

令和 2（2020）年度ズワイガニ日本海系群 A 海域の 管理基準値等に関する研究機関会議資料

担当水研：日本海区水産研究所

要 約

令和元年度本海域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案等を検討した。本海域の資源状態は、沖合底びき網漁業の資源密度指数の推移から水準は中位、資源量の推移から動向は増加と判断されている。本海域の再生産関係式の候補として、資源評価により推定された 1999～2012 年の雌の親魚量と成長に要する 7 年後の加入量の情報に対し、加入の残差の自己相関を考慮しないリッカー（RI）型再生産関係の適用を提案する。RI 型再生産関係のパラメータ推定方法には最小絶対値法を使用する。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（30 百トン）を、限界管理基準値として、過去の最低親魚量（2002 年）SBmin（15 百トン）を提案する。禁漁水準として、SB0.1msy（1 百トン）を提案する。目標管理基準値案（SBmsy）を達成する漁獲圧（Fmsy）は、現状（2016～2018 年の平均の漁獲係数）の 1.68 倍である。

親魚量 (百トン)	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 (百トン)	現状の漁獲圧 (2016～ 2018 年漁期) に対する比	説 明
目標管理基準値案					
30	0.81	0.50	37	1.68	最大持続生産量を実現する親魚量 (SBmsy)
限界管理基準値案					
15	0.40	0.25	28	2.68	過去の最低親魚量 (2002 年漁期) (SBmin)
禁漁水準案					
1	0.04	0.02	4	3.62	MSY の 10% の漁獲が得られる親魚量 (SB0.1msy)
2019 年漁期					
37	1.00	0.62	28*	—	2019 年漁期の値

親魚量は雌、漁獲量は雄雌合計に対する値である。

* 2019 年漁期の漁獲量の予測値（2016～2018 年漁期の平均漁獲係数による）を示す。

1. 再生産関係

1-1) 使用するデータセット

本海域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（FRA-SA2020-ABCWG01-01）」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 を用い、再生産関係の推定には R パッケージ frasyr (v2.01) を用いた。再生産関係の推定の詳細は「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。

本系群の漁獲量や資源量等は漁期年（7 月～翌年 6 月）の数値を示す。

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）

1-2) 再生産関係の検討

本海域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、ホッカー・スティック（HS）型再生産関係、リッカー（RI）型再生産関係、およびベarton・ホルト（BH）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 1999～2012 年の雌の親魚量と 7 年後の加入量を用いた。本海域では、親魚量は脱皮齢期で 11 齢期の漁期後の資源重量、加入量は脱皮齢期で 10 齢期の資源尾数を示す。再生産関係の検討候補を表 1 に示す。

補正赤池情報量規準（AICc）を比較すると RI 型を当てはめた場合のほうが HS 型を当てはめた場合よりも低く、また、最小絶対値法を用いた場合の方が最小二乗法を用いた場合よりも低かった。BH 型ではパラメータが推定されなかった。残差の自己相関に関しては、RI 型および HS 型を用いて最小二乗法および最小絶対値法により最適化した場合の自己相関係数は有意でなかったため（補足資料 1）、本海域においては自己相関を反映させないこととした。なお、RI 型は BH 型や HS 型に比べ強い密度効果が推定されているが、本種では大型個体による小型個体の共食いがみられており、甲幅 80 mm 以上の大型個体により、主に 5 齢期（甲幅 15 mm）から 7 齢期（甲幅 28 mm）の個体が共食いされている（Lovrich and Sainte-Marie 1997）。したがって、他の魚種に比べ共食いによる密度効果が強く影響すると考えられる。

1-3) 再生産関係の候補

上述の通り、本海域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）および h（自己相関）の基準に従い、RI 型再生産関係式（最小絶対値法・自己相関なし）を候補として提案する（図 1）。

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-ABCWG01-01)」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式と各種設定 (遷移率、成熟率、齢期別体重等) を使用して実施した (表 2、図 2)。本海域では、平均世代時間 (10 年) の 20 倍の年数のシミュレーション期間後を平衡状態と仮定し、その際の平均漁獲量が最大化される F 値を F_{msy} 、その F_{msy} で漁獲した場合の平衡状態での平均親魚量を SB_{msy} とした。

なお、本海域では目標管理基準値等を推定する資源の将来予測の際、上記の漁獲量に含まれない漁獲対象外資源に対して、漁獲係数の半分の混獲死亡が起こっていると仮定した (補足資料 2)。

2-2) 使用する再生産関係

MSY 管理基準値の算出に使用した再生産関係式は、最小絶対値法で最適化した自己相関を考慮しない RI 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、過去の親魚量・加入量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)。

2-3) 管理基準値案

目標管理基準値 (SB_{target}) として MSY を実現する親魚量 (SB_{msy} : 30 百トン)、限界管理基準値 (SB_{limit}) として過去の最低親魚量 (2002 年) (SB_{min} : 15 百トン)、禁漁水準 (SB_{ban}) として MSY の 10% の漁獲が得られる親魚量 ($SB_{0.1msy}$: 1 百トン) を用いることを提案する。限界管理基準値について、標準値である $SB_{0.6msy}$ (11 百トン) では歴史的に観察されたことのある最低親魚量 (SB_{min} : 15 百トン) を下回る外挿値となることから、限界管理基準値の代替値として上記 SB_{min} を用いることを提案する。これは、これまで B_{limit} として用いられてきた「近年に資源が回復したことがある少ない親魚量 (2014~2016 年の平均 15 百トン)」と同じものであり、MSY の 75% の漁獲が得られる親魚量に相当する。

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 (SB_0) に対する比、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年齢別漁獲係数 (F_{msy}) を表 3 に示す。目標管理基準値として提案する SB_{msy} は SB_0 の 50% に相当し、その親魚量において期待できる漁獲量の平均値 (MSY) は 37 百トンである。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 ($F_{msy}/F_{current}$) は 1.68 で、その時の漁獲割合

(Umsy) は 21% である。なお、限界管理基準値として提案する SBmin は SB0 の 25%、禁漁水準として提案する SB0.1msy は SB0 の 2% である。

様々に F 値を変えた場合の平衡状態における親魚量、およびこれに対する齢期別漁獲量の平均値を図 3 に示す。親魚量が多くなる、すなわち F 値が低くなると、雄のカタガニの比率が高くなる。雌は 11 齢のみであるが、プラスグループであることから、11 齢の 1 年目、2 年目、3 年目・・・のような齢構成となっており、F が低くなり親魚量が多くなると、2 年目や 3 年目の個体の割合が高くなると考えられる。

2-4) 目標管理基準値案と漁獲割合

目標管理基準値 (SBmsy) 案と、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。本海域における漁獲係数 (F 値) は、2002 年には MSY 水準を上回っていたが、以後低下し 2004 年以降はすべての年で F 値は MSY 水準を下回り、親魚量は目標管理基準値 (SBmsy) 案を上回っている。現状の親魚量 (2019 年の親魚量: 37 百トン) 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 0.81、0.40 および 0.04 である。

2-5) 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過去最低 (2002 年) の親魚量 (SBmin) および禁漁水準案に標準値である SB0.1msy 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。

2-6) 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・禁漁水準案に標準値を用い、 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。なお今回の将来予測では、漁獲管理規則案による漁獲制御は 2021 年から開始し、2019 年および 2020 年の漁獲量は予測される資源量と現状の漁獲圧 (Fcurrent) から仮定した。

本海域では、2020 年および 2021 年の加入には再生産関係ではなく若齢期資源尾数を用いており、2021 年までの加入は少ないことが予測されている。そのため 2021 年の親魚量は目標管理基準値 (SBmsy) 案を下回るが、限界管理基準値案を上回っていることから、漁獲管理規則案に従い β Fmsy での漁獲が行われる。 $\beta=0.8$ の場合、 β Fmsy での漁獲圧は、現在の漁

獲努力量の 1.29 倍の漁獲圧に相当する。中長期的には、 βF_{msy} での漁獲の継続により漁獲量は MSY 水準を若干下回る 36 百トン程度で、親魚量は SB_{msy} 水準を上回る 35 百トン程度で推移していくと予測される。

(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、親魚量平均値の推移、および漁獲量平均値の推移を表 4~8 に示す。 β に標準値である 0.8 を用いた場合、上述のように 2021 年までの加入は少ないことから、漁獲管理規則案による管理開始年の 2021 年には親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 27%と低い。しかしその後は、管理開始から 10 年目の 2030 年には 80%以上の確率で目標管理基準値案を上回り、 β が 0.9 の場合でも 2025~2026 年以外は 50%以上の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された (表 4)。一方、 β が 1 の場合は 2030 年に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 50%を下回った。本海域では加入に混獲死亡の影響を考慮していること (補足資料 2)、再生産関係に RI 型を用いていること、および再生産関係において親魚から加入まで 7 年と長いことから、将来予測で加入に周期変動が生じる。例えば、F 値を下げた場合、混獲死亡も少なくなるので再生産曲線よりも高い加入が得られ、加入が増えることで翌年には親魚量も増え、親魚量が増えると再生産関係が RI 型であるため 7 年後の加入が少なくなる、という変動を繰り返すため、加入変動に周期性が生じる。実際には、親魚から加入の 7 年と、加入から親魚までの 1 年に加え、親魚の生き残り分で 0.5 年程度の合計で 8.5 年であり、周期の上側と下側で ($8.5 \times 2 = 17$)、17 年周期となる。 β が 0 の場合は約 17 年周期の資源変動が大きくなり平衡状態に達しにくく、周期変動の谷の時期である 2050 年に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は 92%であった。親魚量が限界管理基準値案を上回る確率は、2021 年の $\beta=1$ で 94%であるが、2023 年以降はすべての β および年で 100%であった。2021 年以降の将来親魚量は周期変動の谷の時期である 2050 年以外では β が低い程多くなり (表 7)、2021 年以降の将来漁獲量は β が 0.8 以上であれば 2019 年より多くなると予測された (表 8)。

3. まとめ

本海域の再生産関係のモデルには、資源評価で推定された 1999~2012 年の雌の親魚量と 7 年後の加入量に基づき、自己相関を考慮しない RI 型再生産関係を使用し、そのパラメータを最小絶対値法により推定することを提案する。

目標管理基準値は MSY を実現する資源水準と定められていることから、上記の再生産関係から推定される SB_{msy} (30 百トン) とすることを提案する。限界管理基準値、禁漁水準には、過去の最低親魚量 (2002 年) SB_{min} (15 百トン)、および標準値である $SB_{0.1msy}$ (1 百トン) をそれぞれ提案する。

現在の本海域の親魚量は目標管理基準値案以上にあると考えられ、MSY を実現するときの漁獲割合は 21%、漁獲圧は $F_{current}$ の 1.68 倍である (表 3)。 β が 0.9 以下であれば、今後 50%以上の確率で MSY 水準に維持されると予測された。

4. 今後の検討事項

本海域では漁獲対象外資源に対して、漁獲係数の半分の混獲死亡が起こっていると仮定した（補足資料2）。この仮定は令和元年度本海域の資源評価の YPR・SPR 解析において設定した仮定と同様である。他方で、漁獲対象外資源の混獲死亡量については標本船調査により情報を収集している。今後標本船調査により混獲死亡実態がより詳細に把握され次第、混獲死亡の仮定については適宜更新される見込みである。

本海域では日韓暫定水域において韓国が雄のズワイガニを漁獲しており、韓国の2018年の漁獲量は韓国東岸と日韓暫定水域の合計で2,184トンであったが、このうち日韓暫定水域の割合は不明である。本資料では雄の遷移率に日韓暫定水域における韓国の漁獲の影響も含まれている一方、日韓暫定水域における韓国の漁獲量を把握することができれば、管理基準値等の推定に対する韓国の漁獲の影響についてより詳細に検討できると考えられる。

本海域では現状の親魚量は目標管理基準値を上回っており、漁獲管理規則案に基づく管理が行われる限り、今後の親魚量も目標管理基準値を上回る水準で維持される見込みである。もし、今後親魚量が限界管理基準値案を下回ることが起こった場合、漁獲管理規則案に従い10年以内の資源回復を目指した漁獲圧の削減が行われることが想定されるが、本種の親魚から加入までは7年と長いことから、資源回復までの期間に関しては、再検討する必要があると考えられる。

5. 引用文献

Gustavo A. Lovrich and Bernard Sainte-Marie (1997) Cannibalism in the snow crab, *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius) (Brachyura: Majidae), and its potential importance to recruitment. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **211**, 225-245.

（執筆者：上田祐司、佐久間啓、藤原邦浩、八木佑太、吉川 茜、松倉隆一、山本岳男）

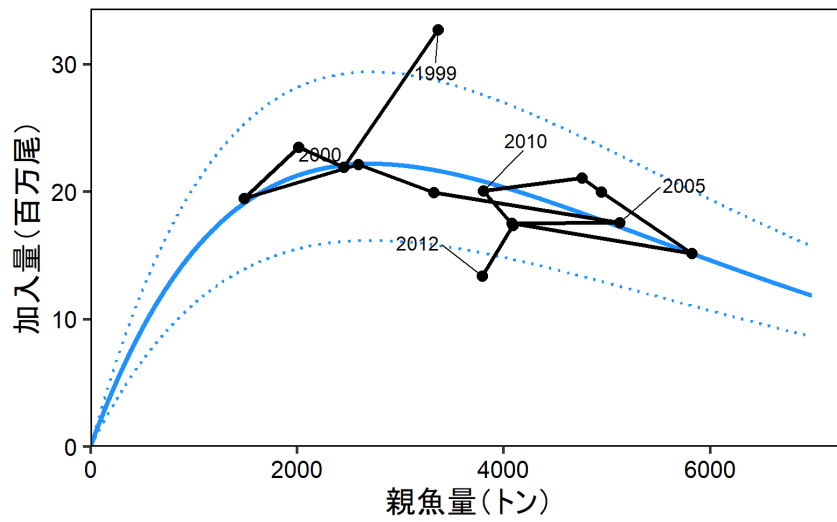


図 1. 再生産関係

1999～2012 年の親魚量と 7 年後の加入量を示す。図中の数字は加入群の年級（生まれ年）を示す。再生産関係には自己相関を考慮しないリッカー（RI）型再生産関係式を用い、最小絶対値法によりパラメータ推定を行った。図中の再生産関係式（青実線）の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 80%が含まれると推定される範囲である。

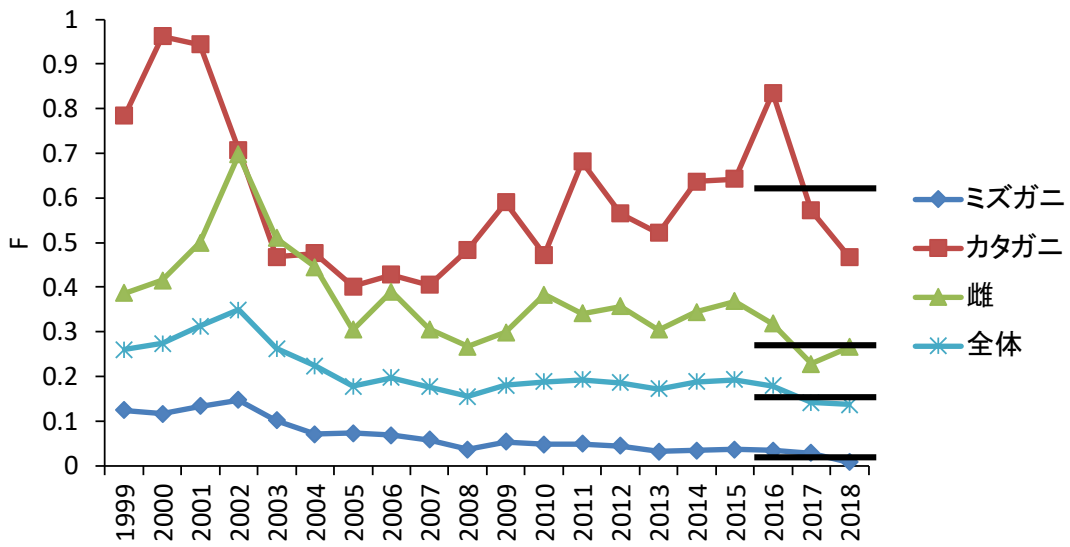


図2. 雌、雄のミズガニおよびカタガニ、雄雌全体の年別漁獲係数 (F 値)
 黒線は現状の漁獲圧 (Fcurrent) であり、2016~2018 年の F 値の平均である。資源の将来予測の際は、雌、ミズガニおよびカタガニの Fcurrent の比率が一定と仮定した。

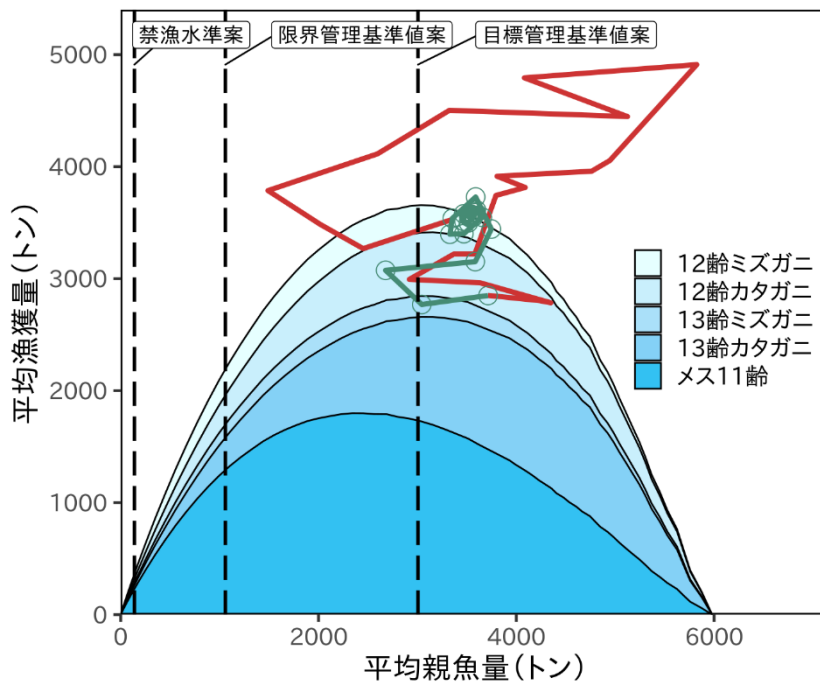
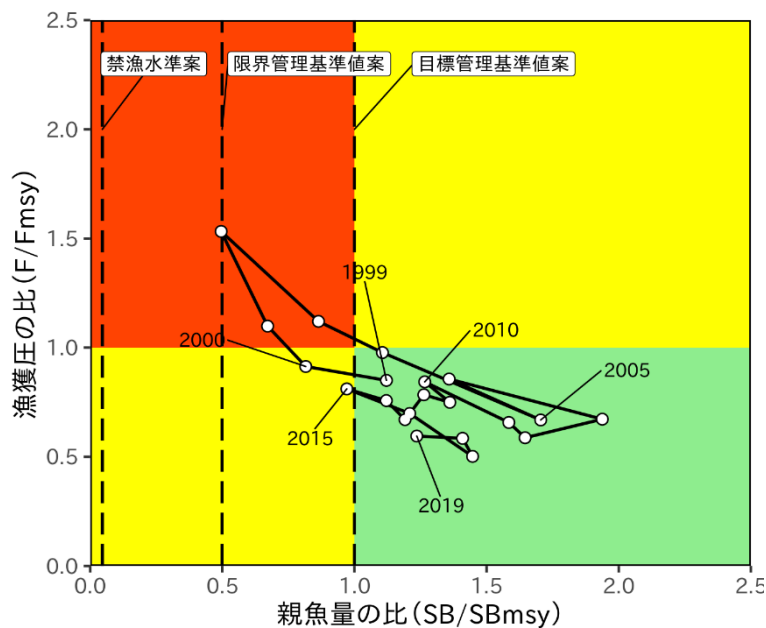


図3. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係
 将来予測シミュレーションにおける平衡状態での、親魚量に対する年齢別漁獲量の平均値と、それぞれの管理基準値案の位置関係を示す。赤線は資源評価により推定された親魚量と漁獲量との関係を、緑線は提案する管理基準値案に基づく漁獲管理規則 (HCR) 案で漁獲を行った場合の将来予測での平均親魚量と平均漁獲量の推移を示す。HCR 案で使用した安全係数 β は 0.8 である。なお、漁業がなかった場合を仮定した初期親魚量 (SB0) は 60 百トンである。

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

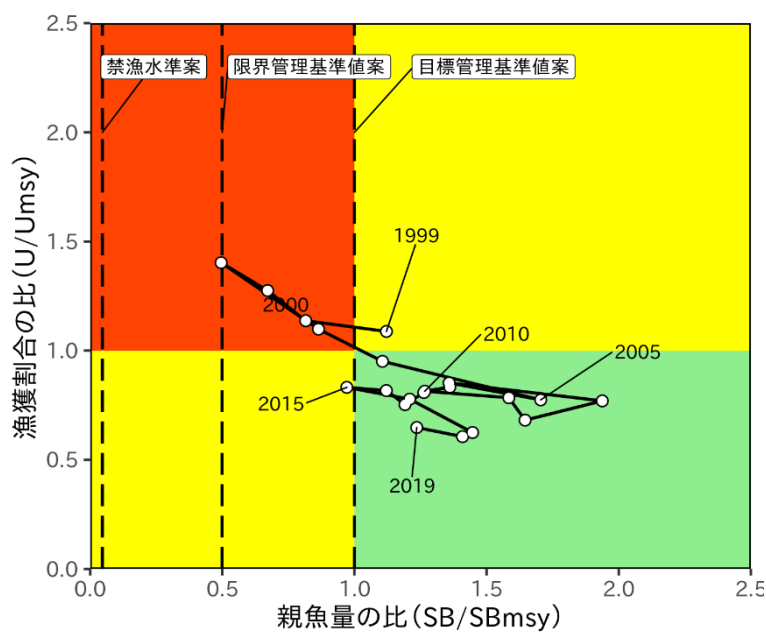
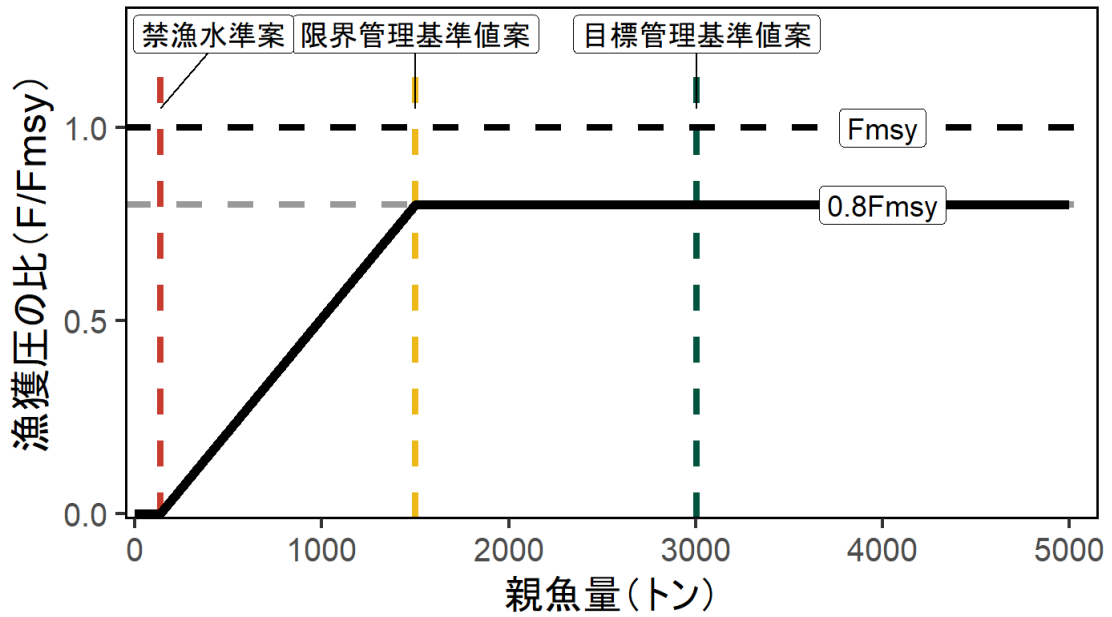


図4. 神戸プロット (4区分)

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。図中の目標管理基準値案、限界管理基準値案、および禁漁水準案には、それぞれ SBmsy、SBmin、SB0.1msy を用いた。

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

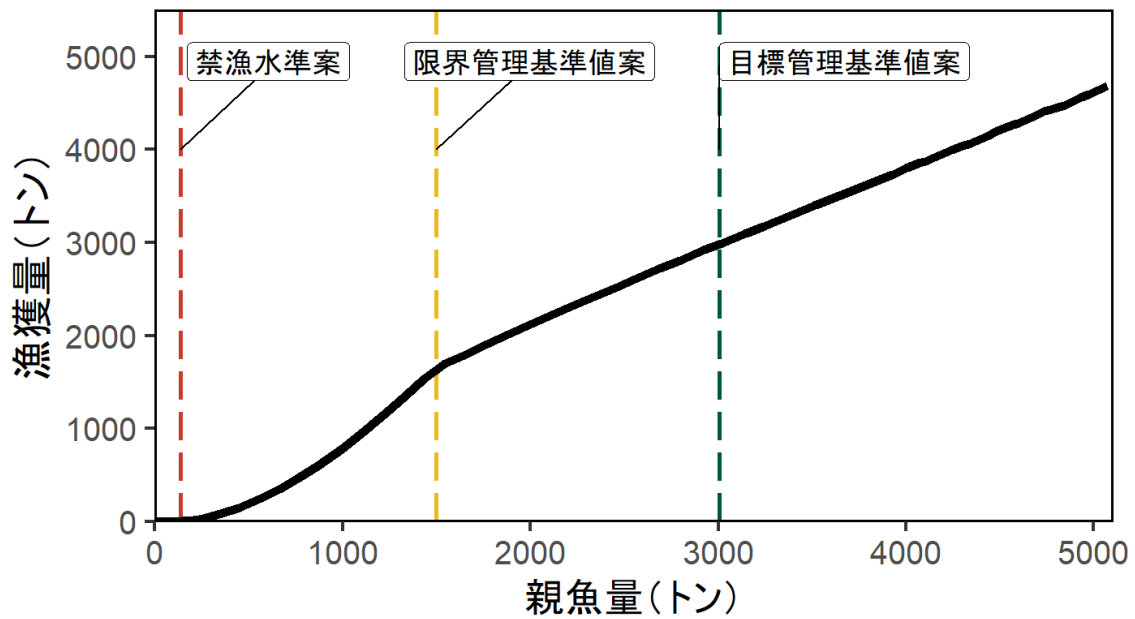


図5. 漁獲管理規則案

目標管理基準値 (SBtarget) 案は RI 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_{min} 、 $SB_{0.1msy}$ 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) は縦軸を漁獲圧の比にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。

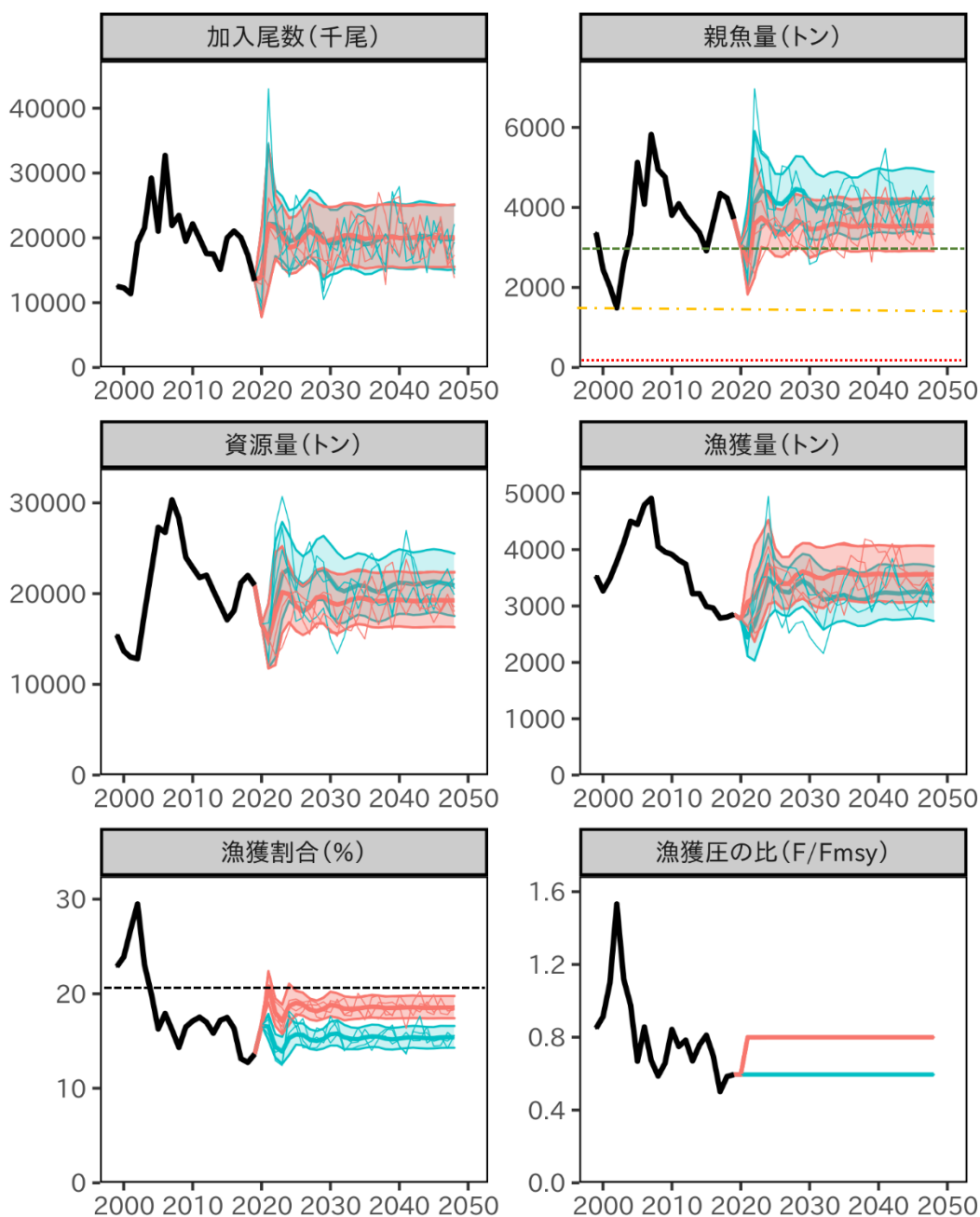


図6. 管理基準値案に基づく漁獲管理規則案を用いた将来予測と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測の比較

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、黄鎖線は限界管理基準値案、赤点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。2019・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)は本資料で提案する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
ホッケー・スティック型	最小絶対値法	無	1.52	5.25	3	0.220	14
リッカー型	最小絶対値法	無	-3.72	0	1	0.182	14
ホッケー・スティック型	最小二乗法	無	3.58	7.31	4	0.204	14
リッカー型	最小二乗法	無	0.35	4.08	2	0.182	14

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。ベバートン・ホルト型ではパラメータが推定されなかった。

表 2. MSY を実現する親魚量算出および将来予測計算に用いた各種設定

性別	齢期 成熟	遷移率	成熟率	漁期時点の 齢期・銘柄	平均重量 (g)	混獲係数 α	現状の 漁獲圧 ($F_{current}$)
雄雌	8 未熟	1.159	0.0	—	—	0.5	—
雄雌	9 未熟	1.159	0.0	—	—	0.5	—
雄雌	10 未熟	1.191	0.0	—	—	0.5	—
雌	11 成熟	0.370	1.0	11 雌	177	—	0.271
雄	11 未熟	0.610	—	12 ミズガニ	373	0.5	0.023
雄	11 成熟	0.067	0.089	—	—	—	—
雄	12 未熟	0.282	—	13 ミズガニ	728	0.5	0.023
雄	12 成熟	0.067	0.216	12 カタガニ	403	—	0.625
雄	13 成熟	0.067	1.000	13 カタガニ	799	—	0.625

齢期は脱皮齢期を示す。遷移率は、8～10 齢期では生残率に加え、 a 齢期と $(a+1)$ 齢期のトロール網の採集効率の違いによる影響も込みにした係数であり、1 を超えるが、11 齢期では生残率のみを示し、1 を下回る。本海域では漁獲対象および成熟個体は 11 齢期のみであり、親魚量や漁獲量の計算に必要な平均重量や現状の漁獲圧は 11 齢期のみ、漁獲対象外個体の混獲係数は 8～10 齢期に、それぞれ設定している。雌の 10 齢未熟は漁期時点には日本海 A 海域における呼称で「アカコ」であり、雌の 11 齢成熟は同様に「クロコ」である。

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など

管理基準値案又は禁漁水準案	説明	親魚量 (百トン)	SB0に 対する比 ※	漁獲量 ※※ (百トン)	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	30	0.50	37	50.3	0.21	1.68
限界管理基準値案	SBmin	15	0.25	28	24.9	0.27	2.68
禁漁水準案	SB0.1msy	1	0.02	4	2.3	0.31	3.62
MSY を実現する漁獲圧	Fmsy	(雌 11 齢) = (0.46)					

親魚量および漁獲圧は雌、漁獲量および漁獲割合は雄雌合計に対する値である。

※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 (%)

安全係数 β を 0.0~1.0 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。目標管理基準値 (SBtarget) 案に SBmsy を用いた。2019・2020 年は Fcurrent 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	100	100	18	48	62	44	24	22	33	46	41	38	47	47
0.9	100	100	22	56	79	70	49	48	59	72	67	61	70	70
0.8	100	100	27	64	91	89	76	73	83	91	88	80	86	86
0.7	100	100	33	71	97	97	93	92	95	98	97	89	95	94
0.6	100	100	39	78	99	100	99	99	99	100	99	93	98	98
0.5	100	100	45	84	100	100	100	100	100	100	100	96	99	99
0.4	100	100	52	89	100	100	100	100	100	100	100	97	100	99
0.3	100	100	58	93	100	100	100	100	100	100	100	98	100	99
0.2	100	100	64	96	100	100	100	100	100	100	100	99	100	98
0.1	100	100	71	98	100	100	100	100	100	100	100	99	100	96
0	100	100	77	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92

表 5. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率 (%)

安全係数 β を 0.0~1.0 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。限界管理基準値 (SBlimit) 案に SBmin を用いた。2019・2020 年は Fcurrent 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	100	100	94	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	96	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	98	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	99	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表 6. 将来の親魚量が禁漁水準案を上回る確率 (%)

安全係数 β を 0.0~1.0 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。禁漁水準 (SBban) 案に SB0.1msy を用いた。2019・2020 年は Fcurrent 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	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表 7. 将来の平均親魚量（百トン）の推移

安全係数 β を 0.0~1.0 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。2019・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	37	30	24	31	32	30	28	27	29	30	29	29	30	30
0.9	37	30	26	33	35	33	30	30	31	33	32	32	33	33
0.8	37	30	27	36	37	36	33	33	35	37	36	35	36	35
0.7	37	30	28	38	41	40	37	37	38	40	40	38	38	38
0.6	37	30	29	41	44	43	41	41	42	44	44	41	41	41
0.5	37	30	31	43	48	48	45	45	47	49	48	45	44	43
0.4	37	30	32	46	52	53	50	50	52	54	53	48	48	45
0.3	37	30	34	50	56	58	56	55	58	59	59	52	52	47
0.2	37	30	35	53	61	64	62	62	64	65	65	56	57	47
0.1	37	30	37	57	66	71	69	69	71	72	71	60	62	46
0	37	30	39	60	72	78	76	76	79	79	78	65	68	43

表 8. 将来の平均漁獲量（百トン）の推移

安全係数 β を 0.0~1.0 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。2019・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	28	28	36	35	36	38	35	34	34	35	36	36	37	36
0.9	28	28	34	33	36	38	35	34	34	36	36	36	36	36
0.8	28	28	31	31	34	37	35	34	34	35	36	36	36	36
0.7	28	28	28	29	33	36	35	34	34	35	36	35	34	34
0.6	28	28	25	27	31	35	34	33	32	34	34	34	32	32
0.5	28	28	21	24	28	33	32	31	31	32	33	32	30	29
0.4	28	28	18	20	25	29	29	28	28	29	30	29	26	25
0.3	28	28	14	16	21	25	25	24	24	25	25	24	22	20
0.2	28	28	9	12	15	19	19	19	19	19	19	18	16	14
0.1	28	28	5	6	8	11	11	11	11	11	11	10	9	7
0	28	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 9. 予測される親魚量、漁獲量、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 0.1 刻みで変更した結果のまとめを示す。

β	資源の持続性		平均漁獲量			リスク
	10年目 (2030年)の平均親魚量 (百トン)	10年目 (2030年)に親魚量が 目標管理基準値案を上 回る確率	1年目 (2021年)の予測漁獲 量(百トン)	5年目 (2025年)の予測漁獲 量(百トン)	10年目 (2030年)の予測漁獲 量(百トン)	10年目 (2030年)に親魚量が 限界管理基準値案を上 回る確率
1	29	38%	36	35	36	100%
0.9	32	61%	34	35	36	100%
0.8	35	80%	31	35	36	100%
0.7	38	89%	28	35	35	100%
0.6	41	93%	25	34	34	100%
0.5	45	96%	21	32	32	100%
0.4	48	97%	18	29	29	100%
0.3	52	98%	14	25	24	100%
0.2	56	99%	9	19	18	100%
0.1	60	99%	5	11	10	100%
0	65	100%	0	0	0	100%

親魚量は雌、漁獲量は雄雌合計に対する値である。

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；

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

ここで R_y は y 年の加入量、 B_y は y 年の親魚量である。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量 (トン) 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。再生産関係の検討の際には、推定された再生産曲線からの加入量の残差標準偏差 (s.d.) も併せて算出した。

ズワイガニ日本海系群 A 海域の再生産関係として、HS 型、RI 型、BH 型の再生産関係式を、最小二乗法・最小絶対値法により、残差に自己相関 (AR) を考慮しないモデルのそれぞれについて、1999～2012 年の雌の親魚量 (11 齢期) と 7 年後の加入尾数 (10 齢期) のデータに当てはめた (補足図 1-1)。プロットは全体に、親魚量が少ないときに加入量が多く、親魚量が多いときに加入量が少ない傾向がみられ、その結果、HS 型では最低親魚量が折れ点となり、BH 型ではパラメータが推定されなかった。

RI 型再生産関係を、最小二乗法・最小絶対値法により当てはめた際の残差トレンドと自己相関プロットを補足図 1-2 に示す。最小二乗法・最小絶対値法のいずれの場合も、自己相関プロットの信頼区間に収まっており、本海域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、残差の正規性については最小二乗法と最小絶対値法で大きな違いはみられないが、AICc は最小絶対値法のほうが低かった。(補足図 1-3、補足表 1-1)。

自己相関を考慮しないモデルについて、RI 型再生産関係を最小二乗法・最小絶対値法により当てはめる上での個々のデータの影響を、ジャックナイフ法で検討した。その結果、最小絶対値法は最小二乗法に比べ、特定年の除去によるパラメータ推定値への影響が大きい一方、他の年の除去によるパラメータ推定値の変化はほとんどみられなかった (補足図 1-4、1-5)。パラメータ推定の信頼区間は残差ブートストラップ法により求めた (補足図 1-6、1-7)。また、プロファイル尤度では、最小絶対値法のほうが最小二乗法よりも補足図 1-8 に示した。これらの結果から、RI 型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、最小絶対値法のほうが最小二乗法より適していると考えられた。

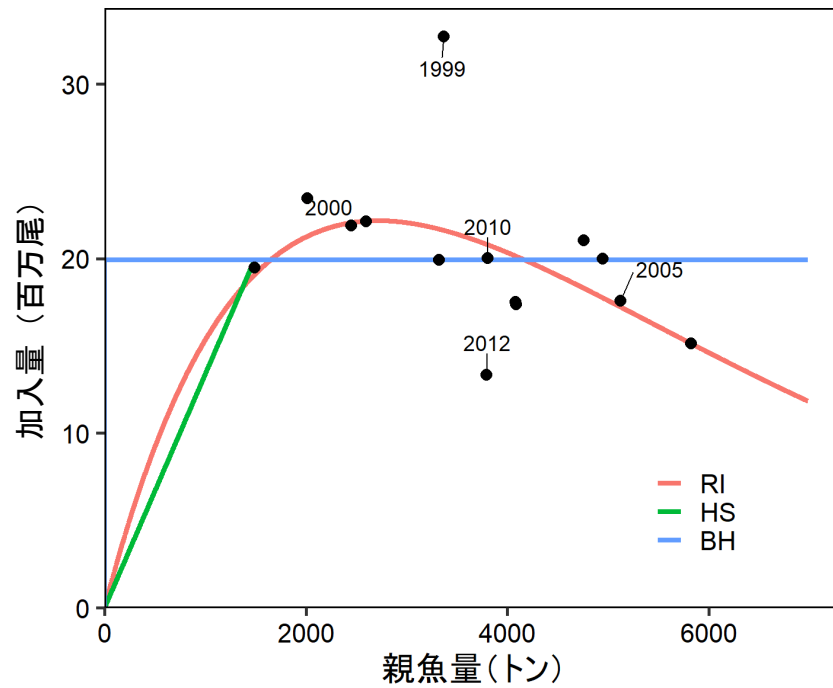
補足表 1-1. 再生産関係式における各パラメータ推定値

再生産関係式	最適化法	自己 相関	推定法	a	b	S.D.	Rho	AICc
ホッケー・ スティック (HS)	最小 二乗法	無	二段階	13.2	1489	0.204	0	3.58
リッカー (RI)	最小 二乗法	無	二段階	22.7	3.75e-04	0.182	0	4.08
ホッケー・ スティック (HS)	最小 絶対値法	無	二段階	13.4	1489	0.220	0	1.52
リッカー (RI)	最小 絶対値法	無	二段階	22.2	3.68e-04	0.182	0	-3.72

推奨する再生産関係式を太字で示す。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

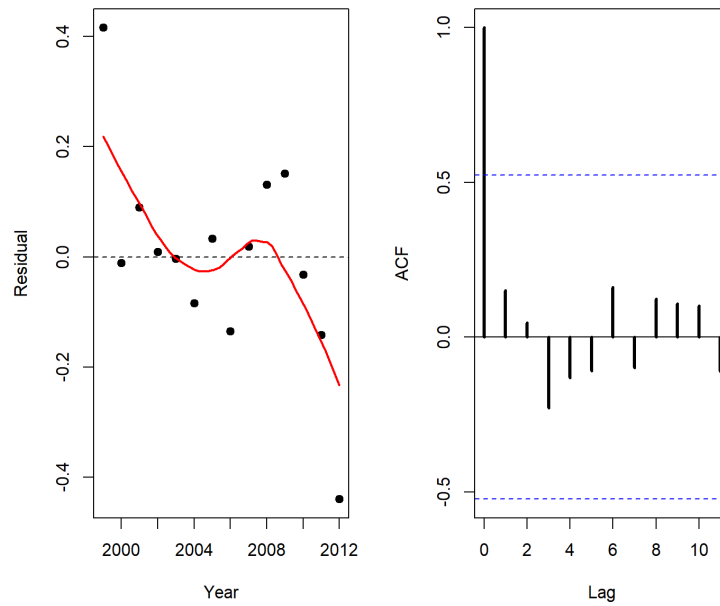
- Clark C. W., A. T. Charles, J. R. Beddington, and M. Mangel (1985). Optimal capacity decisions in a developing fishery. *Marine Resource Economics*, 2: 25-53.
- Beverton R. J. H., and S. J. Holt (1957). On the dynamics of exploited fish populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Ricker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



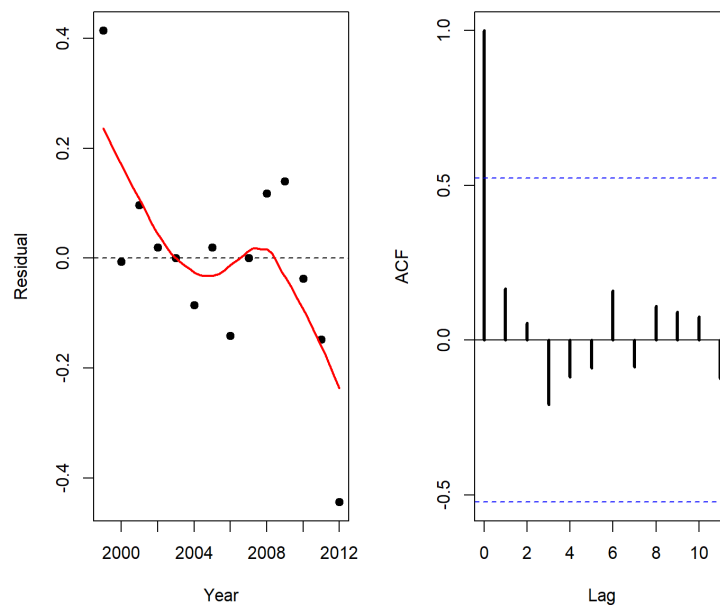
補足図 1-1. 各モデルにおける再生産関係式

ホッケー・スティック (HS) 型、リッカー (RI) 型、ベバートン・ホルト (BH) 型の再生産関係式を、最小絶対値法により当てはめた。黒丸は分析に使用した 1999～2012 年の雌の親魚量と 7 年後の加入量である。

リッカー型（最小二乗法）の場合



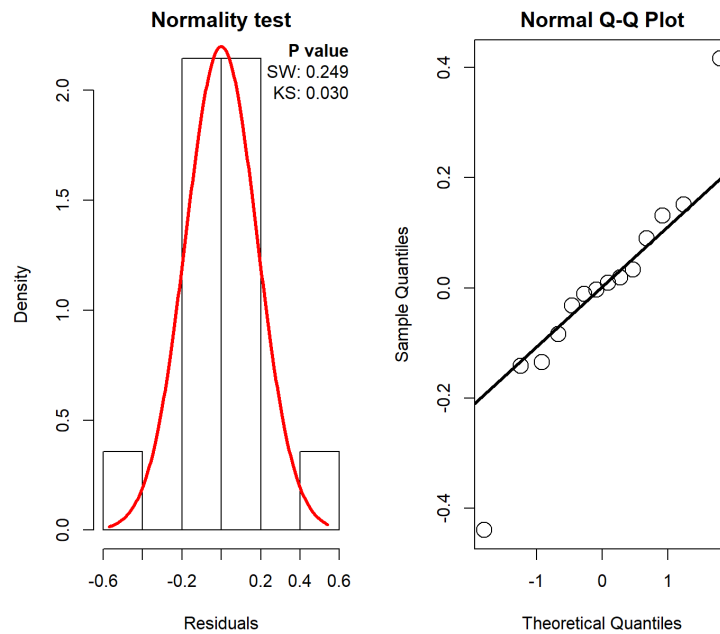
リッカー型（最小絶対値法）の場合



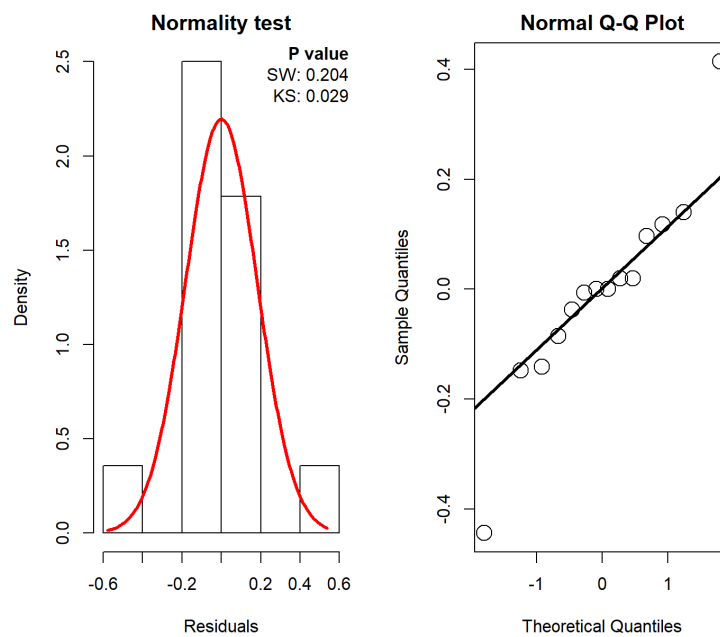
補足図 1-2. RI 型再生産関係における残差トレンド (左) と自己相関プロット (コログラム、右)

残差の時系列の図中の赤線は平滑化された曲線、コログラムの図中の青色の破線は 95%信頼区間をそれぞれ表す。

リッカー型（最小二乗法）の場合



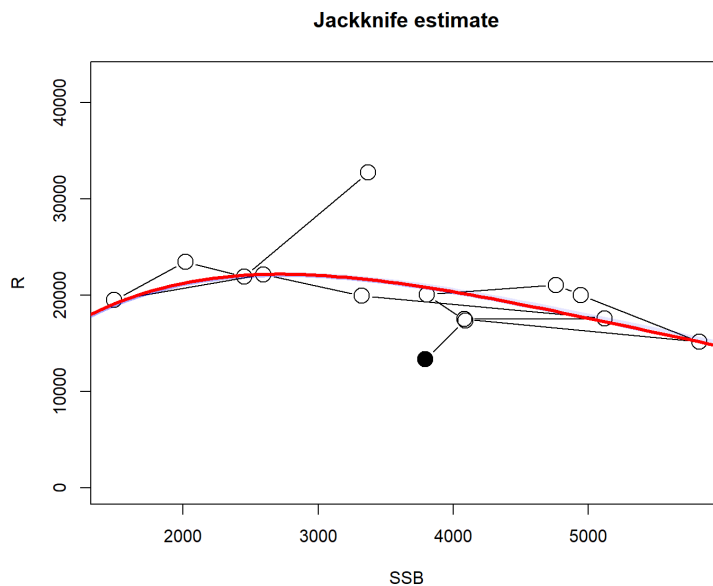
リッカー型（最小絶対値法）の場合



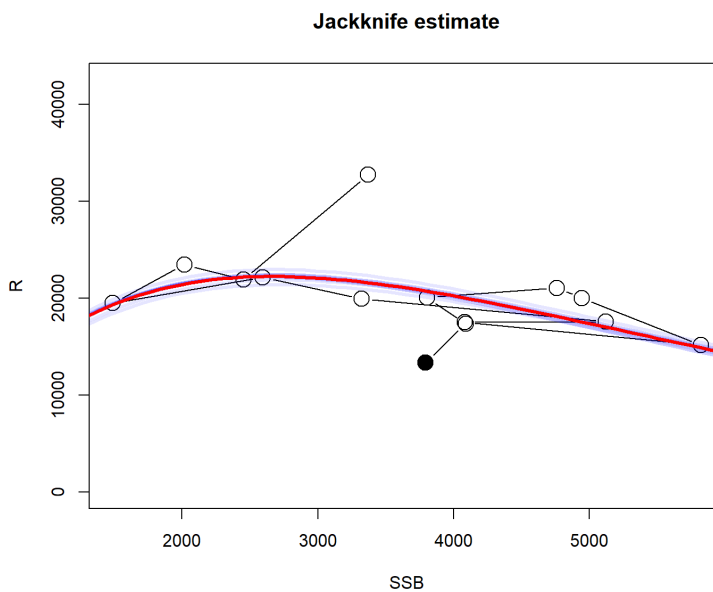
補足図 1-3. RI 型再生産関係の残差分布の正規性テスト結果と QQ プロット

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 プロットの実線は理論値を表している。

リッカー型（最小二乗法）の場合



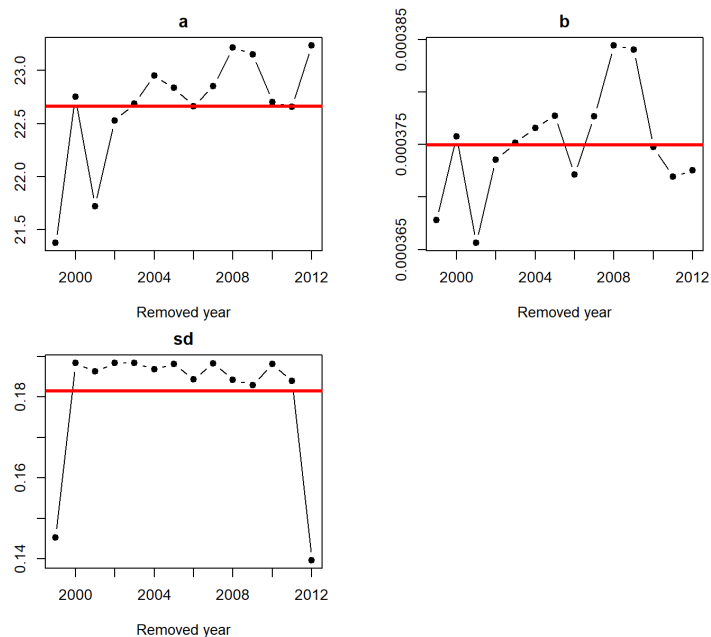
リッカー型（最小絶対値法）の場合



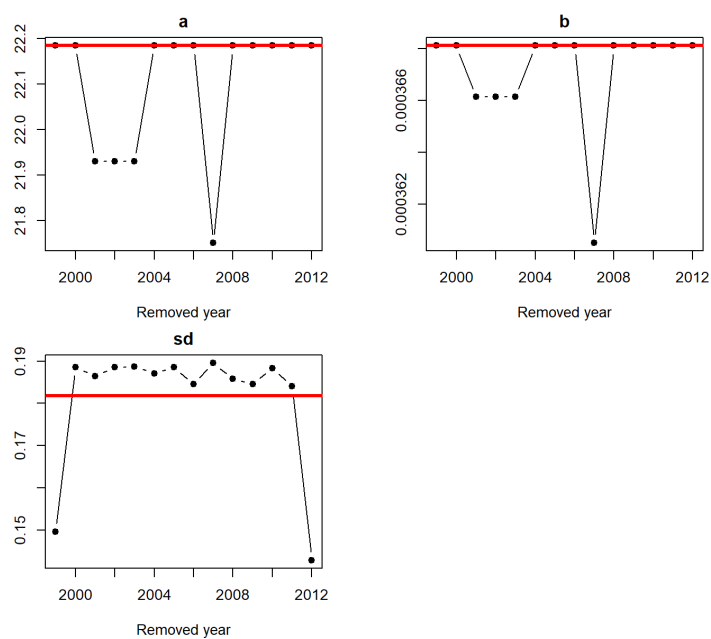
補足図 1-4. RI 型再生産関係におけるジャックナイフ解析での推定結果

赤線は全データでの推定値、青線は各年のデータを除外した場合の推定値である。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入量（千尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入量であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2012年）を示す。

リッカー型（最小二乗法）の場合

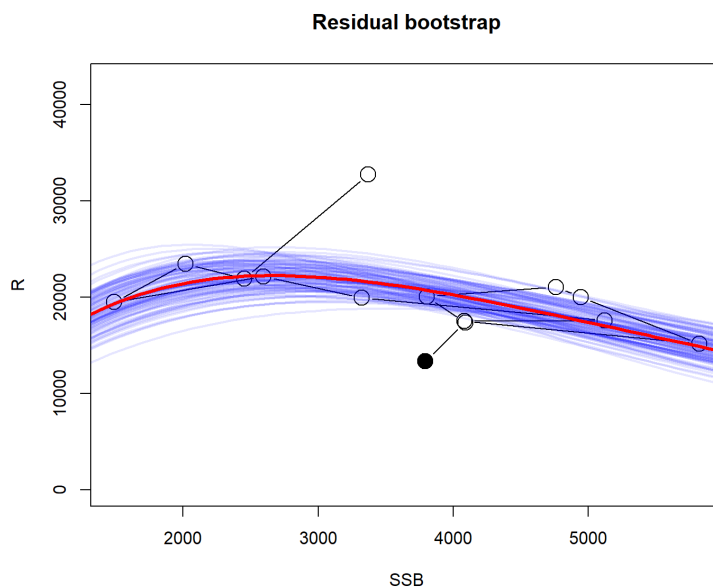


リッカー型（最小絶対値法）の場合

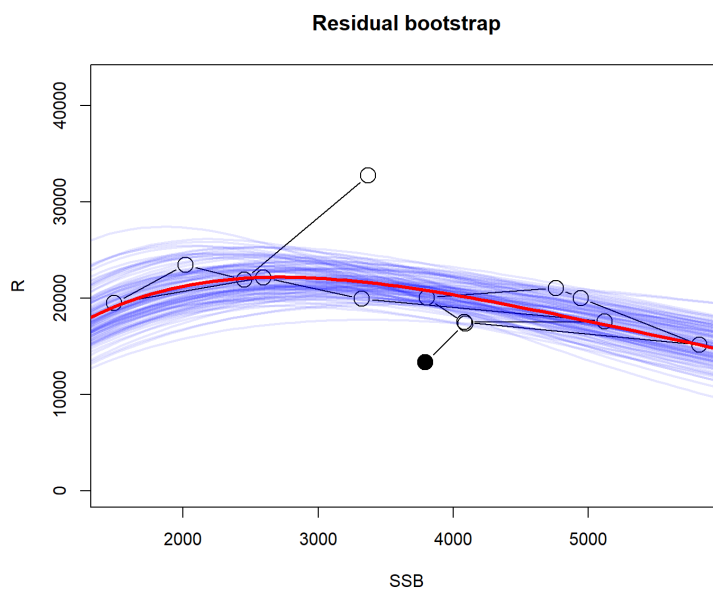


補足図 1-5. RI 型再生産関係のジャックナイフ解析でのパラメータ別の影響

リッカー型（最小二乗法）の場合



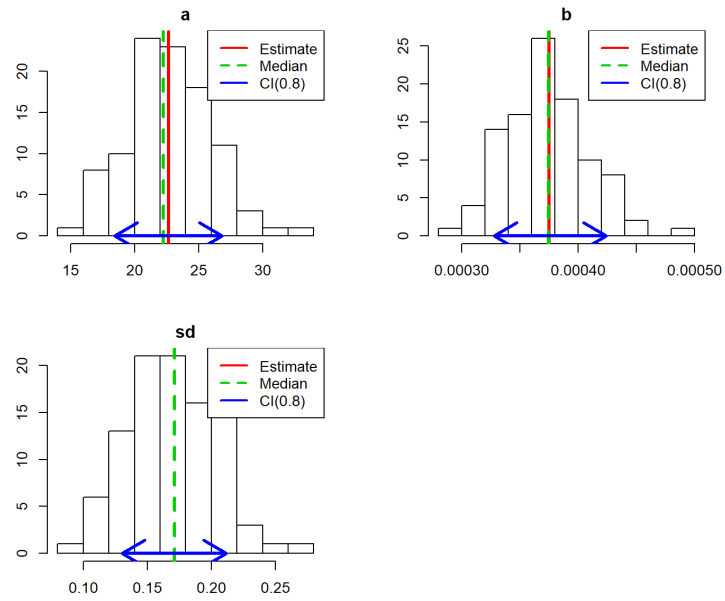
リッカー型（最小絶対値法）の場合



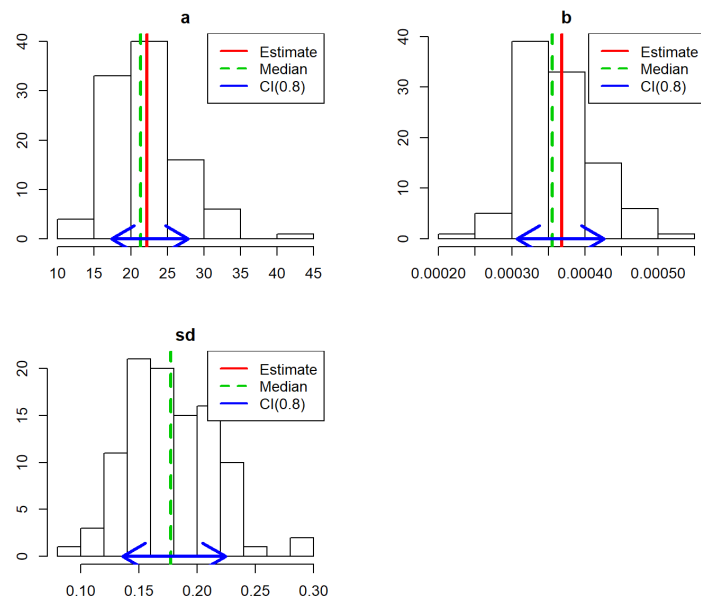
補足図 1-6. RI 型再生産関係における残差ブートストラップ解析の結果

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。横軸は親魚量（トン）、縦軸は加入量（千尾）である。丸印は分析に使用した親魚量・加入量であり、黒丸は使用したデータ期間の最終年（2012 年）を示す。

リッカー型（最小二乗法）の場合

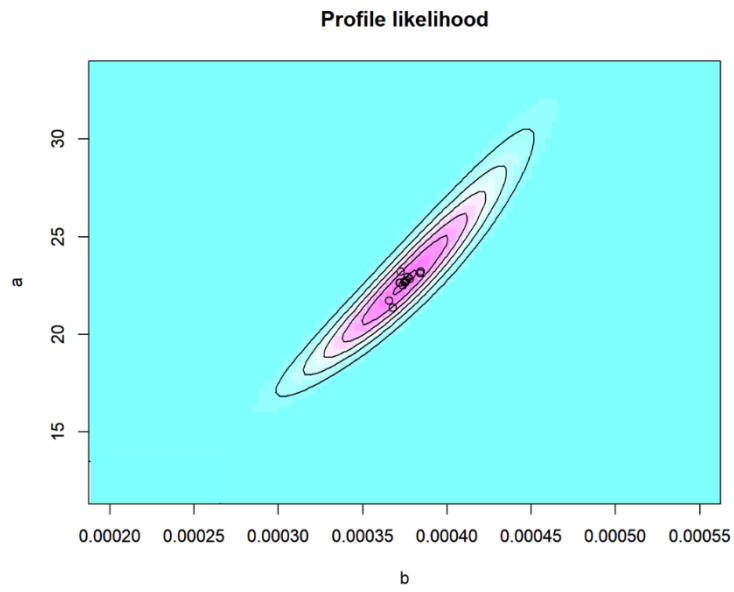


リッカー型（最小絶対値法）の場合

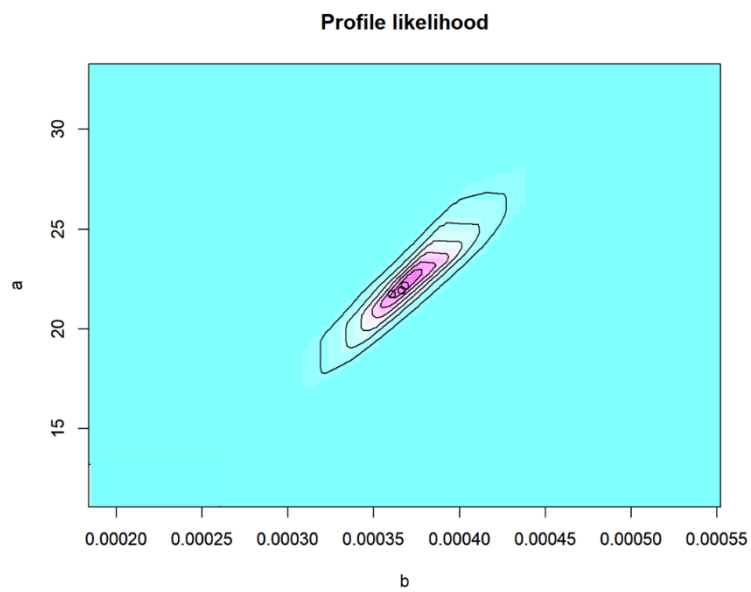


補足図 1-7. 残差ブートストラップ解析での中央値（緑点線）と 80%信頼区間（青線）
赤線はパラメータの点推定値である。

リッカー型（最小二乗法）の場合



リッカー型（最小絶対値法）の場合



補足図 1-8. RI 型再生産関係の推定パラメータのプロファイル尤度

補足資料 2 資源の将来予測における混獲死亡の考慮について

ズワイガニ日本海系群 A 海域では、雌では 11 齢期、雄では 12 および 13 齢期が水揚げ対象であるが、雌の 10 齢期以下をはじめとして、水揚げ対象外個体の混獲死亡が起こっている（山崎ほか 2011、山崎・宮嶋 2013）。本資料における資源の将来予測の計算方法は、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）の本海域の将来予測計算に準じているが、ここでは再生産関係を用いた加入の与え方や生残率の設定に組み込んだ混獲死亡について述べる。

① 漁獲加入まで

本海域では、漁獲加入前の 8 齢期および 9 齢期の混獲死亡について 10 齢期と同様に起こると仮定した。なお、漁獲加入までは雄雌共通で、すべて未熟個体である。このとき、 t 年の 10 齢期における加入尾数は、 $(t-2)$ 年の 8 齢期および $(t-1)$ 年の 9 齢期の混獲死亡によって以下のように減耗する。

$$N_{10,t} = N_{8,t-2} \exp(-G_{8,t-2}) S_{8,t-2} \exp(-G_{9,t-1}) S_{9,t-1} \quad (1)$$

上式で $G_{8,t-2}$ 、 $G_{9,t-1}$ は、それぞれ $(t-2)$ 年の 8 齢期および $(t-1)$ 年の 9 齢期の混獲係数を、 $S_{8,t-2}$ 、 $S_{9,t-1}$ は混獲死亡を除いた遷移率を示す。遷移率は、8～10 齢期では生残率に加え、 a 齢期と $(a+1)$ 齢期のトロール網の採集効率の違いによる影響も込みにした係数である。ここで、資源の将来予測の際に G は年によらず一定となり、また 8 齢期と 9 齢期で同値と仮定したことから、10 齢期の加入尾数を以下のように計算した。

$$N_{10} = N'_{10} \exp(-2G_{8-9}) S_{8-9} \quad (2)$$

上式で N'_{10} は資源の将来予測で再生産関係に基づき与える加入尾数、 G_{8-9} は 8 齢期と 9 齢期の混獲係数、 S_{8-9} は混獲死亡を除いた 8 齢期と 9 齢期の遷移率である。

なお、資源の将来予測の際、管理開始の 2021 年から 1 年後の 2022 年については、10 齢期の加入尾数に与える混獲死亡の影響は 9 齢期の 1 年分のみであり、10 齢期の加入尾数は以下となる。

$$N_{10} = N'_{10} \exp(-G_{8-9}) S_9 \quad (3)$$

混獲係数と漁獲係数には以下の関係を仮定した。

$$G_t = \alpha F_t \quad (4)$$

上式で α は比例定数であり、 $\alpha=1$ のとき混獲死亡は漁獲死亡と同等に変化し、 $\alpha=0$ のとき混獲死亡は漁獲死亡によって変化しない、すなわち混獲死亡が遷移率に含まれていることを示す。

混獲死亡を除いた遷移率 S_9 、 S_{8-9} については雄雌合計の現状の漁獲圧（ $F_{\text{current}}=0.152$ ：2016～2018 年の F の平均）における値とし、以下のように求めた。

$$S_9 = \frac{1}{\exp(-\alpha F_{2016-2018})} \quad (5)$$

$$S_{8-9} = \frac{1}{\exp(-2\alpha F_{2016-2018})} \quad (6)$$

本資料では将来予測および管理基準値の計算に $\alpha=0.5$ を用いた。この値は、令和元年度本海域の資源評価の YPR・SPR 解析において設定した仮定と同様であり、 S_9 、 S_{8-9} はそれぞれ 1.08、1.16 となる。

② 漁獲加入以降

性別 i 、 t 年、 a 齢、脱皮状態 j の現存尾数を $N_{i,a,j,t}$ とする。性別 i は雌を 1、雄を 2 とし、脱皮状態 j と未熟・成熟、雄のミズガニ（脱皮後 1 年未満）・カタガニ（脱皮後 1 年以上）の関係を以下のように定義する。

脱皮状態 1： 未熟、ミズガニ

脱皮状態 2： 成熟、ミズガニ

脱皮状態 3： 成熟、カタガニ

11 齢期以降について、 t 年の現存尾数を $(t-1)$ 年の現存尾数から以下の式を用いて前進計算する。

$$\text{未熟： } N_{i,a,1,t} = (1 - \gamma_{i,a}) N_{i,a-1,1,t-1} \exp(-G_{i,a-1,1,t-1}) S_{i,a-1,1} \quad (7)$$

$$\text{成熟： } N_{i,a,2-3,t} = \gamma_{i,a} N_{i,a-1,1,t-1} \exp(-G_{i,a-1,1,t-1}) S_{i,a-1,1} + N_{i,a,2-3,t-1} \exp(-F_{i,a,2-3,t-1}) S_{i,a,2-3} \quad (8)$$

上式で $\gamma_{i,a}$ は a 齢に脱皮するときの最終脱皮率である。

混獲死亡を除いた 10 齢期末熟の遷移率 $S_{i,10,1}$ については 8 齢期と 9 齢期同様、雄雌合計の現状の漁獲圧 ($F_{\text{current}}=0.152$: 2016~2018 年の F の平均) における値とし、以下のよう
に求めた。

$$S_{i,10,1} = S'_{i,10,1} \frac{1}{\exp(-\alpha F_{2016-2018})} \quad (9)$$

上式で $S'_{i,10,1}$ は F_{current} のときの混獲死亡を含んだ遷移率を示し、令和元年度本海域の資源評価結果から 1.19 と推定されている。このとき、8 齢期と 9 齢期同様に $\alpha=0.5$ における混獲死亡を除いた遷移率 $S_{i,10,1}$ は 1.28 となる。

混獲死亡を除いた雄の 11 齢期および 12 齢期末熟の遷移率 $S_{2,11,1}$ 、 $S_{2,12,1}$ については、雄のカタガニの現状の漁獲圧 ($F_{\text{current}}=0.625$: 2016~2018 年の F の平均) における値とし、以下のよう
に求めた。

$$S_{2,a,1} = S'_{2,a,1} \frac{1}{\exp(-\alpha F_{2016-2018})} \quad (10)$$

上式で $S'_{2,a,1}$ は F_{current} のときの混獲死亡を含んだ遷移率を示し、令和元年度本海域の資源評価結果から 11 齢期と 12 齢期でそれぞれ 0.610、0.282 と推定されている。このとき、 $\alpha=0.5$ における混獲死亡を除いた遷移率 $S_{2,11,1}$ 、 $S_{2,12,1}$ はそれぞれ 0.834、0.385 となる。

③ 漁獲量や親魚量の計算

②の現存尾数から、漁期開始時点の雌 ($a=11$)、雄のミズガニおよびカタガニ ($a=12$ or 13) の資源尾数 (N') を以下の式より、それぞれ求めた。

$$\text{雌} : N'_{1,11,3,t} = N_{1,11,2-3,t} \exp\left(-\frac{5}{12}M_{2-3}\right) \quad (8)$$

$$\text{ミズガニ} : N'_{2,a,1-2,t} = N_{2,a-1,1,t} \exp\left(-\frac{8}{12}M_1\right) \quad (9)$$

$$\text{カタガニ} : N'_{2,a,3,t} = N_{2,a,2-3,t} \exp\left(-\frac{6}{12}M_{2-3}\right) \quad (10)$$

上式において、

資源量 (B) および漁獲量 (Y) を、資源尾数 (N') から以下の式より求めた。

$$B_{i,a,j,t} = N'_{i,a,j,t} w_{i,a,j} \quad (11)$$

$$Y_{i,a,j,t} = N'_{i,a,j,t} \left[1 - \exp(-F_{i,a,j,t})\right] w_{i,a,j} \quad (12)$$

雌の親魚量 (SB) は、雌の漁期開始時点の資源量から雌の漁獲量 (Y) を減じた値とした。

$$SB_{1,t} = B_{1,11,3,t} - Y_{1,t} \quad (13)$$

本海域では、平均世代時間 (10 年) の 20 倍の年数のシミュレーション期間後を平衡状態と仮定した 10,000 回の試行を行い、その際の雌、ミズガニ、カタガニ合計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量を SB_{msy} とした。

参考文献

- 山崎 淳・宮嶋俊明 (2013) 京都府沖合における底曳網によるズワイガニ混獲量とリリース直後の生残率. 水産技術, **5**, 141-149.
- 山崎 淳・宮嶋俊明・藤原邦浩 (2011) 京都府沖合における底曳網によるズワイガニ水ガニの入網数とリリース直後の生残率. 日水誌, **77**, 372-380.