

令和5（2023）年度ズワイガニ日本海系群A海域の資源評価

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（佐久間啓・吉川 茜・白川北斗・
内藤大河・佐藤信彦・飯田真也・秋田鉄也・平尾 章）

水産技術研究所 養殖部門（山本岳男）

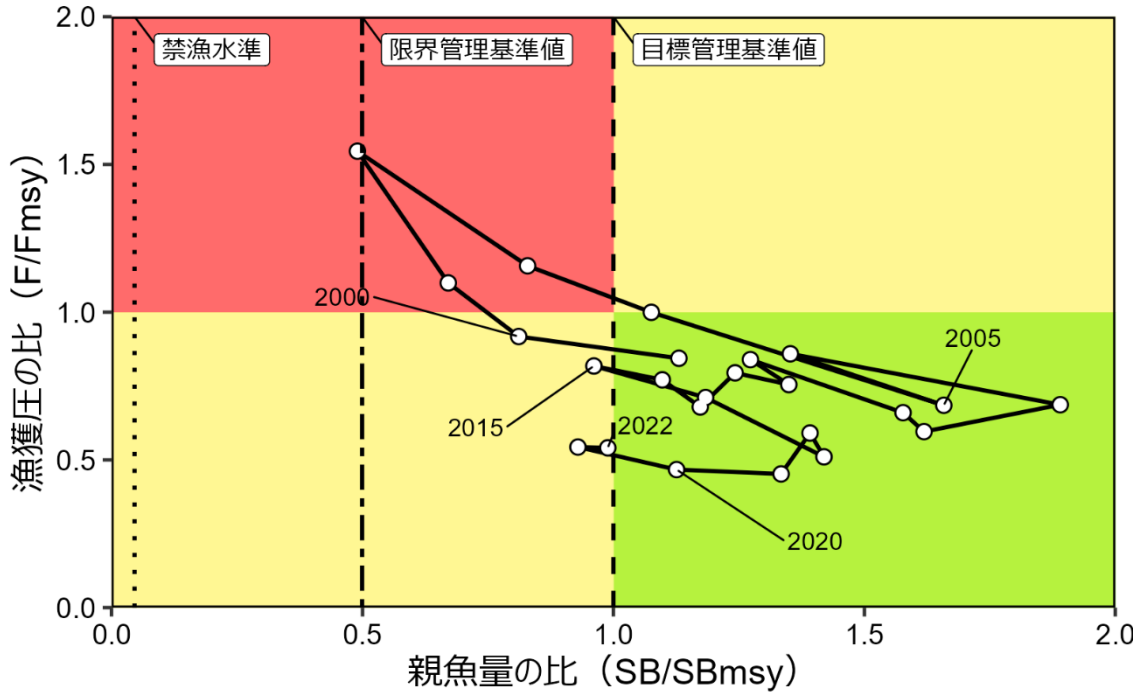
参画機関：富山県農林水産総合技術センター水産研究所、石川県水産総合センター、福井
県水産試験場、京都府農林水産技術センター海洋センター、兵庫県立農林水産
技術総合センター但馬水産技術センター、鳥取県水産試験場、島根県水産技術
センター

要 約

本系群A海域（富山県以西）の資源状態について、1999～2023年の日本海ズワイガニ等底魚資源調査（トロール調査）結果に基づくコホート解析により評価した。資源量は、2003年から2007年まで増加し、以後2021年まで減少した。しかし、2022年からは増加に転じ、2023年は1.9万トンである。親魚量も資源量同様の年変化を示し、2022年の親魚量は2,971トンであった。齢期別現存尾数に基づく加入量は雌で2024年、雄で2025年にかけて増加するものの、その後はいずれも減少すると予想される。

令和2年8月、10月および令和3年3月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」、ならびに令和3年4月に行われた「水産政策審議会」を経て、本系群の目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準、および漁獲管理規則が定められた。目標管理基準値は最大持続生産量MSYを実現する親魚量（3,000トン）であり、本系群の2022年の親魚量は、これを下回る。また、本系群に対する2022年漁期の漁獲圧はMSYを実現する水準の漁獲圧（ F_{msy} ）を下回る。親魚量の動向は、直近5年間（2018～2022年漁期）の推移から「減少」と判断されるものの、今後は資源の増加が見込まれており、漁獲管理規則に基づく2024年のABCは5,100トンである。ただし、今後の資源量が過大に予測されている可能性もあることから、ABCの取り扱いには留意が必要である。

要 約 図 表



MSY、親魚量の水準と動向、および ABC	
MSY を実現する水準の親魚量	3.0 千トン
2022 年の親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る
2022 年の漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る
2022 年の親魚量の動向	減少
最大持続生産量 (MSY)	3.7 千トン
2024 年の ABC	5.1 千トン
コメント:	
<ul style="list-style-type: none"> ・ ABC の算定には、令和 3 年 3 月に開催された「資源管理方針に関する検討会」で取り纏められ「水産政策審議会」を経て定められた漁獲シナリオでの漁獲管理規則を用いた。 ・ 本系群では漁獲管理規則で調整係数 $\beta=0.8$ を用いることが定められている。 ・ 加入尾数は増加傾向にあるが、雌では 2025 年、雄では 2026 年にそれぞれ急減の見込み。 ・ 親魚量は漁期後の雌の資源量、漁獲圧は雌に対する漁獲圧、ABC および最大持続生産量は雌雄合計の値である。 ・ 漁獲管理規則による漁獲圧は現状の漁獲圧の 1.55 倍であり、2024 年 ABC は現状の漁業を継続した際に予想される 3.5 千トンを大きく上回ることに留意する必要がある。 	

近年の資源量、漁獲量、漁獲圧、および漁獲割合					
年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F/Fmsy	漁獲割合 (%)
2018	21.5	4.2	2.8	0.59	13.0
2019	20.5	4.0	2.5	0.45	12.1
2020	17.8	3.4	2.2	0.47	12.4
2021	13.9	2.8	1.9	0.54	13.8
2022	14.3	3.0	2.0	0.54	13.9
2023	19.2	4.4	2.3	0.52	13.0
2024	30.9	6.3	5.1	0.80	16.4
<ul style="list-style-type: none"> ・ 2023、2024年の値は、2023年の資源量を除き、将来予測に基づく平均値である。 ・ 2023年のFには直近3年間(2020～2022年)の平均値を仮定した。 ・ 2024年の漁獲にはABCの値を用いた。なお、現状の漁獲圧が維持されると仮定した場合、2024年の漁獲量は3.5千トンである。 ・ 資源量は雌雄合計の値、親魚量は漁期後の雌の資源量、漁獲圧は雌に対する値、漁獲割合は雌雄合計の値である。 					

1. データセット

本件資源評価に使用したデータセットは以下のとおり

データセット	基礎情報、関係調査等
年別齢期別現存尾数	トロール調査(日本海ズワイガニ等底魚資源調査、5～6月、水研)
漁獲量	県別、漁法別、月別、雌雄別水揚量 漁業・養殖業生産統計年報(農林水産省) 韓国漁業生産統計(URL: http://fs.fips.go.kr/main.jsp) 全国底曳網漁業連合会資料
齢期別漁獲尾数	甲幅組成調査(鳥取県、兵庫県、京都府、福井県)・市場測定
漁獲努力量 標準化 CPUE	沖合底びき網漁業1 そうびき漁獲成績報告書(水研)
自然死亡係数(M) (年当たり)	最終脱皮後1年以上経過した個体 M=0.2 未最終脱皮および最終脱皮後1年未満 M=0.35

2. 生態

(1) 分布・回遊

日本海における本系群の分布範囲は、大陸棚斜面の縁辺部および日本海中央部の大和堆であり、水深200～500mに多い(図2-1)。雌の最終脱皮とそれに続く初産は、比較的水深の浅い限られた海域で集中して行われることが知られている(今 1980)。また、成熟後は雌雄で主分布水深が異なり、260～300mを境に深い海域では主に雄ガニが、浅い海域では主に雌ガニが分布する。本系群は孵化後、約2～3ヶ月の浮遊幼生期(プレゾエア期、第1ゾエア期、第2ゾエア期、メガロパ期)を経て稚ガニに変態し、着底する(今 1980、Yamamoto et al. 2014)。標識放流結果から、水平的に大きな移動を行う例は少ないことが知られている(尾形 1974)。集団遺伝学的解析により、日本海および太平洋北部に分布するズワイガニでは、距離による隔離(Isolation by distance)の効果が見られず、対馬暖流の勢力下で日本海系群を上流とする長距離分散が生じている可能性があることが示された(補足資料8)。一方、これらの海域とオホーツク海では、ズワイガニの集団間の遺伝子流動が制限されていると示唆されている。

(2) 年齢・成長

孵化から6齢までは1年間に複数回脱皮するが(伊藤 1970)、以後は概ね1年に1回脱皮する。加えて、日本海における本系群の主分布水温である1°Cでの飼育実験の結果から(Yamamoto et al. 2015)、孵化から加入(雄:11齢、雌:10齢)までの期間は7～8年、寿命は10歳以上と考えられる。

ズワイガニでは甲幅組成等より脱皮齢期が推定できる(今ほか 1968、山崎・桑原 1991、山崎ほか 1992)。稚ガニおよび未成熟ガニでは成長に雌雄差がなく、甲幅60mm台で10齢となる(図2-2)。雄では主に11齢から最終脱皮後の個体が出現し、最終脱皮後の個体の割合は11、12、13齢でそれぞれ約5%、約20%、100%である。最終脱皮後は体サイズに対し鉗脚掌部(はさみ)が大きくなる(図2-3)。雌ではすべての個体が10齢まで最終脱皮前

であり、11 齢で最終脱皮後となる。最終脱皮後は腹部が大きくなり外卵を持つ。最終脱皮後は体成長が止まるため、雌の 11 齢と雄の 11 齢以降には複数の年級群が含まれている。

(3) 成熟・産卵

雌は、10 齢の夏から秋にかけて最終脱皮し、11 齢となった直後に交尾と初産卵（外卵を持つ）を行う（図 2-3）。初産卵後は、1 年半の抱卵期間を経て、翌々年の 2～3 月に幼生が孵化する。孵化後まもなく 2 回目の産卵（経産卵）を行う。経産卵後の抱卵期間は 1 年であり、毎年 2～3 月に産卵を行う。外卵の色は、産卵後は橙色であり、幼生のふ化が近づくにつれ、茶褐色から黒紫色に変化する。

初産卵直後の雌は、漁期開始時（11 月）には外卵が橙色であり「アカコ」と呼ばれ、1 年後の翌漁期には外卵が茶褐色から黒紫色に変わり「クロコ」と呼ばれる。

ズワイガニでは成長および性別によって「ミズガニ」「カタガニ」「アカコ」「クロコ」のように呼称が変化する。これらの呼称は地域により異なる場合もある。本報告書では、雄の脱皮後 1 年未満の個体を「ミズガニ」、1 年以上経過した個体を「カタガニ」と定義する。通常、カタガニは最終脱皮後の（鉗脚掌部が大きい）個体であるが、一部には最終脱皮前の（鉗脚掌部が小さい）個体も存在し、これらを「モモガニ（京都府における呼称）」とした。モモガニのほとんどすべては、2 年以内に脱皮することが飼育実験より明らかになっている（Yamamoto et al. 2018）。本評価では資源のカタガニのうちのモモガニの割合は、年によらず一定と仮定した。また雌では、水揚げ対象となる個体をすべて「クロコ」として扱った。

(4) 被捕食関係

本系群は脱皮時を除き周年索餌を行い、底生生物を主体に、甲殻類、魚類、イカ類、多毛類、貝類、棘皮動物などを捕食する（尾形 1974）。

小型個体はゲンゲ類（伊藤 1968、小西ほか 2012）、マダラ（上田 2018）などに捕食される。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

本海域ではズワイガニの漁獲の多くが沖合底びき網（かけまわし）（以下「沖底」と表記）によるものであるが（図 3-1）、小型底びき網およびかごによっても漁獲されている。本海域でズワイガニを対象とする漁業には、農林水産省令と自主規制により、細かい漁獲規制が設けられている（後述：6. ABC 以外の管理方策への提言）。本海域における漁期は省令で雄は 11 月 6 日～翌年 3 月 20 日、雌は 11 月 6 日～翌年 1 月 20 日に定められており、漁獲対象は、雄では甲幅 90 mm 以上（実質 12 齢と 13 齢）のカタガニとミズガニ、雌ではクロコ（すべて 11 齢）である。詳細については表 3-1 および 3-2 を参照のこと。なお、大和堆では農林水産省令により本種の漁獲は禁止されている。

(2) 漁獲量の推移

漁獲量（暦年）は、1960 年代半ばと 1970 年頃にピークを迎え、1.4 万トンを超えた。そ

の後、1970年以降に急減し、1988～1993年には2,000トンを下回った。1990年代半ば以降は増加傾向に転じ、2007年には5,000トン近くとなったものの、以後は減少している（図3-1、補足資料6）。

1999年以降の漁獲量（漁期年）について、各府県集計の統計資料をもとに、漁期年別、雌雄別に集計した（図3-2、補足表2-4、2-6、2-7）。本評価は7月～翌年6月の漁期年単位で行い、これ以降、年の記述は断りが無い限り漁期年を示す。ミズガニは、2007年までは1,000トン前後でほぼ横ばいであったが、その後は漁業者による資源保護の取り組み等により2018年まで減少した。ミズガニの漁獲量はその後、緩やかに増加し、2022年は199トンであった。カタガニは2008年の1,935トンまで増加した後、減少し、2009年以降は1,500トン前後で、2015年以降は1,300トン前後で安定していた。カタガニの漁獲量はその後、2019年にかけて再度増加したが、以後減少し、2022年は963トンであった。雌ガニは2001年以降増加し、2007年には2,100トン近くとなったが、その後減少し、2008年以降は1,500～1,800トンで、2013年以降は1,300トン前後で推移した。雌ガニは2019年以降減少傾向となり、2022年は829トンであった。2022年の雌雄込みの漁獲量は1,992トンであった。

(3) 漁獲努力量

沖底の漁獲成績報告書に基づき、雄、雌、および雌雄いずれかを漁獲した網数（有漁網数）について漁期年（7月～翌年6月）別に集計した（図3-3、表3-3）。いずれも長期的に減少し2022年は雄で5.1万網、雌で2.2万網、雌雄全体で5.1万網であり、いずれも2021年に引き続き過去最低水準であった。これ以降、年の記述は断りが無い限り漁期年を示す。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

トロール調査結果に基づくコホート解析を用いて推定した各年の漁期開始時点における漁獲対象資源量に基づき資源評価を行った。ここで、漁獲対象資源量は、雄では12歳以上のミズガニとカタガニ、雌では11歳のクロコの値とした（補足資料1、2、4）。若齢の現存尾数を用いて雄11歳、雌10歳の加入予測を行った。

また、沖底の漁獲成績報告書に基づく1972年以降の標準化CPUEを資源量指標値として、長期的な資源状況を判断した（補足資料9）。

(2) 資源量指標値の推移

平均値で除して基準化した標準化CPUEは、雌雄ともに1972年以降低下し、雄では1989年（0.27）に、雌では1986年（0.18）に、それぞれ過去最低となった（図4-1、表3-3、補足資料9）。その後、標準化CPUEは雌雄ともに2007年（雄1.83、雌2.29）まで上昇したが、2008年以降はいずれも増減を伴いながら緩やかに低下し、雄では2022年（0.88）に、雌では2020年（0.82）に、それぞれ2000年代以降で最低となった。雌では2022年も依然低く、0.90であった。

(3) 漁獲物の齢期組成

鳥取県、兵庫県、京都府の主要港における雄の齢期別、ミズガニ・カタガニ別の漁獲尾数を求め、これらとA海域における各府県の漁獲量を用いて、A海域全体の齢期別漁獲尾数を推定した(図4-2、補足表2-2)。

2022年はすべての銘柄で2021年から増加した。カタガニでは、13歳の漁獲尾数が2008年以降、減少傾向にあり、2019年に一旦増加したものの、2021年にかけて再度減少した。また、12歳の漁獲尾数は2013年に最大となった後は2021年にかけて減少した。ミズガニでは、自主規制の強化等により漁獲尾数が減少しており、2013年以降はピーク時の1/3以下となっている。特に2018年から2019年にかけて自主規制を強化したことで、ミズガニの漁獲尾数は、2017年以前と比較して、大幅に減少している。

雌の漁獲尾数はA海域全体の漁獲量を個体あたり重量(11歳雌、177g)で除して求めた。雌の漁獲尾数は長期的に減少傾向にあり、2021年に過去最低となった。2022年は前年からわずかに増加した。

(4) トロール調査から推定された甲幅組成

トロール調査結果から面積密度法により推定された甲幅組成を図4-3、4-4に示す。各年の甲幅組成では雌雄ともに複数のモードが存在し、それぞれが齢期群に相当すると考えられている。なお、2015年のトロール調査から新型網を用いており、新型網と旧型網の採集効率の比較調査結果に基づき、2017年より10歳期以下の採集効率を補正している(補足資料5)。

トロール調査の実施時期は5~6月であり、漁期開始は11月である(図2-3)。7歳以降は1年に1回、脱皮を行うことから、2023年の調査時点で最終脱皮前の個体は、2023年漁期までに最大1回、2024年漁期までに最大2回の脱皮を行う。

2023年の調査結果では、2023年漁期にカタガニとして漁獲される雄の13歳(概ね甲幅120mm以上)の現存尾数が少なかった。一方、9~11歳の若齢ガニは雌雄ともに多かった。これらは2023~2025年漁期に12歳ミズガニおよびクロコとなるため、雌雄合計の漁獲量は2023年漁期以降、増加すると見込まれる。

(5) 資源量と漁獲圧の推移

漁期開始時点の資源量について、トロール調査時点の年別齢期別現存尾数を用いたコホート解析結果より求めた(補足資料2)。漁期開始時点の資源量(図4-5、補足表2-3、2-4、2-5、2-7)は、2002年に1.3万トンであったが、2007年には3.0万トンまで増加した。2008年以降は減少し、2015年には1.7万トンとなった。その後、資源量は2016~2018年にかけて増加したものの、以降、2021年の1.4万トンまで減少した。2023年はやや回復し、1.9万トンであった。

親魚量も資源量と同様、2002~2007年にかけて増加したのち、2015年まで減少した(図4-6、補足表2-5)。2016年および2017年には増加したが、その後減少し、2022年は2,971トンであった。2023年漁期後には4,416トンになると見込まれる。ここで親魚量は雌の漁期後資源量である。

漁期開始時点の資源量と当該漁期の漁獲量より漁獲割合と漁獲係数(F)を求めた(図4-

7、補足表 2-4、2-6、2-7)。漁獲割合と F 値はカタガニで最も高く、ミズガニではかなり低い。2022 年の漁獲割合 (F 値) は、ミズガニで 3% (0.03)、カタガニで 37% (0.46)、雄全体で 11% (0.12)、雌で 22% (0.25)、雌雄全体で 14% (0.15) であった。漁獲割合および F 値ともに、資源が減少した 2008 年以降、カタガニでは 2016 年にかけて上昇し、その後低下傾向にある。また、雌では 2008 年以降概ね横ばいであったが、2017 年以降は以前よりも低い水準で維持されている。ミズガニの漁獲圧および漁獲割合は長期的に低下傾向にあり、2022 年も低い水準にあった。

(6) 今後の加入量の見積もり

2023 年のトロール調査結果およびコホート解析から推定された齢別現存尾数より、2024 年以降の加入尾数を求めた。この際、2024 年の加入尾数は、雄では 2023 年の 10 齢から遷移率を用いて計算した 11 齢の現存尾数予測値、雌では 2023 年の 10 齢の現存尾数とした。2025 年の加入尾数は、2023 年の 9 齢の現存尾数から遷移率を用いて予測した (補足資料 2)。2026 年の加入尾数は、2023 年のトロール調査における 8 齢 (コホート解析では扱わない) の現存尾数から予測した (補足資料 2)。

2023 年の雄 11 齢未熟の現存尾数は 2022 年から大きく増加して 2,400 万尾であった。2024 年には 4,100 万尾、2025 年には 5,300 万尾と増加したのち、2026 年には大きく減少して 1,700 万尾になると見込まれる (図 4-8、補足表 2-8)。

2023 年の雌 10 齢の現存尾数は 2022 年から大きく増加して 4,000 万尾であった。2024 年にかけて 5,400 万尾に増加したのち、2025 年には 1,700 万尾に減少すると予測された (図 4-8、補足表 2-8)。

本系群の長期的な資源変動は、寒冷期には資源が減少して低水準となり、温暖期には増加傾向となっている (木下 2009)。海洋同化モデル JADE2 (Hirose et al. 2013, Igeta et al. 2023) にもとづく粒子追跡実験の結果、本海域におけるズワイガニ資源の変動が海洋構造と関連することが強く示唆された (補足資料 7)。隠岐海脚東方に分布する暖水渦が、主産卵域である隠岐周辺海域から孵出した幼生を補足し、日本海西部海域に留めることで着底総数の増加に寄与すると考えられる。今後も本海域の資源変動メカニズムについて海洋物理学的観点から検討を進めることで、資源動向の長期的予測が可能になると期待される。

(7) 加入量当たり漁獲量 (YPR)、加入量当たり親魚量 (SPR) および現状の漁獲圧

銘柄別ごとの選択率を考慮して漁獲圧を比較するため、加入量あたり親魚量 (SPR) を基準に、漁獲圧が無かった場合との比較を行った。計算には漁獲加入までの混獲死亡を考慮した齢構成モデル (補足資料 2) を使用した。ここで、本海域の資源計算における遷移率 (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、補足資料 2) に代わり決定論的な自然死亡係数 (カタガニおよび 11 齢雌で 0.2、それ以外で 0.35、山崎 1996) を用いるとともに、混獲死亡の影響を考慮するためトロール調査時点の 8 齢から資源計算を開始した。ここで、混獲死亡率は資源計算における仮定同様、漁獲圧の 0.5 倍とした。なお、生理的寿命は考慮していない。

図 4-9 に年ごとに漁獲が無かったと仮定した場合の SPR に対する、漁獲があった場合の SPR の割合 (%SPR) の推移を示す。%SPR は漁獲圧が低いほど大きな値となる。%SPR は

2002年に最大となった後、減少傾向にあり、2022年は32%となった（補足表3-3）。現状の漁獲圧として直近3年間（2020～2022年）の平均F値から%SPRを算出すると33%となった。現状の漁獲圧に対するYPRと%SPRの関係を図4-10に示す。Fmsyは%SPRに換算すると16%に相当する。現状の漁獲圧（F2020-2022）は雌におけるF0.1に近い値であり、F30%SPRおよび雌雄いずれのFmaxを下回る。

（8）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4-11に示す。ここで黒丸は親魚量と加入量の実測値を示し、親魚量は1999～2016年の雌の漁期後資源量、加入量は7年後（2006～2023年）の調査時点における10歳の現存尾数である。「管理基準値等に関する研究機関会議」において、本系群の再生産関係式にはリッカー型再生産関係が適用されている（補足表3-1、上田ほか2020）。ここで、再生産関係式のパラメータ推定に使用したデータ（灰色丸）は、令和元（2019）年度の資源評価に基づく1999～2012年漁期後親魚量、および2006～2019年加入量であり（上田ほか2020）、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。再生産関係式の各パラメータを補足表3-3に示す。

（9）現在の環境下においてMSYを実現する水準および管理基準値等

上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」では、現在（2019年漁期以降）の環境下における最大持続生産量MSYが3,700トンと推定された（補足表3-2）。令和2年4月に開催された「資源管理方針に関する検討会」および「水産政策審議会」を経て、このMSYを実現する親魚量（SBmsy：3,000トン）を目標管理基準値とする資源管理目標が定められた。また、過去最低の親魚量（1,500トン）が限界管理基準値、MSYの10%の漁獲量が得られる親魚量（100トン）が禁漁水準とされた。なお、平衡状態における平均親魚量と年齢別平均漁獲量、および管理基準値の関係（上田ほか2020）を図4-12に示す。

（10）資源の水準・動向および漁獲圧の水準

MSYを実現する親魚量と漁獲圧を基準にした神戸プロットを図4-13に示す。本系群における2022年漁期の親魚量は2,971トンであり、目標管理基準値としたMSYを実現する親魚量（SBmsy）を下回ったが、限界管理基準値である過去最低の親魚量（SBmin）を上回った。2022年漁期の親魚量は目標管理基準値の0.99倍である。また、2022年漁期の漁獲圧は、MSYを実現する漁獲圧（Fmsy）を下回っていた（Fmsyの0.54倍）。ここで、神戸プロットに示した漁獲圧の比（F/Fmsy）とはFmsy（雌のF）と、各年の雌のF値との比である。

親魚量の動向は、直近5年間（2018～2022年漁期）の推移から「減少」と判断される。本系群の漁獲圧は2004年以降Fmsyを下回っている。親魚量は1999～2003年漁期には目標管理基準値を下回っていたが、2004年以降、増減はあるものの、概ね目標管理基準値を上回っていた。しかし、2021年は、2005年以降で初めて目標管理基準値を下回り、2022年もほぼ同値となった。

5. 将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した 2022 年漁期の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2023～2033 年漁期までの将来予測計算を行った（補足資料 2）。将来予測における加入量は調査時点における雌雄 10 歳の現存尾数とした。2024 年の加入量は 2023 年のトロール調査結果に基づく 9 歳の現存尾数から遷移率を用いて予測した（補足資料 2）。2025 年の加入量は、2023 年のトロール調査における 8 歳（コホート解析では扱わない）の現存尾数から予測した（補足資料 2）。2026 年以降の加入量は 7 年前（2019 年～）の親魚量から予測される 10 歳の現存尾数を再生産関係式から与えた。加入量の不確実性として、対数正規分布に従う誤差を仮定し、10,000 回の繰り返し計算を行った。2023 年漁期の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2020-2022）に基づき仮定した。2024 年漁期以降の漁獲圧には、「資源管理方針に関する検討会」で取り纏められ「水産政策審議会」を経て定められた漁獲シナリオにおける漁獲管理規則を用いた。各漁期後に予測される親魚量をもとに漁獲管理規則で定められる漁獲圧と、各漁期年に予測される資源量から、漁獲量を算出した。本系群の親魚量は雌の漁期後資源量であり、当年の漁獲の制御は前年の親魚量に基づき行う。

(2) 漁獲管理規則

資源管理基本方針で定められた本系群の漁獲シナリオに則った漁獲管理規則を図 5-1 に示す。漁獲管理規則は、目標管理基準値以上に親魚量を維持・管理するため、親魚量が限界管理基準値を下回った場合には禁漁水準まで直線的に漁獲圧を削減する規則である。親魚量が限界管理基準値以上にある場合には F_{msy} に調整係数 β を乗じた漁獲圧とする。

(3) 2024 年漁期の予測値と ABC の算定

本系群の「資源管理方針に関する検討会」で取り纏められ「水産政策審議会」を経て定められた漁獲シナリオでは、親魚量が 2030 年漁期に目標管理基準値を 50%以上の確率で上回ることを前提とし、2021 年の漁獲量を 3,000 トン、2022 年以降は $\beta=0.8$ とする漁獲管理規則が用いられる。本系群では、この漁獲管理規則に基づき、 $\beta=0.8$ を用いて算定される 2024 年漁期の予測漁獲量である 5,100 トンを ABC として提示する（補足表 3-4）。なお、2023 年漁期に予測される親魚量は 4,416 トンと見込まれた（補足表 2-5）。

(4) 2025 年漁期以降の予測

2025 年以降も含めた将来予測の結果を図 5-2 および表 5-1、5-2、5-3 に示す。漁獲管理規則に基づく管理を 10 年間継続した場合、2030 年漁期の親魚量の予測値は 3,500 トン（80% 予測区間は 2,600～4,400 トン）であり、予測値が目標管理基準値を上回る確率は 71%、限界管理基準値を上回る確率は 100%である（補足表 3-5）。

参考情報として、異なる β を使用した場合、および現状の漁獲圧（F2020-2022）を継続した場合の将来予測結果についても補足表 3-5 に示す。2030 年漁期の親魚量の予測値は、 β を 0.6 とした場合は平均 4,300 トン（80%予測区間は 3,200～5,500 トン）、 β を 0.4 とした場合は平均 5,300 トン（80%予測区間は 4,000～6,700 トン）であり、目標管理基準値を上回る確率はそれぞれ 95%および 100%である。一方、現状の漁獲圧を継続した場合の親

魚量の予測値は 4,700 トン（80%予測区間は 3,500～5,900 トン）であり目標管理基準値を上回る確率は 98%である。

本海域におけるズワイガニの資源量は今後増加することが予測され、漁獲管理規則で漁獲した場合の 2025 年漁期予測漁獲量は 2000 年以降の最大値を上回る 7,000 トンと予測された。また、2025 年に予測される平均親魚量（8,400 トン）は本海域の初期資源量（SB0、6,000 トン、上田ほか 2020）を上回る。本年に推定された雌雄 9 齢の資源量は昨年度の予測値よりも高く、資源量が過大に推定されている可能性もある。そのため、2024、2025 年のように高い資源量、漁獲量が予測される場合は、資源量の不確実性による影響に特に留意し、不確実性の影響を低減させるような取り組みが必要である。

6. 資源評価のまとめ

本海域における長期的な資源水準の指標である標準化 CPUE は、雌雄ともに 1972 年以降低下した。1990 年代以降、標準化 CPUE は雌雄ともに上昇したが、いずれも 2007 年をピークに緩やかに低下し、2022 年は雌雄ともに 2000 年以降最低の水準であった。

トロール調査結果に基づくコホート解析により推定された 1999 年以降の資源量は、2003～2007 年まで増加傾向にあったが、2008～2015 年は減少傾向となり、2016 年以降は再び増加した。その後、2019 年から 2021 年にかけて減少したが、2023 年は大きく増加すると見込まれる。親魚量も資源量とほぼ同様に推移しており、親魚量の動向は直近 5 年間（2018～2022 年漁期）の推移から「減少」と判断される。2022 年の親魚量は SB_{msy} を下回っており、2022 年の漁獲圧は F_{msy} を下回っていた。

7. その他

(1) 省令および自主規制などによる資源の保護

ズワイガニは農林水産省令において、漁期や甲幅制限、また雌の未成熟個体や日本海大和堆における採捕禁止等が定められている。加えて A 海域では、漁期やサイズ規制について、漁業者の自主的な取り組みによって省令よりも厳しい制限を設けている（表 3-1）。さらに、単価が安く再生産に関与しにくいミズガニや、解禁直後に集中的に漁獲される雌ガニについては、1 航海当たりの漁獲量の上限を設定している（表 3-2）。

また、ズワイガニの産卵・育成場を確保するため、県や国によるコンクリートブロック等を用いた保護育成礁が A 海域の広い範囲に設置されていることに加え（Yamasaki 2002、森山 2011、三浦ほか 2014）、ズワイガニの脱皮時期と重なる底びき網漁業解禁（9 月）からズワイガニ解禁（11 月 6 日）までは、A 海域における水深 200～350 m の大部分で操業が自粛されている（上田ほか 2014）。

現状の漁獲圧は、上記のような資源保護の取り組みによって低く抑えられており、加入量の増減（図 4-8）に伴う資源量変動のもとでも親魚量は SB_{msy} の水準に保たれている（図 4-13）。一方、漁獲管理規則に基づく漁獲圧（ F_{msy} ）は現状の漁獲圧の 1.55 倍（補足表 3-4）となっており、漁獲管理規則に基づく 2024 年および 2025 年の予測漁獲量は 2000 年以降の最大値を上回る（表 5-3、図 5-2）。資源量はその後減少することが見込まれ、2024 年および 2025 年の資源量が過大であった場合、資源への悪影響が懸念される。

以上の状況を踏まえると、本資源の利用にあたっては漁獲管理規則から算定される ABC

に加えて、省令および自主規制などによる資源の保護を遵守した現状の漁獲圧による管理も今後の安定的な資源利用を図る上では重要である。

(2) 混獲死亡の低減

以上に述べたさまざまな規制が遵守される際、相当量の水揚げ対象外個体が、入網後に放流され、死亡していると考えられる（山崎ほか 2011、山崎・宮嶋 2013）。特に漁期に制限のあるミズガニ（海域により2~3月）および雌（11月および12月）は、漁期外に混獲されるすべての個体が放流対象となり、混獲死亡の影響が大きいと考えられる。

従来から、石川県、福井県および京都府では、ズワイガニ漁期外にアカガレイ等を漁獲対象とする際の、ズワイガニの混獲死亡を低減するために、底びき網の改良網が導入されている。改良網とは、底びき網のコッドエンドに漁獲物が到達する前に、遊泳力のあるアカガレイと遊泳力のないズワイガニを分離する構造を設けた網のことである。この改良網は、鳥取県および兵庫県の沖底船への導入が完了し、現在、さらに効果的な魚網の仕立て等の改良への検討が進められている。この改良網の使用を徹底し、混獲死亡を低減することが、ミズガニや小型個体等の生残率を高めるためには不可欠である。

A 海域のズワイガニは、解禁直後である11月の努力量が最も多く、12月以降は減少する。一方で、ミズガニを入網後に放流した場合の生残率は、11月が低く12月以降は上昇しており（山崎ほか 2011）、11月においてミズガニの混獲死亡が多くなっている（上田ほか 2016）。11月をはじめとして、混獲死亡を低減するための漁期の変更や操業方法等を検討していくことが必要である。

(3) 韓国による漁獲状況の把握

日本海では韓国も本系群を漁獲しており、韓国の漁獲対象は雄のみである。韓国の漁獲量（暦年）は1990年代後半から急増し、2007年には4,817トンとなったが、その後減少し2021年は1,974トンであった（図7-1、補足表6-1）。これらには韓国東岸や日韓暫定水域内に加え、我が国EEZ内（暫定水域外）における違法操業（水産庁境港漁業調整事務所HP）による漁獲も含まれていると考えられる。

また、本評価で行っているトロール調査では、日韓暫定水域内の調査点で韓国の漁獲サイズ（甲幅90mm以上）に相当する雄ガニがほとんど採集されず、本水域における雄ガニの資源状態は非常に悪いことが示唆されている。以上のことから、日韓漁業協定に基づき、両国間で建設的な協議が行われ、日韓暫定水域等における適切な資源管理措置が講じられることが必要である。

8. 引用文献

- Hirose, N., Takayama, K., Moon, J.-H., Watanabe, T., Nishida, T. (2013) Regional data assimilation system extended to the east Asian marginalgseas. UMI Sora (Sea and Sky), **89**, 1-9.
- Igeta, Y., C. Sassa, M. Takahashi, M. Kuga, S. Kitajima, T. Wagawa, S. Abe, C. Watanabe, T. Setou, H. Nakamura and N. Hirose (2023) Effect of interannual variations of Kuroshio-Tsushima Warm Current system on the transportation of juvenile Japanese jack mackerel (*Trachurus japonicus*) to the Pacific coast of Japan. Fish. Oceanogr., **32**, 133-146.

- 伊藤勝千代 (1968) 日本海におけるズワイガニの生態に関する研究 II. 稚蟹期の形態およびその分布について. 日水研報, **19**, 43-50.
- 伊藤勝千代 (1970) 日本海におけるズワイガニの生態に関する研究 III. 甲幅組成および甲殻硬度の季節変化から推測される年令と成長について. 日水研報, **22**, 81-116.
- 木下貴裕 (2009) ズワイガニ日本海系群. 平成 20 年度資源変動要因分析調査報告書, 水産庁増殖推進部漁場資源課・水産総合研究センター, 86-91.
- 今 攸 (1980) ズワイガニ *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius) の生活史に関する研究. 新潟大学理学部附属佐渡臨海実験所特別報告, **2**, 1-64.
- 今 攸・丹羽正一・山川文男 (1968) ズワイガニに関する研究-II. 甲幅組成から推定した脱皮回数. 日水誌, **34**, 138-142.
- 小西光一・養松郁子・廣瀬太郎・南 卓志 (2012) 日本海の中深層底棲魚に捕食されたズワイガニ属幼生と稚ガニの水深分布について. 日水誌, **78**, 976-978.
- 本多直人・井桁庸介・山本岳男・上田祐司・白井 滋 (2015) ズワイガニ幼生の分布特性の解明および加入量予測モデルの開発. 平成 27 年度資源変動要因分析調査報告書, 水産庁増殖推進部漁場資源課・水産総合研究センター, 70-71.
- 三浦 浩・伊藤 靖・下山宗生・澤田竜美・本田耕一 (2014) 日本海西部地区におけるズワイガニ・アカガレイ保護育成礁の効果. 漁港漁場漁村総合研究所調査研究論文集, **24**, 55-60.
- 森山 充 (2011) ズワイガニ, アカガレイ保護礁の効果について. 水産工学, **47**, 223-225.
- 尾形哲男 (1974) 日本海のズワイガニ資源. 水産研究叢書, 26, 日本水産資源保護協会, 東京. 64pp.
- 上田祐司・藤原邦浩・筆谷拓郎・金岩 稔・原田泰志・岡本繁好・大谷徹也・太田武行 (2016) 大臣管理漁業等の資源管理計画および資源管理措置にかかる調査 沖合底びき網漁業の資源管理計画に係る調査 (対象魚種: ズワイガニ・アカガレイ), 平成 27 年度資源管理指針等高度化推進事業報告書, 水産庁資源管理部管理課・水産総合研究センター, 1-36.
- 上田祐司・藤原邦浩・志村 健・大谷徹也・木下貴裕 (2014) ズワイガニの保護区設置状況と資源の分布の関係. 東北底魚研究, **34**, 119-122.
- 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 (2020) 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. 水産庁・水産研究・教育機構. FRA-SA2020-BRP02-01.
- Ueda Y., M. Ito, T. Hattori, Y. Narimatsu and D. Kitagawa (2009) Estimation of terminal molting probability of snow crab *Chionoecetes opilio* using instar- and state-structured model in the waters off the Pacific coast of northern Japan. Fish. Sci., **75**, 47-54.
- Yamamoto T., T. Yamada, H. Fujimoto and K. Hamasaki (2014) Effect of temperature on snow crab (*Chionoecetes opilio*) larval survival and development under laboratory conditions. J. Shellfish Res., **33**, 19-24.
- Yamamoto T., T. Yamada, T. Kinoshita, Y. Ueda, H. Fujimoto, A. Yamasaki and K. Hamasaki (2015) Effect of temperature on growth of juvenile snow crabs *Chionoecetes opilio*, in the laboratory. J. Crustacean Biol., **35**, 140-148.

- Yamamoto T., T. Yamada, T. Kinoshita, Y. Ueda, A. Yamasaki and K. Hamasaki (2018) Moulting and growth in earlier and later moulters of adolescent male snow crabs (*Chionoecetes opilio*) (Brachyura: Majoidea) under laboratory conditions. *Invertebrate Reproduction & Dev.*, **62**, 49-55.
- Yamasaki A. (2002) Establishment of preserved area for snow crab *Chionoecetes opilio* and consequent recovery of the crab resources. *Fish. Sci.*, **68**, suppl. II, 1699-1702.
- 山崎 淳 (1996) 日本海における雄ズワイガニの漁獲サイズ. *日水誌*, **62**, 623-630.
- 山崎 淳・桑原昭彦 (1991) 日本海における雄ズワイガニの最終脱皮について. *日水誌*, **57**, 1839-1844.
- 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.
- 山崎 淳・篠田正俊・桑原昭彦 (1992) 雄ズワイガニの最終脱皮後の生残率推定について. *日水誌*, **58**, 181-186.
- 全国底曳網漁業連合会 (2022) 2021 年度日本海ズワイガニ漁獲結果総まとめ資料. 全国底曳網漁業連合会, 東京.



図 2-1. ズワイガニ日本海系群 A 海域の分布

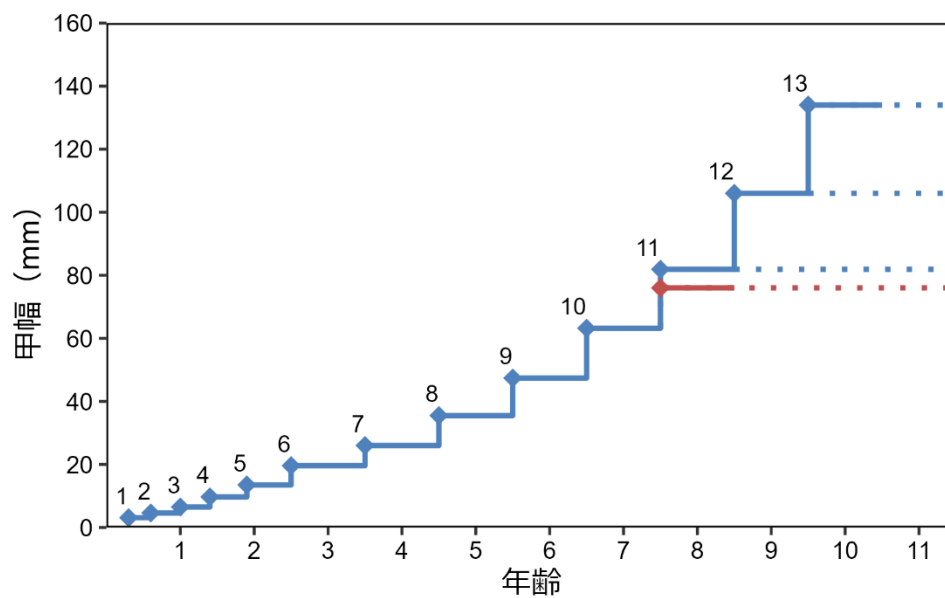


図 2-2. ズワイガニの年齢、脱皮年齢および甲幅の関係

雄・雌をそれぞれ青線および赤線にて示した。雄・雌の実線、点線はそれぞれミズガニ、カタガニ、およびアカコ、クロコを、数字は脱皮年齢を示す。10 歳までは雌雄共通である。

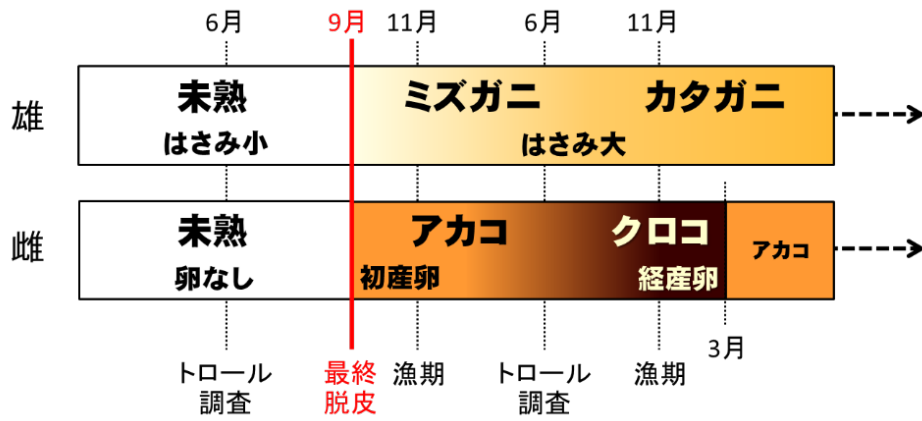


図 2-3. ズワイガニの生活史と漁獲の模式図

- ・ ミズガニ：脱皮後 1 年未満の雄。
- ・ カタガニ：脱皮後 1 年以上経過した雄。
- ・ アカコ：橙色の外卵を腹部に有する雌。
- ・ クロコ：茶褐色から黒紫色の外卵を持つ雌。

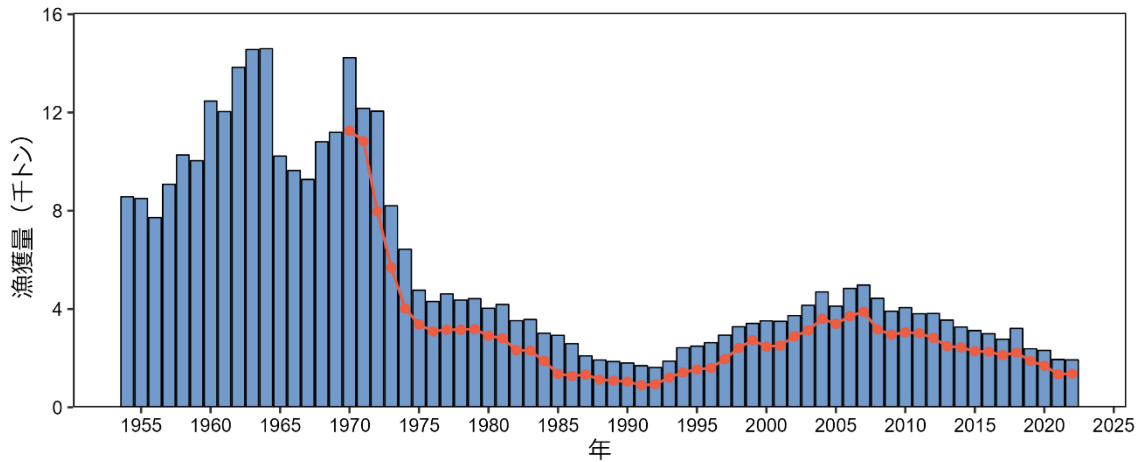


図 3-1. 漁業・養殖業生産統計年報(農林統計)に基づく漁獲量(暦年、棒グラフ) および沖底の漁獲成績報告書による漁獲量(漁期年、赤折れ線)

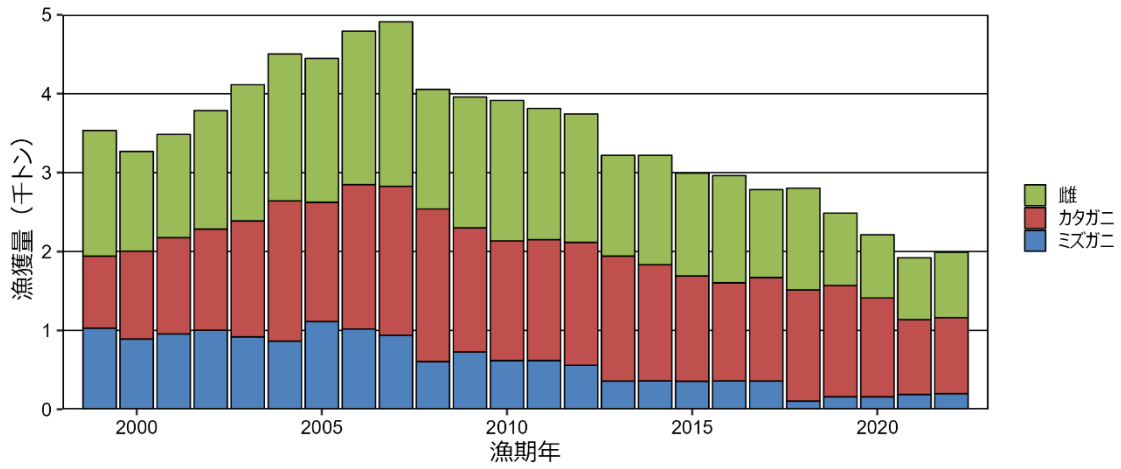


図 3-2. 雌雄別（雄はカタガニ・ミズガニ別）の漁獲量（漁期年、県統計）

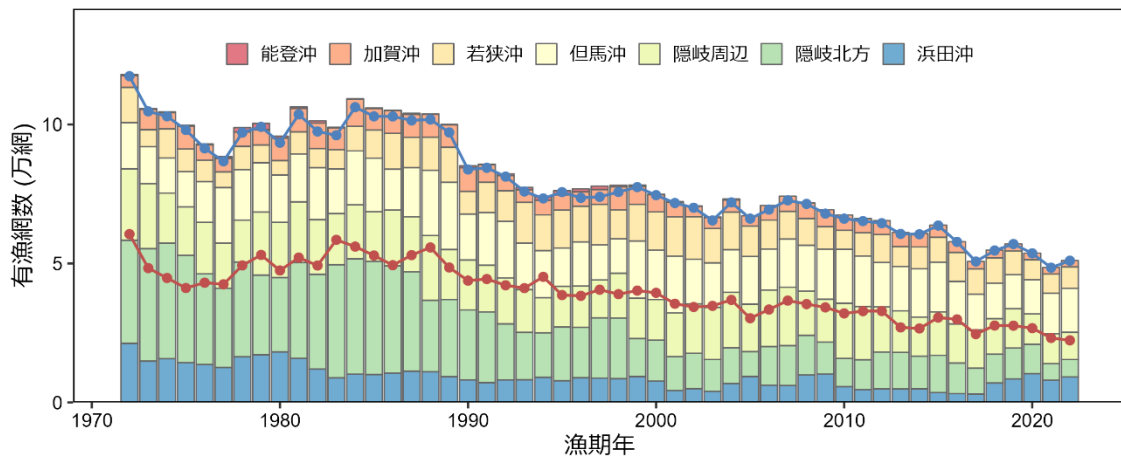


図 3-3. 沖底の漁獲成績報告書に基づく有漁網数 雄（折れ線、青）、雌（折れ線、赤）および雄雌込み（棒グラフ、小海区別）の値を示す。

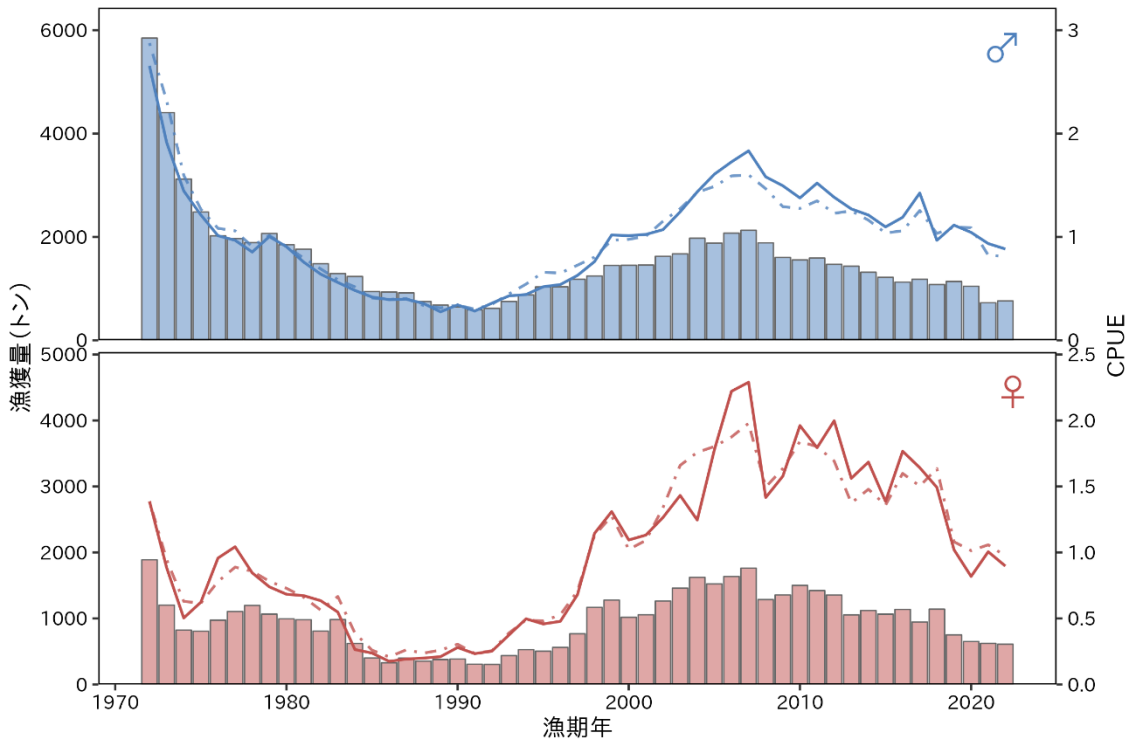


図 4-1. 沖底漁績にもとづく雌雄別漁獲量（棒グラフ）、標準化 CPUE（実線）およびノミナル CPUE（破線） 標準化 CPUE およびノミナル CPUE はいずれも平均値で除して基準化した値を示す。

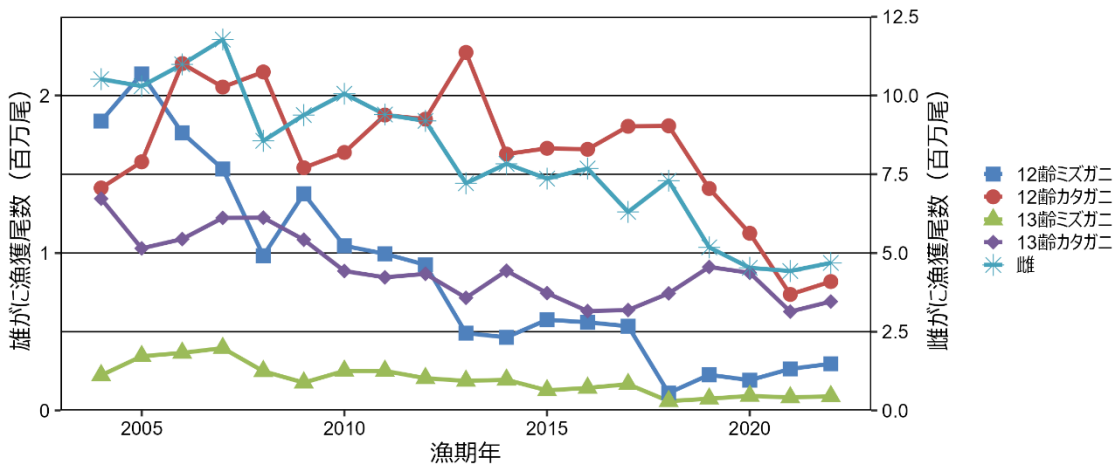


図 4-2. 本海域における銘柄別漁獲尾数

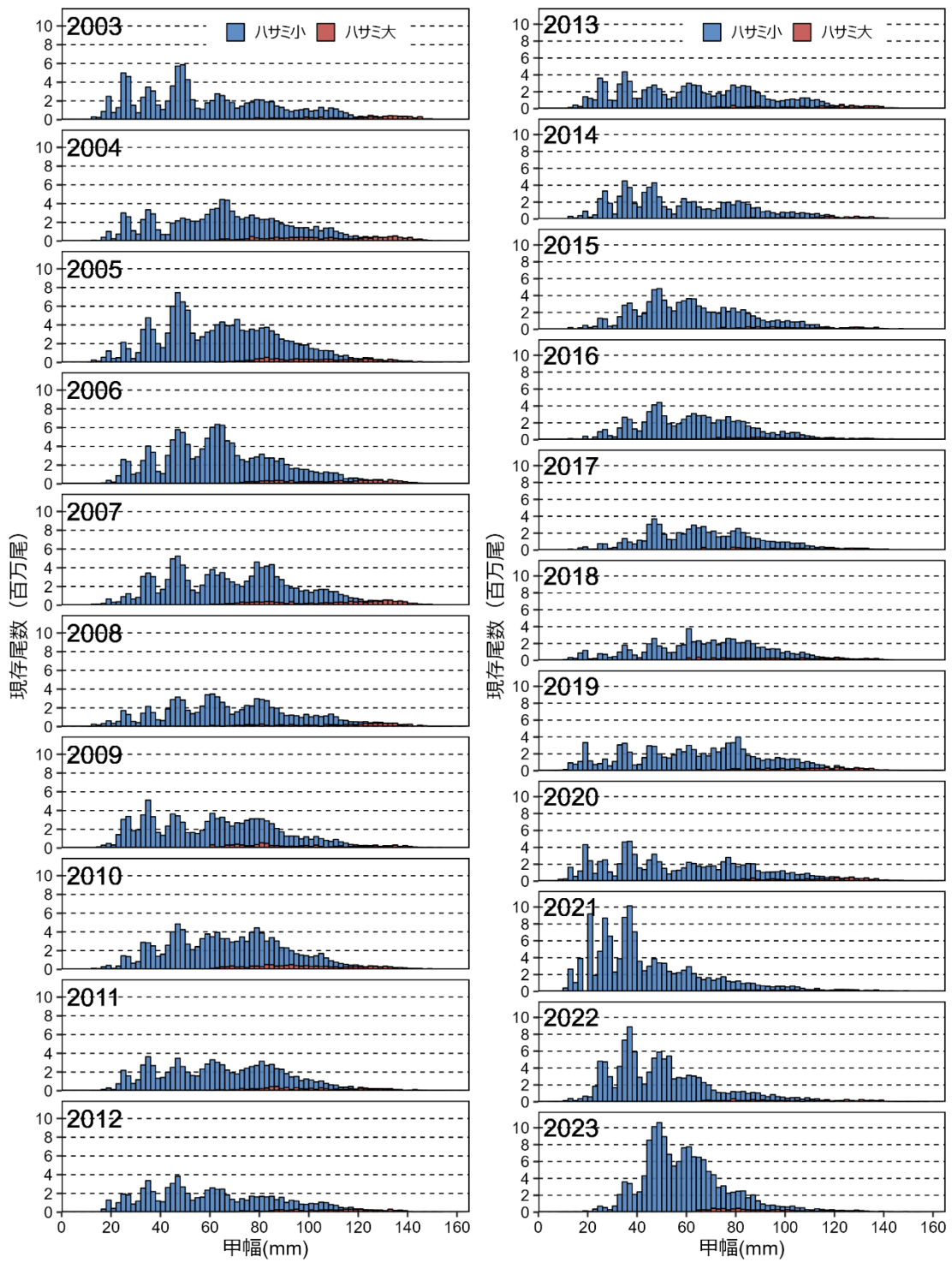


図 4-3. トロール調査から推定された雄の甲幅組成

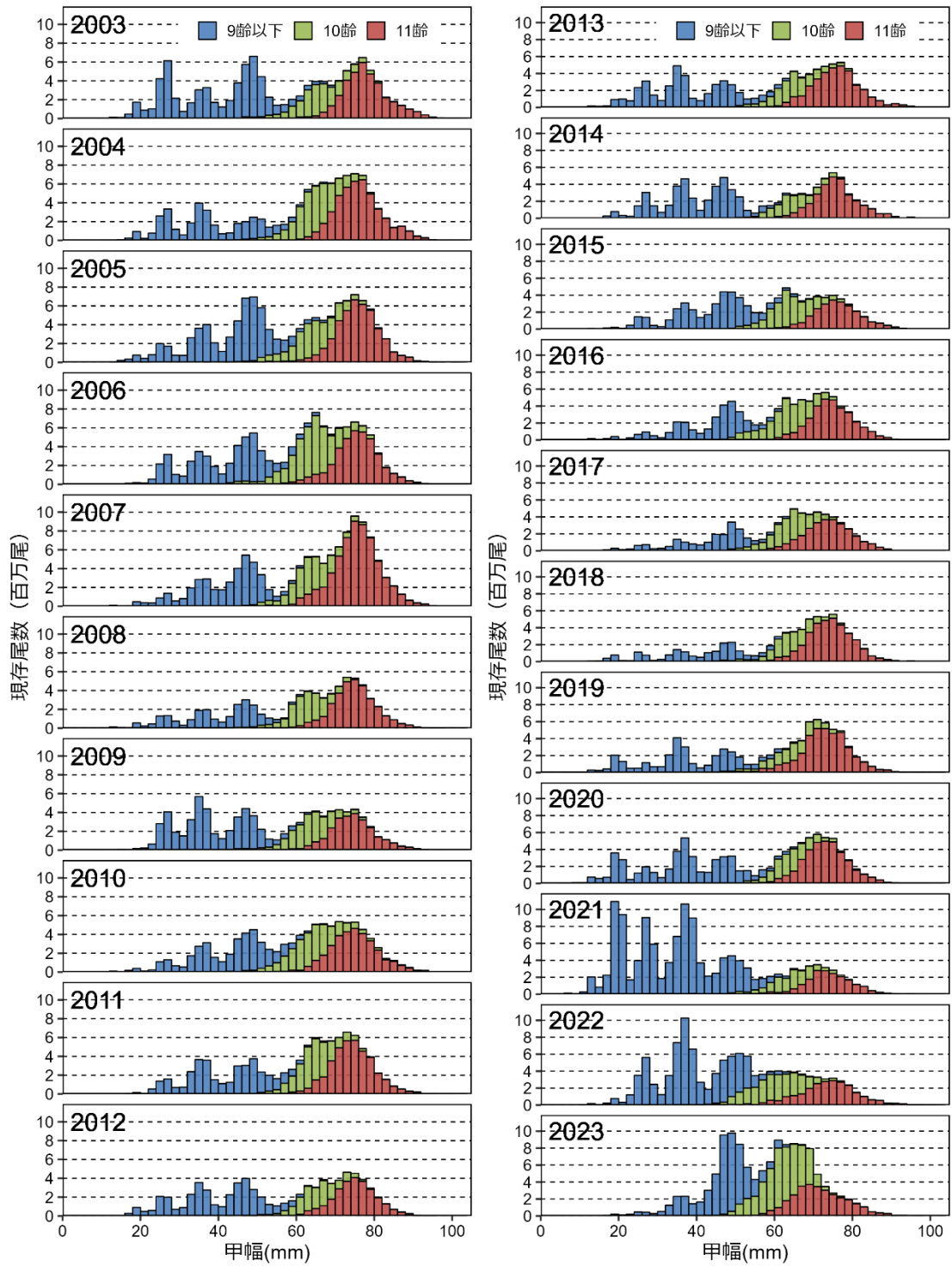


図 4-4. トロール調査から推定された雌の甲幅組成

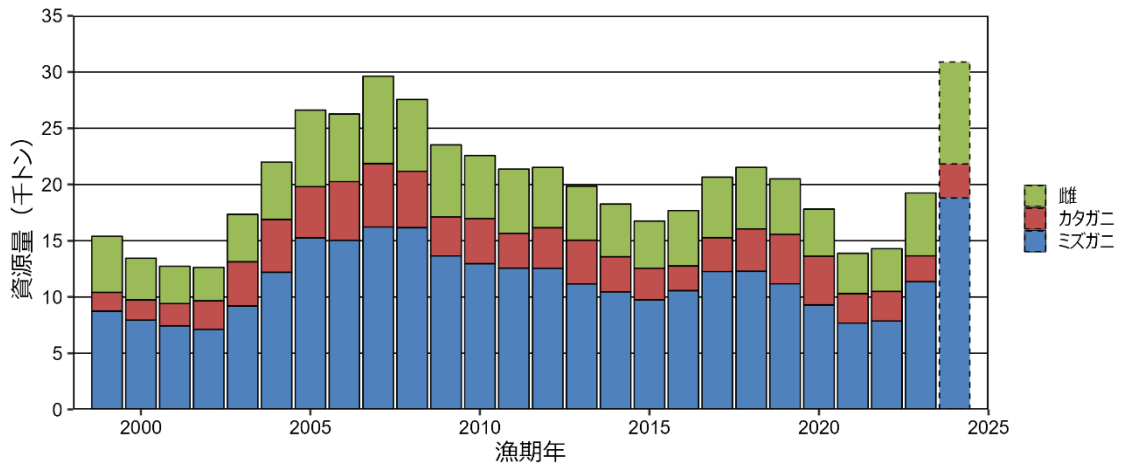


図 4-5. トロール調査結果に基づくコホート解析により推定された漁期開始時点の資源量
 ミズガニとカタガニは 12 歳と 13 歳の合計を、雌は 11 歳をそれぞれ示す。
 2024 年は、2023 年の 10 歳以上の年齢別資源尾数等から前進計算により求めた予測値。

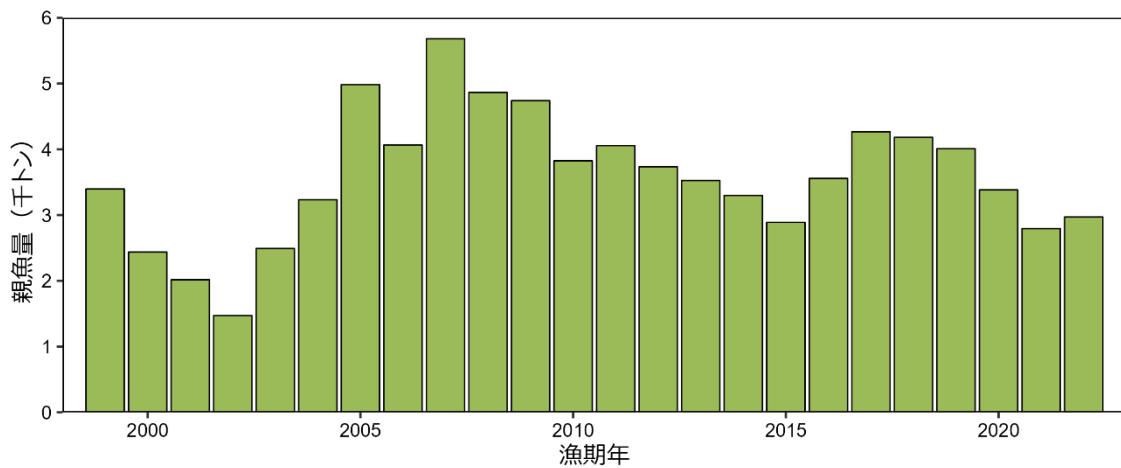


図 4-6. 親魚量の経年変化 本海域の親魚量は雌の漁期後資源量である。

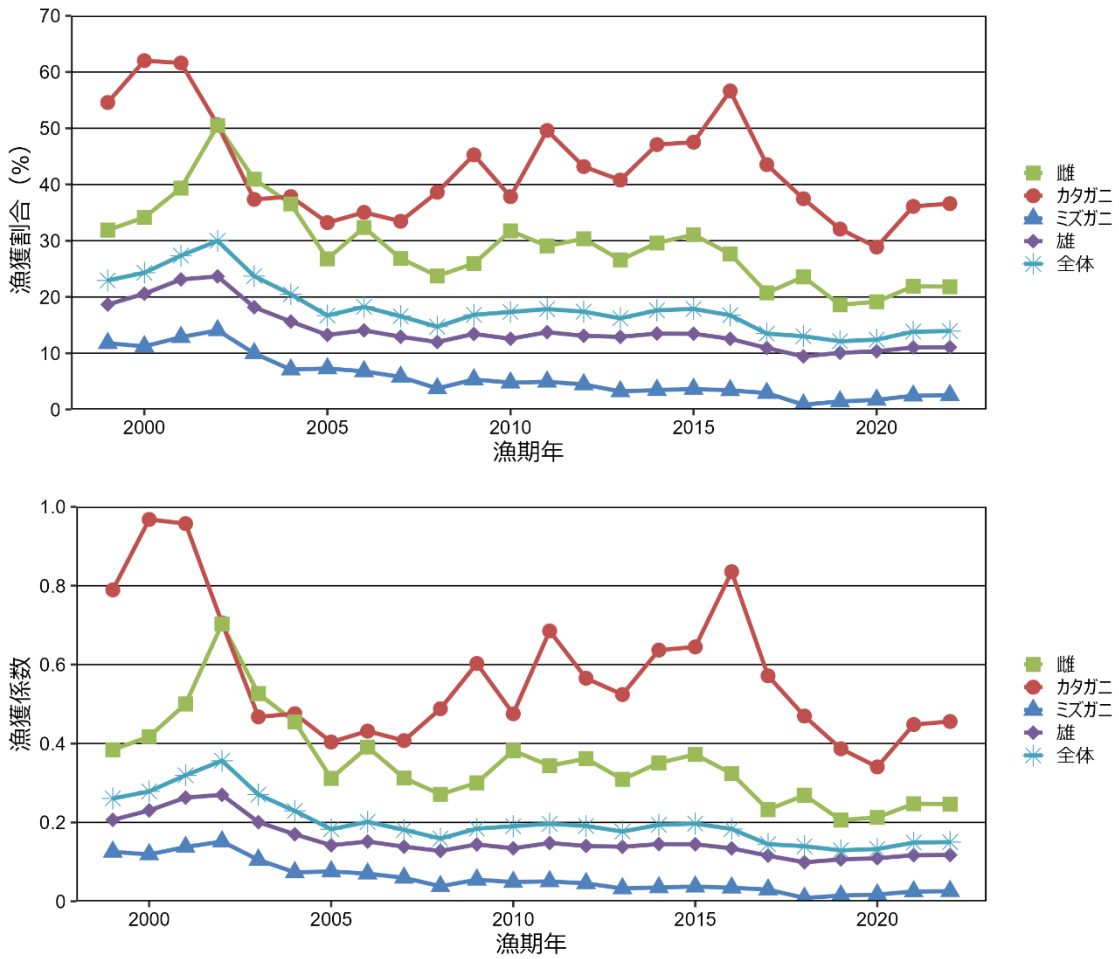


図 4-7. 漁獲割合（上図）と漁獲係数（F）（下図）

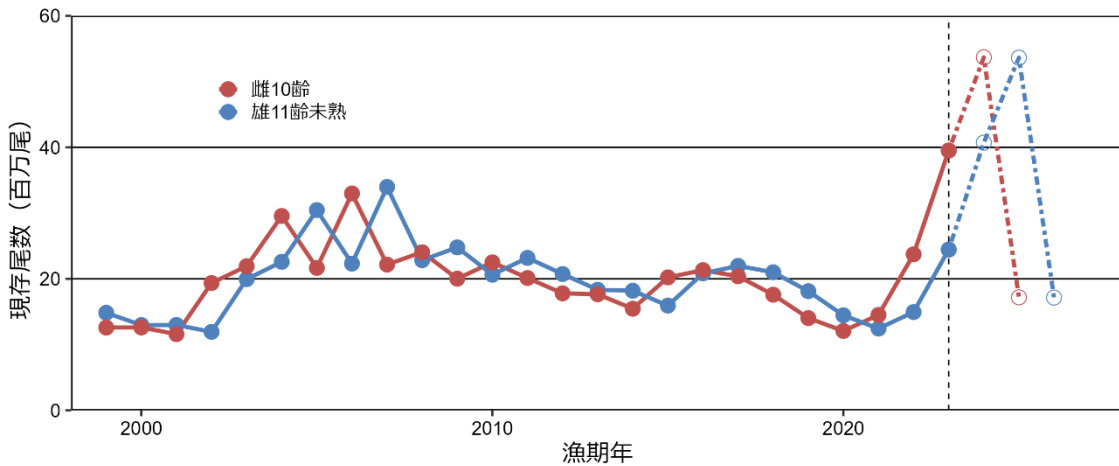


図 4-8. 雄 11 歳および雌 10 歳の加入尾数 点線は将来予測に用いる値を示し、2023 年の 8 歳および 9 歳の現存尾数からそれぞれ求めた。トロール調査（5～6 月）における雌 11 歳のうち、2023 年漁期に漁獲加入する個体と 2022 年漁期以前に漁獲加入していた個体の判別は不可能であり、2023 年漁期の雌の漁獲加入尾数は不明である。従って、雌では 10 歳の現存尾数を加入尾数とした。

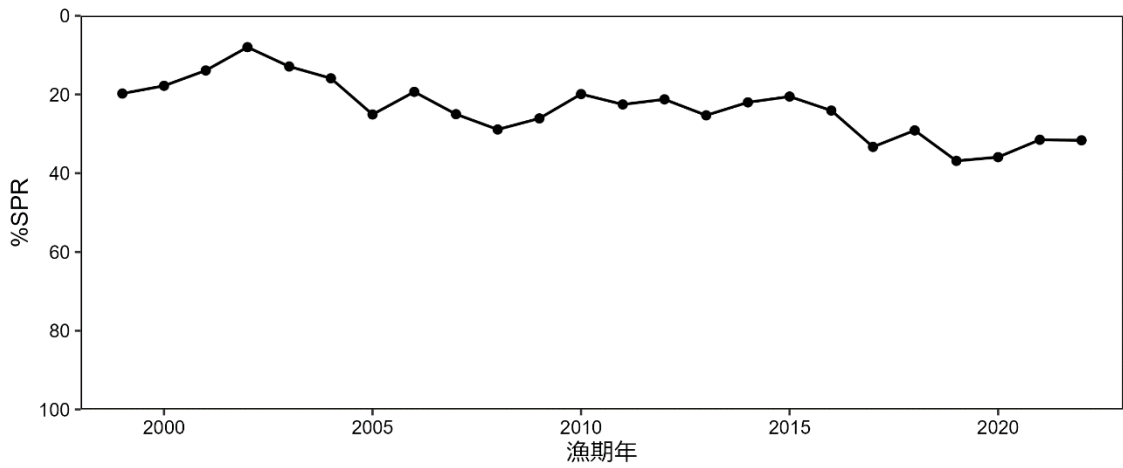


図 4-9. 漁獲が無かったと仮定した場合の SPR に対する、漁獲があった場合の SPR の割合 (%SPR) の推移

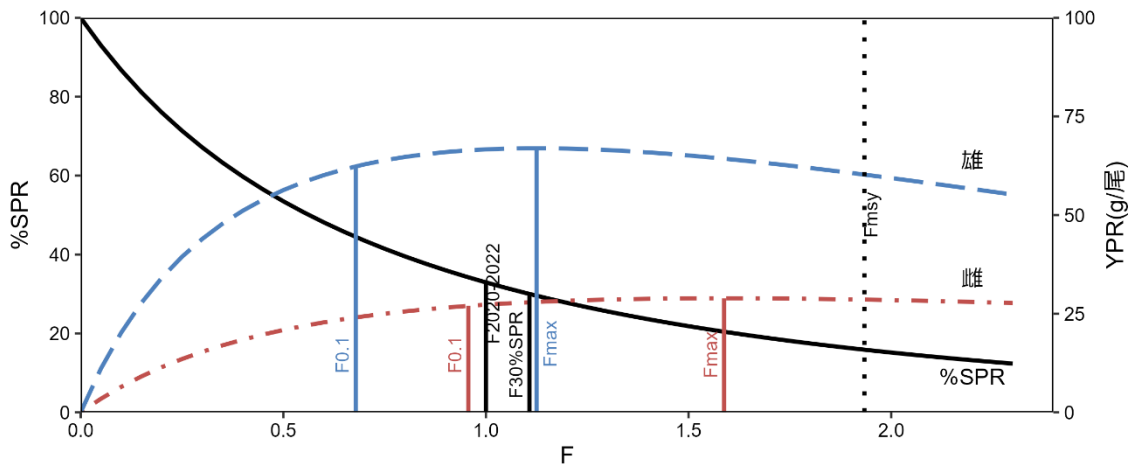


図 4-10. 現状の漁獲圧 (F2020-2022) に対する YPR (雌雄別) と%SPR の関係

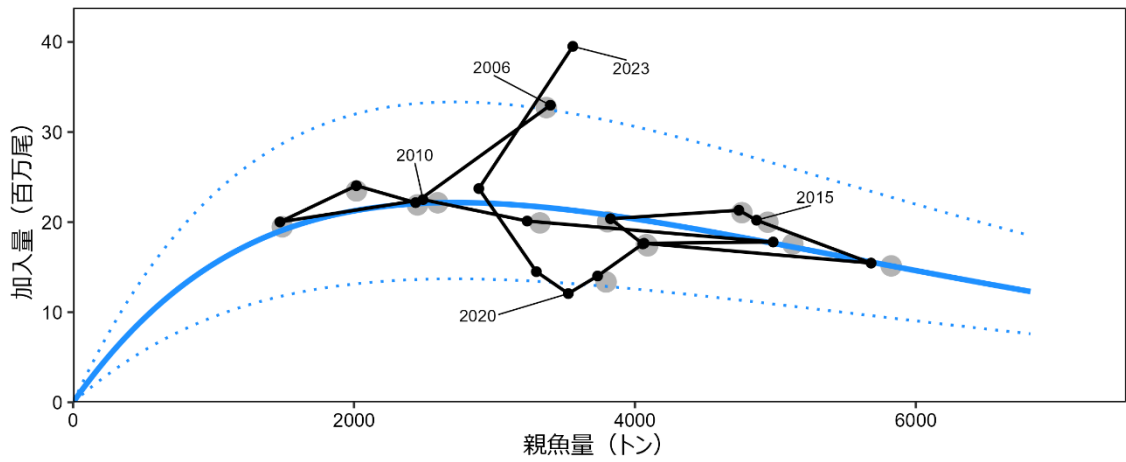


図 4-11. 親魚量と加入量の関係（再生産関係） 令和 2 年 4 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（上田ほか 2020）で提案された再生産関係式。青実線および破線は採択されたリッカー型再生産関係式、および観測データの 90%が含まれると推定される範囲。灰色丸印は再生産関係を求めるのに使用した令和元年資源評価における 1999～2012 年の親魚量と 2006～2019 年の加入量を示す。黒点は親魚量および加入量の観測値。図中の数字は加入年を示す。本海域では加入（10 齢）までの期間を 7 年と仮定しており、1999～2016 年における親魚量が、2006～2023 年の加入量に対応する。

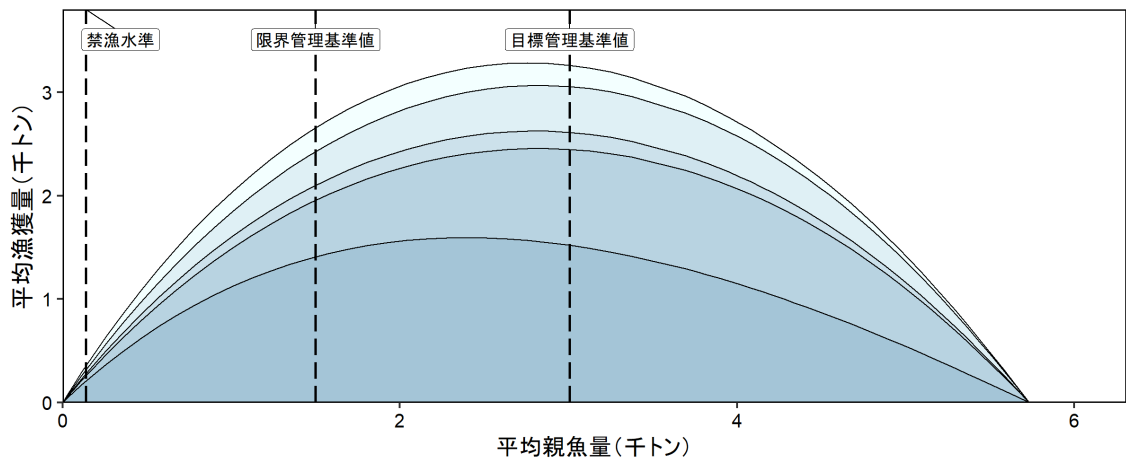


図 4-12. 目標管理基準値、限界管理基準値および禁漁水準と、平衡状態における平均親魚量と年齢別平均漁獲量との関係

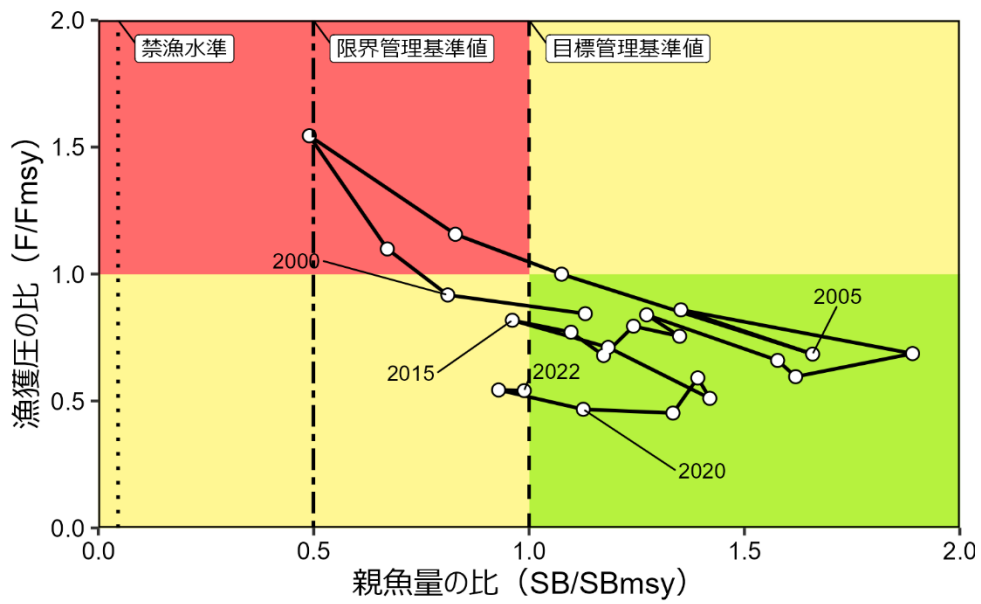
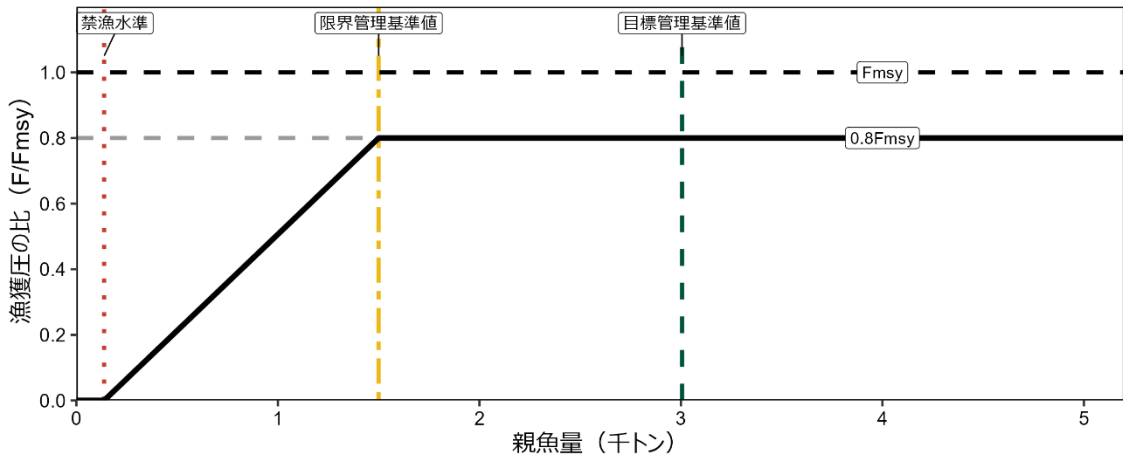


図 4-13. 最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy) と MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) に対する過去の親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)

(a) 縦軸を漁獲圧にした場合



(b) 縦軸を漁獲量にした場合

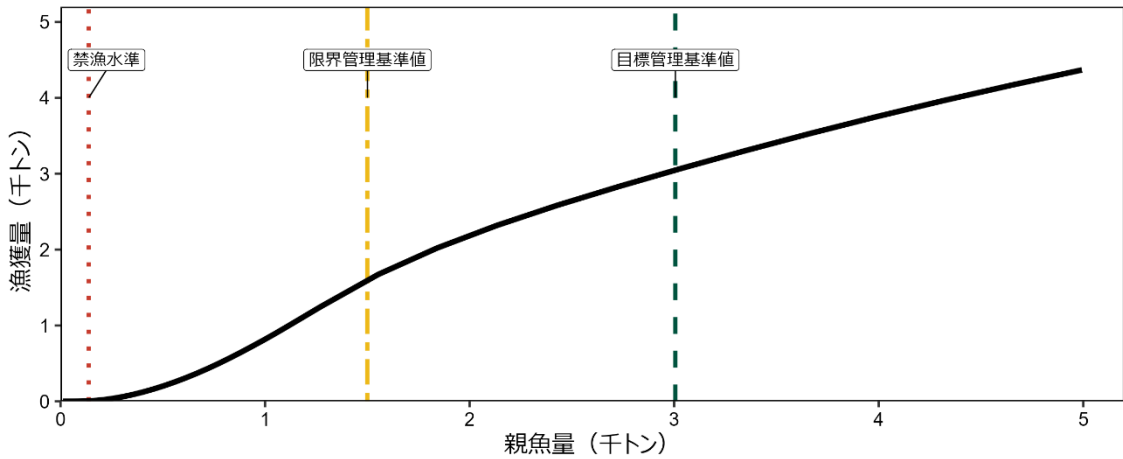


図5-1. 漁獲管理規則($\beta=0.8$) 黒太線は漁獲管理規則、黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、赤点線は禁漁水準、黄色一点鎖線は限界管理基準値、緑色破線は目標管理基準値を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。

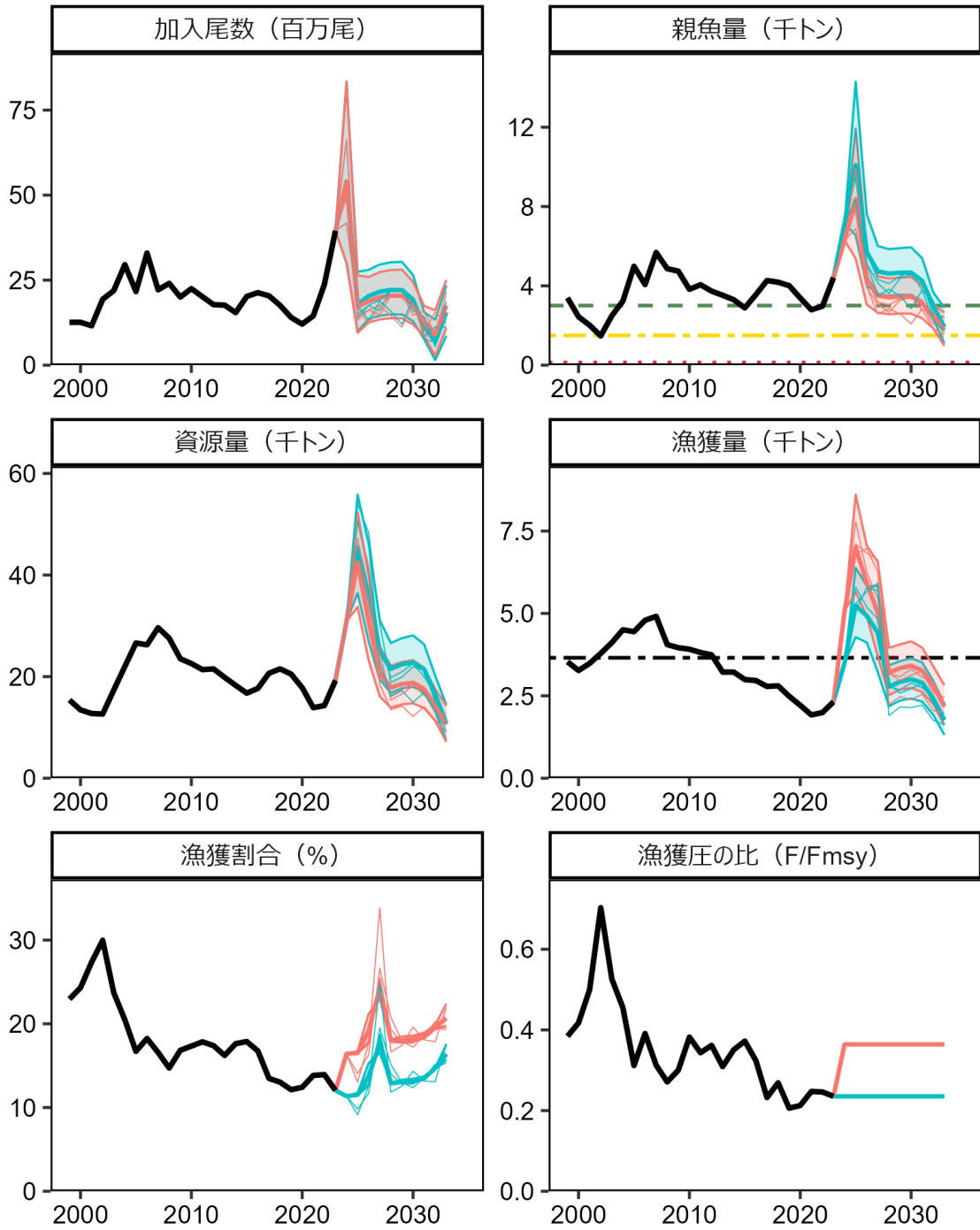


図 5-2. 漁獲シナリオで定められた管理基準値に基づく漁獲管理規則を用いた将来予測（赤色）と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測（青色）
 実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の90%が含まれる90%予測区間、細線は3通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値、黄一点鎖線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準、漁獲量の図の一点鎖線はMSYを示す。2023年の漁獲量は予測される資源量とF2020-2022により仮定した。調整係数 β には0.8を用いた。

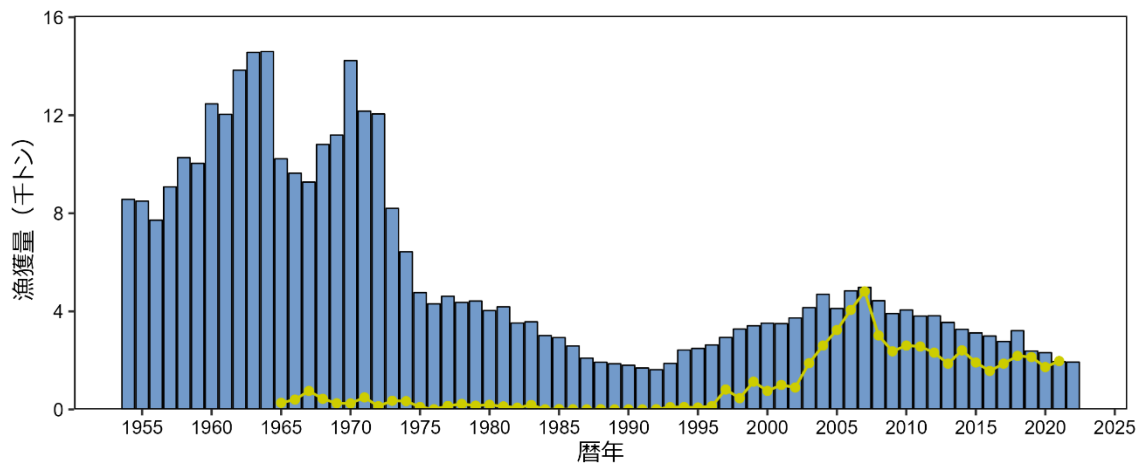


図 7-1. 漁業・養殖業生産統計年報（農林統計）に基づく A 海域全体の漁獲量（棒グラフ）および韓国における漁獲量（折れ線グラフ、いずれも暦年集計）

表 3-1. 漁期規制およびサイズ規制 (2022 年)

		漁期		漁獲規制 (サイズは甲幅)	
省令		11月6日～3月20日		90 mm以上	
		(ミズガニ)	(カタガニ)	(ミズガニ)	(カタガニ)
雄	自主規制	鳥取・兵庫・島根	2月1日～2月末日	省令に同じ	105 mm以上
		京都	禁漁	省令に同じ	禁漁
		福井	2月19日～3月20日	省令に同じ	100 mm以上
		石川	禁漁	省令に同じ	禁漁
省令		11月6日～1月20日		成熟ガニ	
雌	自主規制	鳥取・兵庫・島根 福井・京都・石川	11月6日～12月31日	クロコ・70 mm以上	
雄雌	自主規制	鳥取・兵庫・島根	11月の公休日の設定 ・32時間以上の在港を3回以上		

表 3-2. 本海域におけるミズガニおよびクロコの1航海あたり漁獲量自主規制 (2022 年)

航海時間	漁獲量上限	
	ミズガニ	クロコ
24時間未満	800尾 (300尾)	5,000尾 (3,500尾)
48時間未満	1,600尾 (500尾)	8,000尾 (6,000尾)
48時間以上	2,300尾 (1,000尾)	16,000尾 (12,000尾)

() 内は兵庫・鳥取・島根の各県における規制尾数。

表 3-3. 日本海沖底の有漁網数と標準化 CPUE

漁期年	有漁網数			標準化 CPUE	
	雄	雌	雌雄	雄	雌
1972	117,348	60,547	117,988	2.65	1.39
1973	104,689	48,319	105,720	1.91	0.88
1974	102,916	44,766	104,528	1.44	0.50
1975	97,996	41,157	99,715	1.21	0.62
1976	91,393	43,075	92,986	1.01	0.96
1977	86,725	42,497	88,417	0.97	1.04
1978	97,058	49,282	98,862	0.85	0.85
1979	99,122	53,054	100,362	1.00	0.74
1980	93,406	47,464	95,785	0.91	0.68
1981	103,606	52,094	106,293	0.76	0.67
1982	97,456	49,254	101,302	0.64	0.64
1983	96,094	58,488	98,994	0.56	0.55
1984	106,193	56,053	109,238	0.48	0.26
1985	102,896	52,854	105,901	0.42	0.24
1986	102,871	49,368	105,088	0.39	0.18
1987	101,440	52,987	104,008	0.40	0.19
1988	101,773	55,748	103,799	0.36	0.20
1989	97,112	48,540	99,927	0.27	0.21
1990	83,788	43,814	85,118	0.34	0.28
1991	84,385	44,395	85,715	0.28	0.23
1992	81,231	42,149	82,189	0.36	0.25
1993	75,886	41,122	77,325	0.43	0.37
1994	73,380	45,178	74,058	0.44	0.50
1995	75,653	38,617	76,165	0.52	0.46
1996	73,581	38,348	76,838	0.54	0.48
1997	73,952	40,553	77,808	0.63	0.68
1998	75,683	38,955	78,083	0.76	1.15
1999	77,450	40,230	78,205	1.02	1.31
2000	74,557	39,436	74,905	1.01	1.09

表 3-3. 日本海沖底の有漁網数と標準化 CPUE (続き)

漁期年	有漁網数			標準化 CPUE	
	雄	雌	雌雄	雄	雌
2001	71,722	35,499	72,273	1.02	1.13
2002	70,026	34,345	70,674	1.07	1.27
2003	65,477	34,740	66,733	1.24	1.43
2004	71,948	36,893	73,190	1.44	1.25
2005	66,110	30,285	67,159	1.61	1.78
2006	69,363	33,421	70,846	1.73	2.22
2007	72,698	36,637	74,195	1.83	2.29
2008	71,413	35,379	71,738	1.58	1.42
2009	67,901	34,198	69,324	1.49	1.58
2010	66,095	32,037	67,429	1.38	1.96
2011	65,222	32,847	66,122	1.52	1.79
2012	64,477	32,879	65,381	1.38	2.00
2013	60,607	26,993	61,136	1.27	1.56
2014	60,492	26,617	60,786	1.21	1.68
2015	63,626	30,539	63,789	1.10	1.39
2016	57,752	29,884	57,831	1.19	1.77
2017	50,686	24,593	50,741	1.42	1.64
2018	54,645	27,668	54,789	0.97	1.49
2019	56,981	27,615	57,046	1.11	1.02
2020	53,637	26,715	53,711	1.04	0.82
2021	48,474	23,200	48,546	0.94	1.01
2022	50,980	22,348	51,059	0.88	0.90

表 5-1. 将来の親魚量が目標・限界管理基準値を上回る確率 (%)

a) 目標管理基準値を上回る確率 (%)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1.0	0	100	100	100	73	36	31	33	34	19	4	3
0.9	0	100	100	100	83	55	50	52	52	34	6	4
0.8	0	100	100	100	91	74	69	71	71	53	11	5
0.7	0	100	100	100	96	88	85	86	86	73	19	6
0.6	0	100	100	100	99	96	95	95	95	88	31	7
0.5	0	100	100	100	99	99	99	99	99	97	46	8
0.4	0	100	100	100	100	100	100	100	100	99	64	10
0.3	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	81	11
0.2	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	12
0.1	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	14
0.0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	17
F2020-2022	0	100	100	100	99	99	98	98	98	95	43	8

b) 限界管理基準値を上回る確率 (%)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	94	57
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	59
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	61
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	63
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	65
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	68
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	71
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	77
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	84
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98
F2020-2022	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	67

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測結果を示す。2023 年は現状の漁獲圧 (F2020-2022) とし、2024 年から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 ($\beta = 0.52$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則による管理開始時の親魚参照年 (2020 年) から 10 年後を示す。

表 5-2. 将来の平均親魚量 (千トン)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1.0	3.0	4.4	5.7	7.3	3.6	2.9	2.8	2.8	2.8	2.5	2.1	1.7
0.9	3.0	4.4	6.0	7.8	4.0	3.2	3.1	3.1	3.1	2.8	2.3	1.7
0.8	3.0	4.4	6.3	8.4	4.4	3.5	3.4	3.5	3.5	3.1	2.4	1.8
0.7	3.0	4.4	6.6	8.9	4.8	3.9	3.8	3.8	3.8	3.5	2.6	1.8
0.6	3.0	4.4	6.9	9.6	5.3	4.3	4.2	4.3	4.3	3.9	2.8	1.9
0.5	3.0	4.4	7.2	10.2	5.8	4.8	4.7	4.7	4.8	4.3	3.0	1.9
0.4	3.0	4.4	7.5	10.9	6.4	5.4	5.2	5.3	5.3	4.8	3.2	2.0
0.3	3.0	4.4	7.9	11.7	7.0	6.0	5.8	5.9	5.9	5.4	3.5	2.1
0.2	3.0	4.4	8.3	12.5	7.7	6.7	6.5	6.6	6.6	6.1	3.8	2.2
0.1	3.0	4.4	8.7	13.3	8.5	7.4	7.3	7.4	7.4	6.8	4.2	2.3
0.0	3.0	4.4	9.1	14.2	9.3	8.3	8.2	8.3	8.3	7.6	4.6	2.4
F2020-2022	3.0	4.4	7.2	10.1	5.7	4.7	4.6	4.7	4.7	4.3	3.0	1.9

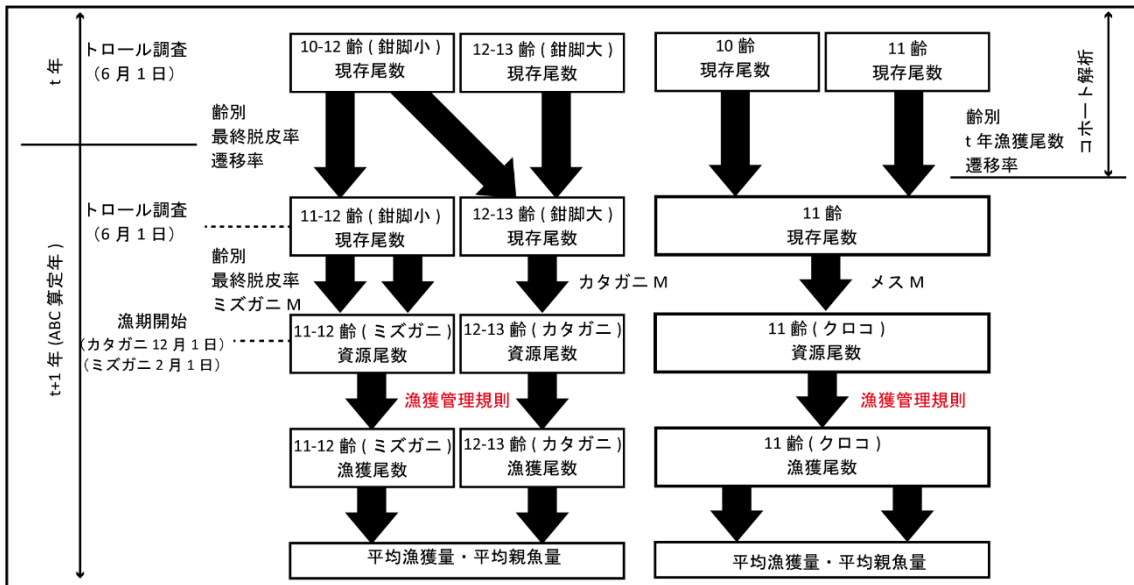
β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測結果を示す。2023 年は現状の漁獲圧 (F2020-2022) とし、2024 年から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 ($\beta = 0.52$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則による管理開始から 10 年後を示す。

表 5-3. 将来の平均漁獲量 (千トン)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1.0	2.0	2.3	6.1	7.9	6.2	5.1	3.3	3.4	3.5	3.3	2.9	2.4
0.9	2.0	2.3	5.6	7.5	6.1	5.1	3.3	3.4	3.5	3.3	2.9	2.3
0.8	2.0	2.3	5.1	7.0	5.9	5.0	3.2	3.3	3.4	3.3	2.8	2.2
0.7	2.0	2.3	4.5	6.4	5.7	4.9	3.1	3.2	3.3	3.2	2.7	2.1
0.6	2.0	2.3	4.0	5.8	5.3	4.7	3.0	3.1	3.2	3.1	2.6	1.9
0.5	2.0	2.3	3.4	5.1	4.8	4.3	2.7	2.9	3.0	2.9	2.4	1.7
0.4	2.0	2.3	2.8	4.3	4.2	3.9	2.4	2.6	2.7	2.6	2.1	1.5
0.3	2.0	2.3	2.1	3.4	3.5	3.3	2.0	2.2	2.2	2.2	1.8	1.3
0.2	2.0	2.3	1.5	2.4	2.6	2.4	1.5	1.6	1.7	1.6	1.3	0.9
0.1	2.0	2.3	0.8	1.3	1.4	1.4	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.5
0.0	2.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F2020-2022	2.0	2.3	3.5	5.2	4.9	4.4	2.8	2.9	3.0	2.9	2.4	1.8

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測結果を示す。2023 年は現状の漁獲圧 (F2020-2022) とし、2024 年から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 ($\beta = 0.52$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則による管理開始から 10 年後を示す。

補足資料 1 資源評価の流れ



補足資料 2 資源計算方法

1. トロール調査による年別齢期別現存尾数を用いたコホート解析

ズワイガニではトロール調査による直接推定法により資源量を推定している。直接推定は漁業と独立に資源量が推定可能である一方、推定値はトロール調査の観測誤差の影響を受けており、観測誤差の影響を受けた資源量推定値に基づいて算定される ABC に対して不確実性を与えている。そこで、観測誤差の影響を低減するため、トロール調査による年別齢期別現存尾数（補足表 2-1）を用いてコホート解析を行った。

本方法では、解析期間の 1 年目の齢期別現存尾数および各年の加入尾数を起点とし、最終脱皮を考慮して前進計算を行う。計算過程を模式的に補足図 2-1 に示す。

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。脱皮状態 j と未熟・成熟、ミズガニ・カタガニ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

1999 (t) 年の 9~12 齢の現存尾数 ($R_{i,a,j,t}$) および 2000~2022 年 (t) の 9 齢の現存尾数 ($R_{i,a,1,t}$) を用いて、2000 ($t+1$) 年の 10~13 齢（雌は 9~11 齢）および 2001~2023 ($t+1$) 年の 10 齢の現存尾数を、以下の式を用いて前進計算した。

$$\text{未熟： } \hat{N}_{i,a+1,1,t+1} = (1 - \gamma_{i,a+1})(R_{i,a,1,t} - C_{i,a,1,t})S_{i,a,1} \quad (1)$$

$$\text{成熟： } \hat{N}_{i,a+1,2-3,t+1} = \gamma_{i,a+1}(R_{i,a,1,t} - C_{i,a,1,t})S_{i,a,1} + (R_{i,a+1,2-3,t} - C_{i,a,2-3,t})S_{i,a+1,2-3} \quad (2)$$

上式で $\gamma_{i,a}$ は a 齢に脱皮するときの最終脱皮率、 $C_{i,a,j,t}$ は t 年、 a 齢、脱皮状態 j の漁獲尾数である。

$S_{i,a}$ は t 年、 a 齢の資源尾数から ($t+1$) 年、① ($a+1$) 齢もしくは② a 齢の資源尾数への遷移率である。①のとき遷移率は、生残率に加え、 a 齢と ($a+1$) 齢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、②のときは、生残率のみを示した係数である。資源計算の際、齢別漁獲尾数と M 等から翌年の資源尾数を求めるのが通常であるが、A 海域では、漁獲を除いた生残率に混獲死亡や日韓暫定水域内の韓国の漁獲量を考慮する必要がある。現状では十分に考慮することが不可能であるため、遷移率を用いた計算を行っている。

$\gamma_{i,a}$ および $S_{i,a}$ はすべての年で一定とした。漁獲尾数 ($C_{i,a,j,t}$) は、雄では 12~13 齢成熟（カタガニ）、雌では 11 齢について用い、他の齢期については 0 とした。実際には雄 12 齢未熟ではミズガニとして漁獲されており、他の齢期でも混獲死亡があるが、これらはすべて遷移率に含めてパラメータとして推定した。

2001~2023 年の 11~13 齢（雌は 11 齢）の現存尾数を、以下の式を用いて順次前進計算した。

$$\text{未熟： } \hat{N}_{i,a+1,1,t+1} = (1 - \gamma_{i,a+1})(\hat{N}_{i,a,1,t} - C_{i,a,1,t})S_{i,a,1,t} \quad (3)$$

$$\text{成熟： } \hat{N}_{i,a+1,2-3,t+1} = \gamma_{i,a+1}(\hat{N}_{i,a,1,t} - C_{i,a,1,t})S_{i,a,1,t} + (\hat{N}_{i,a+1,2-3,t} - C_{i,a,2-3,t})S_{i,a+1,2-3,t} \quad (4)$$

計算された現存尾数 ($\hat{N}_{i,a,j,t}$) とトロール調査による現存尾数の観測値 ($N_{i,a,j,t}$) に関する尤度関数 (L) を (5) 式に示す。1999 (t) 年の 9~13 歳の現存尾数 ($R_{i,a,1,t}$)、2000~2023 年 (t) の 9 歳の現存尾数 ($R_{i,a,1,t}$)、最終脱皮率 ($\gamma_{i,a}$) および遷移率 ($S_{i,a,j}$) を推定パラメータとし、R v4.0.2 の optim 関数を用いて尤度関数 (L) を最大化する各パラメータを求めた。

$$L = \prod_i \prod_a \prod_j \prod_t \frac{1}{N_{i,a,j,t} \sqrt{2\pi\sigma_i^2}} \exp \left[-\frac{(\ln(\hat{N}_{i,a,j,t}) - \ln(N_{i,a,j,t}))^2}{2\sigma_i^2} \right] \quad (5)$$

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{AJT} \sum_a \sum_j \sum_t (\ln(\hat{N}_{i,a,j,t}) - \ln(N_{i,a,j,t}))^2 \quad (6)$$

9 歳と 10 歳は雄雌ともに未熟個体であり、未熟個体では雌雄の分布の違いはみられていない。したがって、パラメータ推定の際、9 歳と 10 歳の現存尾数は雌雄で同値とした。

雄の 13 歳については、トロール調査の観測誤差の影響は小さいと考えられること、また遷移率に年変化があると考えられることから、本解析から除き、観測値を ABC 算定に用いた。なお、雄 13 歳を解析から除いた場合でも、2024 年の現存尾数および将来予測のため雄 12 歳未熟の遷移率 ($S_{12,1}$) が必要である。そこで、遷移率の年変化が小さいと考えられる直近 5 年 (2018~2023 年) のみ (5) 式による 13 歳の尤度計算を行い、 $S_{12,1}$ を推定した。

現存尾数の推定値 ($\hat{N}_{i,a,j,t}$) の 90%信頼区間 ($\hat{N}_{i,a,j,t}^{\text{lower}}$ 、 $\hat{N}_{i,a,j,t}^{\text{upper}}$) を、以下のパラメトリックブートストラップ法によって求めた。

$$\mu_{i,a,j,t}^b = \ln(\hat{N}_{i,a,j,t}) + \varepsilon_{i,a,j,t}^b \quad (7)$$

$$\varepsilon_{i,a,j,t}^b \sim N(0, \sigma_i^2) \quad (8)$$

$$N_{i,a,j,t}^b = \exp(\mu_{i,a,j,t}^b) \quad (9)$$

ここで、b はブートストラップ標本を示す変数である (b=1, ..., B)。得られた $N_{i,a,j,t}^b$ を用いて、再び (3) ~ (6) 式によりパラメータ推定を行い $\hat{N}_{i,a,j,t}^b$ を得た。これを 1,000 回繰り返す (B=1,000)、得られた $\hat{N}_{i,a,j,t}^b$ のうち下から 50 番目を $\hat{N}_{i,a,j,t}^{\text{lower}}$ 、上から 50 番目を $\hat{N}_{i,a,j,t}^{\text{upper}}$ とした。

解析に用いた漁獲尾数 (C)、推定された遷移率 (S) および雄の最終脱皮率 (γ) を補足表 2-2 に、推定された各年の 9 歳および 1999 年の 10 歳の加入尾数 (R) を補足表 2-3 および 2-5 に、それぞれ示す。また、解析に用いられた齢期別現存尾数の観測値および推定値を補足図 2-2 に、これらの残差を補足図 2-3 に、それぞれ示す。

現状のデータから一年ずつ最新年データを削除して再解析を行うことでモデルの妥当性を評価するレトロスペクティブ分析の結果を補足図 2-4 に示す。年齢別のレトロスペクティブパターンはいずれも顕著でなく、推定結果は概ね安定していたが、最新年の雌雄 9 齢のみ、過小推定傾向が見られた。

2. 将来予測における加入量（10 齢）の仮定

本海域の資源計算では、トロール調査から得られる若齢個体の情報を利用することで、将来予測における直近の加入量の精度を高めることができる。2023 年の加入量はコホート解析結果から得られる 10 齢現存尾数であり、2024 年の加入尾数は 2023 年の 9 齢現存尾数と遷移率から求めた 10 齢現存尾数とした。

2025 年の加入尾数については、各年のトロール調査結果から得られている 8 齢現存尾数と、コホート解析結果から得られる 10 齢現存尾数の関係性に基づき、予測した。ズワイガニでは若齢時に共食いの影響を受けることが知られており、また調査では若齢個体がしばしば高密度でまとまって採集される。そこで、8 齢現存尾数と 10 齢加入量の関係における非線形性を考慮した以下の回帰式について、パラメータを最小絶対値法により求めた。最小絶対値法を用いることで、データの欠損や外れ値に対する頑健性が期待できる。

$$\ln(N_{10,t+2}) = \ln(\rho) + \tau \ln(N_{8,t}) \quad (10)$$

ここで $N_{10,t+2}$ および $N_{8,t}$ はそれぞれ予測年 $t+2$ の 10 齢加入量予測値および調査年 t の 8 齢現存尾数（雌雄平均値）である。調査の安定期に入った 2003 年以降のデータ（2003～2021 年の 8 齢、2005～2023 年の 10 齢）についてパラメータを求めたところ、 ρ および τ はそれぞれ 142.8 および 0.552 と推定され 2025 年の 10 齢加入尾数は雌雄ともに 1800 万尾と想定された。なお、加入に際しては、後述の通り 8 齢から混獲死亡の影響を受けるため、将来予測に実際に用いる加入量の値は上記の予測値と若干異なる。

3. 将来予測の方法

将来予測では、調査（6 月 1 日）および漁獲（ミズガニ：2 月 1 日、カタガニ：12 月 1 日、雌：11 月 1 日）は短期間のうちに行われると仮定した。自然死亡係数 M は、ミズガニでは 0.35（山崎 1996）、10 齢雌も脱皮後 1 年未満であるため 0.35、最終脱皮後であるカタガニと 11 齢雌は 0.2 とそれぞれ仮定した。脱皮は調査直後に起こると仮定した。

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）。従って、将来予測の際には混獲死亡の影響を考慮した。

① 漁獲加入までの混獲死亡の考慮

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 2023 年から 1 年後の 2024 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 ($F_{\text{current}}=0.144$: 2020~2022 年の F の平均) における値とし、以下のように求めた。

$$S_9 = \frac{1}{\exp(-\alpha F_{2020-2022})} \quad (5)$$

$$S_{8-9} = \frac{1}{\exp(-2\alpha F_{2020-2022})} \quad (6)$$

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 1.07 および 1.15 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。

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

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 ($F_{\text{current}}=0.14$: 2020~2022 年の F の平均) における値とし、以下のよう
に求めた。

$$S_{i,10,1} = S'_{i,10,1} \frac{1}{\exp(-2\alpha F_{2019-2021})} \quad (9)$$

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す。

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 ($F_{\text{current}}=0.41$: 2020~2022 年の F の平均) における値とし、以下のよう
に求めた。

$$S_{2,a,1} = S'_{2,a,1} \frac{1}{\exp(-\alpha F_{2020-2022})} \quad (10)$$

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、それぞれ 0.76、0.42 である。

③ 漁獲量および親魚量の計算

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。

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

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

$$\text{カタガニ} : N'_{2,a,3,t} = N_{2,a,2-3,t} \exp\left(-\frac{6}{12} M_{2-3}\right) \quad (13)$$

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。

$$B_{i,a,j,t} = N'_{i,a,j,t} w_{i,a,j} \quad (14)$$

$$Y_{i,a,j,t} = N'_{i,a,j,t} [1 - \exp(-F_{i,a,j,t})] w_{i,a,j} \quad (15)$$

上式で $w_{a,j}$ は体重を表し、甲幅組成解析で推定された齢別の甲幅組成とミズガニ・カタガニ別の甲幅－体重関係から、以下のような値を求めた。

12 齢ミズガニ ($w_{12,1-2}$) : 373 g、カタガニ ($w_{12,3}$) : 403 g

13 齢ミズガニ ($w_{13,1-2}$) : 728 g、カタガニ ($w_{13,3}$) : 799 g

また、雌 11 齢についても同様に値を求め、177 g とした。

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。

$$SB_{1,t} = B_{1,11,3,t} - Y_{1,t} \quad (16)$$

将来予測では、雌の F 値の F_{current} に対する比を、雄の F_{current} に乗じた値を、雄の F 値とした。漁獲物の齢期組成から重量変換した漁獲量と実際の漁獲量は完全には一致しないので、両者の差を補正する係数を求め (1.11、2018～2022 年の平均)、将来の漁獲量予測に使用した。

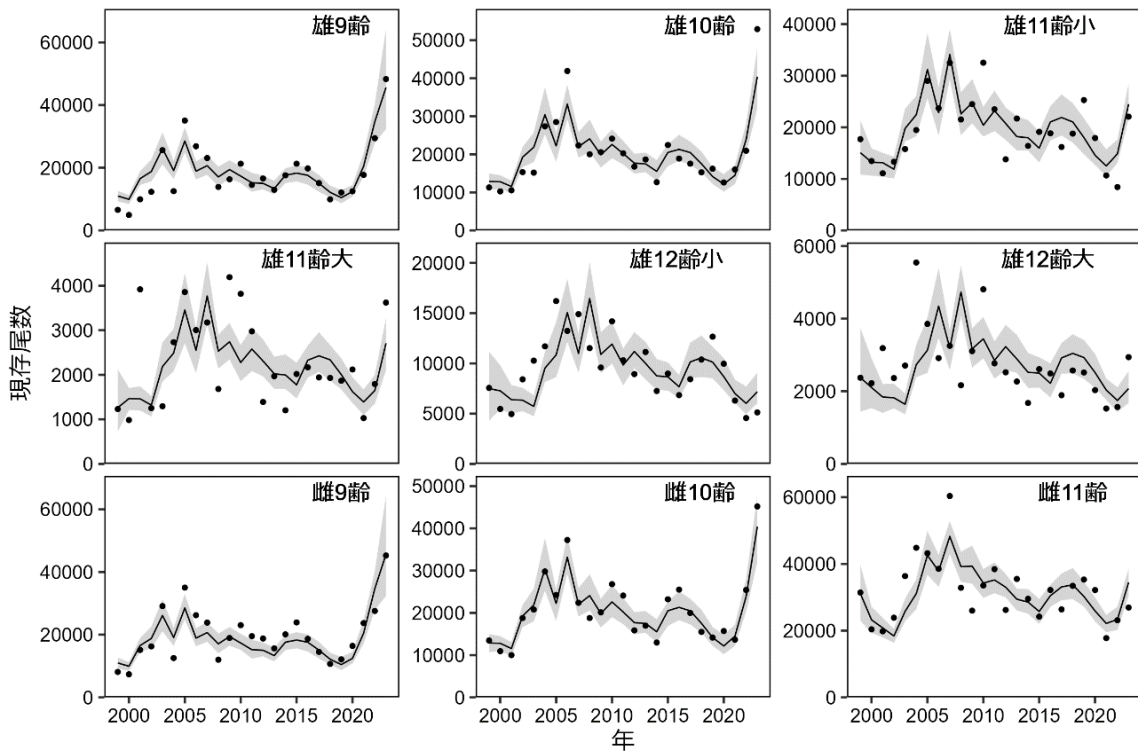
引用文献

- 山崎 淳 (1996) 日本海における雄ズワイガニの漁獲サイズ. 日水誌, **62**, 623-630.
- 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.

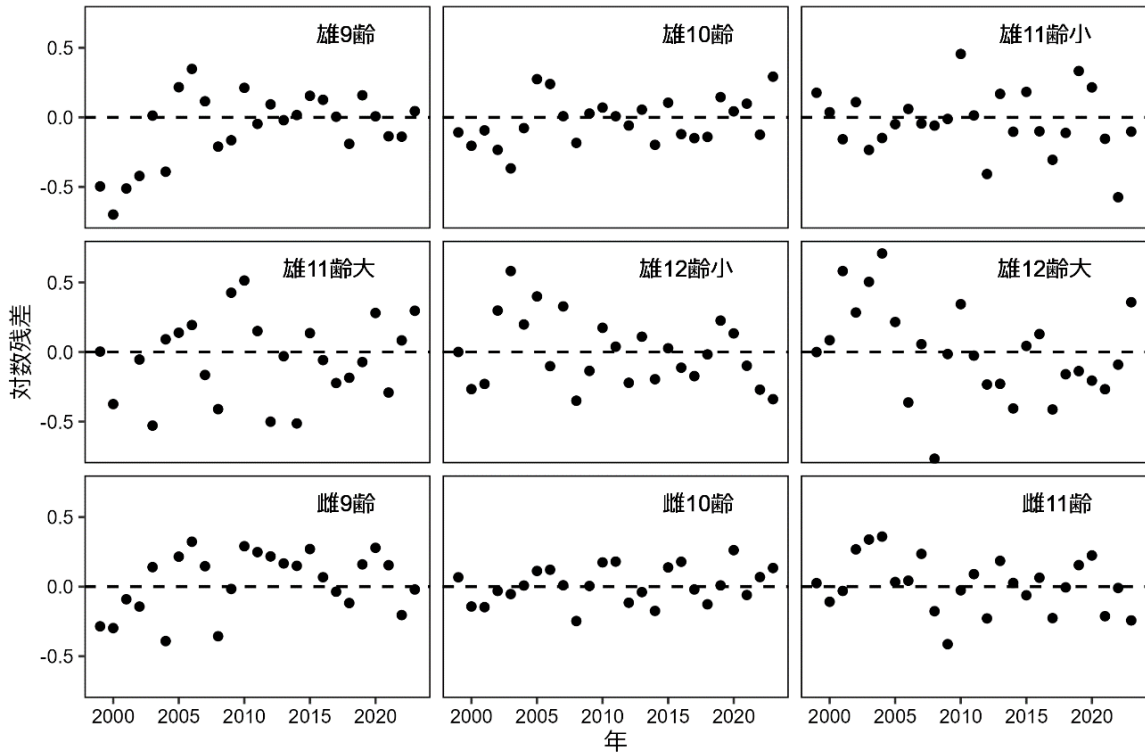
	1999	2000	2001	2002	...	2019	2020	2021	2022	2023
9歳未										
10歳未										
11歳未										
11歳成										
12歳未										
12歳成										
13歳成										

	1999	2000	2001	2002	...	2019	2020	2021	2022	2023
9歳未										
10歳未										
11歳成										

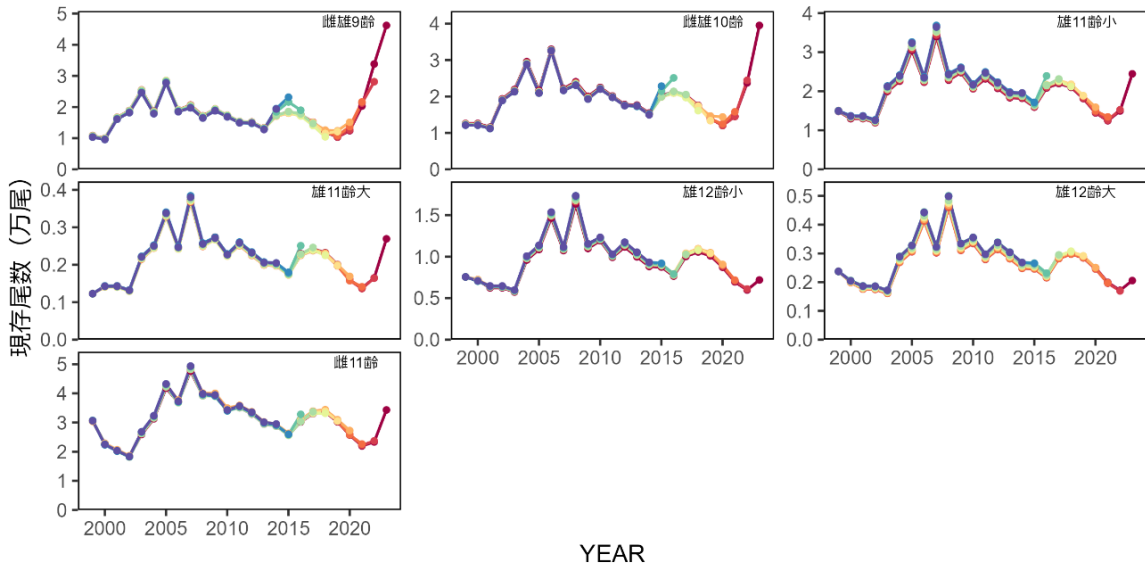
補足図 2-1. 資源計算の模式図 上図は雄、下図は雌を、細赤線は脱皮による齢期の遷移、太黒線は最終脱皮後の同一齢期の遷移、「未」は未成熟（鋏脚小・最終脱皮前）を、「成」は成熟（鋏脚大・最終脱皮後）を、それぞれ示す。



補足図 2-2. トロール調査による年別齢別現存尾数の観測値（黒点）および推定値（黒実線）
網掛けは推定値の90%信頼区間を、縦軸は現存尾数（千尾）を、「小」は鋏脚小（未成熟・最終脱皮前）を、「大」は鋏脚大（成熟・最終脱皮後）を、それぞれ示す。



補足図 2-3. トロール調査による年別齢別現存尾数の観測値（対数）に対する推定値（対数）の残差 点線は0を、縦軸は残差を、「小」は鋏脚小（未成熟・最終脱皮前）を、「大」は鋏脚大（成熟・最終脱皮後）を、それぞれ示す。



補足図 2-4. コホート解析のレトロスペクティブ分析結果

「小」は鋏脚小（未成熟・最終脱皮前）を、「大」は鋏脚大（成熟・最終脱皮後）を、それぞれ示す。

補足表 2-1. 直接推定（面積密度法）によるトロール調査時点の現存尾数

雄の現存尾数（千尾）

年齢	成熟	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
6 歳	未	0	22	150	898	3,960	1,485	1,776	553	1,069	1,023	890	717	491
7 歳	未	702	699	1,393	6,322	12,432	7,193	3,985	6,254	2,835	3,825	9,022	3,437	4,973
8 歳	未	3,714	2,082	4,835	18,942	11,401	11,239	14,348	12,433	11,615	6,285	15,900	10,095	11,800
9 歳	未	6,566	4,930	9,937	12,309	25,621	12,541	35,047	26,863	23,101	13,883	16,333	21,291	14,531
10 歳	未	11,297	10,271	10,548	15,322	15,189	27,359	28,492	41,899	22,348	20,013	20,576	24,133	20,279
	成	103	98	943	276	263	977	529	357	703	471	1,247	1,209	508
11 歳	未	17,696	13,456	11,090	13,313	15,779	19,466	28,992	23,697	32,490	21,517	24,493	32,526	23,502
	成	1,231	985	3,919	1,251	1,294	2,732	3,858	3,004	3,174	1,682	4,191	3,818	2,976
12 歳	未	7,559	5,464	4,958	8,413	10,271	11,696	16,199	13,234	14,899	11,516	9,592	14,186	10,312
	成	2,372	2,223	3,188	2,364	2,707	5,545	3,854	2,913	3,253	2,166	3,106	4,809	2,769
13 歳	成	1,117	1,454	1,841	2,605	4,615	5,114	4,728	5,110	6,250	4,577	3,212	3,822	2,838

年齢	成熟	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
6 歳	未	1,978	2,715	1,403	799	498	645	2,081	5,520	7,698	27,823	1,296	167
7 歳	未	5,137	8,527	7,708	3,247	2,611	1,686	1,768	3,034	6,634	23,064	14,079	1,269
8 歳	未	10,541	13,174	13,575	10,748	8,220	3,919	5,026	10,727	16,574	35,592	31,326	10,661
9 歳	未	16,581	12,955	17,590	21,296	19,786	15,117	9,922	12,106	12,503	17,721	29,427	48,297
10 歳	未	16,774	18,649	12,681	22,456	18,889	17,550	15,278	16,216	12,406	15,915	20,495	52,146
	成	200	361	122	238	399	636	1,016	257	197	85	450	774
11 歳	未	13,792	21,696	16,396	19,115	18,837	16,186	18,777	25,279	17,919	10,659	8,414	22,062
	成	1,390	1,969	1,203	2,018	2,168	1,942	1,929	1,866	2,120	1,029	1,793	3,621
12 歳	未	8,937	11,134	7,253	8,986	6,843	8,426	10,386	12,659	9,963	6,298	4,564	5,123
	成	2,522	2,269	1,678	2,610	2,490	1,891	2,573	2,517	2,032	1,525	1,567	2,940
13 歳	成	3,383	3,934	3,054	2,625	1,934	2,723	3,677	4,625	4,741	2,627	2,775	2,140

2002 年までは切断法による年齢分解。年齢別現存尾数はトロール網のサイズ別採集効率を一定として推定した値であり、若齢ほど実際の資源尾数より過小である。

補足表 2-1. 直接推定（面積密度法）によるトロール調査時点の現存尾数（つづき）

雌の現存尾数（千尾）

齢期	成熟	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
6 齢	未	121	143	35	621	2,987	1,344	1,441	323	972	983	407	566	247
7 齢	未	723	735	610	5,326	13,787	7,686	5,216	6,967	3,231	3,773	9,419	3,132	3,820
8 齢	未	3,832	1,712	3,704	17,069	10,502	11,981	13,640	11,562	10,432	6,223	16,780	9,959	12,475
9 齢	未	8,111	7,362	15,137	16,261	29,117	12,539	35,017	26,209	23,848	12,001	18,947	23,035	19,526
10 齢	未	13,466	10,928	10,000	18,777	20,784	29,805	24,245	37,239	22,388	18,786	20,125	26,791	24,097
11 齢	成	31,423	20,398	19,806	23,877	36,351	44,839	43,212	38,532	60,364	32,854	25,999	33,543	38,432

齢期	成熟	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
6 齢	未	1,481	2,145	1,240	361	672	530	1,186	3,896	7,396	23,306	1,175	1,390
7 齢	未	5,153	7,296	6,338	3,606	2,261	1,847	2,144	2,545	4,785	21,304	12,367	8,423
8 齢	未	10,794	13,713	13,303	10,026	6,913	4,207	4,281	11,322	15,627	34,957	31,083	41,667
9 齢	未	18,776	15,631	20,100	23,914	18,671	14,518	10,674	12,126	16,412	23,695	27,572	13,561
10 齢	未	15,855	16,978	12,984	23,214	25,501	19,977	15,492	14,155	15,695	13,658	25,422	45,189
11 齢	成	26,210	35,501	29,539	24,200	32,198	26,368	33,441	35,325	32,165	17,765	23,123	26,925

2002 年までは切断法による齢期分解。齢期別現存尾数はトロール網のサイズ別採集効率を一定として推定した値であり、若齢ほど実際の資源尾数より過小である。

補足表 2-2. コホート解析に用いた漁獲尾数 (C)、推定された齢期別遷移率 (S) および雄の最終脱皮率 (γ)

漁獲尾数

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
雄 12 齢カタガニ	1,253	1,442	1,626	1,756	1,836	1,413	1,579	2,203	2,054	2,150	1,541	1,638	1,876
雄 13 齢カタガニ	626	721	813	878	918	1,345	1,029	1,088	1,223	1,224	1,084	886	845
雌 11 齢	8,990	7,141	7,393	8,485	9,754	10,520	10,297	10,988	11,777	8,561	9,380	10,056	9,395

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
雄 12 齢カタガニ	1,850	2,274	1,628	1,665	1,658	1,805	1,808	1,409	1,125	737	819
雄 13 齢カタガニ	868	715	887	745	631	638	744	911	874	628	692
雌 11 齢	9,192	7,215	7,832	7,360	7,681	6,304	7,292	5,180	4,529	4,428	4,686

遷移率

齢期	成 熟	
雄雌 9 齢	未	1.168
雄雌 10 齢	未	1.143
雄 11 齢	未	0.618
雄 12 齢	未	0.345
雄 11-13 齢	成	0.009
雌 11 齢	成	0.386

最終脱皮率

齢期	
11 齢	0.099
12 齢	0.222

各年の 9 齢および 1999 年の 10 齢の加入尾数 (R) については補足表 2-3 および 2-5 を参照こと。

補足表 2-3. コホート解析による雄のトロール調査時点の現存尾数、漁期開始時点の資源尾数および資源量

調査時点の現存尾数（千尾）

年齢	成熟	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
9 歳	未	10,785	9,914	16,569	18,761	25,300	18,537	28,224	18,970	20,585	17,136	19,258	17,223	15,230
10 歳	未	12,586	12,601	11,583	19,359	21,920	29,560	21,658	32,976	22,164	24,051	20,021	22,501	20,122
11 歳	未	14,834	12,967	12,983	11,934	19,946	22,584	30,455	22,314	33,975	22,836	24,780	20,627	23,183
	成	1,227	1,431	1,435	1,320	2,197	2,494	3,358	2,475	3,744	2,536	2,737	2,284	2,560
12 歳	未	7,557	7,136	6,238	6,246	5,741	9,596	10,865	14,652	10,735	16,345	10,986	11,921	9,924
	成	2,373	2,043	1,782	1,780	1,635	2,731	3,106	4,186	3,075	4,664	3,152	3,410	2,842
13 歳	成	1,117	1,454	1,841	2,605	4,615	5,114	4,728	5,110	6,250	4,577	3,212	3,822	2,838

漁期開始時点の資源尾数（千尾）

年齢	成熟	銘柄	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
12 歳	未	ミズガニ	9,143	7,993	8,002	7,356	12,294	13,920	18,772	13,754	20,941	14,075	15,274	12,714	14,289
	成	ミズガニ	2,604	2,276	2,279	2,095	3,501	3,964	5,345	3,917	5,963	4,008	4,349	3,620	4,069
13 歳	成	カタガニ	5,984	5,651	4,940	4,946	4,546	7,599	8,604	11,602	8,501	12,943	8,700	9,440	7,858
	成	ミズガニ	2,147	1,848	1,612	1,611	1,479	2,471	2,811	3,788	2,783	4,220	2,852	3,085	2,572
	成	カタガニ	1,010	1,316	1,666	2,357	4,176	4,627	4,278	4,623	5,655	4,142	2,906	3,458	2,568

漁期開始時点の資源量（トン）

年齢	成熟	銘柄	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
12 歳	未	ミズガニ	3,410	2,981	2,985	2,744	4,586	5,192	7,002	5,130	7,811	5,250	5,697	4,742	5,330
	成	ミズガニ	971	849	850	781	1,306	1,479	1,994	1,461	2,224	1,495	1,622	1,350	1,518
13 歳	成	カタガニ	865	745	650	649	596	996	1,133	1,527	1,121	1,701	1,149	1,243	1,036
	成	ミズガニ	4,356	4,114	3,596	3,601	3,310	5,532	6,264	8,447	6,189	9,423	6,333	6,873	5,721
	成	カタガニ	807	1,051	1,331	1,883	3,337	3,697	3,418	3,694	4,518	3,309	2,322	2,763	2,052

13 歳は直接推定による値である。年齢別現存尾数はトロール網のサイズ別採集効率を一定として推定した値であり、若齢ほど実際の資源尾数より過小である。

各年の 9 歳および 1999 年の 10 歳の現存尾数は雄雌同値である。

加入尾数は、11 歳未熟の現存尾数である。

補足表 2-3. コホート解析による雄のトロール調査時点の現存尾数、漁期開始時点の資源尾数および資源量（つづき）

調査時点の現存尾数（千尾）

年齢	成熟	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
9 歳	未	15,107	13,227	17,302	18,246	17,444	15,052	12,005	10,332	12,413	20,308	33,815	46,195
10 歳	未	17,794	17,650	15,454	20,215	21,318	20,380	17,586	14,026	12,071	14,503	23,727	39,509
11 歳	未	20,732	18,333	18,185	15,922	20,828	21,964	20,998	18,119	14,451	12,437	14,943	24,446
	成	2,294	2,029	2,010	1,762	2,297	2,427	2,322	2,006	1,601	1,377	1,649	2,692
12 歳	未	11,153	9,974	8,820	8,748	7,660	10,020	10,567	10,102	8,717	6,952	5,983	7,189
	成	3,185	2,853	2,517	2,499	2,189	2,858	3,019	2,888	2,496	1,992	1,715	2,055
13 歳	成	3,383	3,934	3,054	2,625	1,934	2,723	3,677	4,625	4,741	2,627	2,775	2,140

漁期開始時点の資源尾数（千尾）

年齢	成熟	銘柄	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
12 歳	未	ミズガニ	12,779	11,300	11,209	9,814	12,838	13,538	12,942	11,168	8,907	7,666	9,210	15,068
	成	ミズガニ	3,639	3,218	3,192	2,795	3,656	3,855	3,685	3,180	2,536	2,183	2,623	4,291
13 歳	成	カタガニ	8,832	7,898	6,984	6,928	6,066	7,935	8,368	7,999	6,903	5,505	4,738	5,693
	成	ミズガニ	2,882	2,581	2,277	2,262	1,981	2,586	2,731	2,613	2,258	1,803	1,552	1,860
	成	カタガニ	3,061	3,560	2,763	2,375	1,750	2,463	3,327	4,185	4,290	2,377	2,511	1,936

漁期開始時点の資源量（トン）

年齢	成熟	銘柄	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
12 歳	未	ミズガニ	4,766	4,215	4,181	3,661	4,788	5,050	4,828	4,166	3,322	2,859	3,435	5,620
	成	ミズガニ	1,357	1,200	1,191	1,042	1,364	1,438	1,375	1,186	946	814	978	1,600
13 歳	成	カタガニ	1,161	1,040	918	911	798	1,042	1,101	1,053	910	727	626	750
	成	ミズガニ	6,430	5,750	5,085	5,043	4,416	5,776	6,092	5,824	5,025	4,008	3,449	4,144
	成	カタガニ	2,446	2,844	2,208	1,897	1,398	1,968	2,658	3,344	3,428	1,899	2,007	1,547

13 歳は直接推定による値である。年齢別現存尾数はトロール網のサイズ別採集効率を一定として推定した値であり、若齢ほど実際の資源尾数より過小である。

各年の 9 歳および 1999 年の 10 歳の現存尾数は雄雌同値である。

加入尾数は、11 歳未熟の現存尾数である。

補足表 2-4. 銘柄別の雄の漁期開始時点の資源量、漁獲量（漁期年）、漁獲割合および漁獲係数（F）

		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
資源量 (トン)	ミズガニ	8,738	7,944	7,431	7,126	9,201	12,203	15,259	15,038	16,224	16,168	13,653	12,965	12,568
	カタガニ	1,673	1,796	1,981	2,532	3,933	4,693	4,551	5,221	5,640	5,010	3,471	4,007	3,088
	合計	10,411	9,740	9,412	9,658	13,134	16,896	19,810	20,259	21,864	21,178	17,124	16,972	15,656
漁獲量 (トン)	ミズガニ	1,029	891	955	1,002	919	865	1,113	1,018	939	604	727	618	619
	カタガニ	913	1,114	1,220	1,282	1,469	1,776	1,512	1,829	1,887	1,935	1,572	1,516	1,532
	合計	1,942	2,005	2,175	2,284	2,388	2,641	2,625	2,847	2,826	2,539	2,299	2,134	2,151
漁獲割合 (%)	ミズガニ	11.8	11.2	12.9	14.1	10.0	7.1	7.3	6.8	5.8	3.7	5.3	4.8	4.9
	カタガニ	54.6	62.0	61.6	50.6	37.3	37.8	33.2	35.0	33.5	38.6	45.3	37.8	49.6
	全体	18.7	20.6	23.1	23.7	18.2	15.6	13.2	14.1	12.9	12.0	13.4	12.6	13.7
漁獲係数 (F)	ミズガニ	0.125	0.119	0.138	0.152	0.105	0.074	0.076	0.070	0.060	0.038	0.055	0.049	0.051
	カタガニ	0.789	0.968	0.957	0.706	0.468	0.476	0.404	0.431	0.407	0.488	0.603	0.475	0.685
	全体	0.206	0.230	0.263	0.270	0.201	0.170	0.142	0.151	0.138	0.128	0.144	0.134	0.148

補足表 2-4. 銘柄別の雄の漁期開始時点の資源量、漁獲量（漁期年）、漁獲割合および漁獲係数（F）（つづき）

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
資源量 (トン)	ミズガニ	12,553	11,165	10,456	9,746	10,568	12,264	12,294	11,176	9,294	7,681	7,863	11,365
	カタガニ	3,607	3,884	3,126	2,809	2,197	3,011	3,759	4,397	4,338	2,626	2,632	2,296
	合計	16,160	15,049	13,582	12,555	12,765	15,275	16,053	15,573	13,632	10,307	10,495	13,661
漁獲量 (トン)	ミズガニ	558	358	361	356	359	358	104	159	158	188	199	281
	カタガニ	1,558	1,585	1,472	1,335	1,244	1,311	1,408	1,410	1,252	948	963	865
	合計	2,116	1,943	1,833	1,691	1,603	1,669	1,512	1,569	1,410	1,136	1,162	1,146
漁獲割合 (%)	ミズガニ	4.4	3.2	3.5	3.7	3.4	2.9	0.8	1.4	1.7	2.5	2.5	
	カタガニ	43.2	40.8	47.1	47.5	56.6	43.5	37.5	32.1	28.9	36.1	36.6	
	全体	13.1	12.9	13.5	13.5	12.6	10.9	9.4	10.1	10.3	11.0	11.1	
漁獲係数 (F)	ミズガニ	0.045	0.033	0.035	0.037	0.035	0.030	0.009	0.014	0.017	0.025	0.026	0.023
	カタガニ	0.565	0.524	0.637	0.645	0.835	0.572	0.470	0.387	0.341	0.448	0.456	0.415
	全体	0.140	0.138	0.145	0.145	0.134	0.116	0.099	0.106	0.109	0.117	0.117	0.114
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	F 2020-2022

イタリックは予測値。F 2020-2022 は、2020～2022 年の F の平均（現状の F）を示す。

補足表 2-5. コホート解析による雌の調査時点の現存尾数、漁期開始時点の資源尾数、資源量、および親魚量

調査時点の現存尾数（千尾）

年齢	成熟	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
9 歳	未	10,785	9,914	16,569	18,761	25,300	18,537	28,224	18,970	20,585	17,136	19,258	17,223	15,230
10 歳	未	12,586	12,601	11,583	19,359	21,920	29,560	21,658	32,976	22,164	24,051	20,021	22,501	20,122
11 歳	成	30,635	22,733	20,417	18,263	25,900	31,283	41,797	36,904	47,688	39,184	39,301	34,424	35,117

漁期開始時点の 11 歳（クロコ）の資源尾数（千尾）および資源量（トン）

	年齢	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
資源尾数	11 歳	28,186	20,916	18,785	16,802	23,829	28,782	38,455	33,953	43,875	36,051	36,159	31,671	32,309
資源量	11 歳	4,989	3,702	3,325	2,974	4,218	5,094	6,806	6,010	7,766	6,381	6,400	5,606	5,719

親魚量（トン）

	年齢	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
	11 歳	3,398	2,438	2,016	1,472	2,491	3,232	4,984	4,065	5,681	4,866	4,740	3,826	4,056

親魚量は、漁期後の資源量を示す。

年齢別現存尾数はトロール網のサイズ別採集効率を一定として推定した値であり、若齢ほど実際の現存尾数より過小である。

各年の 9 歳および 10 歳の現存尾数は雄雌同値である。

補足表 2-5. コホート解析による雌の調査時点の現存尾数、漁期開始時点の資源尾数、資源量、および親魚量（つづき）

調査時点の現存尾数（千尾）

年齢	成熟	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
9 歳	未	15,107	13,227	17,302	18,246	17,444	15,052	12,005	10,332	12,413	20,308	33,815	46,195
10 歳	未	17,794	17,650	15,454	20,215	21,318	20,380	17,586	14,026	12,071	14,503	23,727	39,509
11 歳	成	32,920	29,490	28,765	25,737	30,195	33,050	33,611	30,251	25,701	21,963	23,340	34,317

漁期開始時点の 11 歳（クロコ）の資源尾数（千尾）および資源量（トン）

	年齢	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
資源尾数	11 歳	30,288	27,132	26,465	23,679	27,780	30,408	30,923	27,833	23,646	20,207	21,474	31,573
資源量	11 歳	5,361	4,802	4,684	4,191	4,917	5,382	5,473	4,926	4,185	3,577	3,801	5,588

親魚量（トン）

	年齢	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	11 歳	3,734	3,525	3,298	2,889	3,558	4,266	4,183	4,010	3,384	2,793	2,971	4,416

イタリックは予測値。

親魚量は、漁期後の資源量を示す。

年齢別現存尾数はトロール網のサイズ別採集効率を一定として推定した値であり、若齢ほど実際の現存尾数より過小である。

各年の 9 歳および 10 歳の現存尾数は雄雌同値である。

補足表 2-6. 雌の漁獲量（漁期年）、コホート解析による漁獲割合および漁獲係数（F）

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
漁獲量（トン）	1,591	1,264	1,309	1,502	1,726	1,862	1,823	1,945	2,085	1,515	1,660	1,780	1,663
漁獲割合(%)	32.0	34.0	39.0	50.0	41.0	37.0	27.0	32.0	27.0	24.0	26.0	32.0	29.0
漁獲係数(F)	0.384	0.418	0.500	0.703	0.527	0.455	0.312	0.391	0.313	0.271	0.300	0.382	0.344

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
漁獲量（トン）	1,627	1,277	1,386	1,303	1,360	1,116	1,291	917	802	784	829
漁獲割合(%)	30.0	27.0	30.0	31.0	28.0	21.0	24.0	19.0	19.0	22.0	22.0
漁獲係数(F)	0.362	0.309	0.351	0.372	0.324	0.232	0.269	0.206	0.213	0.247	0.246

	2023	F 2020-2022
漁獲量（トン）	1,172	
漁獲割合(%)	21.0	
漁獲係数(F)		0.235

イタリックは予測値。F 2020-2022 は、2020～2022 年の F の平均（現状の F）を示す。

補足表 2-7. ミズガニ、カタガニ、雌および合計の漁獲開始時点の資源量、漁獲量（漁期年）、漁獲割合および漁獲係数（F）

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
資源量 (トン)													
ミズガニ	8,738	7,944	7,431	7,126	9,201	12,203	15,259	15,038	16,224	16,168	13,653	12,965	12,568
カタガニ	1,673	1,796	1,981	2,532	3,933	4,693	4,551	5,221	5,640	5,010	3,471	4,007	3,088
雌	4,989	3,702	3,325	2,974	4,218	5,094	6,806	6,010	7,766	6,381	6,400	5,606	5,719
合計	15,400	13,442	12,737	12,632	17,352	21,990	26,616	26,269	29,630	27,559	23,524	22,578	21,375
漁獲量 (トン)													
ミズガニ	1,029	891	955	1,002	919	865	1,113	1,018	939	604	727	618	619
カタガニ	913	1,114	1,220	1,282	1,469	1,776	1,512	1,829	1,887	1,935	1,572	1,516	1,532
雌	1,591	1,264	1,309	1,502	1,726	1,862	1,823	1,945	2,085	1,515	1,660	1,780	1,663
合計	3,533	3,269	3,484	3,786	4,114	4,503	4,448	4,792	4,911	4,054	3,959	3,914	3,814
漁獲割合 (%)													
ミズガニ	11.8	11.2	12.9	14.1	10.0	7.1	7.3	6.8	5.8	3.7	5.3	4.8	4.9
カタガニ	54.6	62.0	61.6	50.6	37.3	37.8	33.2	35.0	33.5	38.6	45.3	37.8	49.6
雌	32.0	34.0	39.0	50.0	41.0	37.0	27.0	32.0	27.0	24.0	26.0	32.0	29.0
全体	22.9	24.3	27.4	30.0	23.7	20.5	16.7	18.2	16.6	14.7	16.8	17.3	17.8
F													
ミズガニ	0.125	0.119	0.138	0.152	0.105	0.074	0.076	0.070	0.060	0.038	0.055	0.049	0.051
カタガニ	0.789	0.968	0.957	0.706	0.468	0.476	0.404	0.431	0.407	0.488	0.603	0.475	0.685
雌	0.384	0.418	0.500	0.703	0.527	0.455	0.312	0.391	0.313	0.271	0.300	0.382	0.344
全体	0.261	0.279	0.320	0.356	0.271	0.229	0.183	0.201	0.181	0.159	0.184	0.190	0.197

補足表 2-7. ミズガニ、カタガニ、雌および合計の漁獲開始時点の資源量、漁獲量（漁期年）、漁獲割合および漁獲係数（F）（つづき）

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
資源量 (トン)	ミズガニ	12,553	11,165	10,456	9,746	10,568	12,264	12,294	11,176	9,294	7,681	7,863	11,365
	カタガニ	3,607	3,884	3,126	2,809	2,197	3,011	3,759	4,397	4,338	2,626	2,632	2,296
	雌	5,361	4,802	4,684	4,191	4,917	5,382	5,473	4,926	4,185	3,577	3,801	5,588
	合計	21,521	19,851	18,266	16,746	17,682	20,657	21,526	20,499	17,817	13,884	14,296	19,249

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
漁獲量 (トン)	ミズガニ	558	358	361	356	359	358	104	159	158	188	199	287
	カタガニ	1,558	1,585	1,472	1,335	1,244	1,311	1,408	1,410	1,252	948	963	865
	雌	1,627	1,277	1,386	1,303	1,360	1,116	1,291	917	802	784	829	1,172
	合計	3,743	3,220	3,219	2,994	2,963	2,785	2,803	2,486	2,212	1,920	1,992	2,318

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
漁獲割合 (%)	ミズガニ	4.4	3.2	3.5	3.7	3.4	2.9	0.8	1.4	1.7	2.5	2.5
	カタガニ	43.2	40.8	47.1	47.5	56.6	43.5	37.5	32.1	28.9	36.1	36.6
	雌	30.0	27.0	30.0	31.0	28.0	21.0	24.0	19.0	19.0	22.0	22.0
	全体	17.4	16.2	17.6	17.9	16.8	13.5	13.0	12.1	12.4	13.8	13.9

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	F 2020-2022
F	ミズガニ	0.045	0.033	0.035	0.037	0.035	0.030	0.009	0.014	0.017	0.025	0.026	0.023
	カタガニ	0.565	0.524	0.637	0.645	0.835	0.572	0.470	0.387	0.341	0.448	0.456	0.415
	雌	0.362	0.309	0.351	0.372	0.324	0.232	0.269	0.206	0.213	0.247	0.246	0.235
	全体	0.191	0.177	0.194	0.197	0.183	0.145	0.140	0.129	0.133	0.149	0.150	0.144

イタリックは予測値。F 2020-2022 は、2020～2022 年の F の平均（現状の F）を示す。

補足表 2-8. 雄 11 齢、雌 10 齢の現存尾数 (加入量)

		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
加入量	雄 11 齢	1,480	1,300	1,300	1,190	1,990	2,260	3,050	2,230	3,400	2,280	2,480	2,060	2,320
	雌 10 齢	1,260	1,260	1,160	1,940	2,190	2,960	2,170	3,300	2,220	2,410	2,000	2,250	2,010
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
加入量	雄 11 齢	2,070	1,830	1,820	1,590	2,080	2,200	2,100	1,810	1,450	1,240	1,490	2,440	4,070
	雌 10 齢	1,780	1,770	1,550	2,020	2,130	2,040	1,760	1,400	1,210	1,450	2,370	3,950	5,360
		2025	2026											
加入量	雄 11 齢	5,310	1,700											
	雌 10 齢	1,720	-											

イタリックは予測値。2024 年の雄 11 齢と雌 10 齢は 2023 年の雌雄 10 齢および 9 齢から、2025 年の雄 11 齢と雌 10 齢は 2023 年の雌雄 9 齢および雌雄 8 齢 (コホート対象外) から、2026 年の雄 11 齢は 2023 年の雌雄 8 齢 (コホート対象外) から、それぞれ推定した。

補足資料3 各種パラメータと評価結果の概要

補足表 3-1. 再生産関係式のパラメータ

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
リッカー型	最小絶対値法	無	22.2	3.68e-4	0.182	-

a と b は再生産関係式の推定パラメータ、S.D.は加入量の標準偏差、 ρ は自己相関係数である。

補足表 3-2. 現在の環境下において MSY を実現する水準および管理基準値

項目	値	説明
SBtarget	3.0 千トン	目標管理基準値。最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy)
SBlimit	1.5 千トン	限界管理基準値。過去最低の親魚量 (SBmin)
SBban	0.1 千トン	禁漁水準。MSY の 10% の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.1msy)
Fmsy	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧 (漁獲係数 F) (雌) = (0.46)	
%SPR (Fmsy)	16.0%	Fmsy に対応する %SPR
MSY	3.7 千トン	最大持続生産量 MSY

補足表 3-3. 最新年の親魚量と漁獲圧

項目	値	説明
SB2022	3.0 千トン	2022 年の親魚量
F2022	2022 年の漁獲圧（漁獲係数 F）（ミズガニ、カタガニ、メスガニ、雄全体、全体） = (0.03、0.46、0.25、0.12、0.15)	
U2022	13.9%	2022 年の漁獲割合
%SPR (F2022)	31.6%	2022 年の%SPR
%SPR (F2020-2022)	32.9%	現状（2020～2022 年）の漁獲圧に対応する%SPR*
管理基準値との比較		
SB2022/ SBmsy (SBtarget)	0.99	最大持続生産量を実現する親魚量（目標管理基準値）に対する 2022 年の親魚量の比
F2022/ Fmsy	0.54	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2022 年の漁獲圧の比*
親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る	
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る	
親魚量の動向	減少	

* Fmsy の漁獲圧を与える F を%SPR 換算して算出し求めた比率。

補足表 3-4. ABC と予測親魚量

2024 年の ABC (千トン)	2024 年の親魚量 予測平均値 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2020-2022)	2024 年の 漁獲割合 (%)
5.1	6.3	1.55	16.4
コメント: <ul style="list-style-type: none"> • ABC の算定には、令和 3 年 3 月に開催された「資源管理方針に関する検討会」にて取り纏められ「水産政策審議会」を経て定められた漁獲シナリオでの漁獲管理規則を用いた。 • 本系群では漁獲管理規則で調整係数 $\beta=0.8$ を用いることが定められている。 • 親魚量は漁期後の雌の資源量、漁獲圧は雌に対する漁獲圧、ABC および漁獲割合は雌雄合計の値である。 • 漁獲管理規則による漁獲圧は現状の漁獲圧の 1.55 倍であり、2024 年 ABC は現状の漁業を継続した場合に達成される 3.5 千トンを大きく上回ることに留意する必要がある。 			

補足表 3-5. 将来予測における親魚量 考慮している不確実性：加入量

項目	2030 年 の親魚量 (千トン)	90% 予測区間 (千トン)	2030 年に親魚量が以下の 管理基準値を上回る確率 (%)		
			SBtarget	SBlimit	SBban
漁獲管理規則で使用する β					
$\beta=0.8$	3.5	2.6–4.4	71	100	100
上記と異なる β を使用した場合					
$\beta=1.0$	2.8	2.1–3.6	34	100	100
$\beta=0.6$	4.3	3.2–5.5	95	100	100
$\beta=0.4$	5.3	4.0–6.7	100	100	100
F2020-2022	4.7	3.5–5.9	98	100	100

補足表 3-5. 異なる β を用いた将来予測結果 (つづき)

考慮している不確実性:加入量			
	親魚量が管理基準値を 50%以上の確率で上回る年		
	SBtarget	SBlimit	SBban
漁獲管理規則で使用する β			
$\beta=0.8$	2023 年	2023 年	2023 年
上記と異なる β を使用した場合			
$\beta=1.0$	2023 年	2023 年	2023 年
$\beta=0.6$	2023 年	2023 年	2023 年
$\beta=0.4$	2023 年	2023 年	2023 年
F2020-2022	2023 年	2023 年	2023 年

補足資料4 直接推定法による現存量推定

2023年5月9日～6月29日に、日本海西部の水深190～550mにおいて但州丸（兵庫県所属）による着底トロール調査を行った。本海域を沖底小海区と同様の7海区（浜田沖、隠岐北方、隠岐周辺、但馬沖、若狭沖、加賀沖、能登沖）と、3水深帯に区分し（浜田沖のみ4水深帯）、計22層に135調査点を配置した（補足図4-1）。曳網時の袖先間隔が約17mのトロール網を用い、曳網時間を原則30分とした。

漁獲物のうち、ズワイガニ全数（雄：10,670、雌：9,873個体）の測定を行った。雄では、甲幅に加え鉗脚掌部幅を測定し、成熟状態（最終脱皮前後）の判別を行った。雌では、甲幅に加え腹節の状態、内卵の有無等を記録し、未熟、10歳（初産前）、11歳（経産）を判別した。

調査点ごとの雌雄別成熟状態別の漁獲尾数より、面積密度法を用いて甲幅組成を推定した（甲幅階級幅は2mm、採集効率は0.442）。なお、2015年から新型トロール網を用いているが、2017年以降の新型網採集効率を従来型網に対し9歳以下、10歳、11歳以上でそれぞれ0.6、0.8、1と仮定した（補足資料5）。推定された雌雄別成熟状態別の甲幅組成に混合正規分布をそれぞれ当てはめ、齢期に分解した（補足表2-1）。

海域別雌雄別の甲幅組成を補足図4-2に示す。鉗脚大や11歳雌のような、成熟個体（最終脱皮後）は、例年浜田沖など、西側の海域に多い。

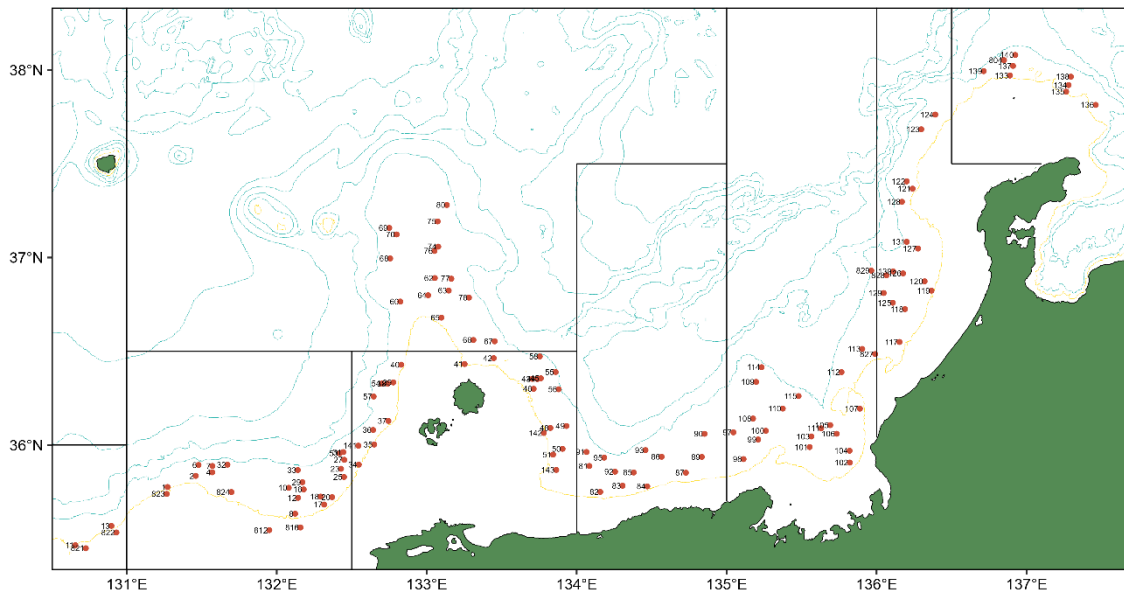
トロール調査から推定された2023年の雄（甲幅90mm以上）および雌（11歳）の現存量は、いずれも過去最低水準となった2021年から回復傾向にあり（補足図4-3）、雄では隠岐周辺、但馬沖、若狭沖、加賀沖で、雌では浜田沖以外で、それぞれ増加した。現存量の経年変化は隠岐以西（浜田沖、隠岐周辺、隠岐北方）の変化によるところがほとんどである。2022年の雄および雌について、現存量に占める隠岐以西の割合は、それぞれ74%および75%であった。

本年度調査において、鳥取県水産試験場（第一鳥取丸）および福井県水産試験場（福井丸）と水産資源研究所（但州丸）の並行操業を、隠岐西方（12調査点）および若狭沖（8調査点）において、それぞれ実施した（補足図4-4）。並行操業は、操業位置・水深、コース、ワープ長、曳網中の網の挙動といった調査の確実性に対する結果の頑健性を確認する上で有効である。隠岐西方では、雌の11歳および雌雄10歳が多く、各脱皮齢期の現存量の割合は類似していた（補足図4-5）。また、若狭湾では雌雄8歳から11歳が多く、雄の12歳未熟個体も一定数含まれている様子が調査船によらず確認された（補足図4-6）。いずれの海域においても、調査結果には機関によらず一定の傾向が見られたため、トロール調査結果は曳網時点における不確実性を考慮した上でも妥当であると考えられる。なお、いずれの調査海域においても但州丸の調査結果で若齢の現存量割合が高かった。これは、但州丸のトロール網でコッドエンドの目合いがもっとも小さい（但州丸20mm、第一鳥取丸40mm、福井丸27mm）ため、小型個体の採集効率が相対的に高いことに起因する。

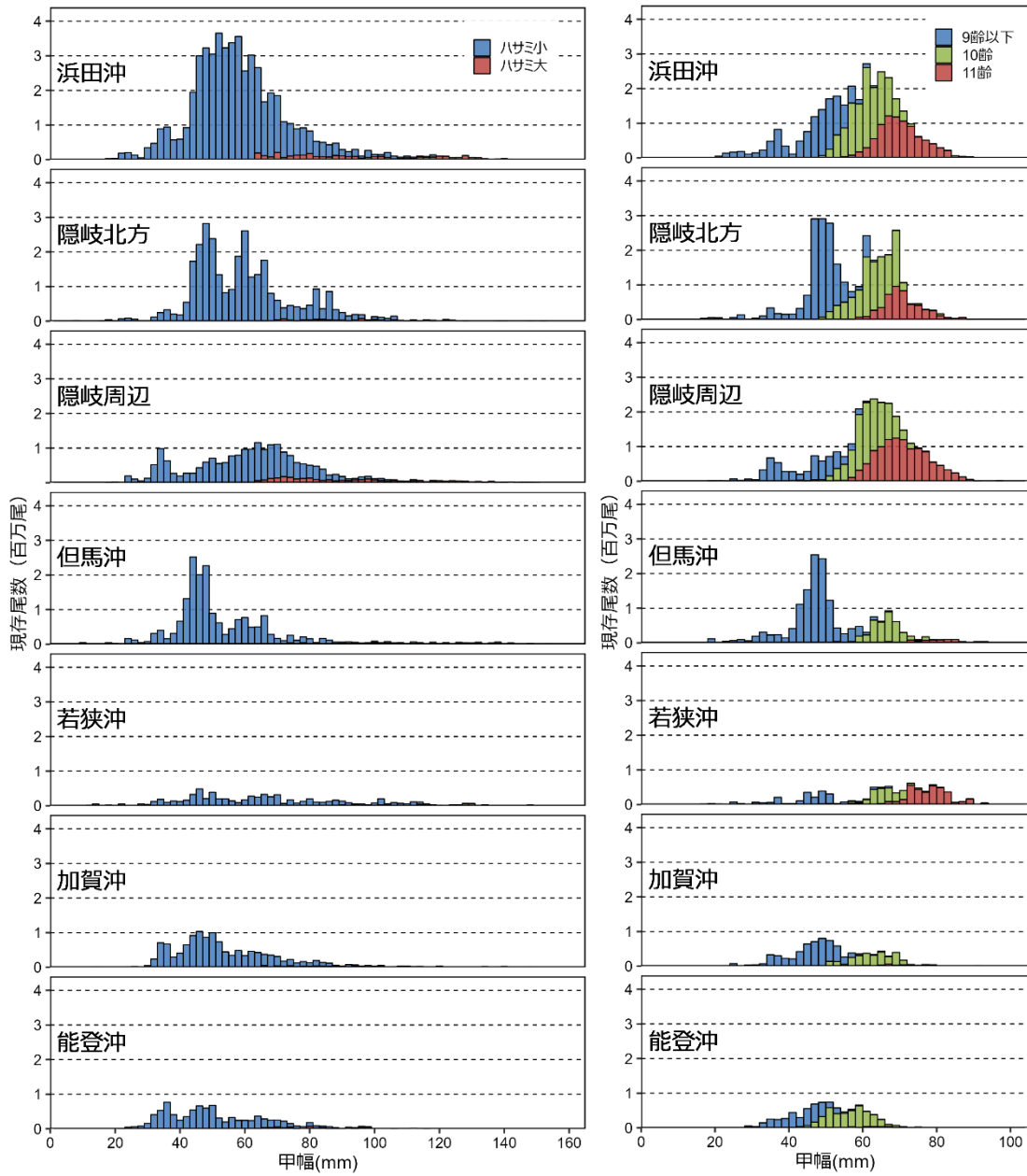
2011年より、浜田沖と隠岐西方の水深160～189mの海域において、水産資源研究所（但州丸）と島根県水産技術センター（島根丸）によるトロール調査を行っている（補足図4-7）。当該海域の齢期別現存尾数では、漁獲対象となる齢期が少なく、漁獲加入前の齢期が多い（補足図4-8）。従って、水深160～189mの現存量をA海域に含めた場合も漁獲量予測値への影響は極めて小さい。水深160～189mにおける資源分布は、浜田沖冷水の分布の

影響を受けているが、この海域の資源のほとんどは成熟とともに深い水深へ移動すると考えられる。今後もこの海域の調査を継続し、ズワイガニの分布の年変化等を把握していく必要がある。

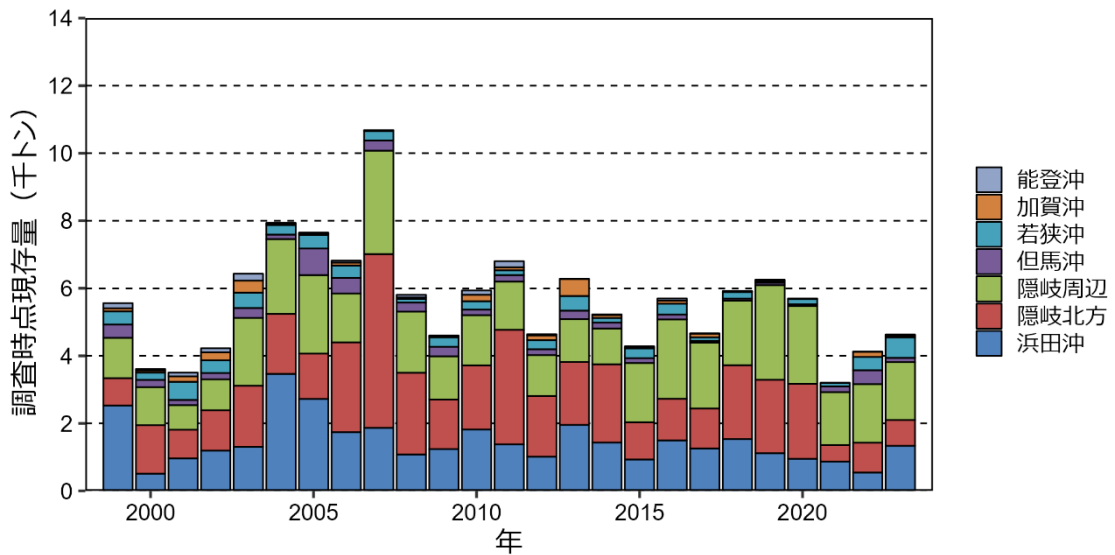
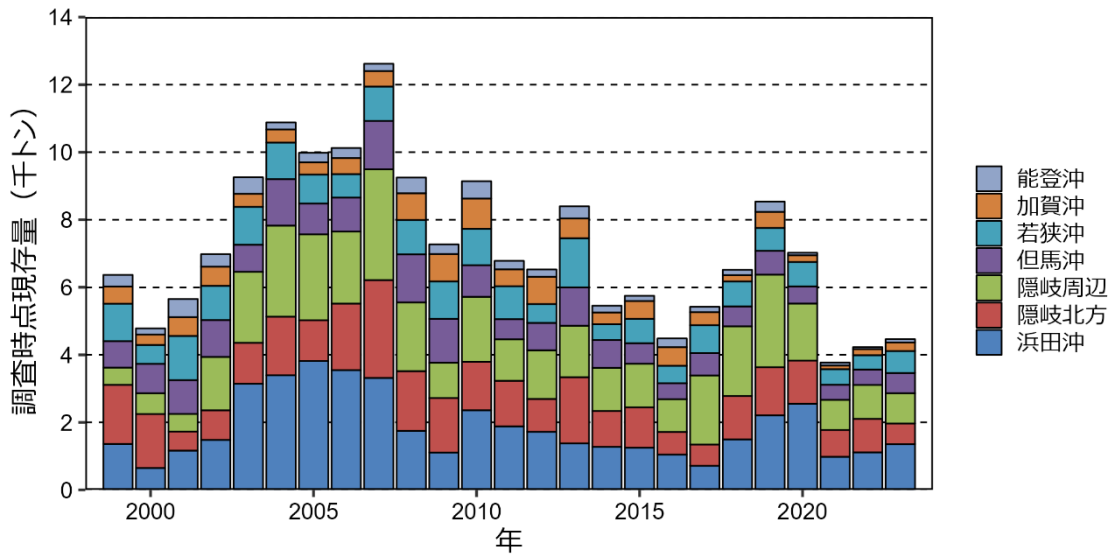
日本海西部には、コンクリートブロックを設置して底びき網の操業を不可能にした保護区が設置されている。現状ではすべての保護区内の現存量を推定することは困難である。一方で、保護区内の雌ガニの増加により想定される、再生産関係を経た加入の増加はトロール調査で把握されており、また保護区から染み出してくる資源の一部もトロール調査で把握されている。保護区による、これらの効果については、本評価におけるABCの算定に反映されている。



補足図4-1. トロール調査海域 数字は調査点を、沿岸寄りの黄線は200m等深線を示す。

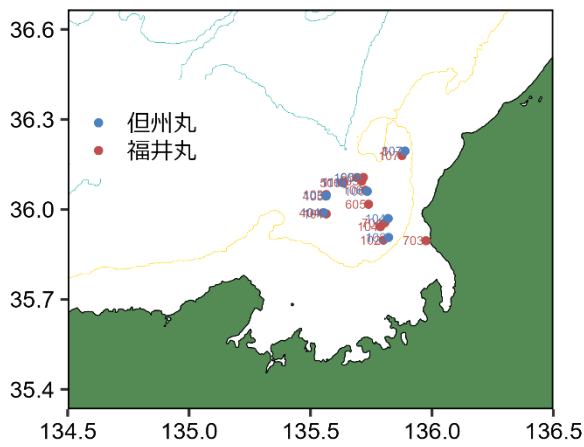
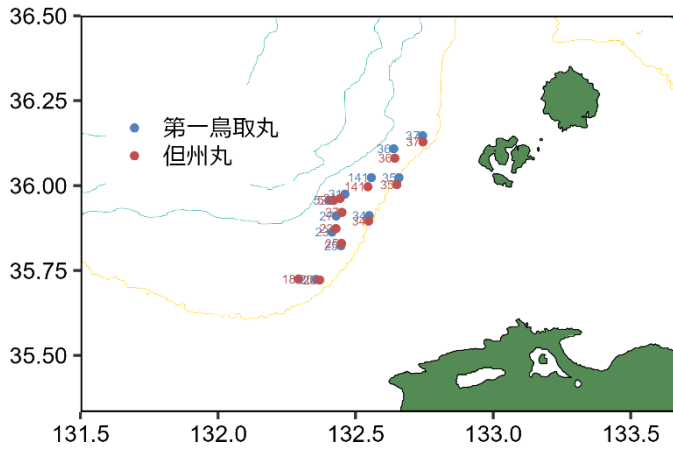


補足図 4-2. トロール調査より推定された海域別甲幅組成 (左：雄、右：雌)

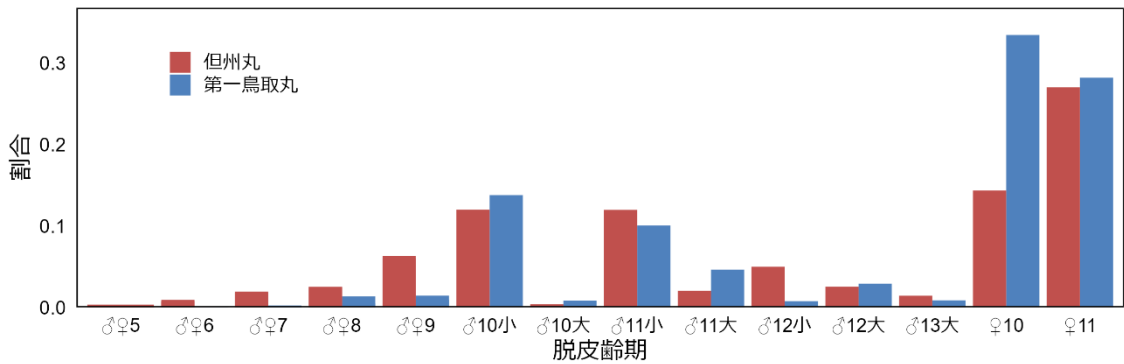


補足図 4-3. トロール調査から推定された海域別現存量

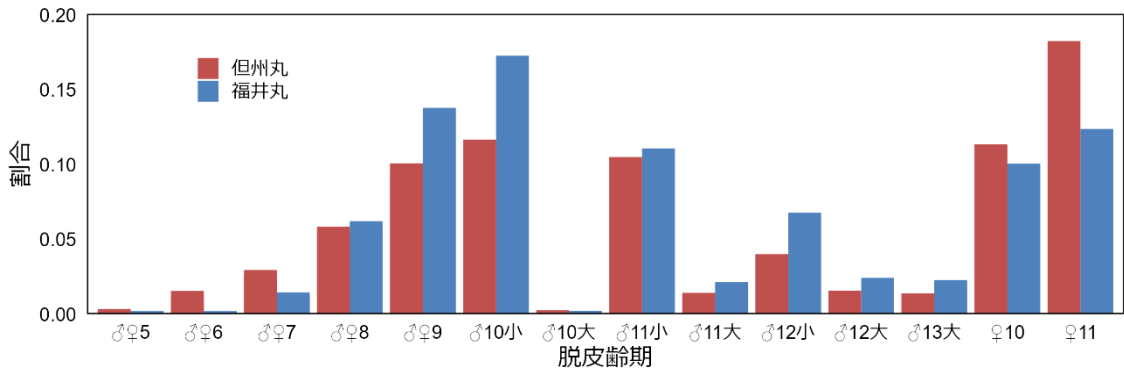
雄 (上図) は甲幅 90 mm 以上、雌 (下図) は 11 歳の現存量を示す。



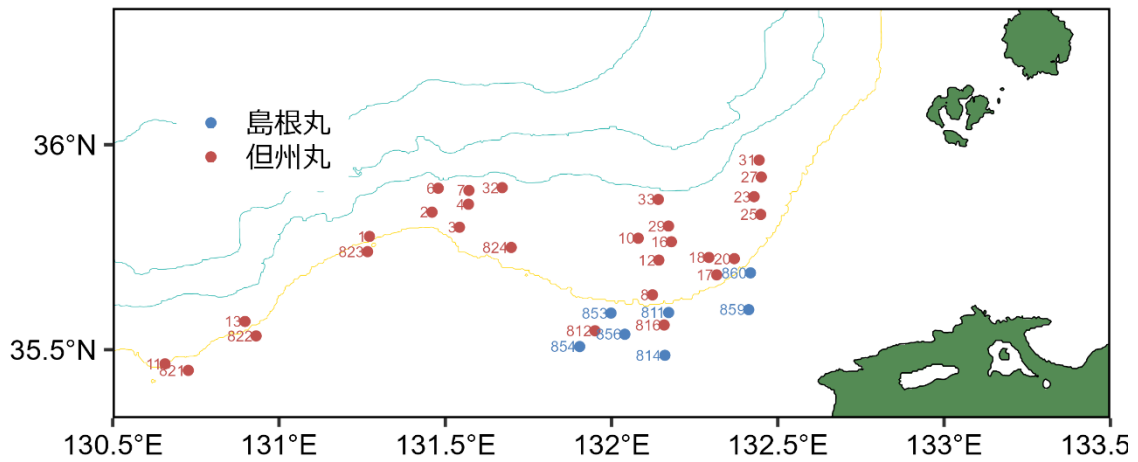
補足図 4-4. 隠岐西方（左図）および若狭沖（右図）での並行操業における調査点



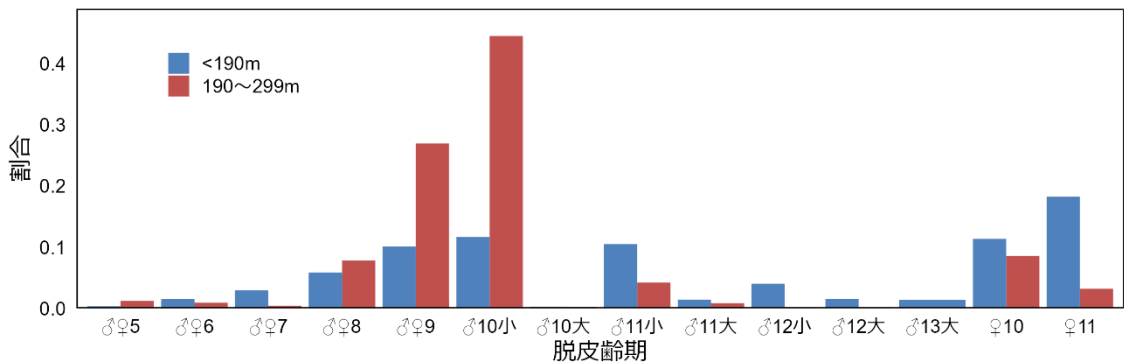
補足図 4-5. 隠岐西方の 12 調査点における結果に基づく脱皮齢期別現存量の割合



補足図 4-6. 若狭沖の 8 調査点における結果に基づく脱皮齢期別現存量の割合



補足図 4-7. 浜田沖と隠岐西方の水深 160~299 m の調査点



補足図 4-8. 浜田沖および隠岐西方の 160~189 m および 190~299 m における調査結果に基づく脱皮齢期別現存量の割合

補足資料 5 新型トロール網の旧型に対する採集効率の違いについて

(協力：底魚資源部 底魚第2グループ)

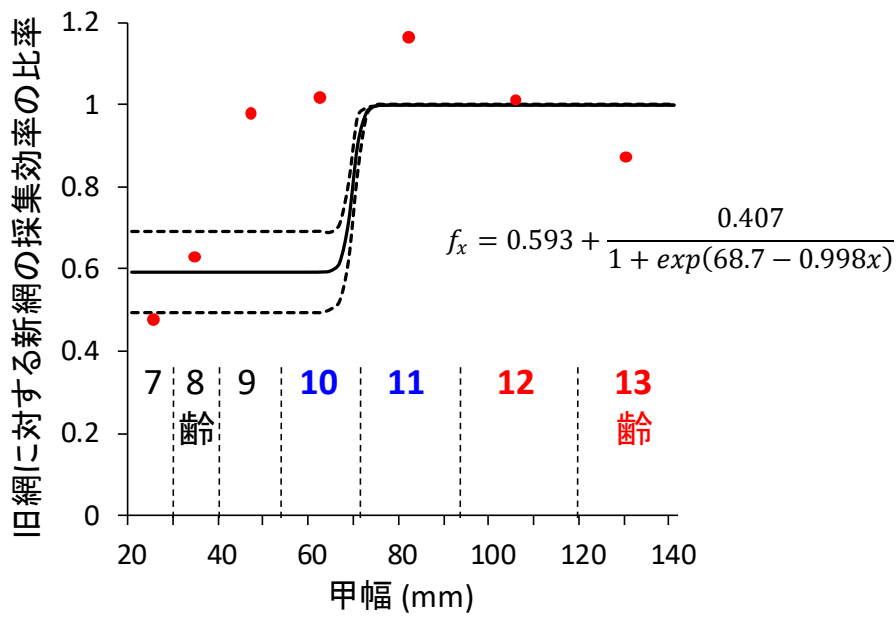
日本海ズワイガニ等底魚資源調査は、2014年まで但州丸(499トン)により、NT-4型着底トロール網(旧網)を用いて行われてきたが、2015年からは但州丸代船(358トン)を含む350トンクラスの調査船によっても円滑な漁撈作業が可能な、小型のNOB-81型着底トロール網(新網)を使用している。新網と旧網の採集効率の違いを明らかにするため、2014および2015年に新網と旧網による並行調査を行った。

並行調査は、2014年と2015年の9月下旬に、隠岐諸島東西の海域の16調査点で行われた。2014年は旧網で調査を実施した後、入港して新網に交換し、引き続き調査を実施した。2015年は新網の調査を先に行った。両網の曳網ラインは、互いに隣接する同一水深とした。新網と旧網ともに、雄では甲幅10mm台から150mm台の、雌では10mm台から90mmの個体が採集された。雌雄別網別の甲幅組成に、同一調査点において両網が遭遇するズワイガニの分布の違いを考慮したガウス関数を当てはめ、両網の甲幅別の採集効率の違いに一般化ロジスティック式を仮定し、パラメータ推定を行った。

その結果、旧網に対する新網の採集効率の比率(f_x)は、甲幅70mm以上(11~13齢)では1、すなわち両網の違いはなかったが、70mm以下(6~10齢)では0.6であった(補足図5-1の黒実線および式)。これに対し、実際のトロール調査による年別齢期別資源尾数を用いて年別遷移率(y年i齢期の資源尾数に対する(y+1)年(i+1)齢期の資源尾数の比)を計算し、旧網で調査が行われた2004~2014年までの遷移率に対する新網に変更した2015年の遷移率の違いを求めた(補足図5-1の赤丸)。7齢および8齢の遷移率は2014年までに対し2015年はそれぞれ0.46、0.65に低下しており、モデルによる推定値と近い値であった。一方で9齢および10齢ではそれぞれ0.96、1.04であり、モデルによる推定値と異なっていた。11~13齢については実際のトロール調査の値にばらつきがあるが、1前後と推察される。

9齢および10齢において、モデルと実際のトロール調査により両網の採集効率の違いを示す値が異なった。これは、モデルでは海底が硬く安定した曳網が容易な海域で行われた並行操業データを用いたのに対し、実際のトロール調査は泥底などの曳網が容易ではない海域も多く含むため、泥などが入網した際の採集効率が高くなっていた影響が考えられる。その後、2016年のトロール調査までに、新網を多様な底質において安定的に曳網するためのワーブ繰り出し長等の検討および調整が終了した。したがって、2017年のトロール調査データから、新網の採集効率を補正することとした。その際、9齢については並行操業の結果の通り、旧網に対する新網の採集効率の比率は0.6とした。10齢については、並行操業の結果では大部分が0.6である一方、その他は1であること(補足図5-1)、また2017年のトロール調査でも、採集効率が高くなっていたと考えられる2016年までの資源尾数に対し大きく減少していないことを考慮し、0.6と1の間中間的な値として、0.8と仮定した。

以上のように決定した、齢期別の旧網に対する新網の採集効率の比率および齢期別採集効率を補足表5-1に示す。



補足図 5-1. 並行調査および実際のトロール調査結果から推定された、旧網に対する新網の採集効率の比率

黒実線は並行調査による一般化ロジスティック式（右式）、赤丸は2015年の実際のトロール調査による齢期別の値をそれぞれ示す。

補足表 5-1. 齢期別の旧網の採集効率、旧網に対する新網の採集効率の比率、および新網の採集効率

脱皮齢期	6 齢	7 齢	8 齢	9 齢	10 齢	11 齢	12 齢	13 齢
旧網の採集効率	0.442	0.442	0.442	0.442	0.442	0.442	0.442	0.442
旧網に対する新網の採集効率の比率	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	1	1	1
新網の採集効率	0.265	0.265	0.265	0.265	0.354	0.442	0.442	0.442

値はすべて雌雄共通である。

補足資料 6 日本海 A 海域におけるズワイガニ漁獲量

日本海 A 海域におけるズワイガニの漁獲量をまとめた（補足表 6-1）。

A 海域の漁獲量における 1960 年代と 1970 年代のピークの間には漁獲物の銘柄組成に変化がみられており、当時から主漁場であった隠岐諸島周辺では、1960 年代半ばに多かった大型のカタガニの割合が低下し、それまで海中投棄されていた安価な小型のカタガニやミズガニの割合が 1970 年にかけて上昇した（尾形 1974）。この安価な銘柄への依存度の上昇から、1970 年のピーク時には 1960 年代よりも資源状態が悪化していたことが推察される。

引用文献

尾形哲男 (1974) 日本海のズワイガニ資源. 水産研究叢書, **26**, 日本水産資源保護協会, 東京, 64pp.

補足表 6-1. 日本海 A 海域におけるズワイガニ漁獲量（トン）

年	A 海域 全体 (暦年)	A 海域 沖底 (漁期年)	韓国 (暦年)	年	A 海域 全体 (暦年)	A 海域 沖底 (漁期年)	韓国 (暦年)
1954	8,573			1976	4,308	3,091	9
1955	8,501			1977	4,619	3,162	144
1956	7,721			1978	4,367	3,158	228
1957	9,079			1979	4,424	3,185	155
1958	10,274			1980	4,035	2,911	193
1959	10,039			1981	4,187	2,813	125
1960	12,468			1982	3,529	2,329	73
1961	12,041			1983	3,577	2,307	183
1962	13,841			1984	3,015	1,885	6
1963	14,568			1985	2,932	1,361	14
1964	14,600			1986	2,591	1,278	9
1965	10,228		271	1987	2,096	1,334	4
1966	9,641		403	1988	1,929	1,131	10
1967	9,275		756	1989	1,863	1,081	3
1968	10,811		435	1990	1,806	1,044	3
1969	11,194		253	1991	1,691	903	2
1970	14,234	11,265	247	1992	1,621	935	11
1971	12,172	10,834	494	1993	1,880	1,215	94
1972	12,056	7,980	132	1994	2,424	1,424	98
1973	8,205	5,689	355	1995	2,490	1,541	79
1974	6,434	4,024	340	1996	2,631	1,602	133
1975	4,767	3,378	100	1997	2,938	1,959	815

補足表 6-1. 日本海 A 海域におけるズワイガニ漁獲量（トン）（つづき）

年	A 海域 全体 (暦年)	A 海域 沖底 (漁期年)	韓国 (暦年)
1998	3,282	2,418	459
1999	3,415	2,730	1,134
2000	3,521	2,471	756
2001	3,501	2,513	1,001
2002	3,735	2,890	896
2003	4,155	3,131	1,889
2004	4,698	3,600	2,605
2005	4,120	3,402	3,240
2006	4,841	3,711	4,062
2007	4,978	3,891	4,817
2008	4,434	3,171	3,019
2009	3,913	2,959	2,372
2010	4,058	3,057	2,606
2011	3,810	3,016	2,567
2012	3,822	2,825	2,317
2013	3,550	2,488	1,868
2014	3,271	2,439	2,411
2015	3,123	2,284	1,917
2016	2,996	2,263	1,570
2017	2,774	2,126	1,869
2018	3,213	2,223	2,184
2019	2,386	1,889	2,136
2020	2,318	1,695	1,729
2021	1,945	1,349	1,974
2022	1,933	1,371	1,931

補足資料7 ズワイガニ日本海系群A海域の新規加入に対する海流の影響についての検討

ズワイガニ日本海系群A海域における漁獲量は歴史的に大きく変動してきた(補足資料6)。また、資源量も1999年以降、増減を繰り返してきたことが分かっている(本文、図4-5)。これまでの研究から、本海域の資源量変動要因として海洋構造の寄与が指摘されてきた(奥野ら2010)。

本海域のズワイガニは隠岐海脚とその周辺の大陸斜面上に多く分布する(補足資料4)。ズワイガニの幼生は2月から3月にかけて孵化し、海面付近まで浮上したのち、約2~3ヶ月の浮遊幼生期(第1・2ゾエア、メガロパ)を経て着底する。浮遊幼生は水平方向の遊泳能力に乏しく、対馬暖流による生育場への受動輸送の成否が加入量の多寡に影響すると考えられる。そこで、A海域ズワイガニの新規加入に対する海流の影響について、水産機構が運用する海洋同化モデルJADE2(Hirose et al. 2013; Igeta et al. 2023)の水温・流速を用いた粒子追跡実験により検討した。

粒子追跡実験には、JADE2の計算確定値のうち、1992~2022年の日平均流動データを用いた。実験では、仮想孵化域(補足図7-1 青枠)を日本海西部の大陸斜面上(190~500m)に設定した。仮想孵化域にズワイガニ幼生を模した粒子を緯度経度2.5分間隔で配置し、各年の2月、5日毎に1回放流した(計7,720粒子/年)。粒子は放流後の経過日数に従い沈降させ、海底に到達した段階で着底と見なした。粒子の沈降には、ズワイガニ幼生の走光性・走地性等(Yamamoto et al. 2022)を考慮し、浮遊幼生期毎の分布水深を模したモデルを用いた(補足図7-2b)。

粒子は対馬暖流により北東方向へ輸送される傾向が強かったが、最終的な着底分布は年ごとに大きく変化した。着底した粒子のうち、ズワイガニ資源に寄与しうるものを抽出するため、補足図7-1の緑点枠のうち、190~500m深に着底した粒子を計数した(補足図7-2a 青線)。ズワイガニ幼生が着底後7年で脱皮齢期9齢として加入する(本文、図2-2)と仮定した際の、実験結果と現存尾数(VPA結果)を、補足図7-2aの青線と緑線で示す。いずれも大きく経年変動するなかで、1998年と2007~09年のピークが一致している。これは、流動によるズワイガニ幼生の主分布域への回帰が、7年後の現存尾数に寄与しうることを示している。また、粒子追跡実験で着底総数の多かった年には、粒子(幼生)が隠岐海脚東方に分布する暖水渦に捕捉され、日本海西部海域に留まっていた(補足図7-1)。

以上の検討から、本海域のズワイガニ資源の変動が海洋構造と関連することが強く示唆された。本系群は産卵から調査による観測(9齢)まで最低7年を要するが、粒子追跡実験による着底量推定はこの空白を埋める新たな予測手法として将来予測精度の向上に大きく寄与する可能性がある。今後も本海域の資源変動メカニズムについて海洋物理学的観点から検討を進め、高精度な将来予測手法の確立を目指す。

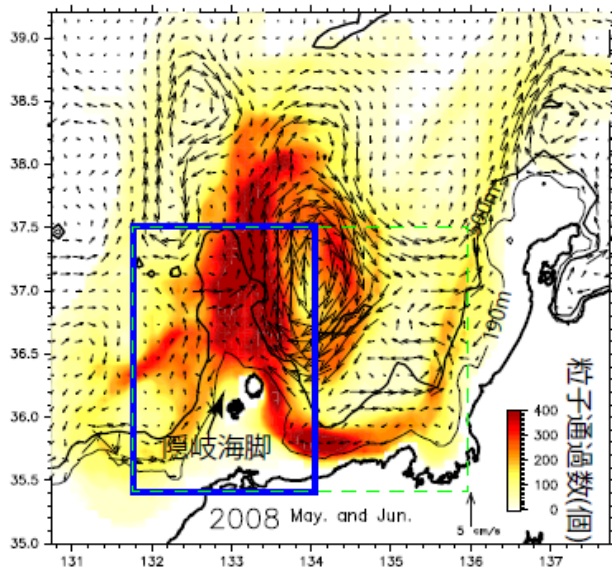
引用文献

- Hirose, N., Takayama, K., Moon, J.-H., Watanabe, T., Nishida, T. (2013) Regional data assimilation system extended to the east Asian margineseas. UMI Sora (Sea and Sky), **89**, 1-9.
- Igeta, Y., C. Sassa, M. Takahashi, M. Kuga, S. Kitajima, T. Wagawa, S. Abe, C. Watanabe, T. Setou, H. Nakamura and N. Hirose (2023) Effect of interannual variations of Kuroshio-Tsushima Warm Current system on the transportation of juvenile Japanese jack mackerel (*Trachurus*

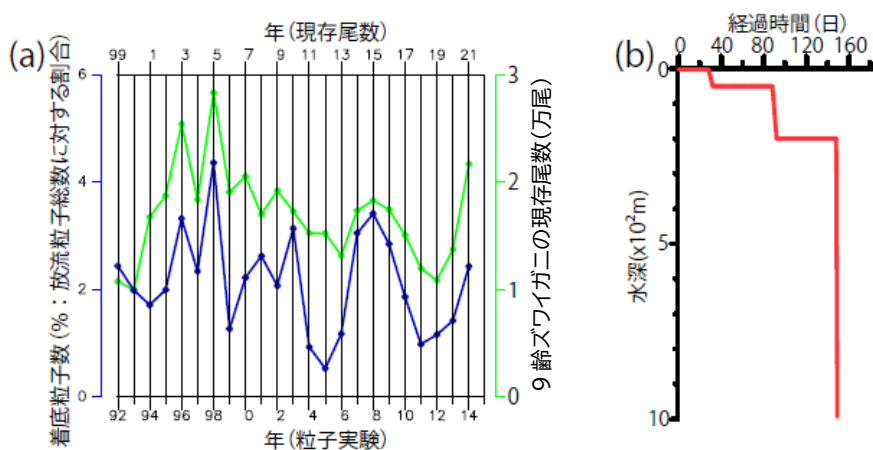
japonicus) to the Pacific coast of Japan. Fish. Oceanogr., **32**, 133-146.

奥野 章・他. 2010. 山陰・隠岐海域で孵出したズワイガニ幼生の輸送シミュレーション. 2010年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 166.

Yamamoto, T., Sakuma, K., Yoshikawa, A. et al. 2022. Changes in phototaxis, geotaxis, and sinking velocity in relation to larval development of snow crab (*Chionoecetes opilio*) and red snow crab (*Chionoecetes japonicus*) under laboratory conditions. Aquat Ecol 56, 1099-1111



補足図 7-1. ズワイガニの仮想孵化域（青枠）と粒子計数海域（緑点枠） カラーハッチは各格子の粒子通過数（2008年の結果）。ベクトルはJADE2の200m深の流れ（2008年5、6月の平均）。



補足図 7-2. (a) A 海域9 齢ズワイガニの現存尾数と放流総粒子数に対する割合で示した再生産に寄与しうる着底粒子数の時間変化 それぞれの時間軸は上と下に示した。(b) 粒子実験に用いたズワイガニの沈降モデル。

補足資料 8 我が国水域におけるズワイガニの系群構造について

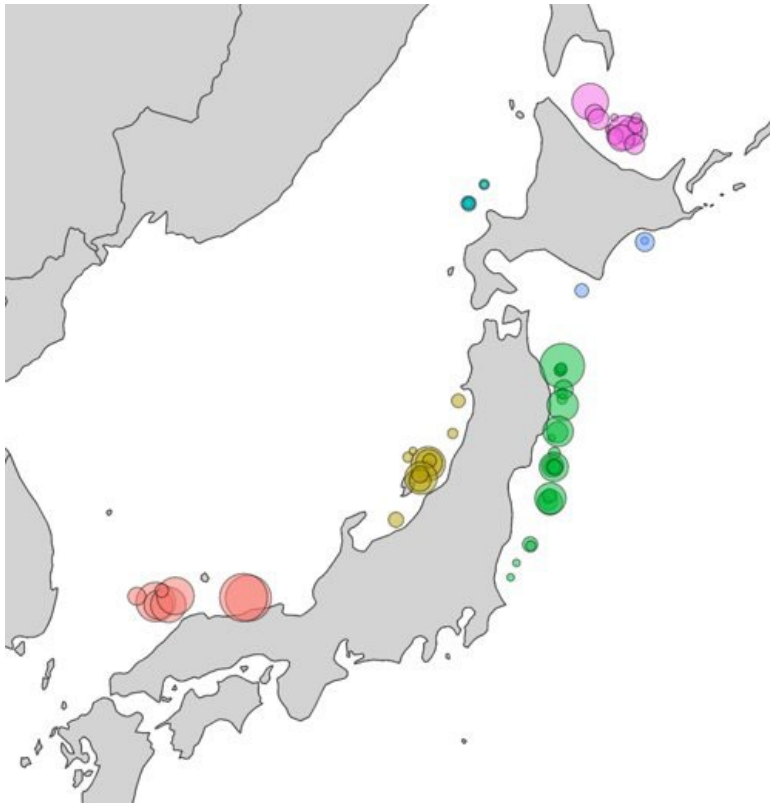
(協力：水産資源研究所 底魚資源部 底魚第1グループ・底魚第2グループ、漁業情報解析部 資源解析グループ)

我が国周辺のズワイガニは日本海 (A 海域・B 海域)、北海道西部、オホーツク海、太平洋北部の 4 系群 5 海域に分布する。これらの系群・海域は海峡や半島といった地理的構造物によって相互に地理的に分断されており、成体の移動による系群間の移出入は考えにくい。一方、本種は 2~3 か月間の幼生分散を経験するため、資源変動を加入プロセスから理解する上で、系群間の幼生分散に関する知見が有用となる。

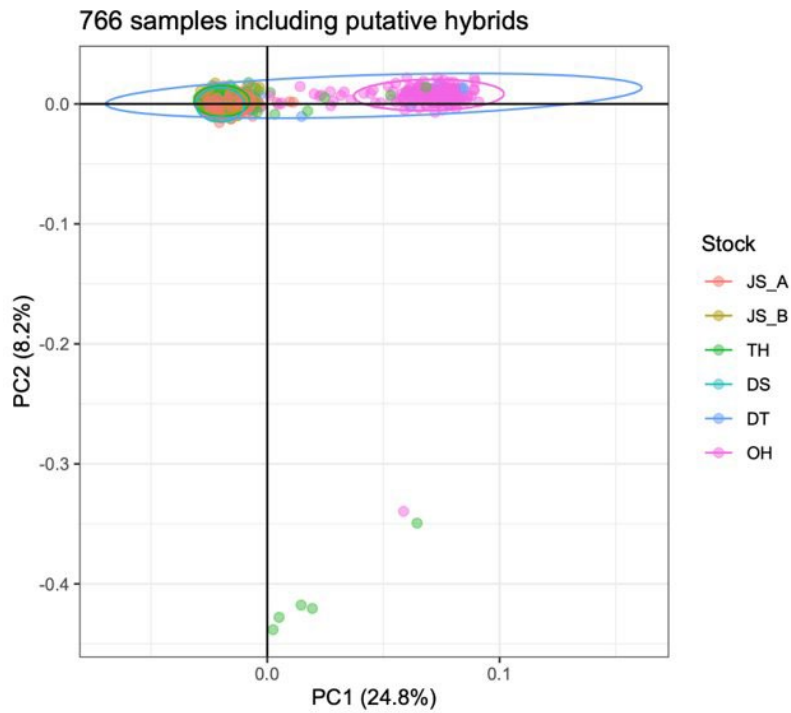
系群間の幼生分散について検討するため、ゲノムワイドな遺伝子多型解析により、ズワイガニの我が国周辺における遺伝的集団構造を明らかにした。ズワイガニおよび外群となるベニズワイガニハイブリッド個体の標本は主に調査船調査により収集し (補足図 8-1、補足表 8-1)、実験室にて定法により DNA を抽出した。抽出 DNA について Illumina 社シーケンサーを用いた GRAS-Di 法による一塩基多型 (single nucleotide polymorphism; SNP) のジェノタイピングを行った。SNP データをドラフトゲノムにマッピングしたのち不確実性の高い座位の情報を除き、ADMIXTURE 解析および主成分分析 (PCA) を行った。さらに、採取地点間の地理的距離 (海洋上の最小コスト距離) と遺伝的距離 (pairwise FST) の関係を Mantel test で検証し、距離による隔離 (Isolation by distance) の可能性について検討した。

マッピングおよびフィルタリングの結果、16,030 座位の SNPs について多型情報を得た。PCA では PC2 (全変量の約 8.2 %を説明) によりハイブリッド個体とズワイガニが、PC1 (全変量の 24.8%を説明) により、オホーツク海から得られた標本とその他海域から得られた標本が、それぞれ明確に区別された (補足図 8-2)。また ADMIXTURE 解析では、2 つの遺伝的クラスターを仮定した場合が最適となり、オホーツク海から得られた標本とその他海域から得られた標本はそれぞれ異なるクラスターを構成した (補足図 8-3)。遺伝的距離と地理的距離の関係を検証したところ、いずれも距離による隔離の効果は認められなかった ($P > 0.05$)。

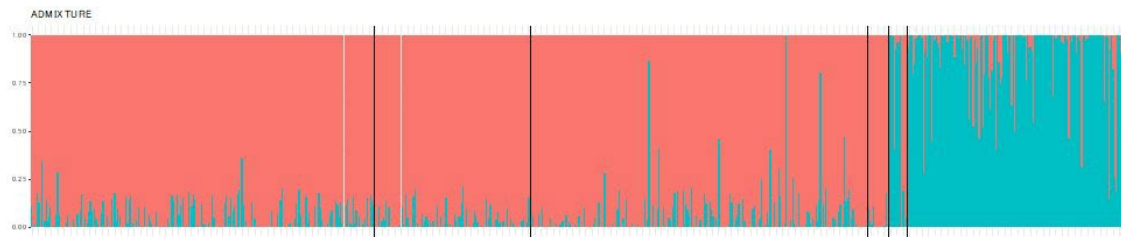
今回の結果から、我が国周辺のズワイガニはオホーツク海の集団とその他の海域で構成される集団の 2 つの遺伝的集団に区別可能であり、オホーツク海と他の海域における遺伝子流動は制限されていることが示された。一方、PCA の PC1 上で 2 集団の中間的な個体が見られたこと、各遺伝的集団内に主分布域とは異なる海域の個体が少数ながら含まれたこと等から、他海域からの移入や交雑が起こり得ることも示唆された (補足図 8-2)。また、日本海および太平洋北部では距離による隔離の効果が見られなかったことから、対馬暖流の勢力下で日本海系群を上流とする長距離分散が生じている可能性がある。今後も検討を継続し、本海域における資源変動が他系群に与える影響について明らかにしていく必要がある。



補足図 8-1. GRAS-Di 解析に用いたズワイガニ標本の採集地点



補足図 8-2. 766 個体 16,030 座位の SNPs 情報に基づく主成分分析の結果



補足図 8-3. ADMIXTURE により 2 つの潜在的母集団を仮定した際の推定結果

区分は左から日本海系群 A 海域、日本海系群 B 海域、太平洋北部系群、北海道西部系群、北海道東部、オホーツク海南部。

補足表 8-1. Gras-Di 解析に用いたズワイガニおよびベニズワイガニハイブリッド個体の採集個体数

系群・海域	採集個体数
日本海系群 A 海域	241
日本海系群 B 海域	109
北海道西部系群	15
オホーツク海南部	152
(北海道東部)*	13
太平洋北部系群	236
合計	766

*北海道東部におけるズワイガニの分布はわずかであり、資源評価対象となっていない。

補足資料9 沖底漁獲成績報告書を用いた標準化 CPUE の算出方法

漁業依存情報である CPUE から資源量の年トレンド情報を得るには、月ごとの分布の違いや漁場の偏り等、時空間的な影響を統計的手法によって取り除く CPUE の標準化を行うことが適切と考えられる。本海域においてズワイガニは狙い魚種であり、狙いの程度は漁期、海域、船団（県籍）等に対応する。そこで、ズワイガニ日本海系群 A 海域の主要漁業である沖底の漁獲成績報告書（以下、漁績）にもとづく CPUE 標準化を行い、資源量の年トレンドの抽出を試みた。漁績には漁獲量（1 航海あたり漁獲量、雌雄別）および漁獲努力量（1 航海あたり網数）が記載されている。CPUE 標準化では、島根県から富山県を根拠地とする沖底船レコードのうち、沖底中海区の中区および西区における操業情報を使用した。さらに、漁期にあたる 11 月～翌年 3 月のデータについて、1972 年漁期（1972 年 11 月～）以降、集計して用いた。これらの操業情報にはズワイガニの漁獲を含まない“ゼロキャッチ”データが一定数含まれる。そこで、ゼロキャッチの割合を推定する有漁確率モデルと、有漁時の CPUE を推定する有漁 CPUE モデルを用いて、それぞれ個別に標準化処理を実施するデルタ型モデル（Lo et al. 1992）を適用した。第 1 段階のモデルでは二項分布を仮定して有漁確率を、第 2 段階のモデルには対数正規分布を仮定して有漁 CPUE を、それぞれ一般化線形モデル（GLM）の枠組みにより推定した。いずれのモデルについても、説明変数を年（Year）、月（Month）、海区（Area）、これらの 1 次の交互作用、および県籍（Prefecture）（すべてカテゴリカル変数・固定効果）とし、有漁確率モデルではズワイガニ漁獲の有無を応答変数（残差が二項分布に従う）、有漁 CPUE モデルでは有漁時の CPUE の対数値を応答変数（残差が正規分布に従う）とした。

有漁確率モデル

$$\text{logit}(P) \sim \text{Year} + \text{Month} + \text{Area} + \text{Year} \times \text{Area} + \text{Month} \times \text{Area} + \text{Year} \times \text{Month} + \text{Prefecture}$$

P は有漁確率。

有漁 CPUE モデル

$$\log(\text{CPUE}) \sim \text{Year} + \text{Month} + \text{Area} + \text{Year} \times \text{Area} + \text{Month} \times \text{Area} + \text{Year} \times \text{Month} + \text{Prefecture}$$

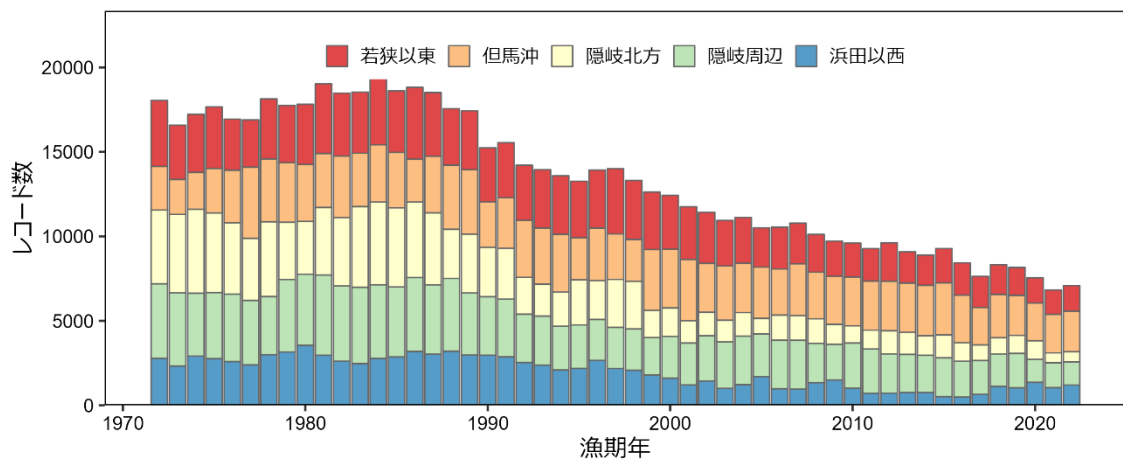
ここで、年は漁期年を示す。レコード数の偏りや交互作用の欠損を考慮しつつ海域ごとの漁業の特性を反映させるため、沖底小海区を浜田（浜田沖、迎日南部、迎日北部）、隠岐周辺、隠岐北方、但馬沖、若狭以東（若狭沖、加賀沖、能登沖）の 5 海区に集約して用いた（補足図 9-1）。ベイズ情報量基準（BIC）の総当たり法に基づくモデル選択を実施した結果、有漁確率モデルおよび有漁 CPUE モデルともに上述のフルモデルが選択された。残差プロット、QQ プロットおよび ROC 曲線等から、いずれのモデルも大きな問題を含まないと判断した。

雌雄別の有漁確率モデルおよび有漁 CPUE モデルについて年に対する最小二乗平均（LSMean）を求め（補足図 9-2）、両者を掛け合わせた値を平均値で除して標準化 CPUE とした（補足図 9-3）。なお、雌の漁期終期は 1972 年当時 1 月末日だったが、徐々に漁期が短縮され、現在は年内とされている。そこで、雌の LSMean は、現在と同様の自主的規制を想定し、11 月および 12 月についてのみ求めた。

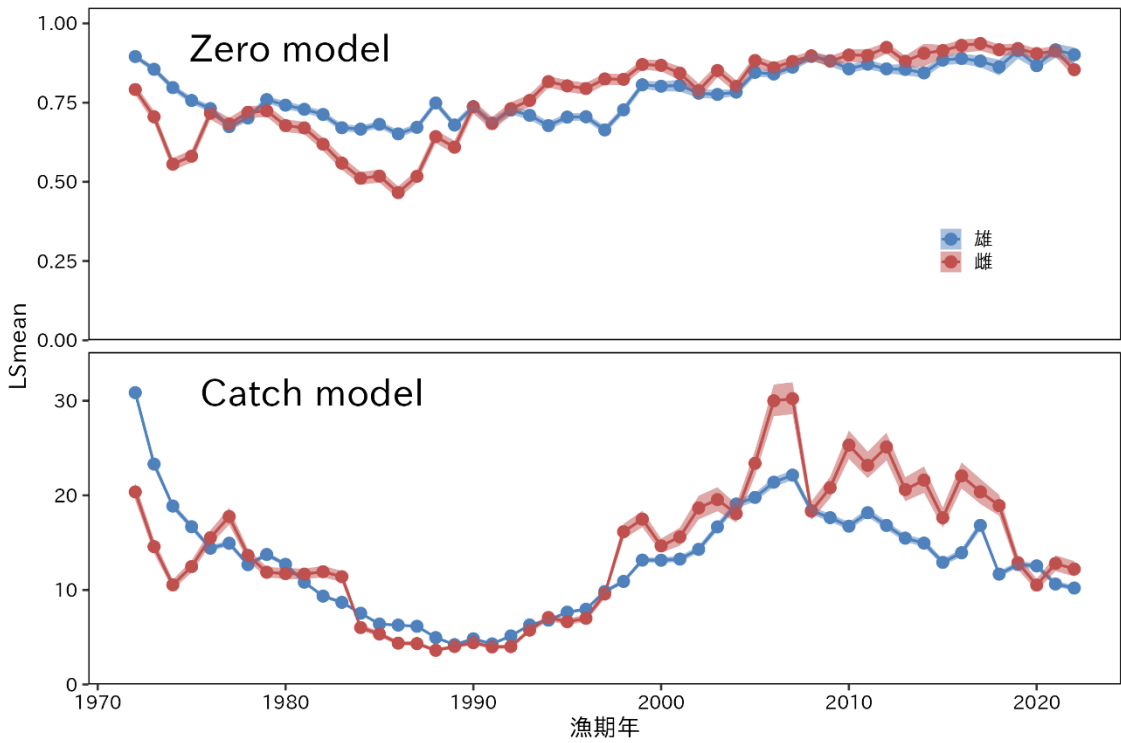
有漁確率は雌雄ともに漁獲が低迷した1970年代後半から1990年頃にかけて低く、近年に向かって徐々に上昇する傾向が見られた。また、有漁時のCPUEは1970年代から1990年頃にかけて低下したのち、2007年まで上昇し、その後増減を伴いながら減少した。標準化CPUEのトレンドは資源量とよく対応した(補足図9-4)。一方、細かな動向の差異も認められ、例えば雄では2018年以降、ミズガニの漁獲抑制と対応するCPUEの抑制傾向が見られた。本海域の漁獲動向は資源の増減に加えて漁業者の自主的な資源保護の取り組みの影響を受けている。また、漁績では雄の漁獲量がカタガニ・ミズガニの合計値となっており、モデルの精度悪化につながっている可能性が高い。従って、CPUE標準化の手法について今後も検討を継続することとした。モデル構築、標準化CPUEおよびモデル診断の詳細を別途説明文書(FRA-SA2023-SC07-0101)に示す。

引用文献

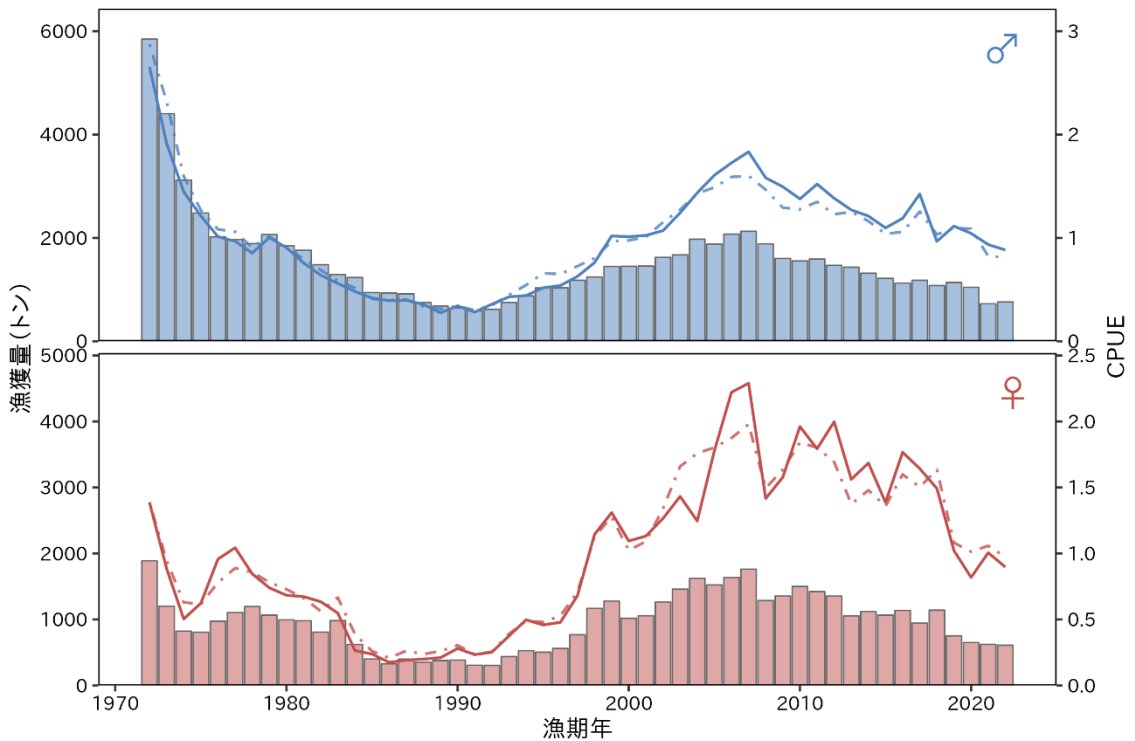
Lo, N. C., L. D. Jacobson and J. L. Squire (1992) Indices of relative abundance from fish spotter data based on delta-lognormal models, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**, 2515-2526.



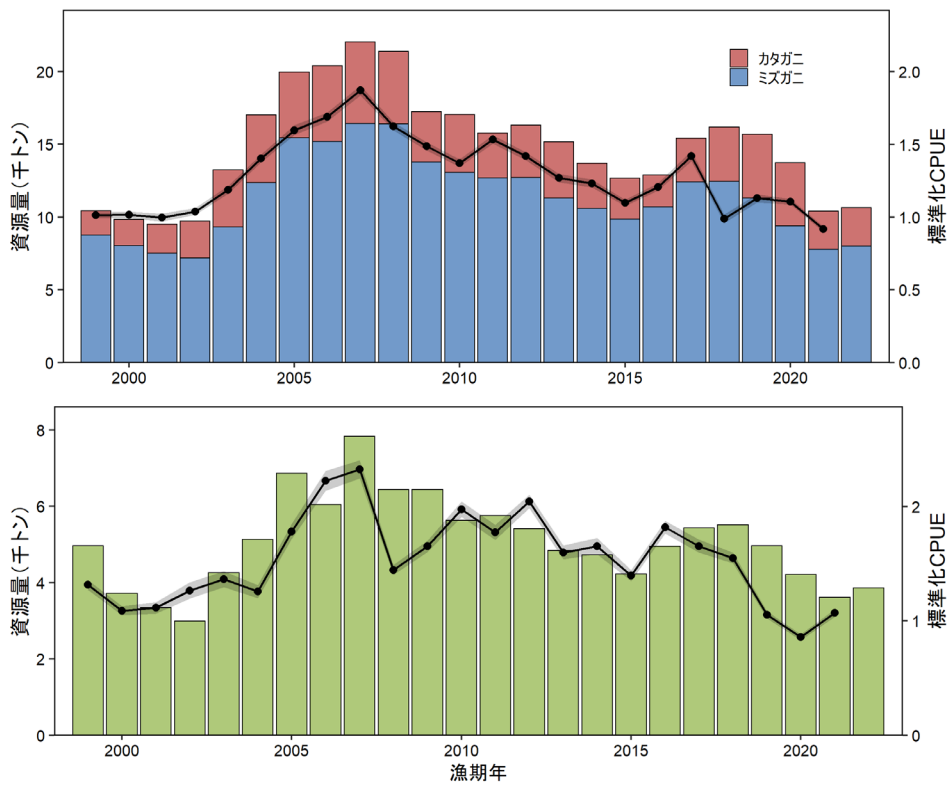
補足図9-1. 本海域における漁績レコード数の経年変化 海区分けは上記本文に従う。



補足図 9-2. 雌雄別の有漁確率モデル（上）および有漁 CPUE モデル（下）について得られた最小二乗平均（LSMean） 影の範囲は 90%信頼区間を示す。



補足図 9-3. 雌雄別漁獲量（棒グラフ）、標準化 CPUE（実線）およびノミナル CPUE（点線） 標準化 CPUE およびノミナル CPUE はいずれもそれぞれの平均値で除して基準化した。



補足図 9-4. 雄（上）および雌（下）の標準化 CPUE（折れ線）ならびにトロール調査に基づく資源量（棒グラフ） 折れ線の影の範囲は 90%信頼区間を示す。