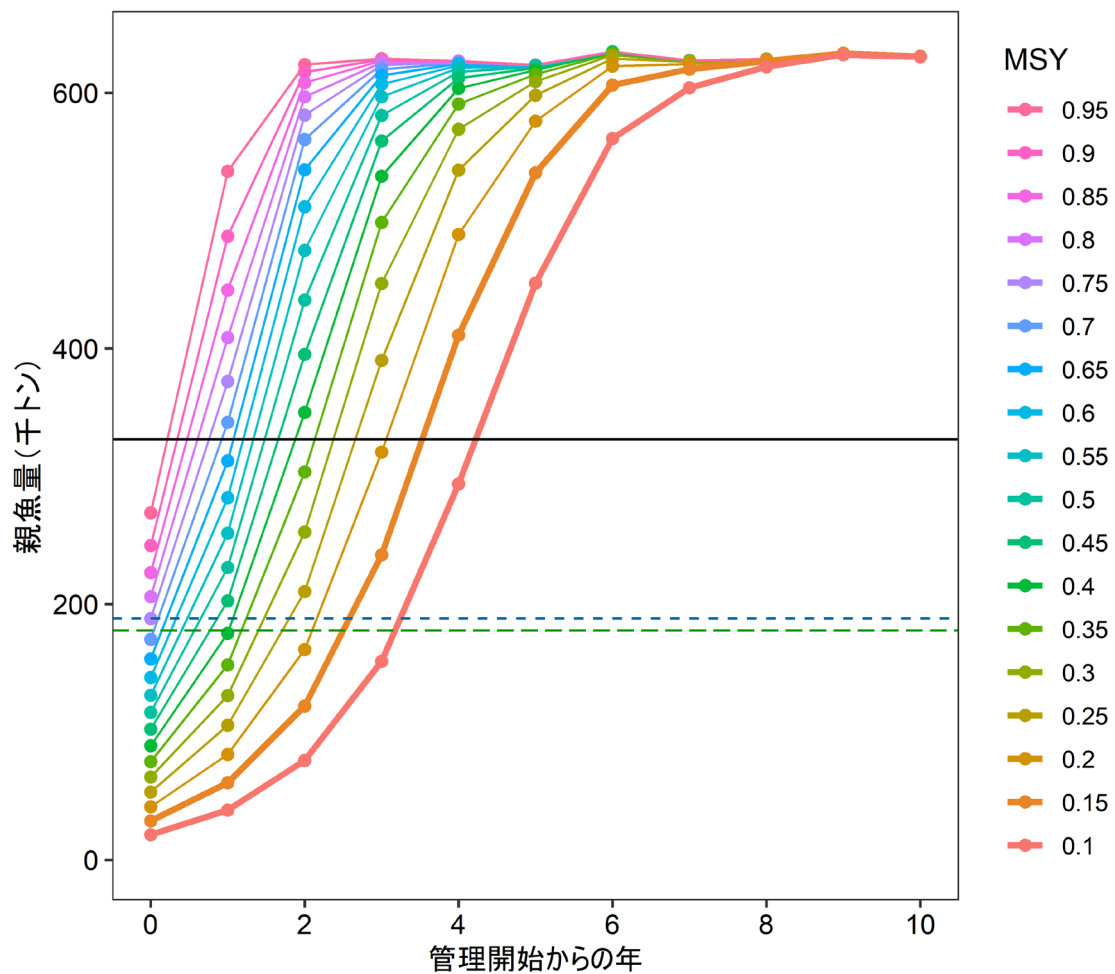
HS 型再生産曲線に従って将来予測を行った。

MSYに対する比	初期値	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
0.95	271	334	345	343	340	335	339	335	333	335	334
0.90	246	302	329	334	333	331	335	332	332	334	333
0.85	225	276	312	323	326	326	332	329	329	332	332
0.80	206	253	294	311	318	320	327	326	327	330	330
0.75	189	232	275	297	308	313	322	322	324	328	328
0.70	173	212	255	282	297	305	315	317	320	324	325
0.65	157	193	235	266	285	295	307	311	315	321	322
0.60	143	176	215	248	270	283	298	304	309	316	318
0.55	129	158	195	229	254	270	288	295	302	310	313
0.50	115	142	175	209	236	255	275	284	293	303	308
0.45	102	126	155	188	216	238	260	272	282	294	300
0.40	89	110	136	166	194	218	242	256	269	282	291
0.35	77	95	117	144	171	196	222	238	254	268	279
0.30	65	80	99	122	147	172	198	217	234	250	263
0.25	53	65	81	100	122	145	170	191	210	228	243
0.20	42	51	63	78	96	116	139	160	180	200	217
0.15	30	37	46	57	70	86	105	124	144	164	183
0.10	20	24	30	37	46	56	69	84	100	118	136

補足表 7-2. MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として Fmsy で漁獲を継続した場合に得られる親魚量平均値の MSY に対する比 (%) の推移

HS 型再生産曲線に従って将来予測を行った。

MSYに対する比	初期値	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
0.95	83	102	105	104	103	102	103	102	101	102	102
0.90	75	92	100	101	101	101	102	101	101	102	101
0.85	68	84	95	98	99	99	101	100	100	101	101
0.80	63	77	89	95	97	97	99	99	99	100	100
0.75	57	71	84	90	94	95	98	98	98	100	100
0.70	52	65	78	86	90	93	96	96	97	99	99
0.65	48	59	72	81	87	90	94	95	96	98	98
0.60	43	53	65	75	82	86	91	92	94	96	97
0.55	39	48	59	70	77	82	87	90	92	94	95
0.50	35	43	53	64	72	78	84	86	89	92	94
0.45	31	38	47	57	66	72	79	83	86	89	91
0.40	27	33	41	50	59	66	74	78	82	86	88
0.35	23	29	36	44	52	60	67	72	77	82	85
0.30	20	24	30	37	45	52	60	66	71	76	80
0.25	16	20	25	30	37	44	52	58	64	69	74
0.20	13	16	19	24	29	35	42	49	55	61	66
0.15	9	11	14	17	21	26	32	38	44	50	56
0.10	6	7	9	11	14	17	21	26	31	36	41



補足図 7-2. MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として漁獲がない場合に得られる平均親魚量の推移

HS 型再生産曲線に従って将来予測を行った。太実線は SBmsy、青破線は SB0.75msy、緑破線は SB0.75msy の 95%をそれぞれ示す。管理開始時の親魚量が SB0.15msy および SB0.1msy から始まる平均親魚量の推移を太線とした。

補足表 7-3. MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として漁獲がなかった場合に得られる平均親魚量（千トン）の推移

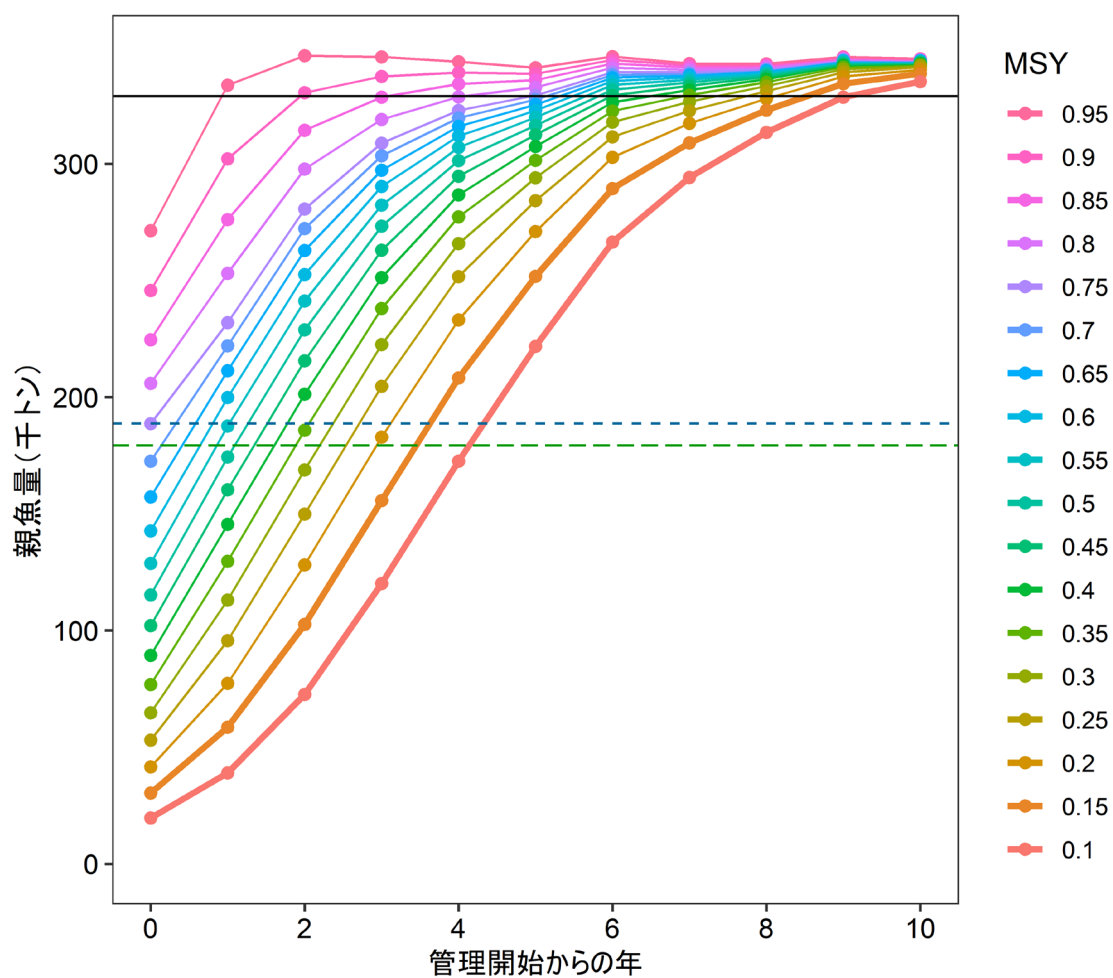
HS 型再生産曲線に従って将来予測を行った。

MSYに対する比	初期値	1年後	2年後	3年後	4年後	5年後	6年後	7年後	8年後	9年後	10年後
0.95	271	539	622	627	625	622	632	625	626	631	629
0.90	246	488	616	626	625	622	632	625	626	631	629
0.85	225	446	608	625	625	622	632	625	626	631	629
0.80	206	409	597	624	624	622	632	625	626	631	629
0.75	189	374	582	622	624	622	632	625	626	631	629
0.70	173	342	564	618	624	622	632	625	626	631	629
0.65	157	312	540	614	623	621	632	625	626	631	629
0.60	143	283	511	607	621	621	632	625	626	631	629
0.55	129	256	477	597	620	621	632	625	626	631	629
0.50	115	229	438	582	616	620	632	625	626	631	629
0.45	102	203	395	562	611	620	632	625	626	631	629
0.40	89	177	350	535	604	618	632	625	626	631	629
0.35	77	153	303	499	591	615	631	625	626	631	629
0.30	65	129	256	451	571	609	630	625	626	631	629
0.25	53	105	210	391	540	598	627	624	626	631	629
0.20	42	82	164	319	489	578	621	623	626	631	629
0.15	30	60	120	239	410	537	606	618	625	631	628
0.10	20	39	78	155	294	451	564	604	621	630	628

補足表 7-4. MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として漁獲がなかった場合の平均親魚量の SBlimit（提案値）に対する比（%）の推移

HS 型再生産曲線に従って将来予測を行った。

MSYに対する比	初期値	1年後	2年後	3年後	4年後	5年後	6年後	7年後	8年後	9年後	10年後
0.95	144	286	330	332	331	330	335	331	332	334	333
0.90	130	259	327	332	331	330	335	331	332	334	333
0.85	119	236	322	331	331	330	335	331	332	334	333
0.80	109	217	316	331	331	330	335	331	332	334	333
0.75	100	198	309	329	331	330	335	331	332	334	333
0.70	91	181	299	328	331	329	335	331	332	334	333
0.65	83	165	286	325	330	329	335	331	332	334	333
0.60	76	150	271	322	329	329	335	331	332	334	333
0.55	68	135	253	316	328	329	335	331	332	334	333
0.50	61	121	232	309	327	329	335	331	332	334	333
0.45	54	107	210	298	324	328	335	331	332	334	333
0.40	47	94	186	283	320	328	335	331	332	334	333
0.35	41	81	161	264	313	326	334	331	332	334	333
0.30	34	68	136	239	303	323	334	331	332	334	333
0.25	28	56	111	207	286	317	332	331	332	334	333
0.20	22	44	87	169	259	306	329	330	332	334	333
0.15	16	32	64	126	218	285	321	328	331	334	333
0.10	10	21	41	82	156	239	299	320	329	334	333



補足図 7-3. MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として、 $\beta = 1.0$ の漁獲管理規則で漁獲を継続した場合に得られる平均親魚量の推移

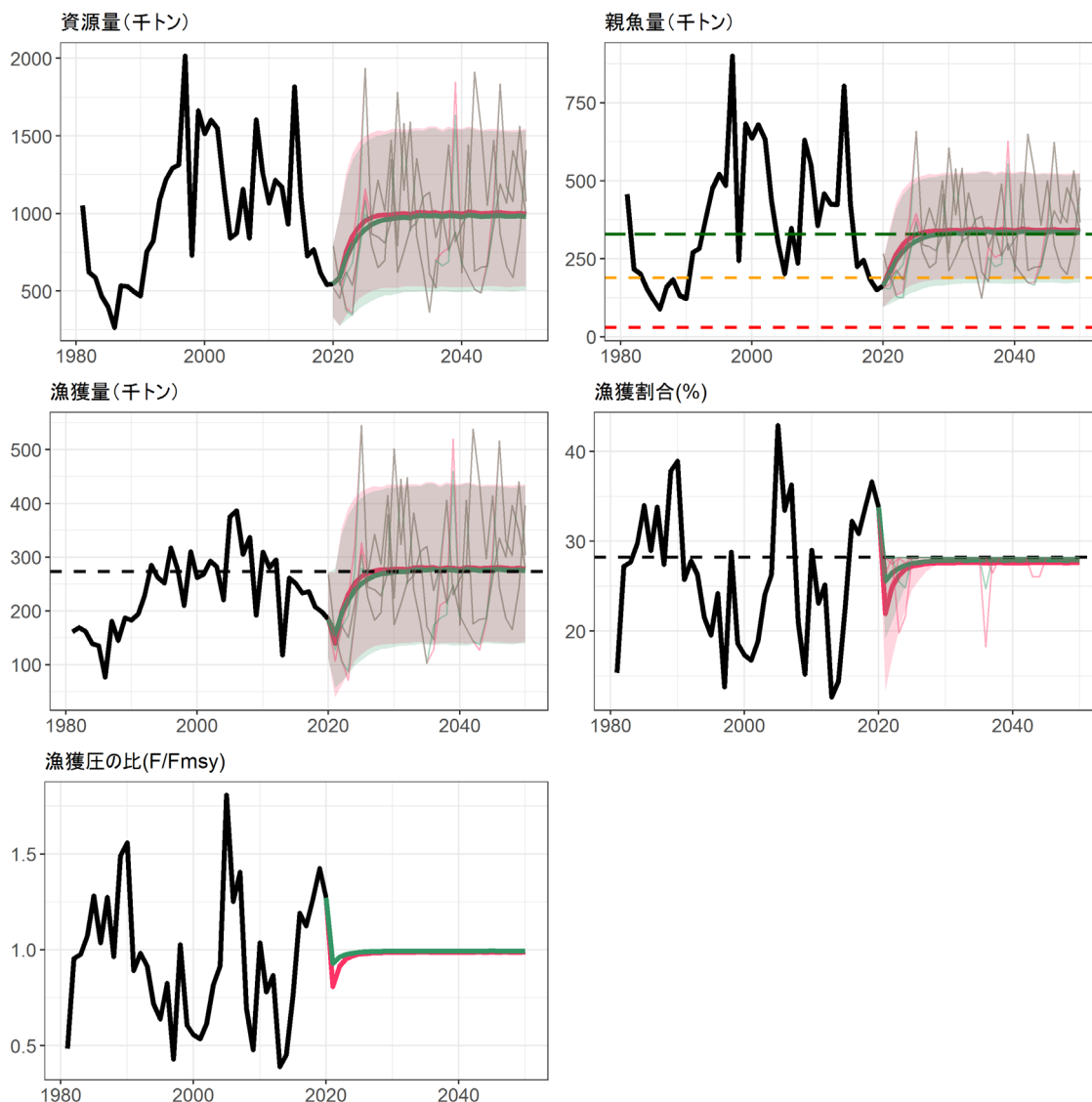
HS 型再生産曲線に従って将来予測を行った。太実線は SBmsy、青破線は SB0.75msy、緑破線は SB0.75msy の 95%をそれぞれ示す。管理開始時の親魚量が SB0.15msy および SB0.1msy から始まる平均親魚量の推移を太線とした。

補足表 7-5. MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として、 $\beta = 1.0$ の漁獲管理規則で漁獲を継続した場合に得られる平均親魚量（千トン）の推移
HS 型再生産曲線に従って将来予測を行った。

MSYに対する比	初期値	1年後	2年後	3年後	4年後	5年後	6年後	7年後	8年後	9年後	10年後
0.95	271	334	346	346	344	341	346	343	343	346	345
0.90	246	302	331	337	339	339	345	342	342	346	345
0.85	225	276	314	329	334	336	343	341	342	345	345
0.80	206	253	298	319	329	333	341	340	341	345	345
0.75	189	232	281	309	323	329	339	339	341	345	344
0.70	173	222	272	303	320	328	338	339	340	344	344
0.65	157	211	263	297	316	325	337	338	340	344	344
0.60	143	200	253	290	312	323	336	337	339	344	344
0.55	129	188	241	282	307	320	334	336	339	344	344
0.50	115	174	229	273	301	317	332	335	338	343	344
0.45	102	160	216	263	295	312	329	333	337	343	343
0.40	89	146	201	251	287	308	326	332	336	342	343
0.35	77	130	186	238	277	302	323	330	335	341	343
0.30	65	113	169	223	266	294	318	327	333	341	342
0.25	53	96	150	205	252	284	312	323	331	339	341
0.20	42	77	128	183	233	271	303	317	328	337	340
0.15	30	58	103	156	208	252	289	309	323	334	339
0.10	20	39	73	120	173	222	267	294	314	329	335

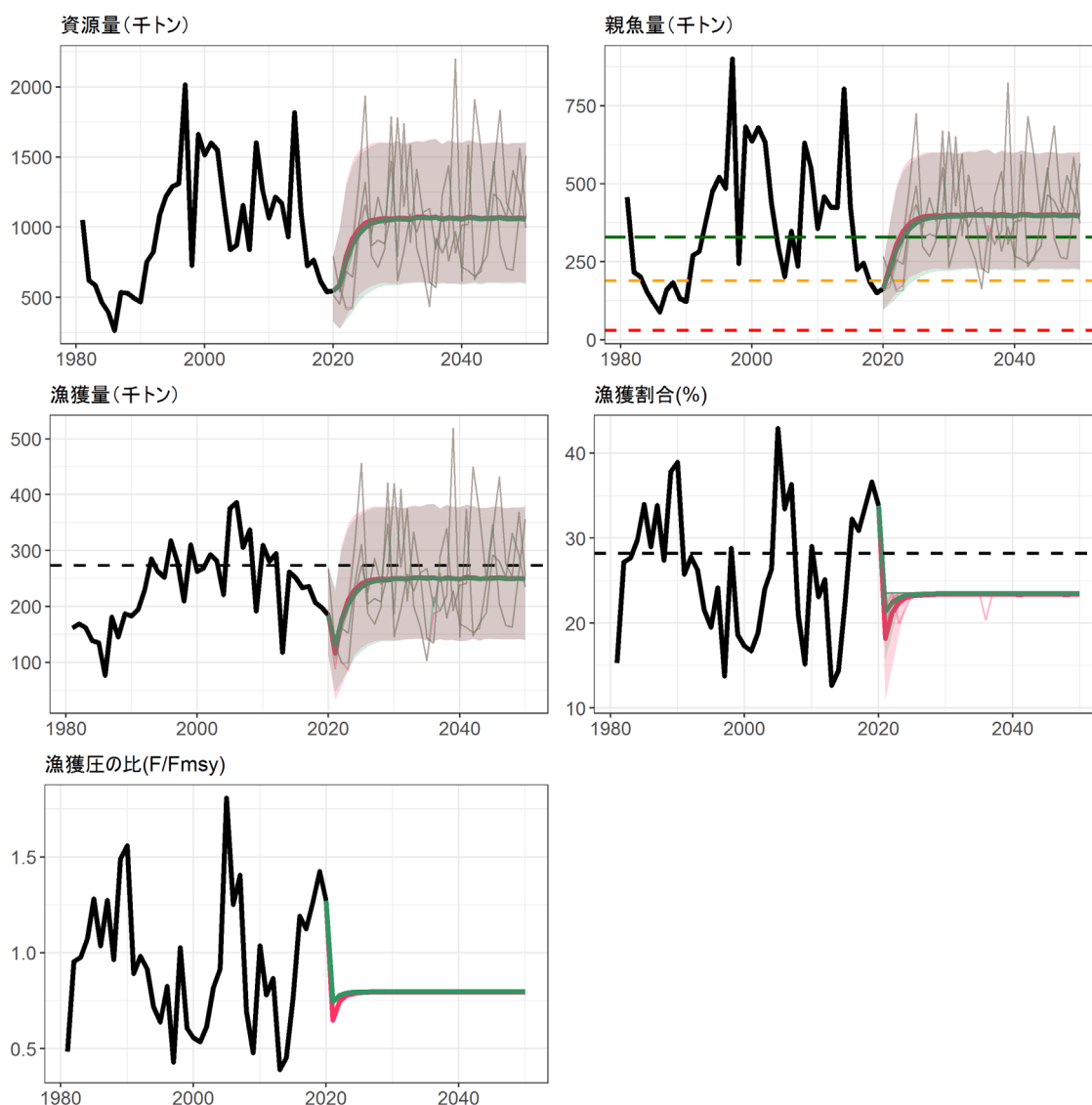
補足表 7-6. MSY から 5%刻みで減じた漁獲量が期待される親魚量を初期値として、 $\beta = 1.0$ の漁獲管理規則で漁獲を継続した場合に得られる親魚量平均値の SBlimit（提案値）に対する比（%）の推移
HS 型再生産曲線に従って将来予測を行った。

MSYに対する比	初期値	1年後	2年後	3年後	4年後	5年後	6年後	7年後	8年後	9年後	10年後
0.95	144	177	184	183	182	181	183	182	182	183	183
0.90	130	160	175	179	180	180	183	181	182	183	183
0.85	119	146	167	174	177	178	182	181	181	183	183
0.80	109	134	158	169	174	176	181	180	181	183	183
0.75	100	123	149	164	171	175	180	180	181	183	183
0.70	91	118	144	161	169	174	179	180	180	183	182
0.65	83	112	139	158	168	173	179	179	180	182	182
0.60	76	106	134	154	165	171	178	179	180	182	182
0.55	68	99	128	150	163	170	177	178	180	182	182
0.50	61	92	121	145	160	168	176	178	179	182	182
0.45	54	85	114	139	156	166	175	177	179	182	182
0.40	47	77	107	133	152	163	173	176	178	181	182
0.35	41	69	99	126	147	160	171	175	178	181	182
0.30	34	60	90	118	141	156	168	173	177	181	181
0.25	28	51	79	108	133	151	165	171	176	180	181
0.20	22	41	68	97	124	144	161	168	174	179	180
0.15	16	31	54	83	110	133	153	164	171	177	179
0.10	10	21	39	64	91	118	141	156	166	174	178



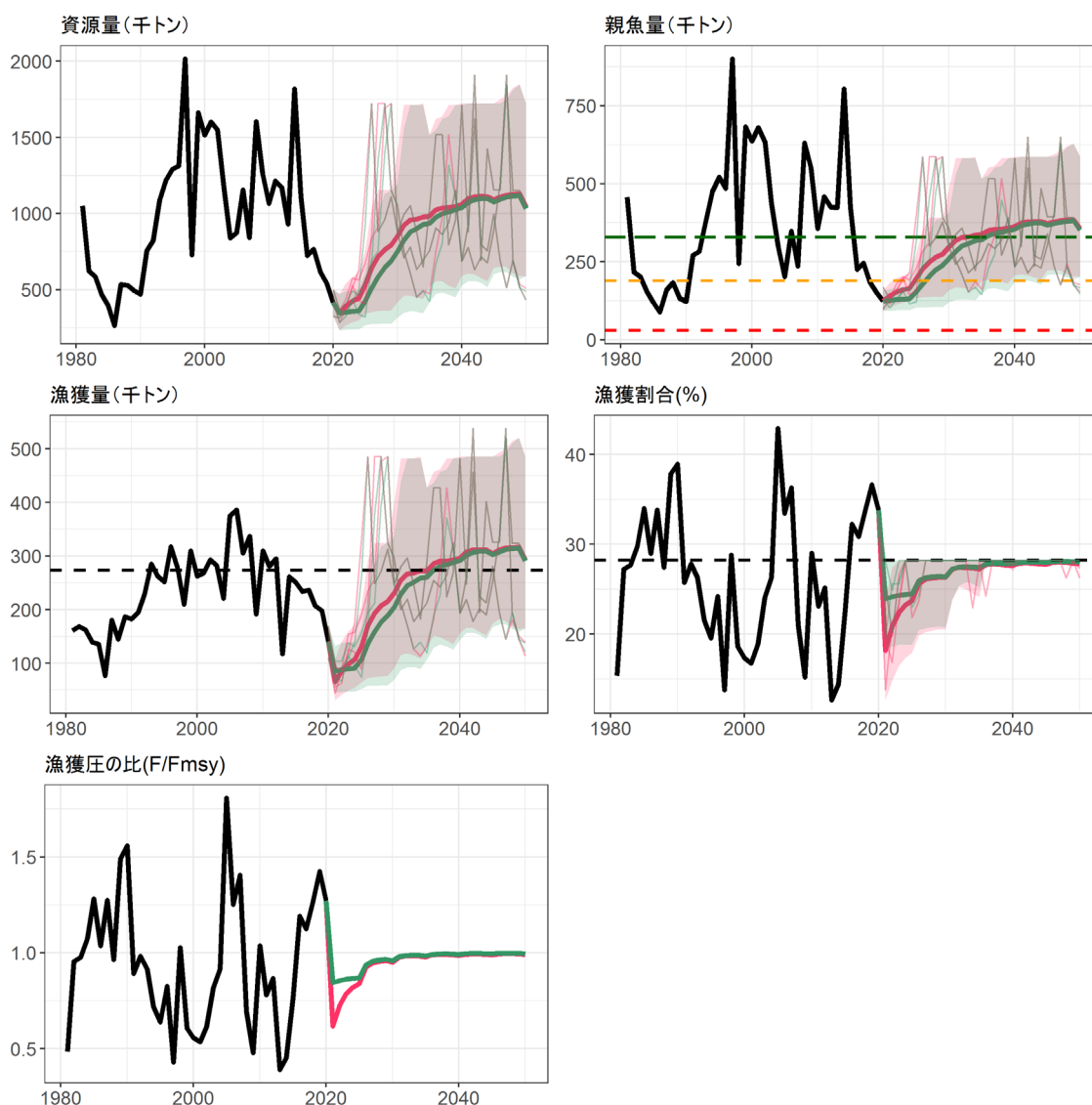
補足図 7-4. 通常予測シナリオの下で異なる限界管理基準値と禁漁水準を適用した管理規則により漁獲を継続した場合の将来予測（安全係数 β に 1.0 を適用した場合）

赤実線は提案値（限界管理基準値と禁漁水準をそれぞれ SB0.75msy、SB0.15msy とした場合）、緑実線は標準値（それぞれ SB0.6msy、SB0.1msy）とした場合の将来予測。いずれも HS 型再生産曲線に従った将来予測（通常予測シナリオ）による将来予測を行った。各図の太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90% が含まれる 90% 予測区間、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案、黄破線は提案値の限界管理基準値案（SB0.75msy）、赤破線は提案値の禁漁水準案（SB0.15msy）を示す。漁獲量の図の破線は MSY を、漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。



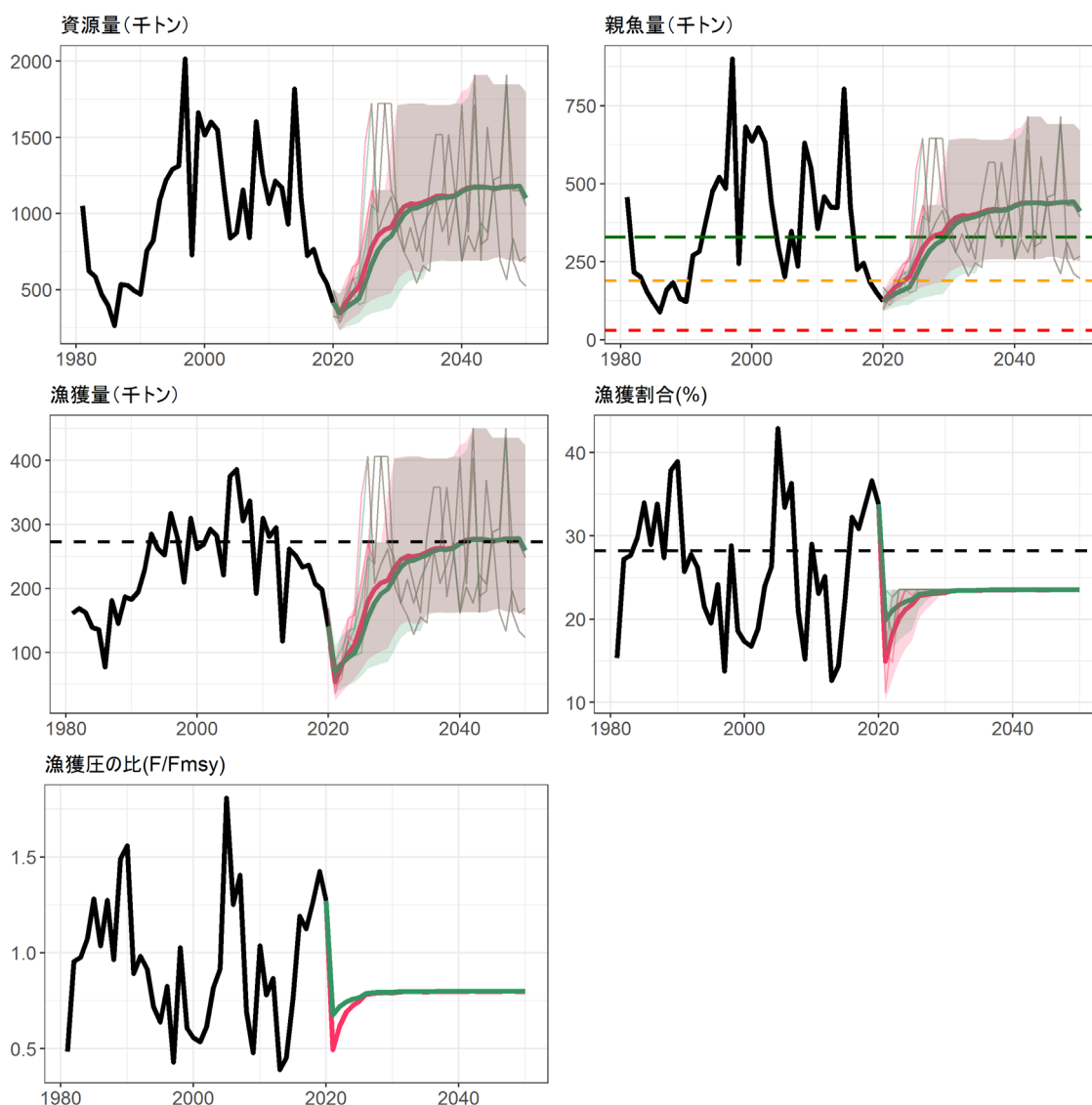
補足図 7-5. 通常予測シナリオの下で異なる限界管理基準値と禁漁水準を適用した管理規則により漁獲を継続した場合の将来予測（安全係数 β に 0.8 を適用した場合）

赤実線は提案値（限界管理基準値と禁漁水準をそれぞれ SB0.75msy、SB0.15msy とした場合）、緑実線は標準値（それぞれ SB0.6msy、SB0.1msy）とした場合の将来予測。いずれも HS 型再生産曲線に従った将来予測（通常予測シナリオ）による将来予測を行った。各図の太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90% が含まれる 90% 予測区間、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案、黄破線は提案値の限界管理基準値案（SB0.75msy）、赤破線は提案値の禁漁水準案（SB0.15msy）を示す。漁獲量の図の破線は MSY を、漁獲割合の図の破線は Umsy を示す。



補足図 7-6. 低加入シナリオの下で異なる限界管理基準値と禁漁水準を適用した管理規則により漁獲を継続した場合の将来予測（安全係数 β に 1.0 を適用した場合）

赤実線は提案値（限界管理基準値と禁漁水準をそれぞれ $SB0.75msy$ 、 $SB0.15msy$ とした場合）、緑実線は標準値（それぞれ $SB0.6msy$ 、 $SB0.1msy$ ）とした場合の将来予測。いずれも HS 型再生産曲線に従ったバックワードリサンプリング（低加入シナリオ、補足資料 8 参照）による将来予測を行った。各図の太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90% が含まれる 90% 予測区間、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案、黄破線は提案値の限界管理基準値案（ $SB0.75msy$ ）、赤破線は提案値の禁漁水準案（ $SB0.15msy$ ）を示す。漁獲量の図の破線は MSY を、漁獲割合の図の破線は $Umsy$ を示す。



補足図 7-7. 低加入シナリオの下で異なる限界管理基準値と禁漁水準を適用した管理規則により漁獲を継続した場合の将来予測（安全係数 β に 0.8 を適用した場合）

赤実線は提案値（限界管理基準値と禁漁水準をそれぞれ SB0.75msy、SB0.15msy とした場合）、緑実線は標準値（それぞれ SB0.6msy、SB0.1msy）とした場合の将来予測。いずれも HS 型再生産曲線に従ったバックワードリサンプリング（低加入シナリオ、補足資料 8 参照）による将来予測を行った。各図の太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、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案、黄破線は提案値の限界管理基準値案（SB0.75msy）、赤破線は提案値の禁漁水準案（SB0.15msy）を示す。漁獲量の図の破線は MSY を、漁獲割合の図の破線は Umsy を示す。

補足表 7-7. 管理基準値を提案値あるいは標準値を使用して漁獲管理規則により漁獲した場合の漁獲量と親魚量の将来予測の比較 (Fmsy に乗ずる安全係数 $\beta = 1.0$ とした場合)

漁獲量		$\beta=1.0$												
年		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
管理基準値:提案値 (SB0.75msy, SB0.15msy)														
平均値		141	66	86	99	107	131	170	194	207	216	231	296	292
90%上側		169	108	140	159	171	204	291	325	325	325	400	485	485
90%下側		110	32	41	49	55	64	73	74	75	77	91	156	166
90%幅		59	76	98	110	116	140	219	251	249	247	309	329	319
管理基準値:標準値 (SB0.6msy, SB0.1msy)														
平均値		141	85	88	90	91	107	136	159	176	189	205	291	290
90%上側		169	132	138	139	141	166	234	285	318	325	338	482	485
90%下側		110	46	46	47	47	53	58	58	59	59	69	144	165
90%幅		59	86	91	92	94	113	177	227	260	265	268	339	321
平均漁獲量の比		1.00	0.77	0.97	1.10	1.18	1.22	1.25	1.22	1.17	1.14	1.13	1.02	1.00
平均漁獲量の差		0	-20	-2	9	16	24	34	34	31	27	26	5	1
90%幅の差		0	-10	7	18	22	26	42	23	-11	-18	41	-10	-1
親魚量														
年		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
管理基準値:提案値 (SB0.75msy, SB0.15msy)														
平均値		124	141	153	160	165	196	226	249	265	274	297	363	356
90%上側		158	183	197	205	211	276	351	392	392	392	483	586	586
90%下側		92	104	113	119	122	134	136	137	138	138	158	206	202
90%幅		66	79	84	86	89	143	216	255	254	254	324	380	384
SBmsyを上回る確率(%)		0	0	0	0	0	5	14	22	28	32	34	53	50
管理基準値:標準値 (SB0.6msy, SB0.1msy)														
平均値		124	127	129	130	131	154	178	203	223	238	260	354	352
90%上側		158	161	166	168	170	221	283	344	384	392	407	582	586
90%下側		92	94	95	95	95	103	104	104	105	104	120	184	200
90%幅		66	67	71	73	75	118	179	240	279	288	288	398	386
SBmsyを上回る確率(%)		0	0	0	0	0	1	5	13	20	26	25	51	49
平均親魚量の比		1.00	1.12	1.19	1.23	1.26	1.28	1.27	1.23	1.19	1.15	1.14	1.03	1.01
平均親魚量の差		0	15	24	30	34	43	48	47	42	36	37	9	4
90%幅の差		0	12	12	13	14	24	36	15	-26	-33	37	-19	-2

HS 型再生産曲線に従ったバックワードリサンプリング (低加入シナリオ、補足資料 8 参照) による将来予測に基づく。平均漁獲量と親魚量の比は、管理基準値を提案値とした場合と標準値とした場合の比。平均漁獲量と親魚量の差、およびこれらの 90%幅の差は、管理基準値を提案値とした場合から標準値とした場合を引いた差。

補足表 7-8. 管理基準値を提案値あるいは標準値を使用して漁獲管理規則により漁獲した場合の漁獲量と親魚量の将来予測の比較 (Fmsy に乗ずる安全係数 $\beta = 0.8$ とした場合)

漁獲量		$\beta=0.8$												
年		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
管理基準値: 提案値 (SB0.75msy, SB0.15msy)														
平均値		141	54	79	99	113	145	180	199	209	213	231	271	259
90%上側		169	89	131	155	171	222	271	271	271	349	403	425	423
90%下側		110	26	37	49	59	73	89	97	102	106	128	163	158
90%幅		59	63	94	106	112	149	182	175	170	243	275	262	265
管理基準値: 標準値 (SB0.6msy, SB0.1msy)														
平均値		141	71	83	92	100	124	155	178	192	199	217	270	259
90%上側		169	111	125	136	148	196	249	271	271	272	403	406	423
90%下側		110	38	44	49	54	63	75	79	82	85	103	163	158
90%幅		59	73	82	87	95	133	174	192	189	187	300	244	265
平均漁獲量の比		1.00	0.76	0.96	1.07	1.13	1.17	1.16	1.12	1.09	1.07	1.07	1.00	1.00
平均漁獲量の差		0	-17	-3	7	13	21	25	22	17	13	15	1	0
90%幅の差		0	-10	12	19	18	16	8	-18	-19	56	-25	18	0
親魚量														
年		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2040	2050
管理基準値: 提案値 (SB0.75msy, SB0.15msy)														
平均値		124	150	171	187	202	250	294	322	336	342	372	431	412
90%上側		158	196	223	246	272	364	431	431	431	555	640	674	672
90%下側		92	108	124	134	142	161	170	175	182	185	217	259	251
90%幅		66	87	99	112	130	203	261	256	249	369	423	416	421
SBmsyを上回る確率(%)		0	0	0	0	2	16	32	46	52	55	52	67	62
管理基準値: 標準値 (SB0.6msy, SB0.1msy)														
平均値		124	137	149	159	169	208	250	285	307	319	347	429	412
90%上側		158	177	199	216	236	312	395	431	431	432	640	646	672
90%下側		92	100	106	110	114	128	134	138	143	146	171	259	251
90%幅		66	77	93	106	122	184	261	293	288	286	469	387	421
SBmsyを上回る確率(%)		0	0	0	0	1	8	22	35	45	50	46	67	61
平均親魚量の比		1.00	1.09	1.15	1.18	1.19	1.20	1.17	1.13	1.09	1.07	1.07	1.01	1.00
平均親魚量の差		0	13	22	28	33	42	43	37	29	23	25	2	0
90%幅の差		0	10	6	6	8	19	1	-37	-39	83	-46	29	0

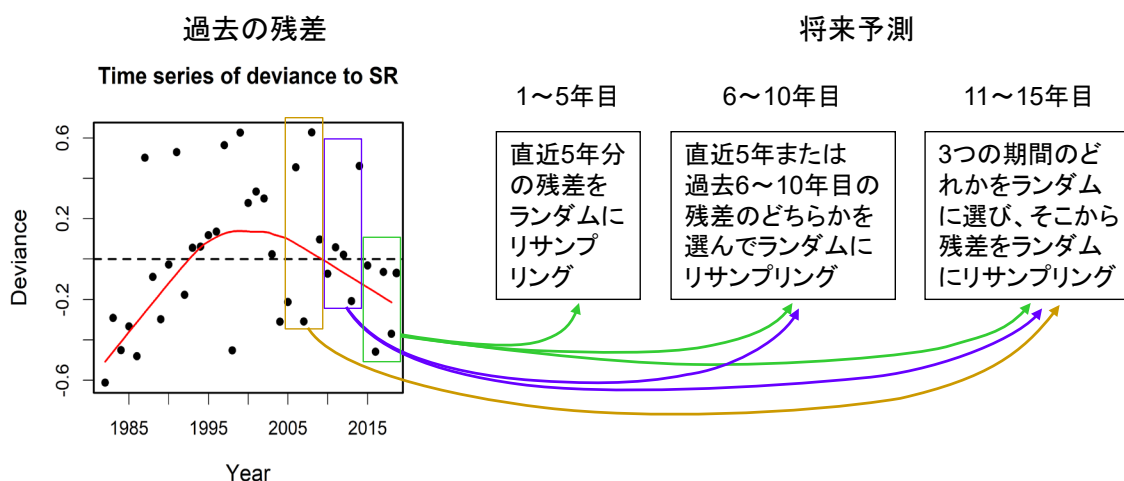
HS 型再生産曲線に従ったバックワードリサンプリング (低加入シナリオ、補足資料 8 参照) による将来予測に基づく。平均漁獲量と親魚量の比は、管理基準値を提案値とした場合と標準値とした場合の比。平均漁獲量と親魚量の差、およびこれらの 90%幅の差は、管理基準値を提案値とした場合から標準値とした場合を引いた差。

補足資料 8 低加入を想定した将来予測手法

本系群の再生産関係においては、加入量の予測値に対する観測値の残差が近年では負に偏る低加入の傾向が見られたことから、近い将来も低加入の傾向が続くことを想定したシナリオを採用した。加入量の残差は2014年漁期でかなり高く、2015年漁期以降低い水準であることから、直近5年の将来予測は2015～2019年漁期の過去5年の加入量の残差をリサンプリングすることとし、低加入が5年続いた後、徐々に加入量が増加することを想定したシナリオを採用した。残差のサンプリング方法は、過去に遡って5年ごと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8-1）。

- (1) 将来予測の1～5年目（2020～2024年漁期の加入）：最近5年（2015～2019年漁期）の残差から重複を許してリサンプリングする。
- (2) 将来予測の6～10年目（2025～2029年漁期の加入）：最近5年（2015～2019年漁期）の残差、またはさらに過去に遡った5年（2010～2014年漁期）の残差のどちらかをランダムに選び、選んだ方の5年分の残差から重複を許してリサンプリングする。
- (3) 将来予測の11年目（2030年漁期）以降：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。

なお、今後の資源評価における将来予測の際には、新たな年で得られる加入の残差が将来予測に反映されるよう、5年ずつで区切られた参照年を1年ずつ後の年にシフトしていく予定である。すなわち、例えば2020年度の資源評価においては、2021～2025年漁期の加入を、2016～2020年漁期の残差から重複を許してリサンプリングすることとする。このような対処により、再生産に回復の兆しが生じた場合は、それに従ってより良い加入を想定した将来予測に徐々にシフトしていくこととなる。



補足図 8-1. バックワードリサンプリングの概念図