

令和 3（2021）年度ホッケ道北系群の資源評価の参考資料 （資源管理目標等の検討材料の提案）

本資料における管理基準値、禁漁水準、将来予測および漁獲管理規則については、資源管理方針に関する検討会（ステークホルダー会合）における検討材料として、研究機関会議において暫定的に提案されたものである。これらについては、ステークホルダー会合を経て最終化される。

要 約

本系群の再生産関係にはホッケ・スティック型関係式を用いた。目標管理基準値（SBtarget）案には最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量（SBmsy：11.2 万トン）、限界管理基準値（SBlimit）案には MSY の 60% の漁獲量が得られる親魚量（SB0.6msy：3.4 万トン）、禁漁水準（SBban）案には MSY の 10% の漁獲量が得られる親魚量（SB0.1msy：0.5 万トン）を用いた。以上の管理基準値案等から得られる漁獲管理規則案に基づき、2022 年の漁獲量を算定した。なお、令和 3（2021）年度ホッケ道北系群の資源評価では半期別のコホート解析を使用しているが、将来予測は年別のコホート解析の前進計算に基づき行った。なお、将来予測で用いる親魚量は、目標管理基準値等との整合性を鑑み従来計算と同様に同年の下半期体重と資源尾数との関係を用いて計算されたものとした。

近年、2017 年級群や 2019 年級群の加入により、資源量や親魚量は 2016 年以降増加傾向であるものの、ホッケ・スティック型再生産関係式を仮定した場合の加入量の予測値に対する観測値の残差はここ 10 年で見ると負に偏る傾向にある。そのため、本年度の将来予測では、2020 年までの資源計算結果をもとに、近年の残差が負に偏る傾向を鑑みバックワード・リサンプリングにより低加入を仮定したシナリオを主として示した。なお、本系群の将来予測結果は、資源評価における加入量推定値の精度に起因する問題から、資源量の予測値の不確実性が高いことに留意する必要がある。

資源評価最終年の翌年の漁獲圧の仮定について、昨年度は不確実性を考慮し、過去 3 年の F からランダムサンプリングする方法を用いていたが、2020 年に新型コロナウイルスによる漁業への影響があったこと、自主管理による漁獲圧の低減による効果が 2016 年あたりから見られていること、比較的高豊度と考えられる 2019 年級群の加入により近年の漁獲状況が大きく変化していることなどを踏まえ、2021 年の漁獲圧の仮定は 2016～2019 年の年齢別漁獲係数をランダムサンプリングする方法を用いた（F のランダムサンプリングについては、補足資料 3 および FRA-SA2020-SC04-101 を参照のこと）

項目	値	備考
管理基準値案、禁漁水準案、 β		
SBtarget 案	11.2 万トン	最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy)
SBlimit 案	3.4 万トン	MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy)
SBban 案	0.5 万トン	MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.1msy)
β	—	漁獲管理規則の漁獲圧の上限の設定のため、Fmsy に掛ける調整係数。平成 31 (2019) 年度開催された研究機関会議では、複数の低加入シナリオの MSE を行った結果、親魚量が限界管理基準値案を下回るリスクをさけるため β を 0.7 以下にすることが推奨された。

2022 年の親魚量 (予測平均値) : 3.4 万トン

項目	2022 年の 漁獲量 (万トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2016-2019)	2022 年の 漁獲割合 (%)
漁獲管理規則案として研究機関会議が提案した β を使用した場合			
$\beta=1.0$	3.5	0.94	34
$\beta=0.9$	3.3	0.85	32
$\beta=0.8$	3.0	0.75	29
$\beta=0.7$	2.7	0.66	26
$\beta=0.6$	2.4	0.56	23
$\beta=0.5$	2.1	0.47	20
$\beta=0$	0	0	0
F2016-2019	3.0	0.75	29

考慮している不確実性： 加入量、2021 年の漁獲圧

項目	2032 年 の親魚量 (万トン)	80% 予測区間 (万トン)	2032 年に親魚量が以下の 管理基準値案と禁漁水準案を 上回る確率 (%)		
			SBtarget 案	SBlimit 案	SBban 案
漁獲管理規則案として研究機関会議が提案した β を使用した場合					
$\beta=1.0$ (Fmsy)	6.8	2.8-11.9	14	82	100
$\beta=0.9$	8.0	3.3-13.7	25	89	100
$\beta=0.8$	9.3	4.0-15.7	33	94	100
$\beta=0.7$	10.9	4.9-18.1	42	98	100
$\beta=0.6$	12.8	6.1-20.9	54	99	100
$\beta=0.5$	15.1	7.4-24.4	66	100	100
$\beta=0$	41.8	24.1-62.6	100	100	100
F2016-2019	9.7	3.9-16.7	35	92	100

1. 資源の状況

(1) 加入量あたり漁獲量（YPR）および親魚量（SPR）と現状の漁獲圧の関係

将来の漁獲に仮定された選択率を用いた F による YPR と %SPR を図 1 に示す。なお、この選択率は平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において最大持続生産量（MSY）を実現する F（Fmsy）の推定に用いた値である（補足資料 1、補足表 1-1）。現状の漁獲圧（F2018-2020）としては、この選択率において推定される %SPR が 2018～2020 年の平均 F 値から推定される %SPR と等しくなる値を用いることとした。F2018-2020 は F0.1、F30%SPR を上回り、Fmsy を下回っている。

(2) 再生産関係

親魚量（重量）と加入量（尾数）の関係（再生産関係）を図 2 に示す。平成 31 年 4 月に開催された研究機関会議により、本系群の再生産関係にはホッケー・スティック型関係式が適用されている（青線）。再生産関係のパラメータ推定に使用するデータは、平成 30（2018）年度の資源評価に基づく親魚量・加入量（1985-2017 年）とし、最適化方法には最小絶対値法を用いた。加入量の残差の自己相関は考慮していない。詳細は「平成 31（2019）年度ホッケ道北系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書」を参照されたい。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.
ホッケー・スティック型	最小絶対値法	無	0.022	51,051	0.620

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

図 2 では、研究機関会議において再生産関係式を推定する際に使用された親魚量と加入量を灰色の丸で、令和 3（2021）年度の資源評価における 1985～2020 年の親魚量および加入量を白色の丸で示した。両者を比較すると、1990 年代は、研究機関会議で用いた親魚量の方が多く推定されていたことがうかがえる。本年度の資源評価では半期別のチューニング VPA を使用しており、資源計算方法の違いによって 1990 年代の F の値が若干上方修正され、資源尾数が若干下方修正となった。それにともない親魚量も下方修正され、このような差が生じているものと考えられる。

近年については親魚量、加入量ともホッケー・スティック再生産関係式を仮定した場合の加入量の予測値を下回る年が続いている。そのため、今年度の本系群の将来予測では、このホッケー・スティック型再生産関係に従い、加入量の不確実性として低加入を仮定した 5 年ブロックのバックワード・リサンプリングを行い、将来の加入量を算出した。

(3) 管理基準値案と禁漁水準案

本系群の管理基準値案と禁漁水準案について以下に示す。

項目	値	備考
管理基準値案と禁漁水準案		
SBtarget 案	11.2 万トン	最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy)
SBlimit 案	3.4 万トン	MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy)
SBban 案	0.5 万トン	MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.1msy)

平成 31 年 4 月に開催された研究機関会議により、目標管理基準値 (SBtarget) 案には MSY を実現する親魚量 (SBmsy : 11.2 万トン)、限界管理基準値 (SBlimit) 案には MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy : 3.4 万トン)、禁漁水準 (SBban) 案には MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.1msy : 0.5 万トン) を用いることが提案されている。詳細は「平成 31 (2019) 年度ホッケ道北系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書」を参照されたい。

目標管理基準値案 (すなわち SBmsy) と、MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) を基準にした神戸プロットを図 3 に示す。本系群における漁獲圧 (F) は、1998 年～2015 年においては Fmsy を上回っていたが、2016 年以降の漁獲圧は Fmsy を下回り、2020 年も Fmsy を下回った (F2020/Fmsy : 0.92)。従来と同じ計算方法を用いた場合の親魚量を用いて管理基準値案との比較を行った場合、1993～1997 年において目標管理基準値案を上回ったが、1998 年以降は下回っている。2020 年の親魚量 (SB2020 : 2.6 万トン) も目標管理基準値案および限界管理基準値案を下回るが、禁漁水準案は上回っている。

2. 将来予測

(1) 将来予測の設定

前述の漁獲管理規則案を用いた将来予測に従い、2022 年の漁獲量を試算した。令和 3 (2021) 年度ホッケ道北系群の資源評価では半期別のコホート解析を使用しているが、半期別のコホート解析から得られた半期別、年齢別漁獲係数および資源尾数を用いて年別、年齢別漁獲係数を計算し (補足資料 1 および令和 3 (2021) 年度ホッケ道北系群の資源評価、補足資料 2 を参照のこと)、それをもとにコホート解析の前進法による将来予測を行った。

平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」では、本系群の加入量の予測値に対する観測値の残差が特に 2005 年以降は負に偏る傾向があったことから、負の残差が連続して起こる可能性も考慮して様々な低加入シナリオを検討した。その後も 10 億尾を超える加入が数年おきに発生する 2008 年以前のような状況には回復しておらず、加入量の予測値に対する観測値の残差は負に偏る傾向にある (図 4)。特に 2010 年や 2016 年のような極端な低加入の年級も見られており、今後も同様の低加入の年級が発生する場合は、資源状態が再び悪化することが懸念される。そのため、本年度の将来予測では、2020 年までの資源計算結果をもとに、低加入を仮定した 5 年ブロックのバックワード・リサンプリング (5 年を 1 ブロックとし、過去 5 年までは直近 5 年の残差からリサンプリング、6～10 年は直近 5 年もしくは 6～10 年の残差をリサンプリングというように 5 年ごと

に過去に遡った残差を選択する方法)による低加入シナリオの結果を主として示した(図6、表1、2)。なお、バックワード・リサンプリングによる残差の平均値は年数が経過するにつれて0に近づく(図7)。

また、ホッケ道北系群では、近年の0歳魚獲り控えをはじめとする自主管理により選択率が年によって大きく変化し、将来予測に用いる漁獲圧の設定も難しい状況となっている。漁獲圧の不確実性を将来予測に取り込むため、2021年の漁獲圧はランダムにリサンプリングする漁獲とした(補足資料3、令和2(2020)年度ホッケ道北系群の資源評価の参考資料(FRA-SA2020-SC04-101) http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/ref_hokke_20201027.pdf)。その際、自主規制によるFの削減が2016年以降あたりから定着してきたこと、2020年は新型コロナウイルスによって漁獲や漁獲をとりまく状況がそれ以前とは大きく異なっていたことを鑑み、2021年の漁獲圧をランダムサンプリングする期間は2016~2019年とした。将来予測により予測された2022年の親魚量をもとに漁獲管理規則案で定められる漁獲圧を、2022年の漁獲量試算のための漁獲圧とした。なお、2021年の年齢別Fをリサンプリングする期間を2016~2018年とした場合および昨年度までと同じ過去3年(2018~2020年)とした場合についても検討し、補足資料3に将来予測の結果を示した。

(2) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則(HCR)案は、目標管理基準値案以上に親魚量を維持・回復できる確率を勘案して、親魚量に対応した漁獲圧(F)等を定める漁獲シナリオ案である。「漁獲管理規則およびABC算定のための基本指針」では、親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げるとともに、漁獲圧の上限となる F_{msy} には調整係数となるチューニングパラメータ β を乗じるものを提示している。図5に平成31年4月に開催された研究機関会議により提案された漁獲管理規則案を示す。ここでは例として調整係数 β を0.8とした場合を示した。なお、研究機関会議提案では「 β が0.8以下であれば、10年後に目標管理基準値案を50%以上の確率で上回ると推定される」とされている。

(3) 2022年の予測値

再生産関係に従い低加入を仮定したバックワード・リサンプリングによる将来予測を行った結果、漁獲管理規則案に従い試算された2022年の漁獲量の平均値は β を0.8とした場合には3.0万トン、 β を1.0とした場合には3.5万トンとなった(表2b)。2022年に予測される親魚量は繰り返し計算の多くで限界管理基準値案と同程度になり(表1b)、平均3.4万トンと見込まれた(表2a)。

なお、将来の加入量に低加入を仮定せず、昨年度までと同様にホッキー・スティック再生産関係式からの推定値を用いた場合、2022年の漁獲量の平均値は β を0.8とした場合には4.8万トン、 β を1.0とした場合には5.6万トンとなった(補足資料2)。今後、低加入の発生が続くと仮定するか否かは2022年の予測値に大きく影響することに注意が必要である。

2022 年の親魚量（予測平均値）：3.4 万トン			
項目	2022 年の 漁獲量 (万トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2016-2019)	2022 年の 漁獲割合（%）
$\beta=1.0$	3.5	0.94	34
$\beta=0.9$	3.3	0.85	32
$\beta=0.8$	3.0	0.75	29
$\beta=0.7$	2.7	0.66	26
$\beta=0.6$	2.4	0.56	23
$\beta=0.5$	2.1	0.47	20
$\beta=0$	0	0	0
F2016-2019	3.0	0.75	29

(4) 2023 年以降の予測

中長期的な将来予測の結果は図 6 および表 1、2 に示す。漁獲管理規則案に基づく管理を 10 年間継続した場合、2032 年の親魚量の予測値は β が 1.0 であれば平均 6.8 万トン（80% 予測区間は 2.8 万トン～11.9 万トン）、 β を 0.8 であれば平均 9.3 万トン（80% 予測区間は 4.0 万トン～15.7 万トン）であり、予測値が目標管理基準値案を上回る確率は 33% である。 β を 0 とした場合には親魚量は平均 41.8 万トン（80% 予測区間は 24.1 万トン～62.6 万トン）であり、予測値が目標管理基準値案を上回る確率は 100% である。なお、平成 31

（2019）年度の研究機関会議では、 β が 0.5 であれば今後低加入が続いた場合でも 10 年程度で 50% 以上の確率で親魚量が目標管理基準値案まで回復すると示されていた。今回の更新結果では、10 年後（2032 年）に親魚量が目標管理基準値案を 50% の確率で上回る β の閾値は 0.63 と推定される（表 1）。また、同会議で推奨された β を 0.7 とした漁獲管理規則案では、親魚量が目標管理基準値案を 50% 以上の確率で上回るのは管理開始から 11 年後の 2033 年になると推定される。

将来の加入量に低加入を仮定せず、昨年度までと同様にホッケー・スティック再生産関係式からの推定値を用いた場合、2032 年の親魚量は、 β を 0.8 とした漁獲管理規則案であれば平均 14.3 万トンであり、予測値が目標管理基準値案を上回る確率は 70% である（補足資料 2）。 β を 0.7 とした漁獲管理規則案であれば 2025 年には親魚量が目標管理基準値案を 50% 以上の確率で上回る。

このように、今後も低加入の発生する状況が続くと仮定するか否かは、10 年後に予測される親魚量や、その目標管理基準値を上回る確率にも大きく影響する。本系群では 2010 年以降に極端に低い加入年級が 2 度発生しており、今後も同様の低加入が発生する可能性には十分留意する必要がある。漁獲管理規則に用いる β については、平成 31（2019）年度の研究機関会議での提案書にあるように、この状況が今後も継続する可能性を考慮した予防的な値をとることが推奨される。

考慮している不確実性： 加入量、2021 年の漁獲圧					
項目	2032 年 の親魚量 (万トン)	80% 予測区間 (万トン)	2032 年に親魚量が以下の 管理基準値案と禁漁水準案を 上回る確率 (%)		
			SBtarget 案	SBlimit 案	SBban 案
$\beta=1.0$	6.8	2.8-11.9	14	82	100
$\beta=0.9$	8.0	3.3-13.7	25	89	100
$\beta=0.8$	9.3	4.0-15.7	33	94	100
$\beta=0.7$	10.9	4.9-18.1	42	97	100
$\beta=0.6$	12.8	6.1-20.9	54	99	100
$\beta=0.5$	15.1	7.4-24.4	66	100	100
$\beta=0$	41.8	24.1-62.6	100	100	100
F2016-2019	9.7	3.9-16.7	35	92	100

考慮している不確実性:加入量、2021 年の漁獲圧			
	親魚量が管理基準値を 50%以上の確率で上回る年		
	SBtarget 案	SBlimit 案	SBban 案
$\beta=1.0$	2050 年	2024 年	2020 年
$\beta=0.9$	2039 年	2023 年	2020 年
$\beta=0.8$	2035 年	2023 年	2020 年
$\beta=0.7$	2033 年	2023 年	2020 年
$\beta=0.6$	2031 年	2023 年	2020 年
$\beta=0.5$	2029 年	2023 年	2020 年
$\beta=0$	2025 年	2023 年	2020 年
F2016-2019	2034 年	2023 年	2020 年

※ F2016-2019 は、2022 年以降の漁獲圧を現状の漁獲圧（F2016-2019）とした場合である

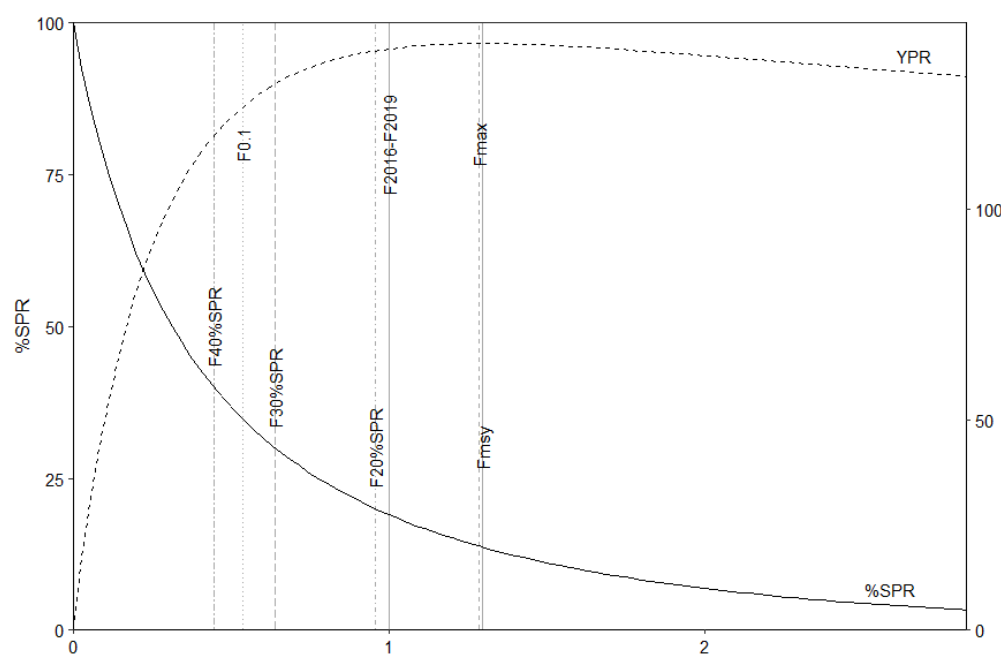


図 1. 現状の漁獲圧（F2016-2019）に対する YPR と%SPR の関係

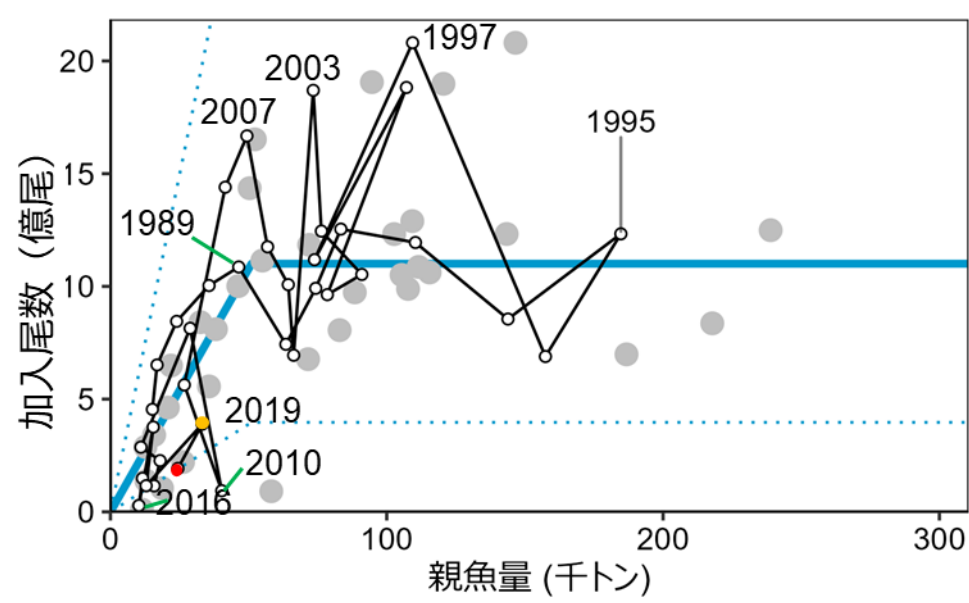


図 2. 親魚量と加入量の関係（再生産関係） 灰色の丸および青線は平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」で使用された親魚量と加入量および適用された再生産関係式。点線は観察データの 90%が含まれると推定される範囲を示す。白色の丸は令和 3 年（2021）年度の資源評価における親魚量と加入量のデータ。2019 年の値は●、2020 年の値は●で示す。

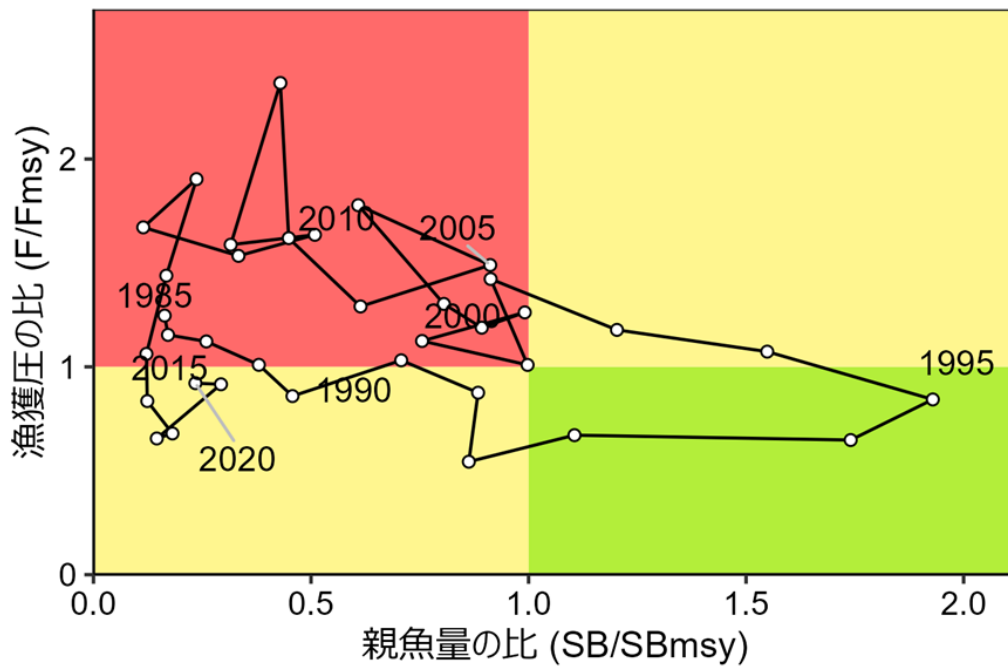


図 3. 管理基準値案と親魚量・漁獲圧との関係（神戸プロット）

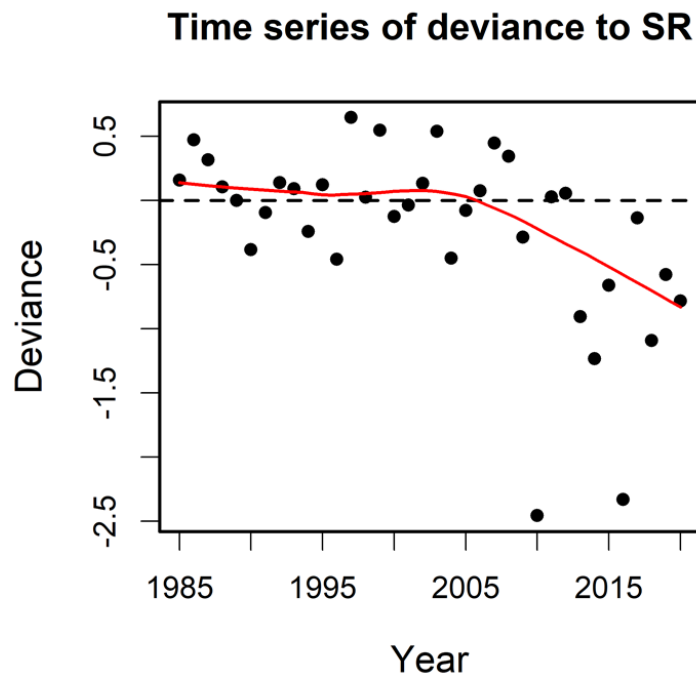
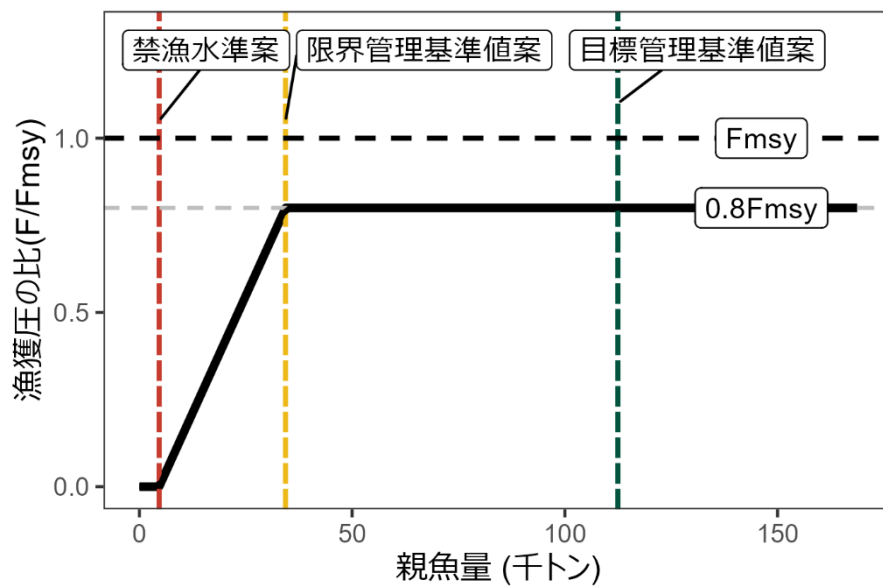
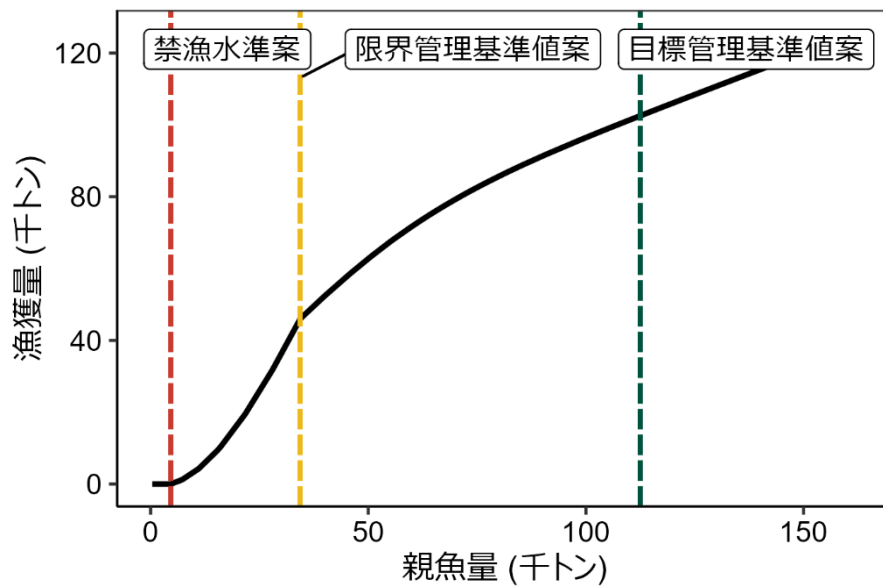


図 4. 平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において提案されたホッケー・スティック型再生産関係式の加入量の予測値に対する観測値の残差 (1985～2020)

(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 (β を 0.8 とした場合のものを示す)

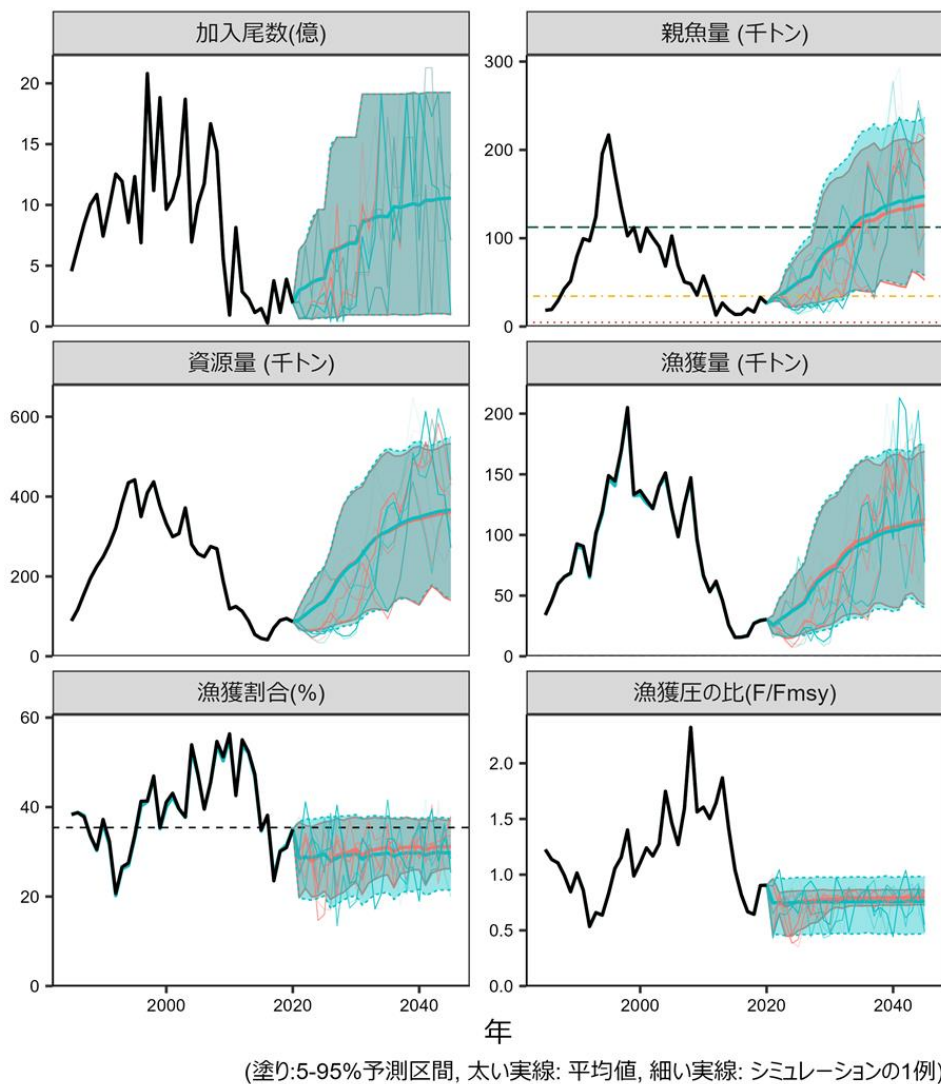


図 6. 低加入を仮定した場合に漁獲管理規則案を用いた場合（赤）と現状の漁獲圧（F2016-2019）で漁獲を続けた場合（青）とでの将来予測の比較
太実線は平均値、網掛けは 90% 予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄点線は限界管理基準値案、赤点線は禁漁水準案を示す。2021 年の漁獲量は 2016～2019 年の漁獲圧よりランダムサンプリングした値を用いて仮定した。漁獲管理規則案の β は 0.8 のものを示す。

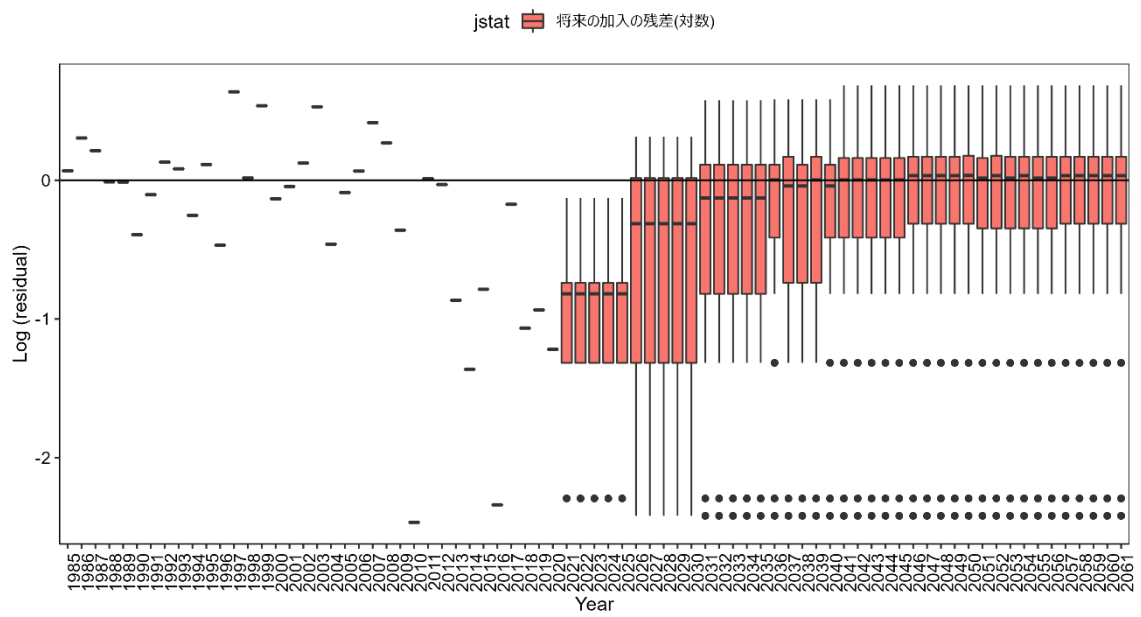


図 7. 平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において提案されたホッケー・スティック型再生産関係式の加入量の予測値に対する観測値の残差（1985～2020）と将来予測において用いた残差

表 1. 低加入を仮定した場合の将来の親魚量が目標管理基準値案 (a)、限界管理基準値案 (b) を上回る確率

β を 0～1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2021 年の漁獲量は予測される資源量と 2016～2019 年の漁獲圧よりランダムサンプリングされた値により仮定した。2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。また、現在の漁獲圧 (F2016-2019) を継続した場合の予測値を併せて示した。2032 年に 50%以上の確率で目標管理基準値案を上回る調整係数 β は 0.630 であった。

(a) 親魚量が目標管理基準値案を上回る確率

(%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	0	0	0	0	0	0	0	1	4	9	12	14	44	56
0.9	0	0	0	0	0	0	0	3	12	18	22	25	59	72
0.8	0	0	0	0	0	0	1	9	22	29	32	33	66	80
0.7	0	0	0	0	1	2	4	20	33	37	41	42	72	84
0.6	0	0	0	0	3	7	13	35	45	49	53	54	78	88
0.5	0	0	0	1	8	19	26	50	59	62	65	66	84	92
0.4	0	0	0	3	18	35	45	66	73	76	78	79	91	96
0.3	0	0	0	6	32	54	66	80	85	88	89	90	97	99
0.2	0	0	0	13	46	71	82	91	94	96	97	97	99	100
0.1	0	0	0	24	64	85	93	97	98	99	100	100	100	100
0	0	0	1	35	77	93	98	99	100	100	100	100	100	100
F2016-2019	0	0	0	0	1	2	3	13	24	31	33	35	68	82
0.630	0	0	0	0	2	5	10	31	42	45	49	50	76	87

(b) 親魚量が限界管理基準値案を上回る確率

(%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	12	47	42	57	60	63	64	75	79	81	82	82	93	96
0.9	12	47	52	66	71	75	76	83	87	88	89	89	96	98
0.8	12	47	61	75	80	84	85	89	92	93	94	94	98	99
0.7	12	47	69	81	88	91	92	94	95	97	98	98	99	100
0.6	12	47	75	87	93	95	97	97	98	98	99	99	100	100
0.5	12	47	79	92	96	98	99	99	99	99	100	100	100	100
0.4	12	47	82	95	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	12	47	86	96	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	12	47	91	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	12	47	96	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	12	47	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2016-2019	12	47	63	71	76	80	81	87	89	91	92	92	98	99
0.630	12	47	74	85	92	94	96	96	97	98	98	99	100	100

表 2. 低加入を仮定した場合の将来の親魚量 (a) および漁獲量 (b) の平均値の推移

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2021 年の漁獲量は予測される資源量と 2016~2019 年の漁獲圧よりランダムサンプリングされた値により仮定した。2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。また、現在の漁獲圧 (F2016-2019) を継続した場合の予測値を併せて示した。

(a) 親魚量の平均値

(万トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	3.2	3.4	3.4	3.8	3.9	4.1	4.2	5.2	5.9	6.3	6.7	6.8	10.0	11.2
0.9	3.2	3.4	3.6	4.1	4.4	4.6	4.8	6.0	6.9	7.4	7.8	8.0	11.5	12.8
0.8	3.2	3.4	3.9	4.4	5.0	5.3	5.6	7.1	8.1	8.7	9.1	9.3	13.3	14.7
0.7	3.2	3.4	4.1	4.9	5.6	6.2	6.6	8.3	9.6	10.3	10.7	10.9	15.3	17.0
0.6	3.2	3.4	4.4	5.4	6.4	7.3	7.9	9.8	11.3	12.1	12.6	12.8	17.9	19.8
0.5	3.2	3.4	4.7	5.9	7.4	8.5	9.3	11.5	13.3	14.3	14.9	15.1	21.0	23.3
0.4	3.2	3.4	5.0	6.6	8.5	10.0	11.1	13.5	15.7	16.9	17.6	18.0	25.0	27.7
0.3	3.2	3.4	5.3	7.3	9.8	11.8	13.2	16.0	18.6	20.1	21.1	21.6	30.3	33.5
0.2	3.2	3.4	5.7	8.2	11.3	13.9	15.7	19.1	22.2	24.2	25.6	26.3	37.4	41.5
0.1	3.2	3.4	6.1	9.1	13.0	16.4	18.9	22.9	26.8	29.5	31.5	32.8	47.7	53.1
0	3.2	3.4	6.5	10.2	15.0	19.5	22.9	28.0	32.9	36.8	39.7	41.8	63.4	71.4
F2016-2019	3.2	3.4	4.0	4.5	5.0	5.4	5.7	7.2	8.3	9.0	9.4	9.7	14.2	15.8
0.630	3.2	3.4	4.3	5.2	6.2	6.9	7.5	9.3	10.8	11.6	12.0	12.2	17.1	18.9

(b) 漁獲量の平均値

(万トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	2.6	3.5	3.4	3.7	4.0	4.2	5.1	5.8	6.5	6.9	7.2	8.0	10.8	11.7
0.9	2.6	3.3	3.4	3.8	4.1	4.4	5.4	6.1	6.7	7.1	7.4	8.3	10.9	11.7
0.8	2.6	3.0	3.3	3.8	4.2	4.5	5.6	6.3	6.9	7.3	7.6	8.4	10.9	11.7
0.7	2.6	2.7	3.1	3.7	4.2	4.6	5.7	6.4	7.0	7.3	7.6	8.4	10.8	11.5
0.6	2.6	2.4	2.9	3.6	4.1	4.6	5.6	6.3	6.9	7.2	7.5	8.2	10.5	11.3
0.5	2.6	2.1	2.6	3.3	3.9	4.4	5.4	6.0	6.6	6.9	7.2	7.8	10.1	10.8
0.4	2.6	1.7	2.3	3.0	3.5	4.0	4.9	5.5	6.1	6.4	6.7	7.3	9.4	10.2
0.3	2.6	1.3	1.9	2.5	3.0	3.5	4.3	4.8	5.3	5.7	5.9	6.4	8.4	9.1
0.2	2.6	0.9	1.3	1.9	2.3	2.7	3.3	3.8	4.2	4.5	4.7	5.1	6.9	7.5
0.1	2.6	0.5	0.7	1.1	1.3	1.6	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9	3.1	4.3	4.7
0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F2016-2019	2.6	3.0	3.3	3.7	4.0	4.4	5.3	6.1	6.6	7.0	7.3	8.0	10.6	11.4
0.630	2.6	2.5	3.0	3.6	4.1	4.6	5.7	6.3	6.9	7.3	7.5	8.3	10.6	11.4

表 3. 将来の年齢別漁獲係数 (a) 資源尾数 (b) 体重 (c) の平均値の推移

漁獲管理規則案に従い、調整係数 β を 0.8 とした場合の将来予測の結果を示す。2021 年の漁獲圧は 2016～2019 年の漁獲圧よりランダムサンプリングされた値により仮定した。2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

(a)

Future F at age- HCR											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0	0.014	0.142	0.087	0.083	0.086	0.087	0.088	0.088	0.089	0.089	0.090
1	0.734	0.523	0.584	0.560	0.577	0.588	0.593	0.595	0.599	0.602	0.605
2	0.748	0.541	0.437	0.418	0.431	0.440	0.443	0.445	0.448	0.450	0.452
3	0.633	0.600	0.696	0.666	0.687	0.700	0.706	0.708	0.713	0.717	0.721
4+	0.612	0.588	0.696	0.666	0.687	0.700	0.706	0.708	0.713	0.717	0.721

(b)

Future number at age- HCR (百万尾)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0	193	298	323	358	387	403	626	642	667	693	692
1	220	141	194	220	245	264	275	426	437	454	472
2	33	79	63	80	94	102	109	113	174	178	184
3	38	12	34	30	38	45	48	51	53	82	84
4+	8	18	13	17	18	21	24	26	28	30	40

(c)

Future wight at age- HCR (g)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0	91	95	95	94	94	94	91	91	91	90	90
1	185	194	193	191	190	188	188	182	181	181	180
2	309	310	315	315	311	309	308	308	300	299	298
3	388	410	382	387	384	381	380	378	378	369	368
4+	427	414	423	416	413	413	410	409	408	407	402

補足資料 1. 将来予測の方法

令和 2 年度の資源評価により推定された資源量をもとに漁獲管理規則案に従う将来予測を行った。将来の加入量の推定には、平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において適用されたホッケ・スティック型関係式 ($a=0.022$ 、 $b=51051$ 、 $SD=0.62$) での予測値に対し、観測値の残差をリサンプリングする形で推定した。その際、5 年を 1 ブロックとし、今後 5 年後までは直近の過去 5 年の残差からリサンプリング、6～10 年後までは過去 5 年もしくは過去 6～10 年の残差をリサンプリングする、5 年ブロックのバックワード・リサンプリングの手法を用いた。これにより、近年 5 年間の低加入が今後 5 年間も継続する低加入を仮定した将来予測となっている。なお、再生産関係のパラメータ推定に使用するデータは、平成 30 (2018) 年度の資源評価に基づく親魚量・加入量とし、最適化方法には最小絶対値法を用いている。加入量の残差の自己相関は考慮していない。詳細は「平成 31 (2019) 年度ホッケ道北系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書」を参照されたい。

将来予測における漁獲係数 F は、「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」における 1 系資源の管理規則に基づき算出される値を用いた。将来予測に用いたパラメータは補足表 1-1 に示す。選択率や漁獲物平均体重等の値には、平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」で MSY を実現する水準の推定に用いた値を引き続き用いた。これらは再生産関係と同じく平成 30 (2018) 年度の資源評価に基づく値であり、選択率はこの計算結果における 2015～2017 年の平均値である。現状の漁獲圧 ($F_{2016-2019}$) は、この選択率において推定される $\%SPR$ が 2016～2019 年の平均 F 値から推定される $\%SPR$ と等しくなる値とした。2021 年の F は 2016～2019 年の漁獲圧 (F 値) からランダムサンプリングするものとした (補足資料 3)。

令和 3 (2021) 年度ホッケ道北資源評価において、年別・年齢別漁獲尾数および半期コホート解析で得られた上半期の資源尾数を用いて、以下の (1) 式により年別の年齢別漁獲係数を計算し、将来予測の計算に用いた。

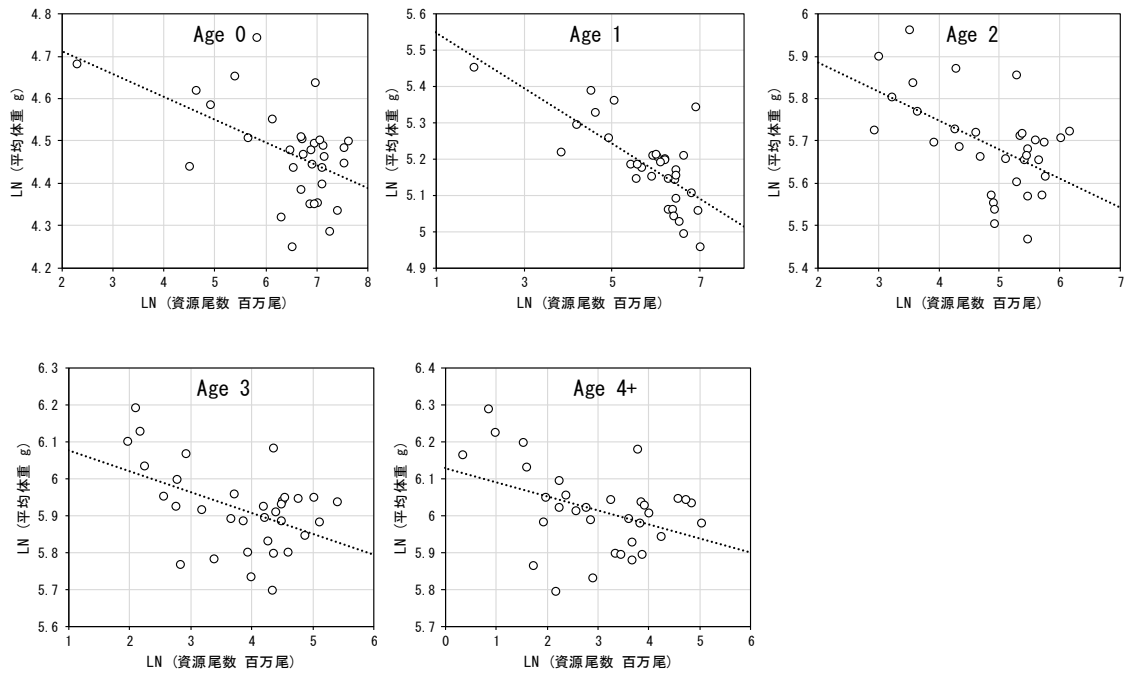
$$F_{a,y} = -\ln\left(1 - \frac{C_{a,y} \times \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{N_{a,y,1}}\right) \quad (1)$$

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法 ((2) 式) を用いた。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M_a) \quad (2)$$

4 歳以上のプラスグループについては、前年の 3 歳と 4 歳以上の和から前進させた。漁獲尾数は、上記で求めた資源尾数と各漁獲シナリオから仮定される F 値をもとに (3) 式により求めた。

$$C_{a,y} = N_{a,y} \left(1 - \exp(-F_{a,y})\right) \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) \quad (3)$$



補足図 1-1. 各年齢の資源尾数と体重の関係

資源尾数と漁獲物平均体重は、平成 31 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」で MSY を実現する水準の推定に用いた値を引き続き用いた。これらは再生産関係と同じく平成 30 (2018) 年度の資源評価に基づく値である。

補足表 1-1. 将来予測で用いたパラメータ

	選択率	Fmsy	F2018	F2019	F2020	SBmsy での平均体重 (g)	自然死亡係数	成熟率
0 歳	0.125	0.11	0.03	0.27	0.01	86	0.295	0.0
1 歳	0.840	0.77	0.55	0.65	0.73	172	0.295	0.8
2 歳	0.628	0.57	0.39	0.65	0.75	287	0.295	1.0
3 歳	1.000	0.92	0.58	0.34	0.63	358	0.295	1.0
4 歳以上	1.000	0.92	0.45	0.31	0.61	400	0.295	1.0

なお、本系群では年齢別資源尾数と年齢別体重のあいだに負の相関関係が見られる（補足図 1-1）。そこで、MSY を実現する水準の推定や将来予測では、下記に示した年齢別資源尾数に対する年齢別体重の回帰式を用い、1985～2017 年の年齢別体重の平均値の予測値に観察された誤差を足したものをを用いた。各年齢の資源尾数と体重の回帰式のパラメータおよび 1985～2017 年の平均資源尾数を補足表 1-2 に示す。なお、使用した資源尾数および年齢別体重は、再生産関係と同じく平成 30（2018）年度の資源評価に基づく値である。

〔資源尾数に対する年齢別体重の回帰式〕

$$\log(Bw_x) = a \times \log(N_x) + b + e, \quad e \sim N(0, \sigma^2)$$

ここで Bw_x および N_x は x 歳における体重と資源尾数、 e は誤差である。

補足表 1-2. 年齢別資源尾数と体重の回帰式のパラメータ

	a	b	SD	1985-2017 年の資源尾数の平均値(括弧内は最小値～最大値) (百万尾)	左の資源尾数の場合に回帰式から予測される体重 (g)
0 歳	-0.054	4.820	1.272	908 (10-2080)	86 (82-109)
1 歳	-0.076	5.624	0.826	482 (7-1121)	173 (162-240)
2 歳	-0.068	6.022	0.763	176 (19-485)	290 (271-338)
3 歳	-0.057	6.135	1.256	66 (7-225)	364 (339-412)
4 歳以上	-0.038	6.123	1.739	37 (1-156)	398 (377-450)

補足資料 2 加入量の不確実性として対数正規分布を仮定した将来予測

本系群の将来予測において、昨年度の参考資料での将来予測と同様に、将来の加入量についてホッケ－・スティック型再生産関係式からの推定値を用いた場合の結果を示す。加入量の不確実性には対数正規分布に従う誤差を仮定して、10,000 回の繰り返し計算を行った（補足図 2-1、補足表 2-1、2-2）。

再生産関係に従い通常の将来予測を行った結果、漁獲管理規則案に従い試算された 2022 年の漁獲量の平均値は β を 0.8 とした場合には 4.8 万トン、 β を 1.0 とした場合には 5.6 万トンであった。2022 年に予測される親魚量は繰り返し計算の多くで限界管理基準値案の 3.4 万トンと同等となり（補足表 2-1b）、平均 3.4 万トンと見込まれた（補足表 2-2）。

2022 年の親魚量（予測平均値）：3.4 万トン			
項目	2022 年の 漁獲量 (万トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2016-2019)	2022 年の 漁獲割合 (%)
$\beta=1.0$	5.6	0.94	32
$\beta=0.9$	5.2	0.85	29
$\beta=0.8$	4.8	0.75	27
$\beta=0.7$	4.3	0.66	24
$\beta=0.6$	3.8	0.56	22
$\beta=0.5$	3.3	0.47	18
$\beta=0$	0	0	0
F2016-2019	4.7	0.75	27

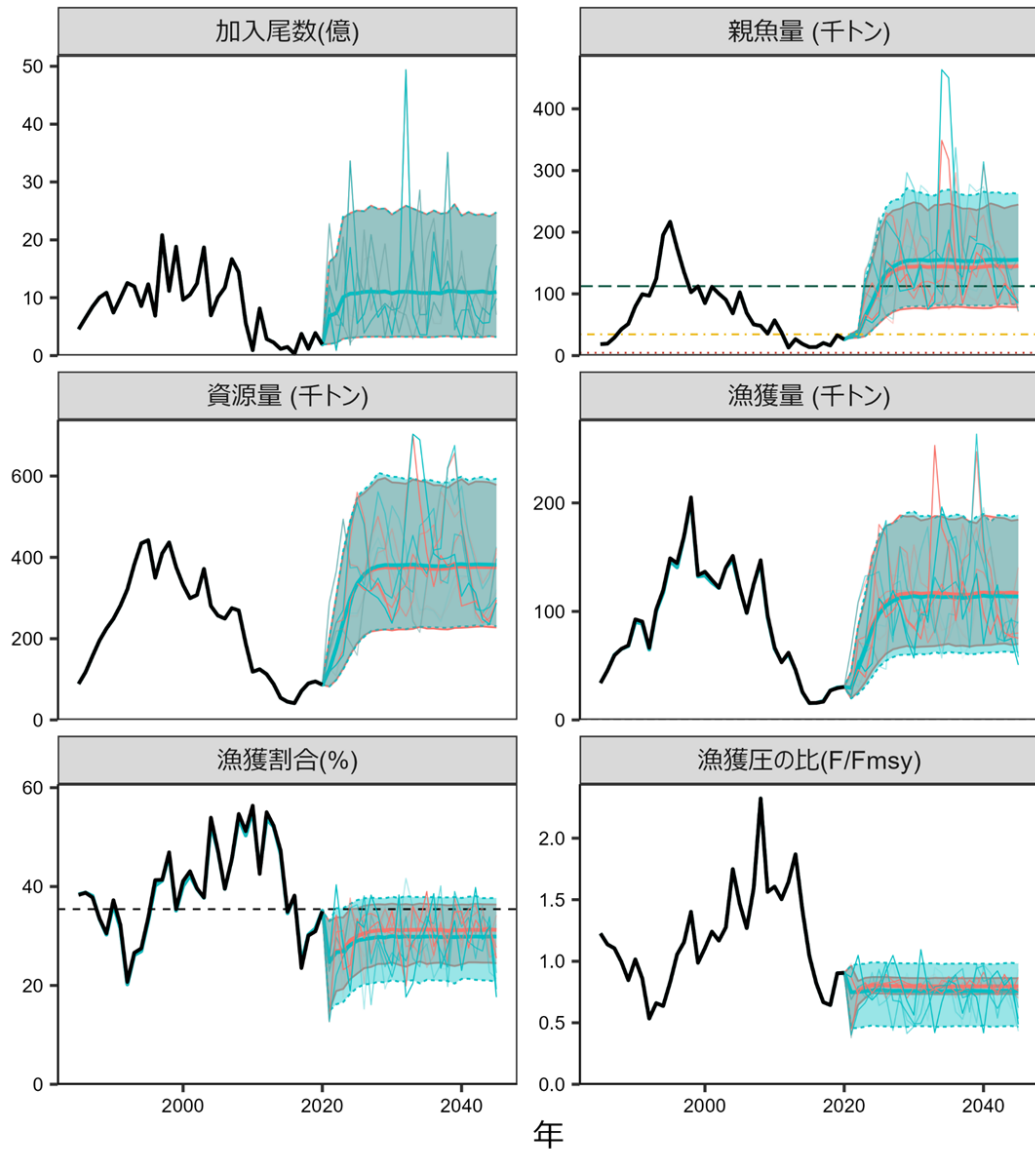
中長期的な将来予測の結果を補足図 2-1 および補足表 2-1、2-2 に示す。漁獲管理規則案に基づく管理を 10 年間継続した場合、2032 年の親魚量の予測値は、 β が 1.0 であれば平均 10.9 万トン（80%予測区間は 6.4 万トン～16.3 万トン）、 β が 0.8 であれば平均 14.3 万トン（80%予測区間は 8.6 万トン～21.2 万トン）であり、予測値が目標管理基準値案を上回る確率は 70%である。 β を 0 とした場合には親魚量は平均 66.2 万トン（80%予測区間は 46.5 万トン～89.1 万トン）であり、予測値が目標管理基準値案を上回る確率は 100%である。限界管理基準値案および禁漁水準案を上回る確率はいずれの β を用いた場合の漁獲管理規則案でも 100%となった。

本系群では 2010 年に加入量が急激に減少したため、2011 年以降の親魚量は低い水準で推移し、2012～2016 年は高豊度の加入群が見られていなかった一方で、2017 年級群および 2019 年級群は近年の中でも高豊度の加入とみられている。2019 年級群は、これを生み出す親魚を自主管理等で多く残せたことが高豊度の加入へとつながったと考えられる。今後も親魚量を確保する取り組みを継続し、再生産関係で予測される平均的な加入が発生する親魚量を確保することが重要と考えられる。平均的な加入量が発生する状況であれば（補足

表 2-3)、中長期的には高い確率で親魚量は目標管理基準値案以上に維持される。

考慮している不確実性： 加入量、2021 年の漁獲圧					
項目	2032 年 の親魚量 (万トン)	80% 予測区間 (万トン)	2032 年に親魚量が以下の 管理基準値案と禁漁水準案を 上回る確率 (%)		
			SBtarget 案	SBlimit 案	SBban 案
漁獲管理規則案として研究機関会議が提案した β を使用した場合					
$\beta=1.0$	10.9	6.4-16.3	39	100	100
$\beta=0.9$	12.5	7.4-18.6	54	100	100
$\beta=0.8$	14.3	8.6-21.2	70	100	100
$\beta=0.7$	16.6	10.0-24.2	83	100	100
$\beta=0.6$	19.3	11.9-27.9	93	100	100
$\beta=0.5$	22.7	14.2-32.5	98	100	100
$\beta=0$	66.2	46.5-89.1	100	100	100
F2016-2019	15.4	9.0-22.9	75	100	100

考慮している不確実性:加入量、2021 年の漁獲圧			
	親魚量が管理基準値を 50%以上の確率で上回る年		
	SBtarget 案	SBlimit 案	SBban 案
$\beta=1.0$	2052 年以降	2023 年	2020 年
$\beta=0.9$	2028 年	2023 年	2020 年
$\beta=0.8$	2026 年	2023 年	2020 年
$\beta=0.7$	2025 年	2023 年	2020 年
$\beta=0.6$	2025 年	2023 年	2020 年
$\beta=0.5$	2025 年	2023 年	2020 年
$\beta=0$	2024 年	2023 年	2020 年
F2016-2019	2026 年	2023 年	2020 年



補足図 2-1. 漁獲管理規則案を用いた場合（赤）と現状の漁獲圧（F2016-2019）で漁獲を続けた場合（青）とでの将来予測の比較

太実線は平均値、網掛けは 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、黄点線は限界管理基準値案、赤点線は禁漁水準案を示す。2021 年の漁獲量は 2016～2019 年の漁獲圧よりランダムサンプリングした値を用いて仮定した。漁獲管理規則案の β は 0.8 のものを示す。

補足表 2-1. 将来の親魚量が目標管理基準値案 (a)、限界管理基準値案 (b) を上回る確率

β を 0～1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2021 年の漁獲量は予測される資源量と 2016～2019 年の漁獲圧よりランダムサンプリングされた値により仮定した。2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。現在の漁獲圧 (F2016-2019) を継続した場合の予測値を併せて示した。2032 年に 50%以上の確率で目標管理基準値案を上回る調整係数 β は 0.928 であった。

(a) 親魚量が目標管理基準値案を上回る確率

(%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	0	0	3	8	17	29	33	38	38	39	40	39	41	39
0.9	0	0	4	12	26	41	48	51	53	54	55	54	56	54
0.8	0	0	5	18	37	54	63	67	69	68	70	70	71	69
0.7	0	0	7	24	51	68	78	82	83	83	84	83	85	84
0.6	0	0	9	32	64	81	89	92	93	93	93	93	94	94
0.5	0	0	11	42	77	91	96	97	98	98	98	98	99	99
0.4	0	0	14	52	87	97	99	99	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	17	63	93	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	21	73	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	25	82	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	31	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2016-2019	0	0	7	20	42	59	68	72	74	74	76	75	78	76
0.928	0	0	4	11	23	37	44	47	49	50	50	50	52	50

(b) 親魚量が限界管理基準値案を上回る確率

(%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	12	46	82	95	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	12	46	87	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	12	46	91	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	12	46	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	12	46	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	12	46	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	12	46	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	12	46	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	12	46	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	12	46	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	12	46	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2016-2019	12	46	92	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.928	12	46	85	97	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足表 2-2. 将来の親魚量 (a) および漁獲量 (b) の平均値の推移

β を 0～1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2021 年の漁獲量は予測される資源量と 2016～2019 年の漁獲圧よりランダムサンプリングされた値により仮定した。

2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。現在の漁獲圧 (F2016-2019) を継続した場合の予測値を併せて示した。

(a) 親魚量の平均値

(万トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	3.2	3.4	5.3	6.9	8.4	9.7	10.3	10.7	10.9	11.0	11.1	10.9	11.1	11.0
0.9	3.2	3.4	5.7	7.6	9.6	11.1	11.9	12.3	12.5	12.5	12.7	12.5	12.6	12.5
0.8	3.2	3.4	6.1	8.4	10.9	12.8	13.6	14.1	14.4	14.4	14.5	14.3	14.5	14.4
0.7	3.2	3.4	6.5	9.3	12.3	14.7	15.7	16.3	16.6	16.6	16.7	16.6	16.8	16.6
0.6	3.2	3.4	6.9	10.2	14.0	16.8	18.1	18.9	19.2	19.3	19.5	19.3	19.5	19.3
0.5	3.2	3.4	7.4	11.3	15.9	19.4	21.1	22.0	22.5	22.7	22.9	22.7	22.9	22.8
0.4	3.2	3.4	7.9	12.6	18.1	22.3	24.6	25.9	26.6	26.9	27.2	27.0	27.3	27.1
0.3	3.2	3.4	8.5	14.0	20.6	25.8	28.8	30.7	31.8	32.3	32.8	32.7	33.1	32.9
0.2	3.2	3.4	9.0	15.5	23.5	30.0	34.1	36.7	38.4	39.4	40.2	40.3	41.1	40.9
0.1	3.2	3.4	9.7	17.3	26.8	35.0	40.6	44.5	47.2	49.0	50.3	50.8	52.8	52.5
0	3.2	3.4	10.3	19.2	30.7	41.1	48.8	54.6	59.0	62.2	64.8	66.2	71.2	71.2
F2016-2019	3.2	3.4	6.4	8.7	11.4	13.4	14.4	15.0	15.4	15.4	15.5	15.4	15.5	15.5
0.928	3.2	3.4	5.6	7.4	9.2	10.7	11.4	11.8	12.1	12.1	12.2	12.0	12.2	12.1

(b) 漁獲量の平均値

(万トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	2.9	5.6	7.1	9.0	10.2	11.0	11.5	11.7	11.8	11.9	11.8	11.8	11.9	11.9
0.9	2.9	5.2	6.8	8.9	10.2	11.0	11.5	11.7	11.8	11.8	11.7	11.8	11.8	11.9
0.8	2.9	4.8	6.5	8.7	10.0	10.9	11.4	11.6	11.7	11.7	11.6	11.7	11.7	11.7
0.7	2.9	4.3	6.1	8.3	9.7	10.6	11.1	11.4	11.5	11.5	11.4	11.5	11.5	11.5
0.6	2.9	3.8	5.6	7.8	9.2	10.2	10.8	11.0	11.1	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
0.5	2.9	3.3	4.9	7.1	8.6	9.6	10.2	10.5	10.7	10.7	10.7	10.7	10.8	10.8
0.4	2.9	2.7	4.2	6.3	7.7	8.8	9.4	9.7	9.9	10.0	10.0	10.0	10.1	10.1
0.3	2.9	2.1	3.4	5.2	6.5	7.5	8.2	8.6	8.8	8.9	8.9	9.0	9.1	9.1
0.2	2.9	1.4	2.4	3.8	4.9	5.8	6.4	6.8	7.0	7.2	7.3	7.3	7.4	7.4
0.1	2.9	0.7	1.3	2.1	2.8	3.4	3.8	4.1	4.3	4.5	4.5	4.6	4.7	4.7
0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F2016-2019	2.9	4.7	6.4	8.4	9.7	10.5	11.0	11.3	11.3	11.4	11.3	11.4	11.4	11.4
0.928	2.9	5.3	6.9	9.0	10.2	11.0	11.5	11.7	11.8	11.8	11.7	11.8	11.8	11.9

補足表 2-3. 将来の年齢別漁獲係数 (a) 資源尾数 (b) 体重 (c) の平均値の推移

漁獲管理規則案に従い、調整係数 β を 0.8 とした場合の将来予測の結果を示す。2021 年の漁獲圧は 2016～2019 年の漁獲圧よりランダムサンプリングされた値により仮定した。2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

(a)

Future F at age- HCR											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0	0.014	0.142	0.087	0.090	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091
1	0.734	0.523	0.585	0.608	0.614	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615
2	0.748	0.541	0.437	0.454	0.459	0.460	0.460	0.460	0.460	0.460	0.460
3	0.633	0.600	0.696	0.724	0.731	0.732	0.732	0.732	0.732	0.732	0.732
4+	0.612	0.588	0.696	0.724	0.731	0.732	0.732	0.732	0.732	0.732	0.732

(b)

Future number at age- HCR (百万尾)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0	193	686	733	1006	1071	1077	1101	1107	1097	1111	1073
1	220	141	444	500	684	728	732	748	753	745	755
2	33	79	63	184	203	275	293	294	301	303	300
3	38	12	34	30	87	95	130	138	138	142	142
4+	8	18	13	17	17	37	47	63	72	75	78

(c)

Future wight at age- HCR (g)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0	91	90	89	87	86	87	86	86	86	86	87
1	185	195	179	177	172	170	171	170	170	170	170
2	309	311	315	294	291	283	283	282	282	282	282
3	388	410	382	384	364	361	355	353	355	354	352
4+	427	416	423	415	415	403	398	393	390	388	388

補足資料3 2021年の漁獲圧の仮定について

令和3年度ホッケ道北系群の資源評価を用いた将来予測における2021年の漁獲圧の仮定は、令和2年度ホッケ道北系群の資源評価の参考資料（FRA-SA2020-SC04-101）

http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/ref_hokke_20201027.pdf）に引き続き近年の年齢別漁獲係数をランダムサンプリングする方法を用いた。これにより、2021年の年齢別Fの値を一つに決める必要がなくなり、かわりに、2021年のFの不確実性を将来予測に取り込むことで将来の不確実性の幅をより適切にとらえられる利点がある。

本補足資料では、2020年に新型コロナウイルスによる漁業への影響があったこと、また比較的項豊度と考えられる2019年級群の加入により近年漁獲状況が大きく変化していることなどを考慮し、2021年のFをランダムサンプリングする期間を変更し、近年を除いた場合の将来予測の結果を示した（F2016-2018）。また、昨年度までと同様に過去3年のFからランダムサンプリングする場合の将来予測の結果についても示した（F2018-2020）。なお、下記の将来予測は、加入量の予測値に対する観測値の残差が負に偏る傾向を考慮し、バックワード・リサンプリングの方法を用いた。

(1) ランダムFのサンプリング期間を2016-2018年とした場合

2021年のFを2016～2018年からランダムにリサンプリングし、ホッケー・スティック再生産関係に従い低加入を仮定したバックワード・リサンプリングによる将来予測を行った結果、漁獲管理規則案に従い試算された2022年の漁獲量の平均値は、 β を0.8とした場合には3.1万トン、 β を1.0とした場合には3.6万トンであった（補足表3-1b）。2022年に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも限界管理基準値案の3.4万トンを上回り、平均3.5万トンと見込まれた（補足表3-1a）。また、漁獲管理規則案に従い、調整係数 β を0.8とし、バックワード・リサンプリングを行った場合の年齢別漁獲係数、資源尾数および体重を補足表3-2に示す。2025年以降は4億尾以上の加入尾数が見込まれる。

(2) ランダムFのリサンプリング期間を2018-2020年とした場合

2021年のFを2016～2019年からランダムにリサンプリングし、ホッケー・スティック再生産関係に従い低加入を仮定したバックワード・リサンプリングによる将来予測を行った結果、漁獲管理規則案に従い試算された2022年の漁獲量の平均値は、 β を0.8とした場合には2.9万トン、 β を1.0とした場合には3.4万トンであった（補足表3-3b）。2022年に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも限界管理基準値案を下回り、平均3.2万トンと見込まれた（補足表3-3a）。また、漁獲管理規則案に従い、調整係数 β を0.8とし、バックワード・リサンプリングを行った場合の年齢別漁獲係数、資源尾数および体重を補足表3-4に示す。2025年以降は4億尾以上の加入尾数が見込まれる。

補足表 3-1. 将来の親魚量 (a) および漁獲量 (b) の平均値の推移

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2021 年の漁獲量は予測される資源量と 2016~2018 年の漁獲圧よりランダムサンプリングされた値により仮定した。

2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。ランダムサンプリングされた漁獲圧 (F2016-2018) を継続した場合の予測値を併せて示した。

(a) 親魚量の平均値

(万トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	3.2	3.5	3.5	3.8	4.0	4.1	4.2	5.2	5.9	6.3	6.7	6.9	10.0	11.2
0.9	3.2	3.5	3.7	4.1	4.5	4.7	4.8	6.0	6.9	7.4	7.8	8.0	11.5	12.8
0.8	3.2	3.5	4.0	4.5	5.0	5.4	5.7	7.1	8.2	8.7	9.1	9.3	13.3	14.7
0.7	3.2	3.5	4.2	5.0	5.7	6.3	6.7	8.3	9.7	10.3	10.7	10.9	15.3	17.0
0.6	3.2	3.5	4.5	5.5	6.5	7.4	7.9	9.8	11.4	12.2	12.6	12.8	17.9	19.8
0.5	3.2	3.5	4.8	6.1	7.5	8.6	9.4	11.5	13.4	14.3	14.9	15.1	21.0	23.3
0.4	3.2	3.5	5.1	6.7	8.6	10.2	11.1	13.6	15.7	16.9	17.7	18.0	25.0	27.7
0.3	3.2	3.5	5.5	7.5	9.9	11.9	13.3	16.1	18.6	20.1	21.1	21.6	30.3	33.5
0.2	3.2	3.5	5.9	8.4	11.4	14.1	15.8	19.1	22.2	24.2	25.6	26.3	37.4	41.5
0.1	3.2	3.5	6.3	9.3	13.2	16.6	19.0	23.0	26.8	29.6	31.5	32.8	47.7	53.1
0	3.2	3.5	6.7	10.5	15.3	19.7	23.1	28.1	33.0	36.8	39.8	41.9	63.4	71.4
F2016-2018	3.2	3.5	4.1	4.8	5.4	5.9	6.3	7.9	9.1	9.8	10.3	10.6	15.1	16.8
0.628	3.2	3.5	4.4	5.3	6.3	7.0	7.6	9.4	10.9	11.6	12.1	12.2	17.1	19.0

(b) 漁獲量の平均値

(万トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	2.5	3.6	3.5	3.8	4.0	4.2	5.2	5.8	6.5	6.9	7.2	8.0	10.8	11.7
0.9	2.5	3.4	3.5	3.9	4.1	4.4	5.5	6.1	6.8	7.1	7.5	8.3	10.9	11.7
0.8	2.5	3.1	3.4	3.8	4.2	4.6	5.7	6.3	6.9	7.3	7.6	8.4	10.9	11.7
0.7	2.5	2.8	3.2	3.8	4.2	4.6	5.7	6.4	7.0	7.3	7.6	8.4	10.8	11.5
0.6	2.5	2.5	3.0	3.6	4.1	4.6	5.6	6.3	6.9	7.2	7.5	8.2	10.5	11.3
0.5	2.5	2.1	2.7	3.4	3.9	4.4	5.4	6.0	6.6	6.9	7.2	7.8	10.1	10.8
0.4	2.5	1.8	2.3	3.1	3.6	4.1	5.0	5.5	6.1	6.5	6.7	7.3	9.4	10.2
0.3	2.5	1.4	1.9	2.6	3.1	3.5	4.3	4.8	5.3	5.7	5.9	6.4	8.4	9.1
0.2	2.5	0.9	1.4	1.9	2.4	2.8	3.4	3.8	4.2	4.5	4.7	5.1	6.9	7.5
0.1	2.5	0.5	0.7	1.1	1.4	1.6	2.0	2.3	2.5	2.8	2.9	3.1	4.3	4.7
0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F2016-2018	2.5	2.9	3.3	3.8	4.2	4.5	5.5	6.2	6.8	7.2	7.5	8.2	10.8	11.6
0.628	2.5	2.6	3.0	3.7	4.2	4.6	5.7	6.3	6.9	7.3	7.5	8.3	10.6	11.4

補足表 3-2. 将来の年齢別漁獲係数 (a) 資源尾数 (b) 体重 (c) の平均値の推移

漁獲管理規則案に従い、調整係数 β を 0.8 とした場合の将来予測の結果を示す。2021 年の漁獲圧は 2016～2018 年の漁獲圧よりランダムサンプリングされた値により仮定した。2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

(a)

Future F at age- HCR											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0	0.014	0.098	0.087	0.084	0.086	0.087	0.088	0.088	0.089	0.089	0.090
1	0.734	0.485	0.589	0.566	0.580	0.590	0.594	0.596	0.599	0.602	0.606
2	0.748	0.509	0.440	0.423	0.433	0.441	0.444	0.445	0.448	0.450	0.453
3	0.633	0.689	0.701	0.673	0.690	0.702	0.707	0.709	0.713	0.717	0.721
4+	0.612	0.682	0.701	0.673	0.690	0.702	0.707	0.709	0.713	0.717	0.721

(b)

Future number at age- HCR (百万尾)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0	193	298	328	365	391	405	629	644	668	694	693
1	220	141	201	224	250	267	276	428	439	454	472
2	33	79	66	83	95	104	110	113	175	179	185
3	38	12	35	31	40	45	49	52	53	82	84
4+	8	18	12	17	19	22	24	27	29	30	40

(c)

Future wight at age- HCR (g)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0	91	95	95	94	94	94	91	91	91	90	90
1	185	194	193	191	190	188	187	182	181	181	180
2	309	310	314	314	311	309	307	308	300	299	298
3	388	410	382	386	383	381	380	378	378	369	368
4+	427	414	425	416	413	412	410	409	408	407	402

補足表 3-3. 将来の親魚量 (a) および漁獲量 (b) の平均値の推移

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2021 年の漁獲量は予測される資源量と 2018~2020 年の漁獲圧よりランダムサンプリングされた値により仮定した。

2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。ランダムサンプリングされた漁獲圧 (F2018-2020) を継続した場合の予測値を併せて示した。

(a) 親魚量の平均値

(万トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	3.2	3.2	3.4	3.7	3.9	4.0	4.1	5.2	5.8	6.3	6.7	6.8	10.0	11.2
0.9	3.2	3.2	3.6	4.0	4.3	4.6	4.8	6.0	6.9	7.4	7.8	8.0	11.5	12.8
0.8	3.2	3.2	3.8	4.4	4.9	5.3	5.6	7.0	8.1	8.7	9.1	9.3	13.3	14.7
0.7	3.2	3.2	4.1	4.8	5.5	6.2	6.6	8.3	9.6	10.3	10.7	10.9	15.3	17.0
0.6	3.2	3.2	4.4	5.3	6.3	7.2	7.8	9.7	11.3	12.1	12.6	12.8	17.9	19.8
0.5	3.2	3.2	4.7	5.8	7.2	8.4	9.3	11.4	13.3	14.3	14.9	15.1	21.0	23.3
0.4	3.2	3.2	5.0	6.5	8.3	9.9	11.0	13.5	15.7	16.9	17.6	18.0	25.0	27.7
0.3	3.2	3.2	5.3	7.2	9.6	11.7	13.1	15.9	18.5	20.1	21.1	21.6	30.3	33.5
0.2	3.2	3.2	5.6	8.0	11.0	13.7	15.6	19.0	22.1	24.2	25.5	26.3	37.4	41.5
0.1	3.2	3.2	6.0	8.9	12.8	16.2	18.8	22.8	26.7	29.5	31.5	32.7	47.7	53.1
0	3.2	3.2	6.4	10.0	14.7	19.2	22.7	27.8	32.8	36.7	39.7	41.8	63.4	71.4
F2018-2020	3.2	3.2	3.7	4.0	4.5	4.8	5.0	6.3	7.2	7.9	8.4	8.8	13.2	14.7
0.628	3.2	3.2	4.3	5.1	6.1	6.9	7.4	9.3	10.8	11.6	12.0	12.2	17.1	19.0

(b) 漁獲量の平均値

(万トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2042	2052
1	2.7	3.4	3.3	3.7	3.9	4.2	5.1	5.8	6.5	6.9	7.2	8.0	10.8	11.7
0.9	2.7	3.2	3.3	3.7	4.0	4.4	5.4	6.1	6.7	7.1	7.4	8.3	10.9	11.7
0.8	2.7	2.9	3.2	3.7	4.1	4.5	5.6	6.3	6.9	7.3	7.6	8.4	10.9	11.7
0.7	2.7	2.6	3.0	3.7	4.1	4.6	5.7	6.3	6.9	7.3	7.6	8.4	10.8	11.5
0.6	2.7	2.3	2.8	3.5	4.0	4.5	5.6	6.3	6.9	7.2	7.5	8.2	10.5	11.3
0.5	2.7	2.0	2.5	3.3	3.8	4.3	5.4	6.0	6.6	6.9	7.2	7.8	10.1	10.8
0.4	2.7	1.6	2.2	3.0	3.5	4.0	4.9	5.5	6.1	6.4	6.7	7.3	9.4	10.2
0.3	2.7	1.3	1.8	2.5	3.0	3.5	4.3	4.8	5.3	5.7	5.9	6.4	8.4	9.1
0.2	2.7	0.9	1.3	1.9	2.3	2.7	3.3	3.8	4.2	4.5	4.7	5.1	6.9	7.5
0.1	2.7	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9	3.1	4.3	4.7
0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F2018-2020	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	5.2	5.9	6.4	6.8	7.1	7.9	10.7	11.4
0.628	2.7	2.4	2.9	3.6	4.1	4.5	5.6	6.3	6.9	7.3	7.5	8.3	10.6	11.4

補足表 3-4. 将来の年齢別漁獲係数 (a) 資源尾数 (b) 体重 (c) の平均値の推移

漁獲管理規則案に従い、調整係数 β を 0.8 とした場合の将来予測の結果を示す。2021 年の漁獲圧は 2018～2020 年の漁獲圧よりランダムサンプリングされた値により仮定した。2022 年から漁獲管理規則案による漁獲とした。

(a)

Future F at age-HCR											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0	0.014	0.105	0.084	0.082	0.085	0.087	0.088	0.088	0.089	0.089	0.090
1	0.734	0.644	0.566	0.556	0.576	0.587	0.592	0.595	0.599	0.602	0.605
2	0.748	0.594	0.423	0.415	0.431	0.438	0.442	0.444	0.447	0.450	0.452
3	0.633	0.521	0.673	0.661	0.686	0.698	0.705	0.708	0.712	0.716	0.720
4+	0.612	0.455	0.673	0.661	0.686	0.698	0.705	0.708	0.712	0.716	0.720

(b)

Future number at age-HCR (百万尾)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0	193	298	305	356	384	400	624	641	666	693	692
1	220	141	200	209	243	262	272	425	436	453	471
2	33	79	55	85	90	102	108	112	174	178	184
3	38	12	33	27	40	43	48	51	53	82	84
4+	8	18	14	18	17	21	24	26	28	29	40

(c)

Future wight at age-HCR (g)											
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0	91	95	95	94	94	94	91	91	91	90	90
1	185	194	193	192	190	189	188	182	181	181	180
2	309	310	318	314	312	309	308	308	300	299	298
3	388	410	384	389	382	382	381	378	378	369	368
4+	427	414	421	416	414	413	410	410	408	407	402

補足資料 4 今年度の資源評価結果をもとにした場合の再生産関係および MSY を実現する親魚量の試算値の確認

令和 3（2021）年度ホッケ道北系群では半期コホート解析への変更を行ったため、今年度の資源評価データを用いて再生産関係および管理基準値等の確認を行った。直近年の加入量推定は不確実性が大きいことから、直近年のデータを使用しない場合と使用する場合の 2 つのパターンについて調べた。その際、年コホートと半期コホートで親魚量の計算方法を変更せず、加入量についても 1 月 1 日時点での 0 歳魚の資源尾数を用いた。その結果から、年コホートから半期コホートへの変更への影響は少ないと考えられるが、直近年の推定値を使用するか否かで再生産関係式のパラメータや MSY を実現する親魚量等の数値は異なることが示された。今後、再生産関係の更新を行う際に留意する必要がある。

1. 1985～2019 年のデータを使用する場合

1-1) 再生産関係

再生産関係としてあげられる各候補について、モデル選択に関するパラメータを下表に示す。再生産関係について AICc（補正赤池情報量基準）を比較するとホッカー・スティック型再生産曲線（HS）で最も低く、次いでリッカー型再生産曲線（RI）となり、研究機関会議で提案された当系群の再生産関係式と同様に HS が最も当てはまりが良いと判断された。最適化方法に関しても、最小絶対値法（L1）を用いた場合の方が最小二乗法（L2）を用いた場合より AIC は小さくなった。自己相関を考慮した場合には AIC の変化量がわずかにマイナスとなり予測力がやや上がる傾向が示されたが、その差は小さく有意な違いとは言えなかった（補足表 4-1）。

再生産関係式として、最小値絶対値法で最適化した HS（シミュレーションで得られた中央値）を用い、自己相関を用いない場合および自己相関を考慮する場合の各パラメータを下表に示す。1985～2019 年のデータを用いた場合、平成 31 年度研究機関会議で提案したホッカー・スティックの折れ点（51,051）とほぼ変わらない値となる。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.
ホッカー・スティック型	最小絶対値法	無	0.021	51,682	0.724
ホッカー・スティック型	最小絶対値法	有	0.021	51.682	0.702

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

1-2) MSY を実現する水準等について

上述のホッカー・スティック再生産関係を用いて自己相関を用いずに計算した場合、目標管理基準値案として用いられる SB_{msy} は 10.7 万トン、限界管理基準値案として用いられる SB_{0.6msy} は 3.4 万トン、禁漁水準案として用いられる SB_{0.1msy} は 0.5 万トンとなり、現在提案されている目標管理基準値案と比べると SB_{msy} では 0.5 万トンの減少となる。

る。一方、自己相関を考慮する場合、SBmsy は 11.7 万トン、SB0.6msy は 3.6 万トン、SB0.1msy は 0.5 万トンとなり、SBmsy は 0.5 万トン、SBlimit は 0.2 万トンの増加となる。

自己相関を用いずに計算した場合

項目	値	備考
SBmsy	10.7 万トン	目標管理基準値案に対応する最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量
SB0.6msy	3.4 万トン	限界管理基準値案に対応する MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量
SB0.1msy	0.5 万トン	禁漁水準案に対応する MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量
Fmsy	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧 (漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳以上) = (0.13, 0.79, 0.73, 0.63, 0.56)	
%SPR (Fmsy)	13.6%	Fmsy に対応する %SPR
MSY	11.6 万トン	最大持続生産量

自己相関を考慮して計算した場合

項目	値	備考
SBmsy	11.7 万トン	目標管理基準値案に対応する最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量
SB0.6msy	3.6 万トン	限界管理基準値案に対応する MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量
SB0.1msy	0.5 万トン	禁漁水準案に対応する MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量
Fmsy	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧 (漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳以上) = (0.12, 0.73, 0.68, 0.59, 0.52)	
%SPR (Fmsy)	15.0%	Fmsy に対応する %SPR
MSY	11.5 万トン	最大持続生産量

2. 1985～2020 年のデータを使用する場合

2-1) 再生産関係

再生産関係としてあげられる各候補について、AICc を比較するとホッケー・スティック型再生産曲線 (HS) で最も低く、次いでリッカー型再生産曲線 (RI) となり、HS が最も当てはまりが良いと判断された。最適化方法に関しても、最小絶対値法 (L1) を用いた場合の方が最小二乗法 (L2) を用いた場合より AIC は小さくなった。自己相関を考慮した場合には AIC の変化量がわずかにプラスとなり予測力がやや低下するが、その差は小さく有意な違いとは言えない。研究機関会議と同様に自己相関無しのモデルが妥当と判断される (補足表 4-2)。

再生産関係式として、最小値絶対値法で最適化した自己相関を用いない HS を用いる場合の各パラメータ (シミュレーションで得られた中央値) を下表に示す。1985～2020 年の

データを用いた場合、平成 31 年度研究機関会議で提案したホッケ－・スティックの折れ点（51,051）よりも大きい値（60,651）となる。これは、2020 年の推定値がホッケ－・スティック再生産関係よりも小さく、近年の残差傾向が負に偏る年数が増えるためであると考えられる。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.
ホッケ－・スティック型	最小絶対値法	無	0.018	60,651	0.705

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

2-2) MSY を実現する水準等について

上述のホッケ－・スティック再生産関係を用いて計算した場合、目標管理基準値案として用いられる SBmsy は 11.8 万トン、限界管理基準値案として用いられる SB0.6msy は 4.0 万トン、禁漁水準案として用いられる SB0.1msy は 0.5 万トンとなる。ホッケ－・スティック再生産関係の折れ点が 5.1 万トンから 6.1 万トンへと上方修正されることにともない、研究機関会議で提案された管理基準値案と比べて SBmsy、SB0.6msy で 0.6 万トンの上方修正となる。

項目	値	備考
SBmsy	11.8 万トン	目標管理基準値案に対応する最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量
SB0.6msy	4.0 万トン	限界管理基準値案に対応する MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量
SB0.1msy	0.5 万トン	禁漁水準案に対応する MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量
Fmsy	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧（漁獲係数 F） （0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳以上） =（0.12, 0.74, 0.69, 0.60, 0.53）	
%SPR (Fmsy)	14.7%	Fmsy に対応する %SPR
MSY	11.8 万トン	最大持続生産量

上記の検討から、再生産関係に用いるデータ期間に直近の 2020 年を含めるか否かでホッケ－・スティック再生産関係の折れ点が変わり、SBmsy も研究機関会議で提案された値よりも若干大きくなることが明らかになった。再生産関係や管理基準値を再計算する上で不確実性の高い最新年のデータを含めるべきかは今後の検討材料と考えられる。

補足表 4-1. 再生産関係式の候補（1985～2019 年の加入量および親魚量のデータ使用）

再生産関係式	最適化法	自己相関	推定法	a	b	S.D.	ρ	AICc	$R0^{*1}$	h^{*2}	deltaAIC_3^{*3}	データ数
HS	L1	無		0.0211	51,682	0.724	0.000	69.67	1,091	0.954		35
HS	L1	有	二段階	0.0211	51,682	0.702	0.296	69.67	1,091	0.954	-1.21	35
RI	L1	無		0.0210	6.27E-06	0.691	0.000	71.47	474	2.345		35
RI	L1	有	二段階	0.0210	6.27E-06	0.680	0.217	71.47	474	2.345	0.29	35
BH	L1	無		0.0230	1.21E-05	0.700	0.000	73.34	1,822	0.856		35
BH	L1	有	二段階	0.0230	1.21E-05	0.685	0.238	73.34	1,822	0.856	-0.06	35
HS	L2	無		0.0133	90,573	0.659	0.000	76.91	1,203	0.927		35
HS	L2	有	二段階	0.0133	90,573	0.655	0.084	76.91	1,203	0.927	1.75	35
RI	L2	無		0.0162	4.35E-06	0.673	0.000	78.36	626	1.909		35
RI	L2	有	二段階	0.0162	4.35E-06	0.665	0.151	78.36	626	1.909	1.18	35
BH	L2	無		0.0161	5.28E-06	0.679	0.000	79.03	2,857	0.806		35
BH	L2	有	二段階	0.0161	5.28E-06	0.670	0.161	79.03	2,857	0.806	1.07	35

*1 *2 それぞれsteepnessを示す

*3 deltaAICは再生産関係式のパラメータを推定したのち自己相関を考慮した場合に変化するAICの値を示す

補足表 4-2. 再生産関係式の候補（1985～2020 年の加入量および親魚量のデータ使用）

再生産関係式	最適化法	自己相関	推定法	a	b	S.D.	ρ	AICc	$R0^{*1}$	h^{*2}	deltaAIC^{*3}	データ数
HS	L1	無		0.0184	60,651	0.705	0.000	73.84	1,118	0.948		36
HS	L1	有	二段階	0.0184	60,651	0.691	0.200	73.84	1,118	0.948	0.57	36
RI	L1	無		0.0197	5.79E-06	0.688	0.000	75.06	503	2.235		36
RI	L1	有	二段階	0.0197	5.79E-06	0.675	0.196	75.06	503	2.235	0.62	36
BH	L1	無		0.0230	1.21E-05	0.705	0.000	76.85	1,822	0.856		36
BH	L1	有	二段階	0.0230	1.21E-05	0.685	0.238	76.85	1,822	0.856	-0.06	36
HS	L2	無		0.0131	90,573	0.657	0.000	78.68	1,183	0.926		36
HS	L2	有	二段階	0.0131	90,573	0.655	0.084	78.68	1,183	0.926	1.75	36
RI	L2	無		0.0156	4.04E-06	0.673	0.000	80.36	664	1.848		36
RI	L2	有	二段階	0.0156	4.04E-06	0.665	0.148	80.36	664	1.848	1.22	36
BH	L2	無		0.0154	4.75E-06	0.678	0.000	80.96	3,033	0.799		36
BH	L2	有	二段階	0.0154	4.75E-06	0.670	0.157	80.96	3,033	0.799	1.11	36

*1 *2 それぞれsteepnessを示す

*3 deltaAICは再生産関係式のパラメータを推定したのち自己相関を考慮した場合に変化するAICの値を示す