FRA-SA2024-AC014

令和５（2023）年度ズワイガニ太平洋北部系群の資源評価

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（森川英祐・柴田泰宙・成松庸二・冨樫博幸・鈴木勇人・時岡　駿・三澤　遼・金森由妃・永尾次郎・秋田鉄也・平尾　章）
参画機関：青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産資源研究所、福島県水産海洋研究センター、茨城県水産試験場、漁業情報サービスセンター、海洋生物環境研究所

要　　約

本系群の資源量は、着底トロール調査から得られた現存量に状態空間資源評価モデル（Just another state-space stock assessment model: JASAM）を適用して推定した。雌雄合計の資源量は 2008 年漁期（1,410 トン）以降減少し、2022 年漁期は 336 トンと推定された。この数値は 1997 年以降 4 番目に低い水準である。親魚量（漁期後の雌の資源量）も長期的に減少傾向にあり、2022 年漁期は 131 トンと推定された。本系群の資源量は 2011 年の東日本大震災（以下、「震災」という）後、漁獲圧が非常に低い水準で推移しているにもかかわらず減少が続いている。

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」において、本系群の再生産関係にはホッケー・スティック型が適用された。本系群では自然死亡係数（M）が高く、この状態が今後も続くと仮定した場合、適用された再生産関係では、漁獲を 0 とした場合であっても持続的に資源を維持することは困難と判断された。そのため、本系群では最大持続生産量（MSY）を実現できる水準の親魚量（SBmsy）の提案が見送られ、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」および「水産政策審議会」を経て、本系群の資源管理の目標は 2019 年漁期の資源量（令和 2（2020）年度の資源評価結果では 436 トン）と定められた。

2022 年漁期の資源量は 336 トンであり、資源管理基本方針で目標値とされた令和元年（2019 年）漁期の資源量（436 トン）を下回っている（ただし、本年度の評価結果では 2019 年漁期の資源量は 299 トンに修正されている）。また直近 5 年間（2018～2022 年漁期）の推移から親魚量の動向は「横ばい」傾向にあると判断される。本系群の漁獲シナリオは「本系群をとることを目的とする操業を避ける」とされ、震災のあった 2011 年漁期以降の最大漁獲量を考慮して漁獲可能量（20 トン）が算定されている。2024 年漁期の資源量予測値、および現状の漁獲圧による算定漁獲量は、それぞれ 258 トンおよび 8.2 トンと算出された。

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	－
2022 年漁期の親魚量の水準	－
2022 年漁期の漁獲圧の水準	－
2022 年漁期の親魚量の動向	横ばい
最大持続生産量（MSY）	－
2024 年漁期の算定漁獲量	8.2

コメント:
・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」において、本系群をとることを目的とする操業が行われていない平成 23 年（2011 年）以降の最大漁獲量を考慮して漁獲可能量を算定すると取りまとめられた。
・現状の漁獲圧には 2020～2022 年漁期の平均値（F2020-2022）を用いた。
・現状の自然死亡係数には令和 4（2022）年度の資源評価における値（M=0.679）を用いた。
・本系群では現状の M が高く、適用した HS 再生産関係では仮に漁獲を 0 とした場合でも資源量が減少する。資源量は 2021 年漁期に最低の値を記録しており、2022 年漁期はやや回復したものの、引き続き資源の保護が必要である。

近年の資源量、漁獲量、漁獲圧、および漁獲割合

年	資源量（トン）	親魚量（トン）	漁獲量（トン）	F/Fmsy	漁獲割合（%）
2018	429	91	3.3	－	0.8
2019	299	70	7.4	－	2.5
2020	228	66	7.9	－	3.5
2021	226	73	10	－	4.4
2022	336	131	13.7	－	4.1
2023	325	76	10.1	－	3.1
2024	258	56	8.2	－	3.2

・2023、2024 年漁期の値は将来予測に基づく平均値である。
・現状の自然死亡係数には令和 4（2022）年度の資源評価における値（M=0.679）を用いた。
・2023、2024 年漁期の漁獲圧は、2020～2022 年漁期の平均値（F2020-2022）とした。

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
漁期年別漁獲量・ 漁獲努力量	県別漁獲統計（農林水産省・各県水試調べ） 太平洋北区　沖合底びき網漁業漁獲成績報告書（水産庁） 市場調査（福島県）
資源量指数 加入量指標値	着底トロール調査（10～11 月、水研）
成熟年齢 齢期別平均体重	着底トロール調査（10～11 月、水研）

本系群の漁期年は 7 月～翌年 6 月、漁期は 12 月～翌年 3 月である。

2. 生態

（1）分布・回遊

太平洋北部では、ズワイガニは青森県～茨城県沖の水深 150～750 m に分布する（図 2-1、北川 2000）。太平洋北部では、雄は甲幅 80 mm 以上、雌は外仔を持つ成熟雌が漁獲対象となるが、それらの個体は水深 400～500 m に多く分布し、この水深帯が主漁場となっている（北川 2000）。オホーツク海沿岸の漁場水深は 150～250 m（土門 1965）、日本海西部海域の漁場水深は 200～400 m であることから（伊藤 1956、金丸 1990）、太平洋北部の漁場水深は他の海域よりも深いのが特徴である。調査船調査で得られた本種の水深別の甲幅組成から、甲幅 20～40 mm の若齢ガニは水深 400 m 以浅の海域に広く生息し、成長すると深所へ移動すると推測されているが（北川 2000）、太平洋北部での生活史、特に季節的な深浅移動や南北移動の詳細は明らかになっていない。

遺伝解析の結果、我が国周辺のズワイガニには 2 つの遺伝的クラスターが存在し、日本海系群、北海道西部系群、太平洋北部系群が 1 つの遺伝的クラスターを構成することが示されている（補足資料 11）。

（2）年齢・成長

本系群では、甲幅によって脱皮齢期を推定している。ズワイガニ日本海系群では、甲幅 20 mm 程度（6 齢期未満）までは 1 年間に複数回の脱皮を行い、以降は最終脱皮まで毎年 1 回脱皮するとされている（桑原ほか 1995）。本系群では 9 齢期までの成長には雌雄差はなく、8 齢期で甲幅 28～42 mm、9 齢期で甲幅 42～56 mm となる（図 2-2、表 2-1、上田ほか 2007）。なお、6 齢期までの成長が日本海系群と同じと仮定すると、寿命は 10 歳以上と考えられる。

（3）成熟・産卵

本報告では最終脱皮をすることを「成熟」とし、最終脱皮前の個体を未成熟個体、最終脱皮後の個体を成熟個体と表記した。

雄では、10 齢期（甲幅 56～74 mm）以降に成熟個体が出現する（図 2-3）。その後、成熟に至るまで 11 齢期（甲幅 74～86 mm）、12 齢期（甲幅 86～98 mm）と成長し、多くの個体は 13 齢期（甲幅 98～110 mm）までに最終脱皮を行い、成熟個体となる。少数ながら、13 齢期でも最終脱皮していない個体（甲幅 98 mm 以上）も認められるが、14 齢期（甲幅 110 mm 以上）までにほぼすべての個体が成熟する。本系群は日本海に比べて大型の雄が少ないとされているが、この原因は成長速度の違いによるものではなく、成熟サイズの差に起因すると考えられている（上田ほか 2007）。

雌も同様に、10 齢期（甲幅 56 mm 以上）以降に成熟個体が出現するが、成熟割合は甲幅 70 mm 前後で急激に変化することから、ほとんどの雌は 11 齢期になる際に最終脱皮して成熟すると考えられる。したがって、本系群の資源評価では、すべての雌は 11 齢期になる際に最終脱皮、成熟すると仮定した。なお雌の成熟サイズは日本海とほぼ同じである。産卵期および産卵場の詳細は不明であるが、孵出が近い外仔を有する雌は冬～春に多く採集される。

（4）被捕食関係

太平洋北部での食性は不明であるが、他海域では底生生物を主体として、甲殻類、魚類、イカ類、多毛類、貝類、棘皮動物など多様な生物を捕食するほか、共食い（大型個体による小型個体の捕食）することが報告されている（安田 1967、尾形 1974、Lovrich and Sainte-Marie 1997、Kolts et al. 2013）。索餌期は周年、索餌場所は水深 150～750 m である。また、小型の個体はマダラ、ゲンゲ類、ガンギエイ類等に捕食されるほか、脱皮直後と思われる大型の個体をマダラが被食した事例が報告されている（伊藤 1968、Robichaud et al. 1991、伊藤ほか 2014）。

（5）特記事項

本系群では状態空間資源評価モデル（State-space stock assessment model: SAM、Nielsen and Berg 2014）を元に開発した JASAM（Shibata et al. 2021、補足資料 2 を参照）によって自然死亡係数（M）が推定されている。2000 年代後半から 2010 年代後半にかけて、M は長期的に上昇傾向を示しており（図 4-6、表 4-2）、震災以降の漁獲圧が非常に低い水準に留まっているにもかかわらず、資源が回復しない要因となっている。M が上昇した原因については明らかになっていないが、東北沖の底水温の上昇との関係が指摘されている（Shibata et al. 2021、補足資料 7）。なお、本報告における M は、ある年の 12 月 1 日から翌年の 12 月 1 日までにかかる自然死亡係数であり、例えば「1997 年の M」は、1997 年 12 月 1 日から 1998 年 12 月 1 日までにかかる自然死亡係数である。

3. 漁業の状況

（1）漁業の概要

漁期年を 7 月～翌年 6 月として漁獲量を集計した。本系群は主に沖合底びき網漁業（以下、「沖底」という）によって漁獲されているが、ズワイガニを選択的に漁獲する専業船は少なく、他の魚種とともに漁獲対象の一つとして扱われている。漁獲量の大部分は、宮城県以南のオッタートロール漁法（以下、「トロール」という）により占められ、特に福島県

が高い割合を占めている（図 3-1）。福島県では 1975～1980 年頃からズワイガニの漁獲を開始し、1990 年代半ば以降は本系群の漁獲量の大部分を福島県船が占めるようになった（表 3-1）。しかし、震災の影響により福島県船は操業休止・自粛となり、2012 年 11 月から 2021 年 3 月までは「試験操業」、2021 年 4 月以降は「拡大操業」へと移行しているが、本種に対する漁獲圧は依然として低い水準で推移している。

1996 年に農林水産省令に基づき規制が導入され、漁期（12 月 10 日から翌年 3 月 31 日）と漁獲サイズ規制（雄では甲幅 80 mm 未満、雌では未成熟ガニの漁獲が禁止）が定められた。また、規制の導入とあわせて TAC 対象種に指定されている。これらの行政的規制に加え、水揚の中心である福島県松川浦漁港では、沖底船の 1 隻 1 航海当たりの水揚量制限や休漁日の設定が行われている。

（2）漁獲量の推移

青森県～茨城県全体の漁獲量が把握できるのは 1996 年漁期以降である。全県の合計漁獲量は、その大部分を占める福島県の漁獲量と連動して推移している。漁獲量は、1995 年漁期には 353 トン（岩手県を含まない）を記録したが、2000 年漁期には 107 トンまで減少した（図 3-1、表 3-1）。また 2003 年漁期には茨城県の漁獲量が急増して 279 トンとなったものの、2005 年漁期には 122 トンに減少するなど、漁獲量の増減幅は大きい。

2011 年漁期以降、震災による福島県船の操業休止のため、漁獲量は低い水準で推移している。2011 年漁期は 0.5 トン、試験操業が開始された 2012 年漁期は 5.6 トンであった。2013～2021 年漁期は 13 トン以下で推移したが、2022 年漁期はやや増加して 13.7 トンであった。なお、当海域のズワイガニの漁獲量は価格の動向や他魚種の漁獲状況等に影響を受けるため、漁獲量の多かった震災前においても、その変動は資源の変動を直接示していない場合もあると考えられる。

雌雄別、成熟段階別漁獲尾数の推移をみると、漁獲の多かった 1997～2010 年漁期では、すべての漁期年で雌の漁獲尾数が雄の漁獲尾数を上回っていた（図 3-2）。

（3）漁獲努力量

本系群は主に沖底によって漁獲されている。沖底の漁獲成績報告書（以下、「沖底漁績」という）を用い、漁獲努力量として福島県船の沖底（トロール）によるズワイガニの有漁網数（漁船ごとのズワイガニが漁獲された日の網数の合計）を求め、その推移を調べた（図 3-3）。なお、沖底漁績は暦年集計のため、本年度の資源評価で使用できるのは 2021 年漁期までの数値である。

漁獲努力量は、1997～2002 年漁期に 2,000 網前後で推移し、2003 年漁期に 3,600 網に増加した後、2005 年漁期に 1,500 網に減少した。その後、2008～2009 年漁期に再び 3,600 網に増加したが、2011 年漁期には、震災の影響により 0 網となった。2012 年漁期以降は試験操業、拡大操業のみとなっており、極めて低い値で推移している。2012～2019 年漁期は概ね 50 網前後であったが、2020 年漁期は 138 網、2021 年漁期は 241 網とゆるやかに増加している。なお、2010 年漁期の値については震災によって沖底漁績が提出前に流出したために使用できない。また、漁獲努力量の分布について震災前（2009 年漁期）と 2021 年漁期を比較すると、その分布は大きく変化しており、2021 年漁期では相馬沖の一部の海域の

みに分布していた（図 3-4）。

4. 資源の状態

（1）資源評価の方法

雌雄別の齢期別漁獲尾数（補足資料 6）と、1997 年以降毎年 10～11 月に調査船若鷹丸で実施している底魚類現存量調査（以下、「着底トロール調査」という）（青森県～茨城県沖、水深 150～900 m、2022 年は計 143 地点）から得た現存量（面積－密度法、補足資料 4）を資源量指標値に用い、これに JASAM を適用し、資源の計算を行った（補足資料 1）。

（2）資源量指標値の推移

着底トロール調査から得た現存量は、長期的には 1997 年漁期（496 トン）から 2007 年漁期（1,777 トン）にかけて増加し、その後減少傾向にある（図 4-1、表 4-1）。調査期間を通じて大きく増減を繰り返しており、2019 年漁期には前年の 407 トンから大きく増加して 992 トンとなったが、2020 年漁期は大きく減少して 1997 年の調査開始以降最低の 114 トンとなった。2022 年漁期の現存量は 315 トンであり、2021 年漁期から 1.7 倍に増加したものの、過去 3 番目に低い値であった。また、各漁期年の調査結果から求めた現存親魚量（雌の成熟個体の漁期後現存量）も長期的には減少傾向を示しており、2022 年漁期の現存親魚量は 78 トンであった。

沖底漁績から得た有漁網数と漁獲量を用い、1997～2021 年漁期の主漁場である福島県の沖底による単位努力量当たり漁獲量（CPUE）の推移を調べた。その結果、CPUE（kg/網）は 2005 年漁期まで緩やかな減少傾向を示し、2006～2008 年漁期にやや増加したが、2009 年漁期には 2005 年漁期の水準まで減少した（図 4-2）。2011 年漁期以降は大きく変化しており、2012 年漁期の CPUE は 55.4 kg/網であったのに対し、2017 年漁期には 187.8 kg/網へと急増した。その後は急減して 2018 年漁期以降は 70 kg/網前後で推移し、2021 年漁期は 40.8 kg/網であった。なお、2011 年漁期は漁業が行われず、また 2014 年漁期は網数が 1 網のみであったため、いずれも CPUE を計算しなかった。

沖底漁績では、操業位置や漁獲量等は 1 日ごとにまとめて報告されており、狙い操業と混獲の区別が困難である。震災後には、漁獲の大部分を占めていた福島県船が試験操業のみとなっており、漁獲努力量の変化が著しく、またその分布も大きく変化している（図 3-4）。漁業者からの聞き取り情報によると、近年の操業は漁期中に数回、キチジ・ズワイガニ等の多い深場（水深 400～500 m）の漁場に行く程度とのことであった。以上のことから、震災後の沖底 CPUE の推移は本系群の資源動向を反映していないと考えられる。

（3）資源量と漁獲圧の推移

JASAM によって推定された雌雄合計の資源量は、1997～2008 年漁期に 717～1,410 トンの間を変動した後、減少傾向となっており、2021 年漁期には 226 トンと過去最低の資源量となった。2022 年漁期には増加に転じ、336 トンであった（図 4-3、表 4-2）。雌雄別の資源量は雌雄ともに 2008 年漁期（雌：557 トン、雄：853 トン）をピークに減少傾向にある（図 4-4）。2002 年漁期以前は雌雄で異なる動向を示していたが、近年は雌雄でほぼ同じ動向となっており、2022 年漁期の雌雄別資源量は雌が 166 トン、雄が 170 トンであった。親

魚量の推移を見ると、1998 年漁期の 424 トン以降、長期的には減少傾向にある（図 4-5）。2003～2007 年漁期に緩やかに増加したものの、その後減少に転じ、2020 年漁期には過去最低となる 66 トンを記録した。2021 年漁期以降は増加しているものの、2022 年漁期は 131 トンにとどまっている。

推定された自然死亡係数 M の推移をみると、1997 年から 2018 年にかけて上昇傾向を示し、2018 年に M=0.715 となった（図 4-6、表 4-2）。その後一転して下降傾向となり、2022 年は 1997 年以降最も低い M=0.192 と推定され、直近 3 年間の平均値（M2020-2022）は 0.309 であった。2000 年代以降の M の上昇については、底水温の上昇が一因である可能性が指摘されている（Shibata et al. 2021）。宮城県～茨城県における底水温は 2000 年代後半から上昇傾向を示し、2016 年以降は下降傾向にあり、その動向は M の動向と類似している（補足資料 7）。しかし、2022 年の高水温期（11～12 月）における底水温は横ばいまたは上昇傾向を示しており、特に若齢個体の分布が多い水深 300 m 帯では、2016 年に匹敵する高い値となっていた。こうした環境はズワイガニにとって厳しい環境であると考えられ、今後の動向に注意しつつ、M と底水温の関係について検討を進める必要がある。

漁獲割合の推移をみると、1997～2010 年漁期にかけては雌雄ともにいくつかの年を除いて 20%程度で推移していたが、2011 年漁期は震災の影響により 0.1%まで激減した（図 4-7、表 4-3）。2012 年漁期に福島県船の試験操業が開始されたものの、2012 年漁期以降の漁獲割合は雌雄ともに 0.1～5.8%と低い値に留まっている（2022 年漁期は雌で 4.8%、雄で 3.4%）。また、F 値の推移をみると、未熟雄、成熟雄、雌いずれも震災以降は低い値となっており、2012 年漁期以降の F 値はいずれも 0.01 を下回っていた（図 4-8）。2022 年漁期の F 値は、未熟雄で 0.035、成熟雄で 0.036、雌で 0.044 であった。

加入量と再生産成功率（RPS）の推移を図 4-9 に示した。なお、ここでの加入量は JASAM で推定された雌の 8 齢期資源尾数である。RPS は加入量の増加とともに 2002～2008 年加入群で増加しており、2008 年加入群では 35.7 尾/kg であった。その後は増減しながら推移しており、2022 年加入群では 10.3 尾/kg となっていた。

本系群では、データの更新によって自然死亡係数 M をはじめとする各パラメータが再推定され、資源量の数値が更新される。データの更新による資源量推定値および M の推定値の変化を見るために、最新年から 1 年ずつデータを取り除いたレトロスペクティブ解析を行った（補足資料 2、補足図 2-6）。令和 4（2022）年度の資源評価と比較すると、資源量推定値は-84～+96 トンの修正があったものの、その動向は大きく変化していない。一方、M の動向は大きく変化しており、令和 4（2022）年度の M はデータの期間内において一貫して上昇傾向を示し、直近 3 年間（2019～2021 年）の平均値は 0.679 であったのに対し、本年度の M は 2018 年をピークに下降に転じ、2022 年の値は M=0.192、直近 3 年間（2020～2022 年）の平均値は 0.309 であった。この M の動向の変化は、2022 年の着底トロール調査による現存尾数の増加が大きく影響したと考えられる（補足資料 8）。調査で得られた変動係数 CV の感度分析を行ったところ、CV を 1.5 倍にした場合では M の推定値は大きく変化した（補足資料 8）。また、M の推定値は今後の調査結果によっては再度大きく修正される可能性も示唆された（補足資料 9）。本年度の M（直近 3 年間の平均値、M=0.309）を用いた場合、管理基準値および漁獲管理規則を算定することは可能である（補足資料 10）。しかし、M が実際には低下していなかった場合には、漁獲の有無に依らず資源が枯渇する

可能性が非常に高く、不確実性が大きい本年度の M を用いた将来予測および管理基準値の算定は適切ではないと判断した。したがって、本報告においては将来予測に用いる「現状の M」は、令和 4（2022）年度の資源評価における値（M=0.679）を踏襲することとした。本系群の M については今後も調査、実験等を継続してデータの収集、蓄積に努める。

（4）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

加入量当たり漁獲量（YPR）と加入量当たり親魚量（SPR）を用いて現状の漁獲圧および漁獲圧の経年変化について検討した。加入量あたり親魚量（SPR）は、漁獲圧が無かった場合とあった場合の SPR の比（%SPR）を用いて評価した（図 4-10）。

ズワイガニの最終脱皮を組み込んだ齢構成モデルを用いて、本系群の%SPR と YPR を雌雄別に求めた（Ueda et al. 2009、図 4-10）。M は現状の M（令和 4（2022）年度の資源評価における値、M=0.679）とし、最終脱皮率には JASAM で得られた推定値を用いた。また漁獲対象外の齢期区分については漁獲対象の齢期区分と同様の F 値で漁獲され、漁獲後に放流されると仮定した。なお、ここでは生理的寿命を考慮せずに計算を行い、漁獲対象外の齢期区分が放流される際、50%が生残すると仮定した。

現状の M を仮定した場合、Fmax は雄で 0.36、雌で 0.28、F0.1 は雄で 0.27、雌で 0.21、F30%SPR は雌で 0.56 であった。F2020-2022（2020～2022 年漁期の平均）は雄で 0.039、雌で 0.025 であり、F0.1 などと比較して非常に小さい値となっている。なお、震災前の平均的な漁獲圧（F2006-2009、2008 年漁期を除く）は、雄で 0.13、雌で 0.24 であり、雌に関しては F0.1 よりも大きい値であった。

JASAM で得られた 1997～2022 年漁期の各年の雌の F 値と各年の M（本年度評価における値）を用いて雌の%SPR を算出した（図 4-11）。その値の推移をみると、2010 年漁期までは 30～56%で推移していたが、2011 年漁期以降は震災によって漁獲圧が大きく低下し、90%以上となっていた。2021 年漁期以降は主に M の低下によって%SPR は小さくなっており、2022 年漁期は 78.0%であった。

（5）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 4-12 に示す。なお本系群では、親魚量は雌の成熟個体（11 齢期）の漁期後資源量、加入量はその 5 年後の 8 齢期の資源尾数である。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」において、本系群の再生産関係式にはホッケー・スティック型再生産関係が適用された（森川ほか 2020）。その際、再生産関係式のパラメータ推定に使用するデータは、令和元（2019）年度の資源評価（柴田ほか 2020）に基づく親魚量・加入量を用い、最適化方法は最小二乗法とし、加入量の残差には自己相関が考慮された。ただし、本系群では加入までのプロセスが不明なため、日本海系群と同様に加入までの年数を 5 年と仮定して推定した。なお、資源量推定に用いた JASAM 内では 8 齢期の加入尾数はランダムウォークで与えており、再生産の仮定が異なっている点は留意する必要がある。しかし、JASAM に再生産関係を組み込むにはモデル選択をはじめ様々な検討が必要であることから、本系群では JASAM への再生産関係の組み込みは行わず、一例として再生産関係を JASAM 外で推定することとした（森川ほか 2020）。今後、引き続き調査・実験等を通じて情報収集を行い、将来課題

としてJASAM内部に再生産関係を組み込むことを検討する。

（6）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、本系群において現状のM（令和4（2022）年度の資源評価における値、M=0.679）が今後も継続した場合、適用したホッケー・スティック型再生産関係では漁獲がない場合でも資源量が減少するため、資源を持続的に維持するための管理基準値案の提案を見送った。

（7）資源の水準・動向および漁獲圧の水準

本系群では現状のM（令和4（2022）年度の資源評価における値、M=0.679）が大きく、適用したHS型再生産関係では漁獲がない場合でも資源量が減少するため、管理基準値の提案が見送られている。このため、MSYを実現する親魚量および漁獲圧、目標管理基準値（SBmsy）、神戸プロット、MSY水準に基づく資源水準は提示できない。

JASAMによって推定された2022年漁期の資源量は336トンであり、資源管理基本方針で目標値とされた令和元年（2019年）漁期の資源量（令和2年（2020年）度の資源評価における推定値436トン）を下回った（ただし、本年度の評価結果では2019年漁期の資源量は299トンに修正されている）。親魚量の動向は直近5年間（2018～2022年漁期）の推移から「横ばい」と判断される。

5. 将来予測

（1）将来予測の設定

本年度の資源評価で推定した齢期別資源量に基づき、2023～2054年漁期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（8齢期）は、森川ほか（2020）で適用されたホッケー・スティック型再生産関係を用いて各年漁期の親魚量から予測した。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、5,000 回の繰り返し計算を行った。8齢期以降の生残には現状のM（令和4（2022）年度の資源評価における値、M=0.679）を用い、2023年漁期以降の漁獲量は、予測される資源量（漁獲対象となる雄の甲幅80 mm以上、成熟雌の重量）と現状の漁獲圧（F2020-2022）から計算した。参考として、2023年漁期以降の漁獲圧を0とした場合についても計算を行った。

（2）漁獲管理規則

本系群は「管理基準値等に関する研究機関会議」において管理基準値の提案が見送られており、漁獲管理規則は提案されていない。

（3）2024年漁期の予測値とABCの算定

本系群については「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、本系群をとることを目的とする操業が行われていない平成23年（2011年）以降の最大漁獲量を考慮して漁獲可能量を算定すると定められている。したがって、目標管理基準値が提案されていない現状においては、資源量の推定結果と漁獲シナリオを用いてABCの算定を行う状況には至っていない。そのため、本報告では、2024年の予測資源量に現状の漁

獲圧（F2020-2022）で漁獲した場合の予測漁獲量を参考値として示した。その結果、2024年漁期に予測される漁獲量は 8.2 トン、親魚量は平均 56 トンと見込まれた。

（4）2025 年漁期以降の予測

2025 年漁期以降も含めた将来予測の結果を図 5-1 および表 5-1 に示す。8 齢期以降の生残に現状の M（令和 4（2022）年度の資源評価における値、M=0.679）を用い、現状の漁獲圧による漁獲を 10 年間継続した場合、2034 年漁期の親魚量の予測値は平均 11.8 トン（80%予測区間は 6.1～18.4トン）であった。なお、漁獲を 0 とした場合においても資源量は減少し続け、2034年漁期の親魚量の予測値は平均 13.0 トン（80%予測区間は 6.7～20.8 トン）と予測された。

6. 資源評価のまとめ

本系群の資源量は 2008 年漁期の 1,410 トンをピークに減少傾向が続いており、2022 年漁期の資源量は 336 トンであった。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」において、本系群の再生産関係に適用されたホッケー・スティック型再生産関係に基づく加入、ならびに現状の M（令和 4（2022）年度の資源評価における値、M=0.679）が今後も続くと仮定した場合、漁獲を 0 とした場合であっても持続的に資源を維持することは困難と判断された。そのため、本系群では最大持続生産量（MSY）を実現できる水準の親魚量（SBmsy）を算出することが見送られている。2022 年漁期の資源量は、資源管理基本方針で目標値とされた令和元年（2019 年）漁期の資源量（436 トン）を下回っており、また親魚量の動向は、直近 5 年間（2018～2022 年漁期）の推移から「横ばい」傾向にあると判断された。

7. その他

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」において、将来的に M が低下した場合に管理基準値等を設定する水準である「管理基準値設定水準案」が示されている（森川ほか 2020）。管理基準値設定水準案となる M は「現状の漁獲圧のもとで資源が回復し得る親魚量を維持する基準」であり、具体的には直近 3 年間の M の平均値が 0.432 以下になることと定義されている。本年度の資源評価で推定された直近 3 年間の M（M2020-2022）の平均値は M=0.309 であり、管理基準値設定水準案を下回っていた。しかし、本年度の資源評価における M の低下は、2022 年の着底トロール調査による現存量が 2021 年に比べて大きく増加したことによって生じたと考えられ、今後の調査結果によっては再度大きく修正される可能性がある（補足資料 8、9）。なお、本年度の資源評価で推定された M（直近 3 年間の平均値、M=0.309）の下では、管理基準値および漁獲管理規則を算定することは可能である（補足資料 10）。しかし、M が実際には低下していなかった場合には、漁獲の有無に依らず資源が枯渇する可能性が非常に高く、不確実性が大きい本年度の M を用いた将来予測および管理基準値の算定は適切ではないと判断した。したがって、本報告において「現状の M」は令和 4（2022）年度の資源評価における値（M=0.679）を踏襲し、この値を用いた将来予測を行った。現状の M の下では資源を持続的に維持することは困難であることから、本年度は管理基準値案、漁獲管理規則案については検討できない。本系群の M については今後も調査、実験等を継続してデータの収集、蓄積に努める。

なお、本系群の漁獲シナリオでは「本系群をとることを目的とする操業を避ける」とされており、他魚種狙いの操業においても混獲を極力避ける、漁獲対象外の小型個体が入網する場所では操業を控える、漁獲可能な個体であっても小さいサイズについては可能な限り放流するなど、少しでも親魚量を確保する取り組みを継続することが重要である。

8. 引用文献

土門　隆 (1965) ズワイガニ調査 (1964). 北水試月報, **22**, 219-234.

伊藤勝千代 (1956) 日本海の底魚漁業とその資源. 重要水族の漁業生物学的研究（ズワイガニの項）. 日水研報告, **4**, 293-305.

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. 日水研報告, **19**, 43-50.

伊藤正木・服部　努・成松庸二・柴田泰宙 (2014) 東北沖太平洋におけるズワイガニの捕食について. 東北底魚研究, **34**, 123-132.

金丸信一 (1990) 日本海区のズワイガニ類の漁獲状況について. 漁業資源研究会議北日本底魚部会報, **23**, 13-23.

北川大二 (2000) 東北海域におけるズワイガニの分布と生物特性. 東北水研研報, **63**, 109-118.

Kolts, J. M., J. R. Lovvron, C. A. North, J. M. Grebmeier and L. W. Cooper (2013) Effects of body size, gender, and prey availability on diets of snow crabs in the northern Bering Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., **483**, 209-220.

桑原昭彦・篠田正俊・山崎　淳・遠藤　進 (1995) 「日本海西部海域におけるズワイガニの資源管理」. 日本水産資源保護協会, 東京, 89 pp.

Lovrich, G. A., B. Sainte-Marie (1997) Canibalism in the snow crab, *Chionoecetes opillio* (O. Fabricius) (Brachyura: Majidae), and its potential importance to recruitment. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **221**, 225-245.

森川英祐・成松庸二・柴田泰宙・鈴木勇人・時岡　駿・金森由妃・三澤　遼・永尾次郎 (2020) 令和 2 (2020) 年度ズワイガニ太平洋北部系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書. 水産研究・教育機構, 1-27. FRA-SA2020-BRP02-5. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_zuwai_pacific_north_r.pdf (last accessed 05 August 2020)

Nielsen, A. and C. W. Berg (2014) Estimation of time-varying selectivity in stock assessments using state-space models. Fish. Res., **158**, 96-101.

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, 64 pp.

Robichaud, D. A., R.W. Elner, R. F. J. Bailey (1991) Differential selection of crab *Chionoecetes opillio* and *Hyas* spp. as prey by sympatric cod *Gadus morhua* and thorny skate *Raja radiata*. Fish. Bull., **89**, 669-680.

Shibata, Y., J. Nagao, Y. Narimatsu, E. Morikawa, Y. Suzuki, S. Tokioka, M. Yamada, S. Kakehi, H. Okamura (2021). Estimating maximum sustainable yield of snow crab (*Chionoecetes opilio*) off Tohoku Japan via a state-space assessment model with time-varying natural mortality. Popul.

Ecol., **63**, 41-60.

柴田泰宙・成松庸二・鈴木勇人・森川英祐・時岡　駿・永尾次郎 (2020) 令和元 (2019) 年度ズワイガニ太平洋北部系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京.

上田祐司・伊藤正木・服部　努・成松庸二・藤原邦浩・吉田哲也・北川大二 (2007) 東北地方太平洋岸沖におけるズワイガニの甲幅組成解析により推定された成長. 日水誌, **73**, 487-494.

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.

安田　徹 (1967) 若狭湾におけるズワイガニの食性. I.胃内容物組成について. 日水誌, **33**, 315-319.

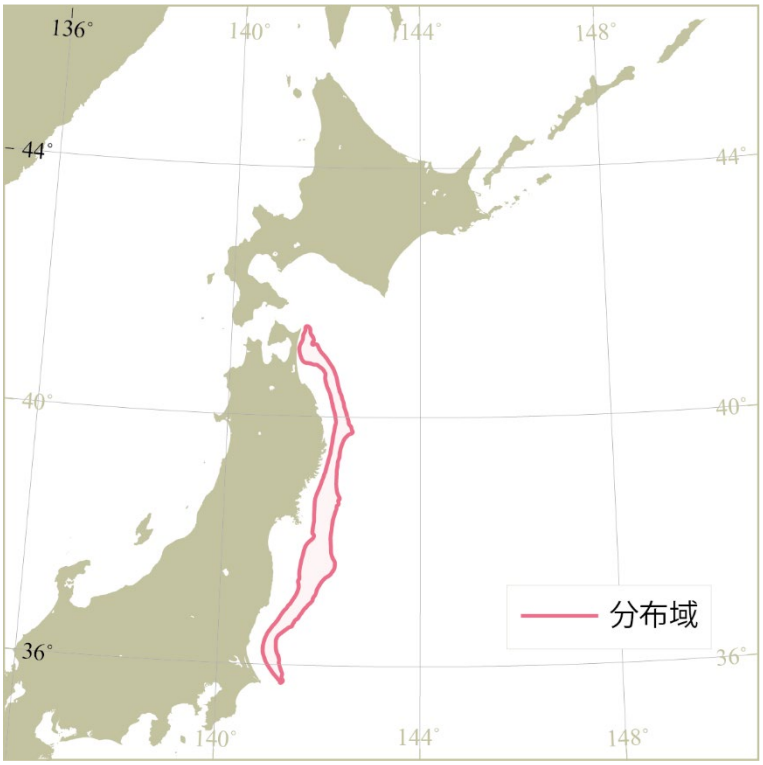


図 2-1.　太平洋北部（北海道を除く）のズワイガニの分布

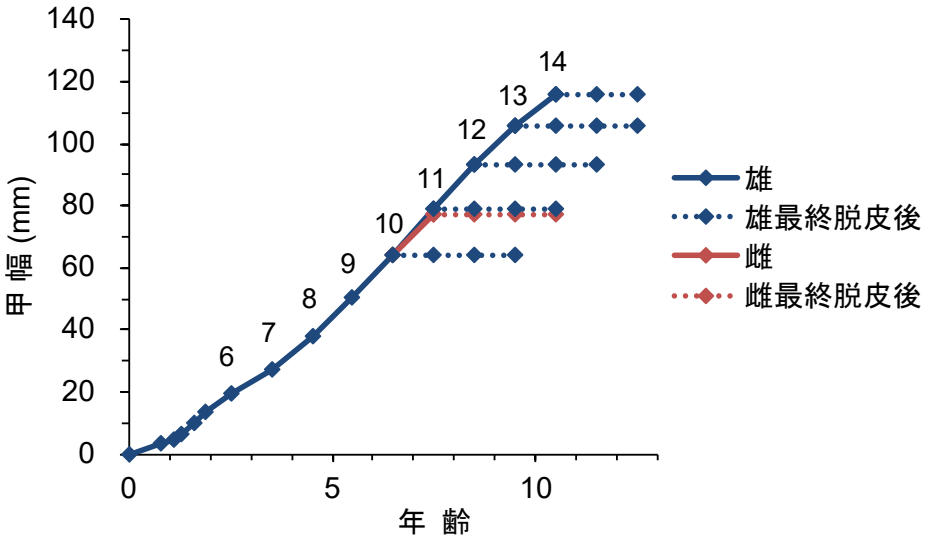


図 2-2.　太平洋北部におけるズワイガニの年齢、脱皮齢期および甲幅の関係
数字は脱皮齢期を示す。6 齢期以降は 1 年に 1 回脱皮すると仮定し、資源計算上の加入は 8 齢期（5 歳）とした。9 齢期までの成長は雌雄共通と仮定した。

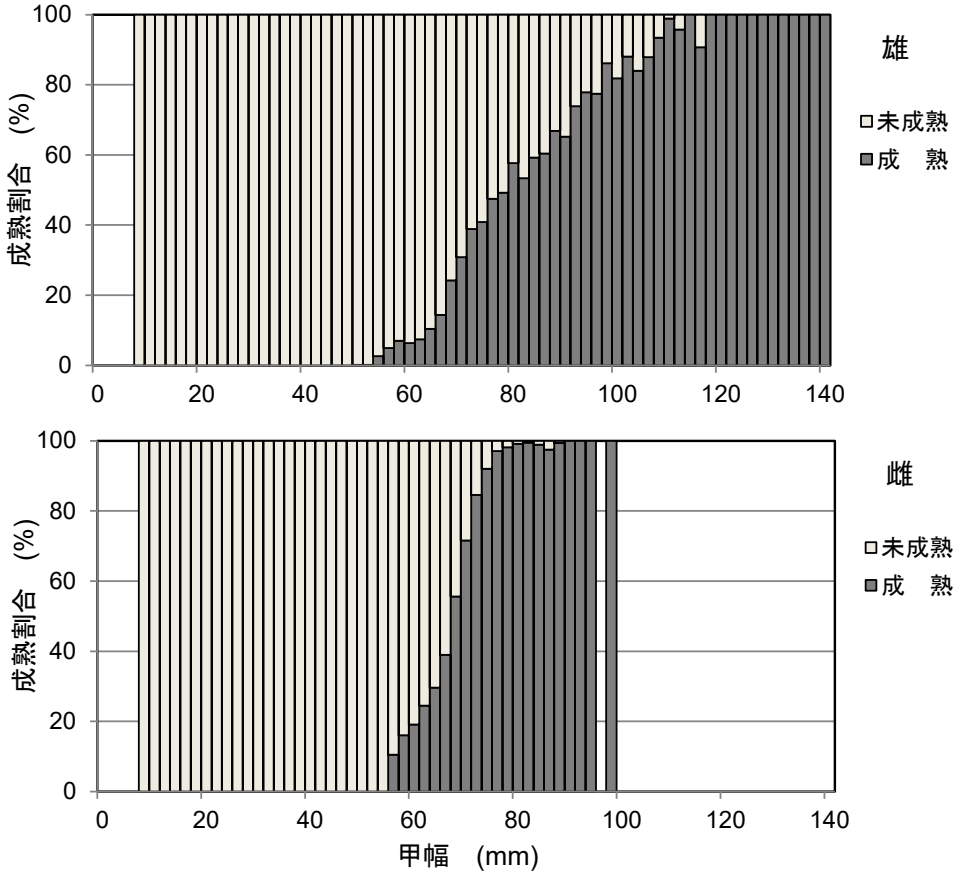


図 2-3.　ズワイガニの甲幅別成熟割合（1997～2022 年漁期）

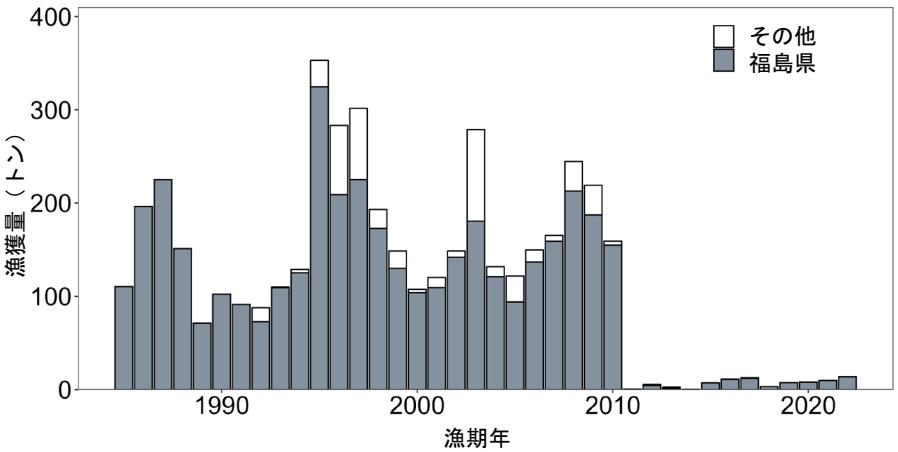


図 3-1.　漁獲量の推移

1985～1991 年漁期の福島県の漁獲量は、相馬港のみの値。

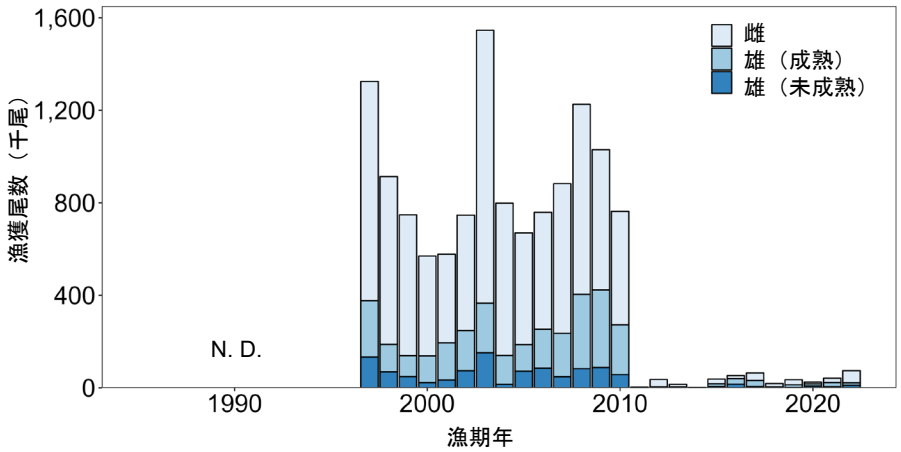


図 3-2.　雌雄、成熟段階別の漁獲尾数の推移

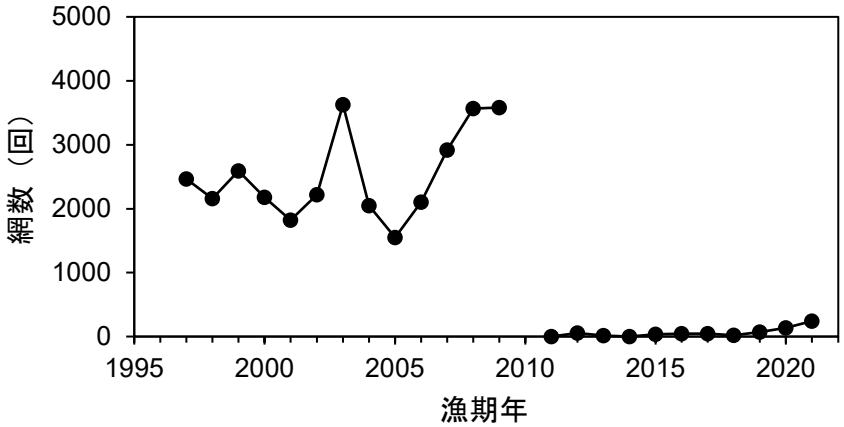


図 3-3.　沖底漁績による福島県船の漁獲努力量（有漁網数）の推移
震災による沖底漁績流出のため、2010 年漁期の値は使用できない。

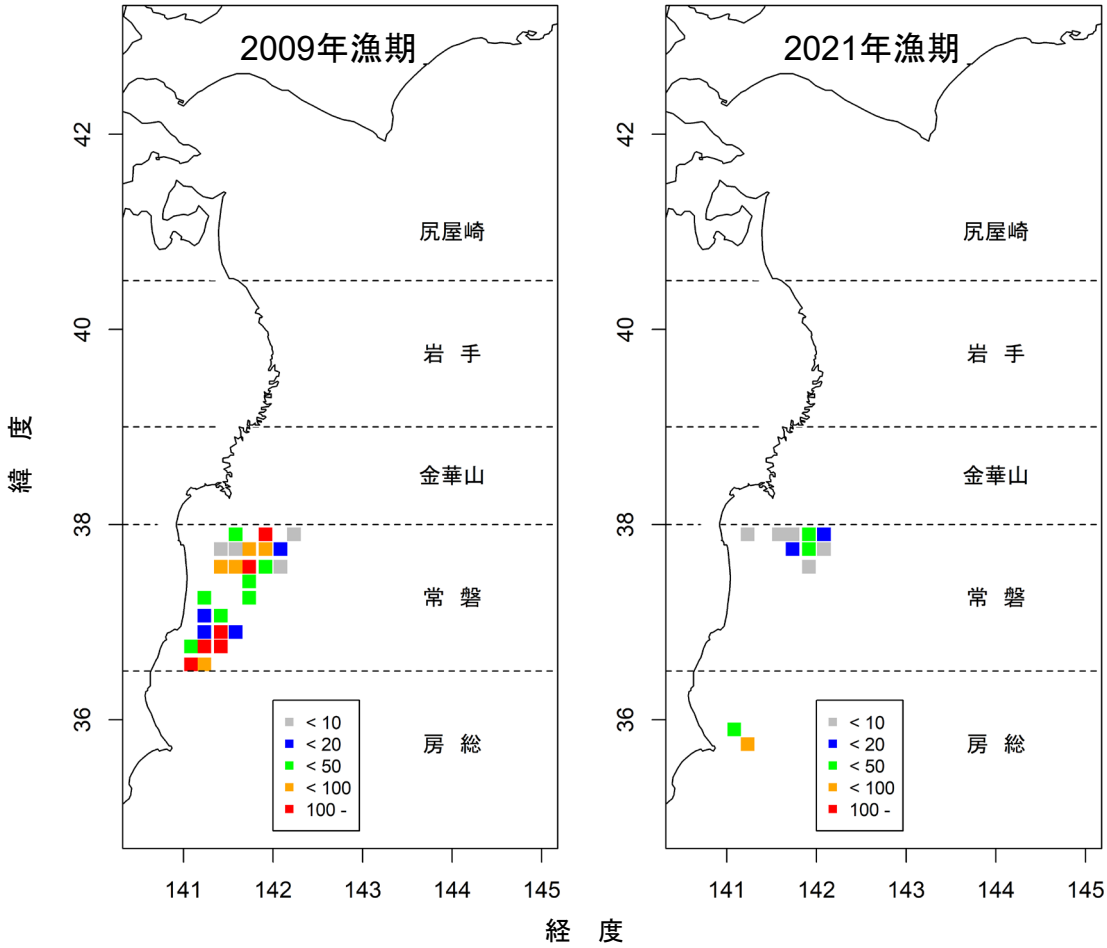


図 3-4.　沖底漁績による 2009 年漁期と 2021 年漁期の漁獲努力量（有漁網数）の比較

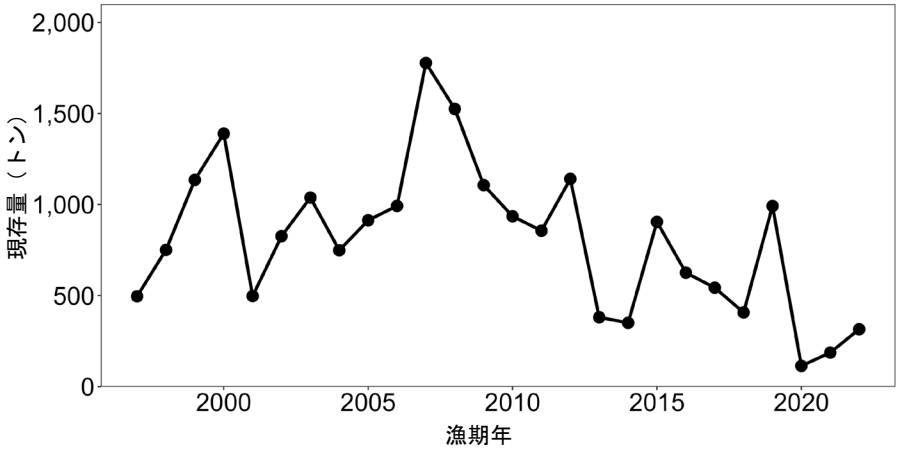


図 4-1.　着底トロール調査で得られた現存量の推移

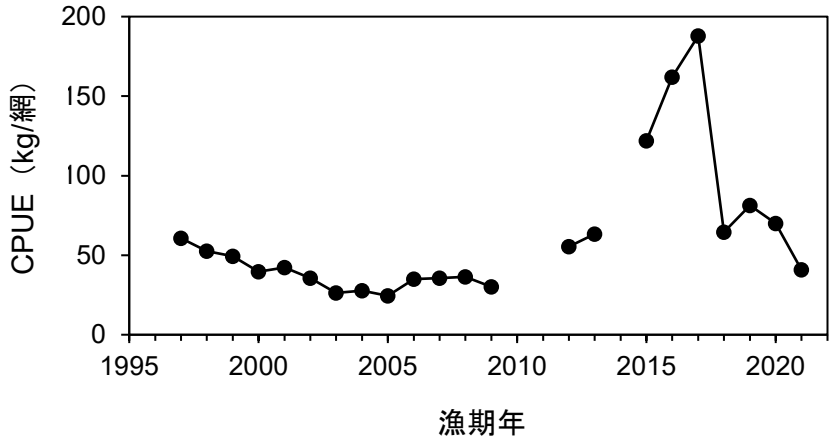


図 4-2.　沖底漁績による福島県船の CPUE

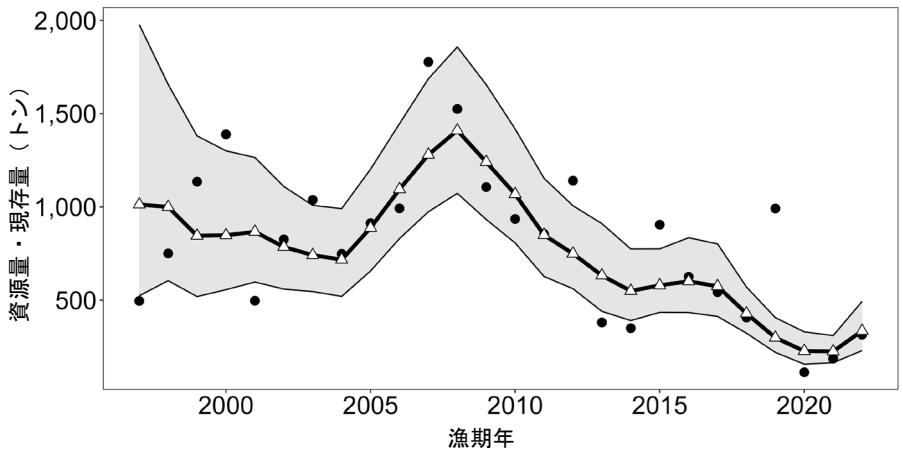


図 4-3.　漁獲対象資源量（三角点）、および着底トロール調査による現存量（黒点）の推移
網掛けは推定値の 95%信頼区間を示す。

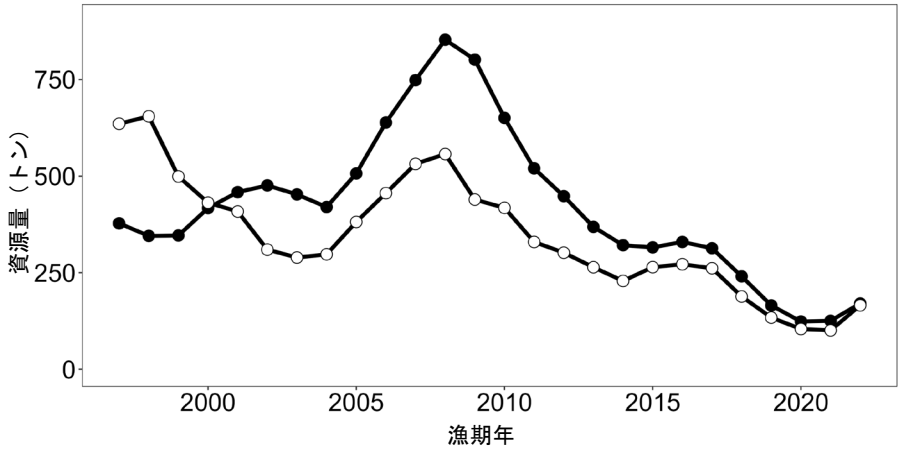


図 4-4.　雌雄別漁獲対象資源量（雄：黒点、雌：白点）の推移

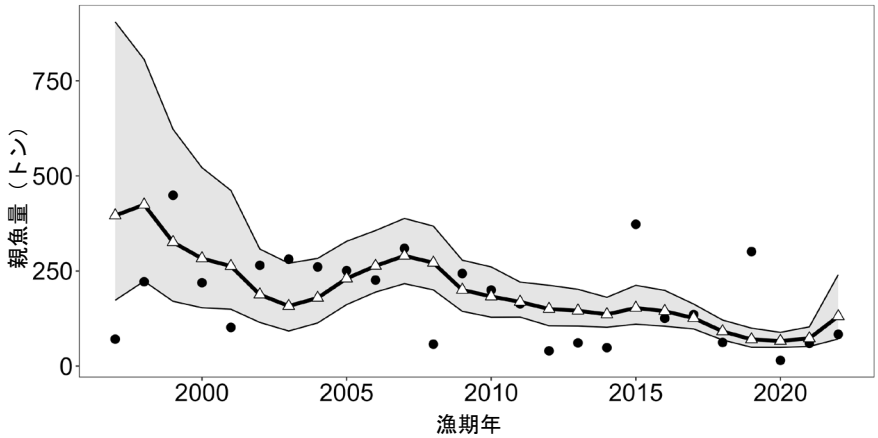


図 4-5.　親魚量の推移

三角点は JASAM による推定値、網掛けは推定値の 95%信頼区間である。

黒点は着底トロール調査の現存量から求めた現存親魚量を示す。

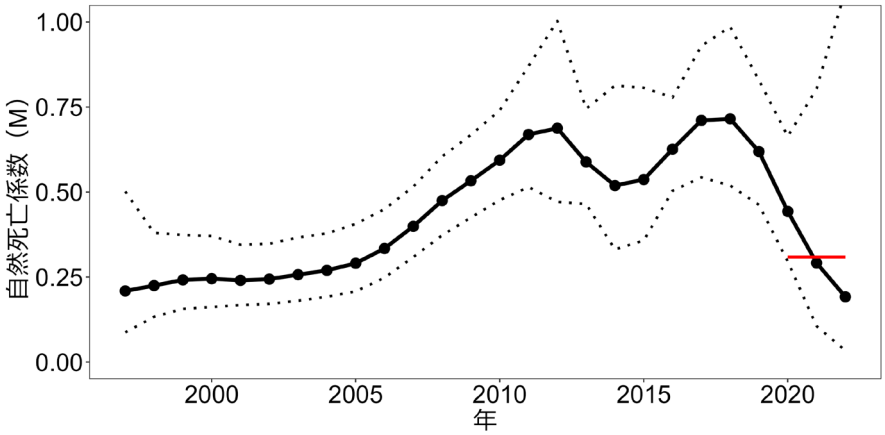


図 4-6.　自然死亡係数 M の推移

点線は 95%信頼区間、赤線は 2020～2022 年の平均値（M2020-2022）である。

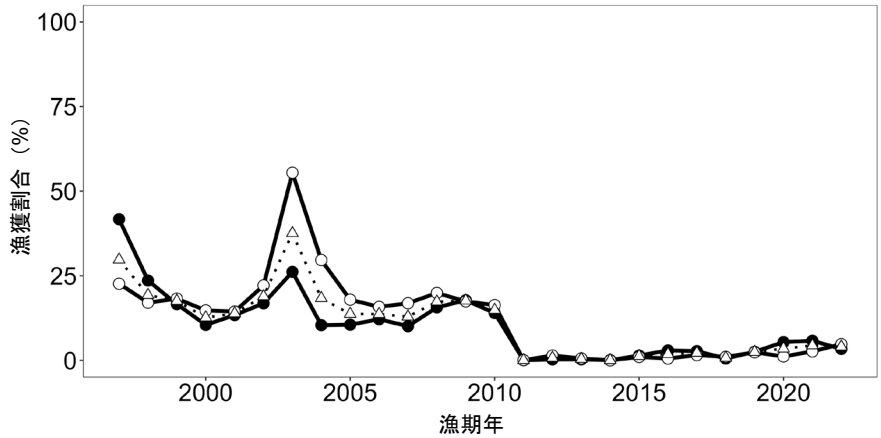


図 4-7.　漁獲割合（雄：黒点、雌：白点、雌雄計：三角点）の推移

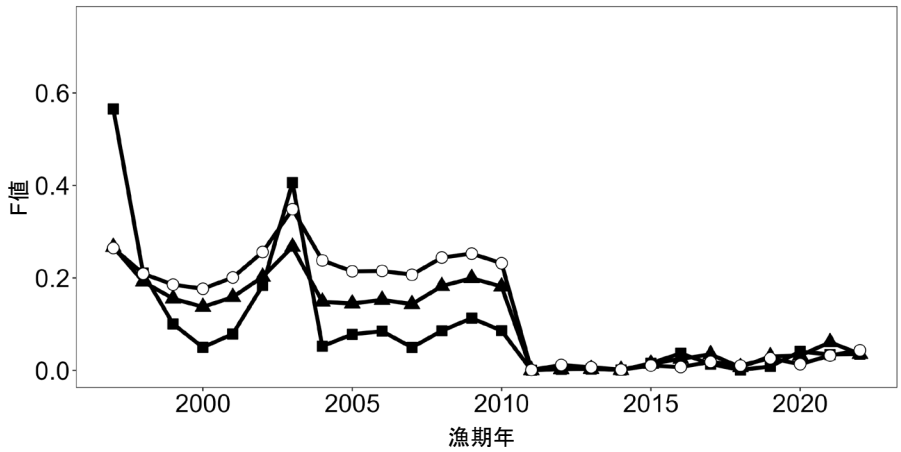


図 4-8.　F 値（未成熟雄：黒四角点、成熟雄：黒三角点、雌：白点）の推移
なお、ここでは最終脱皮の有無で未成熟、成熟を区分した。

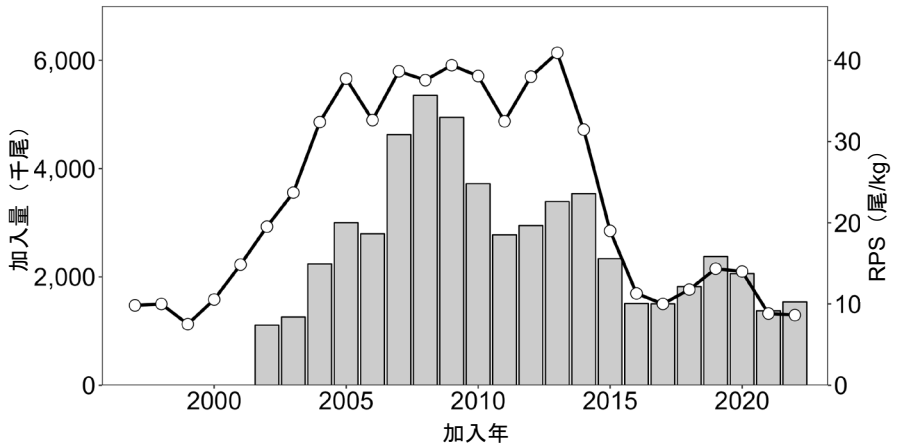


図 4-9.　加入量（折れ線）と再生産成功率（棒グラフ）の推移
再生産成功率は、加入年に対応した値である。本系群では加入までの年数を 5 年と仮定しているため、1997 年漁期の親魚量に対応する加入量は 2002 年漁期の値である。

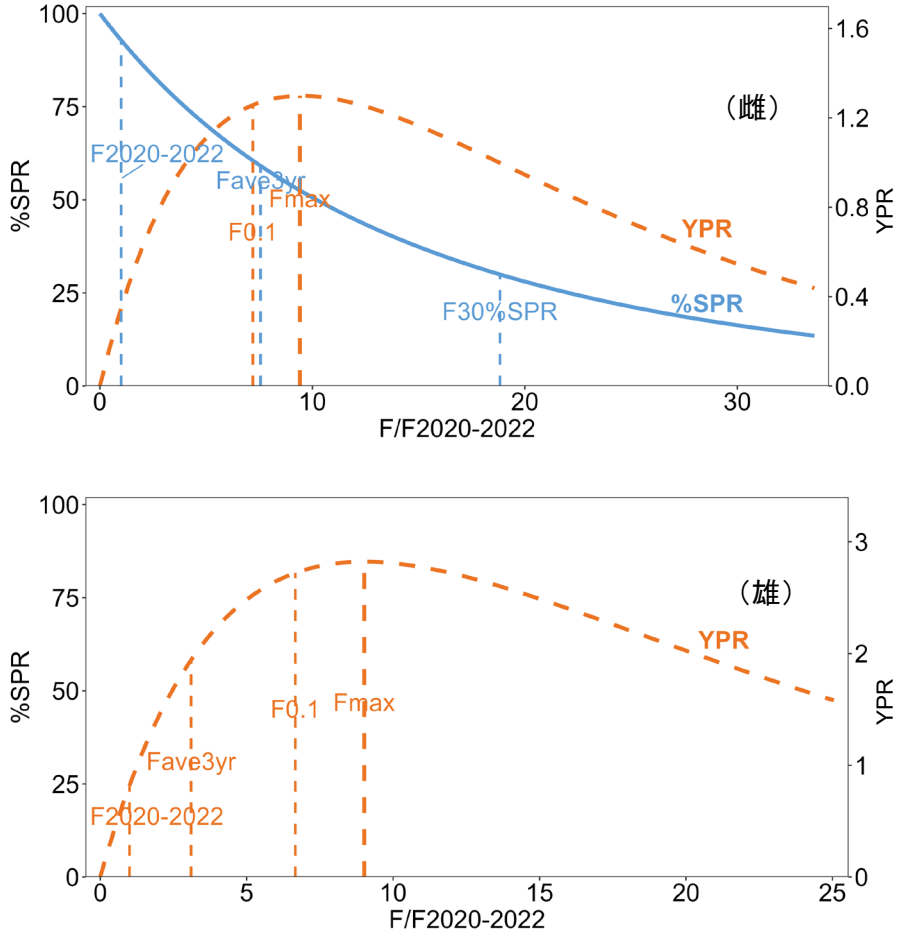


図 4-10.　雌雄別の F 値と YPR および%SPR の関係

横軸は現状の漁獲圧（F2020-2022）に対する比である。自然死亡係数には現状の M（令和 4（2022）年度評価における値、M=0.679）を仮定した。また、漁獲対象とならない小型個体は現状の漁獲圧で混獲され、再放流による生残率は 50%として計算した。

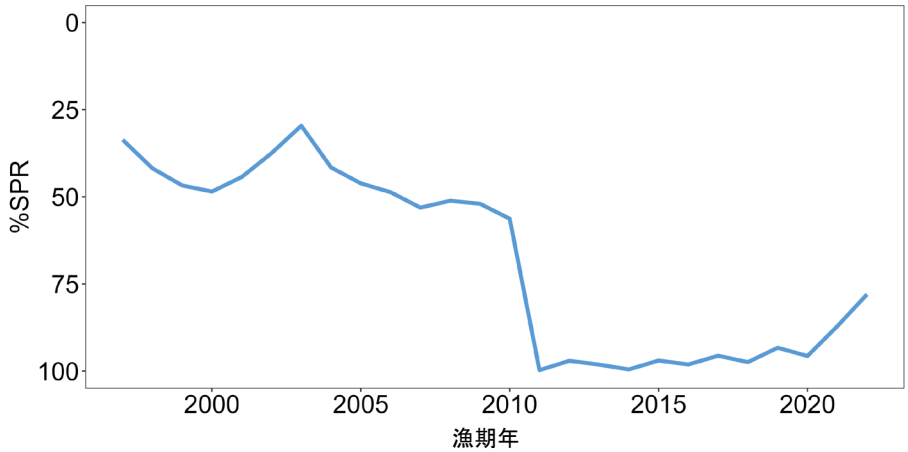


図 4-11.　各漁期年における%SPR 値の経年推移

%SPR は、漁獲がないときの親魚量に対する漁獲があるときの親魚量の割合を示し、F が高い（低い）と%SPR は小さく（大きく）なる。なお、本系群では M が経年変化するため、各年の%SPR 値は各年の M（本年度評価における 1997～2022 年の値）に対応した値である。

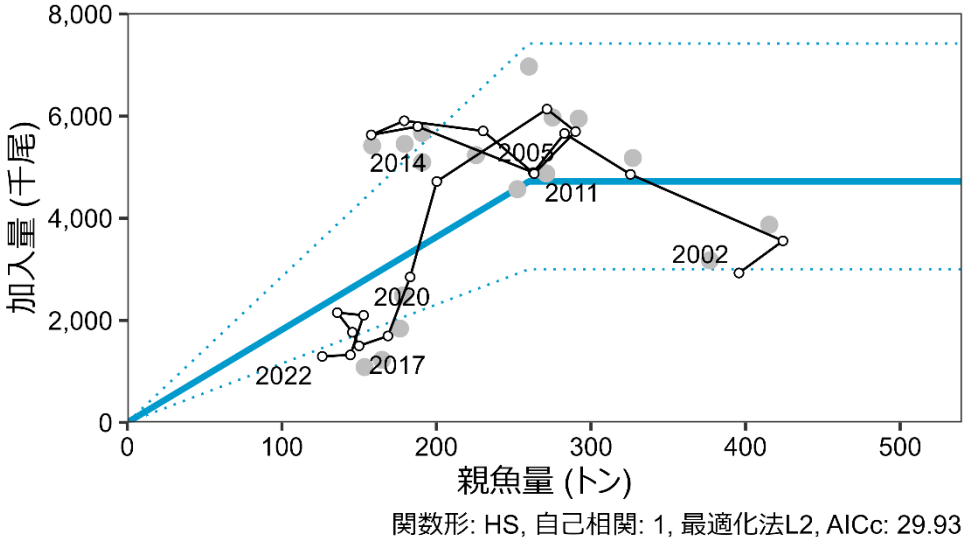


図 4-12.　親魚量と加入量の関係（再生産関係）

図中の灰色点は令和元（2019）年度の資源評価で推定された 1997～2013 年の親魚量と 2002～2018 年の加入量、青実線は両者から求めた再生産関係式を示す。また、白点は本年度の資源評価で推定された各年の親魚量および加入量である。図中の数字は加入群の年級（加入年）を示す。再生産関係には自己相関を考慮したホッケー・スティック（HS）型再生産関係を用い、最小二乗法によりパラメータを推定した。図中の再生産関係（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 90%が含まれると推定される区間である。

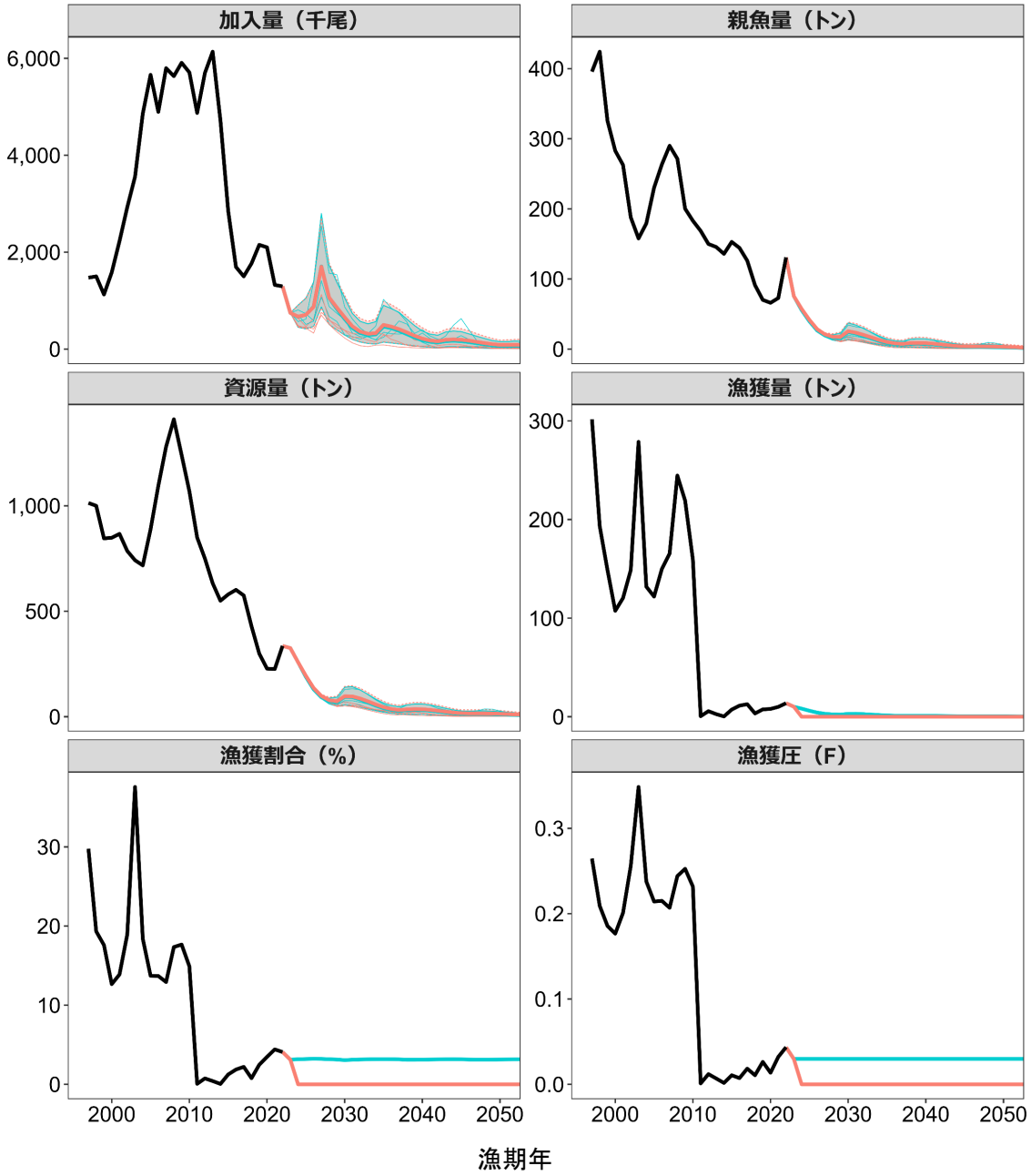


図 5-1.　現状の漁獲圧（F2020-2022）で漁獲を続けた場合の将来予測（緑）と、漁獲を 0 とした場合の将来予測（赤）

自然死亡係数には現状の M（令和 4（2022）年度評価における値、M=0.679）を仮定した。横軸は漁期年、太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 80%が含まれる予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。

表 2-1.　切断法による脱皮齢期分解に用いた甲幅範囲（mm）

雄			雌		
脱皮齢	以上	未満	脱皮齢	以上	未満
8齢期	28	42	8齢期	28	42
9齢期	42	56	9齢期	42	56
10齢期	56	74	10齢期、最終脱皮前（未成熟）	56 以上	
11齢期	74	86	11齢期、最終脱皮後（成熟）	－	
12齢期	86	98			
13齢期、最終脱皮前（未成熟）	98 以上				
13齢期、最終脱皮後（成熟）	98	110			
14齢期、最終脱皮後（成熟）	110 以上				

表 3-1.　ズワイガニの県別漁獲量（トン）

漁期年	青森県	岩手県	宮城県	福島県	茨城県	合　計	福島県の占める割合(%)
1985	－	－	－	110.5	－	110.5	－
1986	－	－	－	196.3	－	196.3	－
1987	－	－	－	225.1	－	225.1	－
1988	－	－	－	151.1	－	151.1	－
1989	－	－	－	71.3	－	71.3	－
1990	－	－	－	102.3	－	102.3	－
1991	－	－	－	91.3	－	91.3	－
1992	－	－	－	72.8	15.1	87.9	－
1993	－	－	－	109.3	0.8	110.1	－
1994	－	－	2.0	125.2	1.6	128.8	－
1995	19.6	－	3.7	324.7	5.1	353.1	－
1996	31.0	0	43.0	209.1	0.1	283.2	73.8
1997	3.8	0.2	72.3	225.2	0.1	301.6	74.7
1998	1.1	0	19.4	172.7	0	193.2	89.4
1999	8.8	0	9.9	130.0	0	148.7	87.4
2000	1.0	0.3	2.1	104.0	0	107.4	96.8
2001	0.1	0.2	4.0	109.4	6.6	120.3	90.9
2002	0	1.3	5.5	141.9	0	148.7	95.4
2003	0.3	0.1	7.5	180.6	90.2	278.7	64.8
2004	0.4	0	4.0	121.1	6.4	131.9	91.8
2005	0.3	0.1	4.0	94.0	23.5	121.8	77.2
2006	0	0	3.8	136.8	9.1	149.8	91.4
2007	0	0.2	2.9	159.1	3.2	165.4	96.2
2008	0	0.3	15.7	212.9	15.7	244.5	87.1
2009	0	0.1	5.5	187.3	26.2	219.1	85.5
2010	0	0	1.1	154.9	3.2	159.3	97.3
2011	0.3	0	0.2	0	0	0.5	0
2012	0.4	0.3	0.3	4.6	0	5.6	82.0
2013	0.7	0	0.4	1.5	0	2.6	57.0
2014	0	0	0.3	0	0	0.3	3.6
2015	0	0	0	7.2	0	7.2	99.4
2016	0.1	0	0	11.1	0	11.2	99.1
2017	0	0.5	0.1	12.1	0	12.7	95.5
2018	0	0	0.1	3.2	0	3.3	97.9
2019	0	0	0	7.4	0	7.4	100.0
2020	0	0	0	7.9	0	7.9	100.0
2021	0	0	0.2	9.7	0.1	10.0	97.5
2022	0	0	0.0	13.7	0.0	13.7	99.8

1995 年漁期以前の値（福島県以外）にカニ類を一部含む。また、1985～1991 年漁期における福島県の漁獲量は相馬港のみの値である。

漁獲量は漁期年（7 月～翌年 6 月）で集計し、漁期は 12 月～翌年 3 月である。

表 4-1.　着底トロール調査に基づく面積－密度法で推定した漁獲対象資源（甲幅 80 mm 以上の雄および成熟雌ガニ）の現存尾数、現存量、漁期後の現存親魚量の推移

	現存尾数(千尾)			現存量(トン)			現存親魚量(トン)
	雄	雌	合計	雄	雌	合計	
1997	816	1,556	2,371	260	236	496	63
1998	1,025	2,559	3,584	357	394	751	206
1999	1,653	4,457	6,110	469	667	1,135	430
2000	2,959	2,350	5,309	1,043	346	1,389	210
2001	1,007	1,239	2,247	307	191	497	97
2002	1,291	2,979	4,270	417	410	826	252
2003	1,571	3,908	5,479	507	531	1,038	268
2004	1,117	3,239	4,357	315	434	749	256
2005	1,898	2,876	4,774	506	407	913	252
2006	1,936	2,749	4,684	600	392	992	236
2007	4,721	4,017	8,738	1,220	557	1,777	347
2008	4,538	1,574	6,111	1,313	213	1,525	72
2009	1,825	3,940	5,766	608	498	1,107	313
2010	1,780	3,143	4,923	498	437	935	276
2011	1,894	2,375	4,269	537	319	856	240
2012	3,101	624	3,725	1,056	84	1,141	60
2013	953	811	1,764	269	111	381	83
2014	937	624	1,561	269	81	350	62
2015	1,010	4,825	5,835	264	641	905	493
2016	1,585	2,031	3,617	389	236	626	180
2017	959	2,270	3,229	263	280	543	213
2018	898	1,001	1,899	278	129	407	98
2019	1,312	3,883	5,195	429	562	992	433
2020	336	159	495	89	24	114	18
2021	322	599	920	104	83	187	62
2022	775	715	1,491	206	109	315	78

表 4-2.　JASAM で推定した漁獲対象資源（甲幅 80 mm 以上の雄および成熟雌ガニ）の資源尾数、資源量、漁期後の親魚量（SSB）、自然死亡係数の推移

	資源尾数（千尾）			資源量（トン）			親魚量（トン）	M
	雄	雌	合計	雄	雌	合計		
1997	1,132	4,184	5,316	378	636	1,013	396	0.209
1998	1,032	4,256	5,288	345	655	1,000	424	0.225
1999	1,147	3,337	4,484	346	499	845	326	0.242
2000	1,345	2,927	4,271	417	431	848	283	0.245
2001	1,478	2,656	4,133	459	408	867	263	0.240
2002	1,445	2,253	3,698	476	310	786	188	0.244
2003	1,392	2,130	3,522	453	289	742	158	0.257
2004	1,432	2,223	3,655	420	298	717	179	0.270
2005	1,806	2,693	4,499	507	381	888	230	0.291
2006	2,235	3,197	5,431	639	456	1,095	263	0.334
2007	2,664	3,833	6,497	748	532	1,280	290	0.399
2008	2,952	4,124	7,076	853	557	1,410	271	0.475
2009	2,643	3,473	6,115	802	439	1,241	200	0.533
2010	2,173	3,003	5,176	651	418	1,068	183	0.594
2011	1,771	2,451	4,221	520	330	850	169	0.669
2012	1,519	2,234	3,753	448	302	750	150	0.688
2013	1,265	1,922	3,186	369	264	633	146	0.588
2014	1,097	1,756	2,853	321	229	550	136	0.519
2015	1,123	1,990	3,113	316	264	580	153	0.537
2016	1,247	2,337	3,584	330	272	602	144	0.626
2017	1,160	2,118	3,279	313	261	575	126	0.711
2018	845	1,459	2,304	241	188	429	91	0.715
2019	562	924	1,486	165	134	299	70	0.619
2020	415	679	1,094	124	104	228	66	0.443
2021	430	729	1,159	125	101	226	73	0.291
2022	622	1,083	1,705	170	166	336	131	0.192

表 4-3.　漁獲量、F 値、漁獲割合の推移

	漁獲量(トン)			F値			漁獲割合(%)		F/Fmsy
	雄	雌	合計	雄未熟	雄成熟	雌	雄	雌	
1997	157.6	144.0	301.6	0.566	0.267	0.265	41.7	22.7	－
1998	81.5	111.7	193.2	0.211	0.192	0.209	23.6	17.1	－
1999	57.6	91.1	148.7	0.101	0.155	0.186	16.6	18.3	－
2000	43.7	63.7	107.4	0.050	0.137	0.177	10.5	14.8	－
2001	61.4	58.9	120.3	0.079	0.159	0.201	13.4	14.4	－
2002	80.2	68.6	148.7	0.184	0.202	0.256	16.8	22.1	－
2003	118.4	160.4	278.7	0.406	0.267	0.349	26.2	55.5	－
2004	43.7	88.2	131.9	0.052	0.149	0.238	10.4	29.6	－
2005	53.4	68.4	121.8	0.078	0.145	0.214	10.5	17.9	－
2006	77.6	72.1	149.8	0.085	0.153	0.215	12.2	15.8	－
2007	75.6	89.8	165.4	0.050	0.143	0.207	10.1	16.9	－
2008	133.5	111.0	244.5	0.086	0.182	0.244	15.7	19.9	－
2009	142.5	76.6	219.1	0.113	0.200	0.253	17.8	17.5	－
2010	91.0	68.2	159.3	0.086	0.181	0.232	14.0	16.3	－
2011	0.3	0.3	0.5	0.001	0.001	0.001	0.1	0.1	－
2012	1.3	4.3	5.6	0.003	0.003	0.012	0.3	1.4	－
2013	1.1	1.5	2.6	0.003	0.003	0.007	0.3	0.6	－
2014	0.3	0.0	0.3	0.001	0.001	0.002	0.1	0.0	－
2015	4.5	2.7	7.2	0.016	0.014	0.011	1.4	1.0	－
2016	9.7	1.5	11.2	0.037	0.025	0.007	3.0	0.6	－
2017	8.6	4.1	12.7	0.014	0.035	0.018	2.8	1.6	－
2018	1.3	2.0	3.3	0.001	0.007	0.011	0.6	1.0	－
2019	4.2	3.2	7.4	0.009	0.030	0.026	2.5	2.4	－
2020	6.7	1.2	7.9	0.041	0.032	0.014	5.4	1.2	－
2021	7.3	2.7	10.0	0.034	0.061	0.032	5.8	2.7	－
2022	5.8	7.9	13.7	0.035	0.036	0.044	3.4	4.8	－

表 5-1.　将来の親魚量および漁獲量の平均値の推移

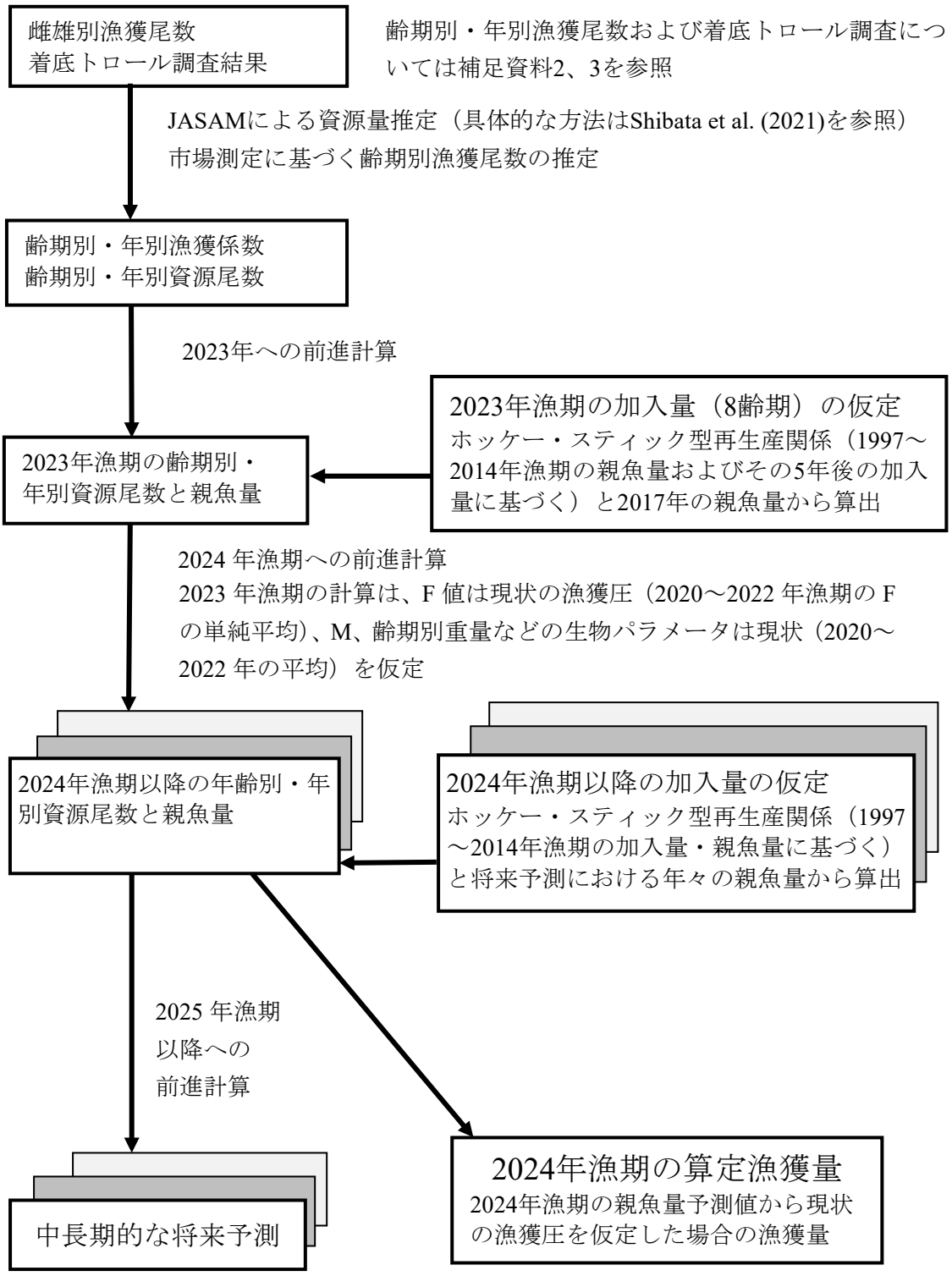
a)　親魚量の平均値の推移

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
F2020-2022	76	56	40	27	19	16	16	24	22	19	15	12
【参考】F=0	76	57	42	28	21	18	17	25	23	20	17	13

b)　漁獲量の平均値の推移

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
F2020-2022	10.1	8.2	6.0	4.2	3.0	2.3	2.2	2.9	2.9	2.6	2.1	1.7
【参考】F=0	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

補足資料１　資源評価の流れ



補足資料２　計算方法

（1）資源計算方法

ズワイガニ太平洋北部系群では、着底トロール調査によるズワイガニの採集個体数および甲幅組成を用い、面積－密度法により現存量（尾数、重量）を推定している（補足資料3）。こうして得た現存量を資源量指標値（観測値）として扱い、状態空間資源評価モデルSAM（State-space stock assessment model, Nielsen and Berg 2014）を基に開発されたJASAM（Just another state-space stock assessment model, Shibata et al. 2021）を適用し、資源量および資源動態に関するパラメータの推定を行った。モデルの詳細はShibata et al.（2021）を参照されたい。

1.　漁獲死亡係数F

本系群は甲幅80 mm以上の雄（未成熟・成熟）および成熟雌が漁獲対象となる。また、北川（2000）によると、本系群では大型個体ほど深所に生息する。このため、未成熟個体と成熟個体で空間分布が分かれるとみられ、Fを雄未成熟、雄成熟、雌の3グループに分けて推定した。また、2011年に発生した東日本大震災（以下、震災）の影響を考慮し、tを年（t = 1997, …, 2020）とし、tが2010以外のときはそれぞれのカテゴリーにおいて、

$$\ln\left(F_{k,t+1}\right) = \ln\left(F_{k,t}\right) + \varepsilon_{k,t}, \tag{1}$$

$$\varepsilon_{k,t} \sim \mathrm{MVN}(0, \textstyle\sum_F), \tag{2}$$

のようにランダムウォーク（以下、RW）で変動するとした。ここで、添え字kは、k=1（雄未成熟）、k=2（雄成熟）、k=3（雌）を意味する。また、tが2010のときは、震災による急激な漁獲圧の減少はRWで表現せず、固定の効果EQとし、

$$\ln\left(F_{k,t+1}\right) = \ln\left(F_{k,t}\right) + EQ_k + \varepsilon_{k,t}, \tag{3}$$

と表せると仮定した。ただし、ε=($\varepsilon_{k,1997,\ldots,}\varepsilon_{k,2017}$)は多変量正規分布（MVN: multivariate normal distribution）に従う過程誤差ベクトルで、その分散共分散行列Σは、

$$\textstyle\sum_F = \rho_k \sigma_{F,k} \sigma_{F,\tilde{k}} = \begin{pmatrix} \sigma^2_{F,k=1} & & \\ \rho_{k=1}\sigma_{F,k=1}\sigma_{F,k=2} & \sigma^2_{F,k=2} & \\ \rho_{k=3}\sigma_{F,k=3}\sigma_{F,k=1} & \rho_{k=2}\sigma_{F,k=2}\sigma_{F,k=3} & \sigma^2_{F,k=3} \end{pmatrix} \tag{4}$$

で定義されるとした（上三角部分は省略）。また、下記のように震災を境にρとσが切り替わるモデルとした。

$$\rho_k = \begin{cases} \frac{1}{1+\exp\left(-T_{\rho_k}\right)} & \textit{If } t<2011 \\ \frac{1}{1+\exp\left(-\left(T_{\rho_k}+T_{\rho}\right)\right)} & \textit{otherwise} \end{cases} \tag{5}$$

$$\ln(\sigma_{F,k}) = \begin{cases} \ln(\sigma_{F,k}) & \textit{If } t<2011 \\ \ln(\sigma_{F,k}) + T_{\sigma_{F,k}} & \textit{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

2. 自然死亡係数 M

自然死亡係数 M の年変化には、Shibata et al.（2021）のモデル選択結果に従い、2 階差分の RW を仮定した。ここで σ_M は RW の標準偏差である。

$$\ln(M_{t+1}) \sim \mathrm{Normal}(2\ln(M_t) - \ln(M_{t-1}), \sigma_M^2) \quad (7)$$

3. 個体群動態モデル

資源尾数を N、齢期を a（a = 8, 9, … , 14）、最終脱皮後の経過年数を j（j = 0, 1, 2）とする。ここで、j=0 は最終脱皮を経験していない未成熟個体であり、j=1 で最終脱皮直後(1 年以内)、j=2 で最終脱皮 2 年目以降である。

a) 8 齢期の資源尾数の推定方法

本系群では加入のタイミングを 8 齢期と仮定している。雌雄の加入尾数を同一と仮定し、8 齢期の資源尾数を 1 階差分の RW で与えた。

$$\ln(N_{a=8,j=0,t+1}) \sim \mathrm{Normal}(\ln(N_{a=8,j=0,t}), \sigma_{rec}^2)) \quad (8)$$

b) 雄の個体数に対する状態モデル

8 齢期から 9 齢期への脱皮では、最終脱皮を考慮していない。しかし、これ以降の脱皮では、すべての個体が最終脱皮をする 14 齢期を除き、最終脱皮をせずに翌年次の齢期へ進む未成熟個体と、最終脱皮を行い成熟する個体が出現するとした。このため、各齢期において最終脱皮をした場合としなかった場合について考慮した。また、本系群の漁獲対象は甲幅 80 mm 以上であることから、漁獲死亡は 11 齢期の甲幅 80 mm 以上の個体と 12 齢期以降の個体について考慮した。このとき、10 齢期から 11 齢期となる個体のうち r を乗じたものが漁獲対象となるとした。なお、10 齢期で最終脱皮した個体および 11 齢期で最終脱皮した個体のうち甲幅 80 mm 未満の個体については、生涯資源として加入することはないとした。最終脱皮をした個体は翌年も同一齢期のままであり、最終脱皮 2 年目以降の個体はその前の年に 2 年目以降だった個体と混じるため、プラスグループとした。各齢期の状態モデルを式 (9)～(21) に示す（補足図 2-1）。

・8 齢期から 9 齢期（a=8）

$$\ln(N_{a+1,j=0,t+1}) = \ln(N_{a,j=0,t}) - M_t \quad (9)$$

・9 齢期から 10 齢期（a=9）

$$\ln(N_{a+1,j=0,t+1}) = \ln(N_{a,j=0,t}) - M_t + \ln(1 - p_{a,t}) \quad (10)$$

$$\ln(N_{a+1,j=1,t+1}) = \ln(N_{a,j=0,t}) - M_t + \ln(p_{a,t}) \quad (11)$$

$$\ln(N_{a+1,j=2,t+1}) = \ln(\textstyle\sum_{j=1}^{2} N_{a+1,j,t} \exp(M_t)) \quad (12)$$

・10 齢期から 11 齢期（a=10）

$$\ln(N_{a+1,j=0,t+1,74-80}) = \ln\left(N_{a,j=0,t}\right) - M_t + \ln\left(1 - p_{a,t}\right) + \ln(1-r) \quad (13)^*$$

$$\ln(N_{a+1,j=0,t+1,80-86}) = \ln\left(N_{a,j=0,t}\right) - M_t + \ln\left(1 - p_{a,t}\right) + \ln(r) \quad (14)^*$$

$$\ln(N_{a+1,t+1,74-80}) = \ln(N_{a,j=0,t}\exp(-M_t)p_{a,t}(1-r) + \sum_{j=1}^{2} N_{a+1,j,t,74-80}\exp(-M_t)) \quad (15)^*$$

$$\ln(N_{a+1,t+1,80-86}) = \ln(N_{a,j=0,t}\exp(-M_t)p_{a,t}r + \sum_{j=1}^{2} N_{a+1,j,t,80-86}\exp(-M_t - F_{k=2,t})) \quad (16)^*$$

・11 齢期から 12 齢期（a=11）

$$\ln(N_{a+1,j=0,t+1}) = \ln((N_{a,j=0,t,74-80}\exp(-M_t) + N_{a,j=0,t,80-86}\exp(-M_t - F_{k=1,t}))(1 - p_{a,t})) \quad (17)$$

$$\ln(N_{a+1,t+1}) = \ln((N_{a,j=0,t,74-80}\exp(-M_t) + N_{a,j=0,t,80-86}\exp(-M_t - F_{k=1,t}))p_{a,t} + \sum_{j=1}^{2} N_{a+1,j,t}\exp(-M_t - F_{k=2,t})) \quad (18)$$

・12 齢期から 13 齢期（a=12）

$$\ln(N_{a+1,j=0,t+1}) = \ln(N_{a,j=0,t}) - M_t - F_{k=1,t} + \ln(1 - p_{a,t}) \quad (19)$$

$$\ln(N_{a+1,t+1}) = \ln(N_{a,j=0,t}\exp\left(-M_t - F_{k=1,t}\right)p_{a,t} + \sum_{j=1}^{2} N_{a+1,j,t}\exp(-M_t - F_{k=2,t})) \quad (20)$$

・13 齢期から 14 齢期（a=13）

$$\ln(N_{a+1,t+1}) = \ln(N_{a,j=0,t}\exp\left(-M_t - F_{k=1,t}\right) + \sum_{j=1}^{2} N_{a+1,j,t}\exp(-M_t - F_{k=2,t})) \quad (21)$$

＊ただし、$r = 1/(1 + \exp(-T_r))$

c)　雌の状態モデル

雌は 8～10 齢期で成熟する個体はおらず、11 齢期への脱皮ですべての個体が最終脱皮をし、成熟個体となる。また、雌は成熟個体のみが漁獲対象となる。

・8 齢期から 9 齢期、9 齢期から 10 齢期（a=8, 9）

$$\ln(N_{a+1,j=0,t+1}) = \ln\left(N_{a,j,t}\right) - M_t \quad (22)$$

・10 齢期から 11 齢期（a=10）

$$\ln(N_{a+1,t+1}) = \ln(N_{a,j=0,t}\exp(-M_t) + \sum_{j=1}^{2} N_{a+1,j,t}\exp(-M_t - F_{k=2,t})) \quad (23)$$

d)　最終脱皮率の推定

最終脱皮率は齢期の関数とした。また、最近の資源量減少の要因の一つとして、最終脱皮率が年変化している可能性を考慮し、RW で最終脱皮率のパラメータが変化するものと仮定した。

$$p_{a,t} = 1/(1 + \exp(-(\beta_{0,t} + \beta_1 \times a))) \quad (24)$$

$$\beta_{0,t+1} \sim \mathrm{Normal}(\beta_{0,t}, \sigma_{\beta_0}) \quad (25)$$

4. 着底トロール調査で得られた現存量

面積－密度法によって推定した現存尾数（採集効率未考慮）を n として、n が真の資源尾数 N から採集効率 q で得られたものとした（補足表 2-1、補足表 2-2）。なお、着底トロール調査では、最終脱皮後経過年数はわからず、最終脱皮の有無（u=0, 1）のみが判別可能である。このとき、資源尾数の尤度関数を式 (26) および式 (27) とした。また、雄の 11 齢期（甲幅 74～86 mm）に関しては、甲幅 80 mm を境に漁獲対象資源か否かが分かれるため、甲幅 74～80 mm と甲幅 80～86 mm に区分し、それぞれで尤度を計算した。変動係数（CV）は着底トロール調査で得られた既知の CV を用い、資源尾数推定値の不確実性が過小推定とならないよう、調査誤差を考慮した（補足表 2-3、補足表 2-4、Kitakado and Okamura 2009）。なお、CV=1 となる箇所はテイラーのべき乗法則に従って補完した。

着底トロール調査で使用している調査網に対する、甲幅サイズ別の採集効率 q は式 (28) で表される（補足図 2-2）。なお、$cw_{a,t}$ は毎年のトロール調査から得られる各齢期の平均甲幅を用いた。$q_{a,t}$ はランダム効果として扱い、採集効率の推定誤差を考慮した。γ_1～γ_3 の平均値と分散共分散行列は服部ほか（2014）から与えた。

・資源尾数の尤度関数

$$\ln(n_{a,u,t}) \sim \mathrm{Normal}(\ln(q_{a,t}N_{a,u,t}), \log(1 + \omega^2_{a,u,t}) + \log(1 + CV^2_{a,u,t})), \quad (26)$$

$$\ln(\omega_{a,u,t}) \sim \mathrm{Normal}(\mu_\omega, \sigma^2_\omega), \quad (27)$$

・甲幅サイズ別の採集効率

$$q_{a,t} = \gamma_0/(1 + \exp(-(\gamma_2 + \gamma_3 cw_{a,t}))), \quad (28)$$

$$\gamma_0 = 1/(1 + \exp(-\gamma_1)), \quad (29)$$

$$\gamma_h \sim \mathrm{MVN}(\hat{\gamma}_h, \textstyle\sum_\gamma), \quad (30)$$

$$\textstyle\sum_\gamma = \begin{pmatrix} 0.214 & & \\ -0.003 & 8.758 \times 10^{-5} & \\ 0.002 & -0.001 & 0.074 \end{pmatrix} \quad (31)$$

なお、上三角部分は省略している。また、$\hat{\gamma}_{h=1}$ =0.683、$\hat{\gamma}_{h=2}$ =-4.276、$\hat{\gamma}_{h=3}$ =0.0792 である。

5. 齢期別漁獲尾数

福島県水産試験場（現：福島県水産資源研究所）が測定した漁獲物中の甲幅組成データおよび齢期ごとの平均重量を用いて、漁獲量を齢期別漁獲尾数に分解した。ただし、データのない年は近傍のデータを用いて補完した（1997～1998 年は 1999 年のデータ、2002 年は 2003 年のデータ、2008～2010 年は 2007 年のデータ）。2011 年以降は漁獲物の測定は行われていないが、漁獲量が少ないことから、着底トロール調査によって得られた甲幅組成データを適用して齢期別漁獲尾数を得た。なお、2018 年は福島県の沖底漁業者への委託調査で得られた漁獲物を測定して得られたデータを用いた。観測された齢期別漁獲尾数を c、推定された漁獲尾数を C とおき、漁獲量の部分の尤度関数は、下記の式で定義した。

$$\ln(c_{a,u,t}) \sim \mathrm{Normal}(\ln(C_{a,u,t}), \tau^2_{a,u}), \quad (32)$$

$$C_{a,u=0,t} = N_{a,u=0,j=1,t} \exp(-M_t/6)\left(1 - F_{k=1,t}\right) w_{a,u=0,t}, \quad (33)$$

$$C_{a,u=1,t} = \sum_{j=2}^{3} N_{a,u=1,j,t} \exp(-M_t/6)\left(1 - F_{k,t}\right) w_{a,u=1,t}, \quad (34)$$

雄の場合は、式 (33)、(34)の両方を用い、雌の場合は最終脱皮後の個体の漁獲のみであるため、式 (33)のみ用いた。

推定された各年の齢期別資源尾数を補足表 2-5、補足表 2-6 および補足図 2-3 に、また着底トロール調査から得た現存量と JASAM による資源量推定値の残差を補足図 2-4 に示した。さらに、資源量推定値と自然死亡係数 M について、レトロスペクティブ解析を行った結果を補足図 2-5 および補足図 2-6 にそれぞれ示した。また、レトロスペクティブバイアスの指標として、資源量および M の Mohn's rho（ρ、Mohn 1999）をそれぞれ下式 (35)、(36)により求めたところ、ρ_A= 8.52 %、ρ_M= 26.0 %であった。

$$\rho_A = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5}\left(\frac{A_{T-i,R_i} - A_{T-i}}{A_{T-i}}\right) \times 100 \quad (35)$$

$$\rho_M = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5}\left(\frac{M_{T-i,R_i} - M_{T-i}}{M_{T-i}}\right) \times 100 \quad (36)$$

なお、ここで、i=1, 2,…, 5、T=2022 であり、1997 年から T–i 年までのデータで推定された資源量をA_{T-i,R_i}、M をM_{T-i,R_i}（R_i=R_1, …, R_5）として示した。なお、R_i は何年分のデータが除かれたかを示す添え字である。

本報告の全ての計算過程において、資源尾数を重量換算する際、下記の甲幅－体重の関係式を用いた（北川 2000）。CW は甲幅（mm）、BW は体重（g）を示す（補足図 2-1）。

雄未成熟　$BW = 7.943 \times 10^{-4} \times CW^{2.815}$
雄成熟　$BW = 4.954 \times 10^{-4} \times CW^{2.946}$
雌未成熟　$BW = 9.616 \times 10^{-4} \times CW^{2.755}$
雄成熟　$BW = 3.556 \times 10^{-3} \times CW^{2.464}$

（2）将来予測方法

資源評価で推定した 2022 年漁期の齢期別資源量、現状の漁獲圧（F2020-2022）、および現状の自然死亡係数 M（令和 4（2022）年度資源評価における値、M=0.679）に基づき、2023～2034 年漁期までの将来予測計算を行った。各種パラメータの設定を補足表 2-7 に示す。2023 年漁期以降の加入量の予測については、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」において提案されたホッケー・スティック型関係式（a=18.169、b=259.85、SD=0.275、rho=0.861）から推定される値を用いた（森川ほか 2020）。なお、再生産関係のパラメータ推定に使用するデータは、令和元（2019）年度の資源評価（柴田ほか 2020）に基づく親魚量・加入量とし、最適化法には最小二乗法を用いた。なお、加入量には残差の自己相関を考慮している。将来予測における加入量は、各年漁期の親魚量から

予測される値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、5,000 回の繰り返し計算を行った。2023 年漁期以降の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2020-2022）から算出した。また、参考として 2024 年漁期以降の漁獲圧を 0 とした場合についても計算を行った。計算に用いる個体群動態モデルは（1）資源計算方法で示したものと同一である。

引用文献

服部　努・伊藤正木・柴田泰宙・矢野寿和・成松庸二　(2014) 調査用トロール網によるズワイガニの採集効率の推定. 日水誌, **80**, 178-184

北川大二 (2000) 東北海域におけるズワイガニの分布と生物特性. 東北水研研報, **63**, 109-118.

Kitakado, T. and Okamura, H. (2009). Estimation of additional variance for Antarctic minke whales based on the abundance estimates from the revised OK method. *Paper presented to the Scientific Committee of the International Whaling Commission, Madeira, Portugal.* **SC/61/IA8**.

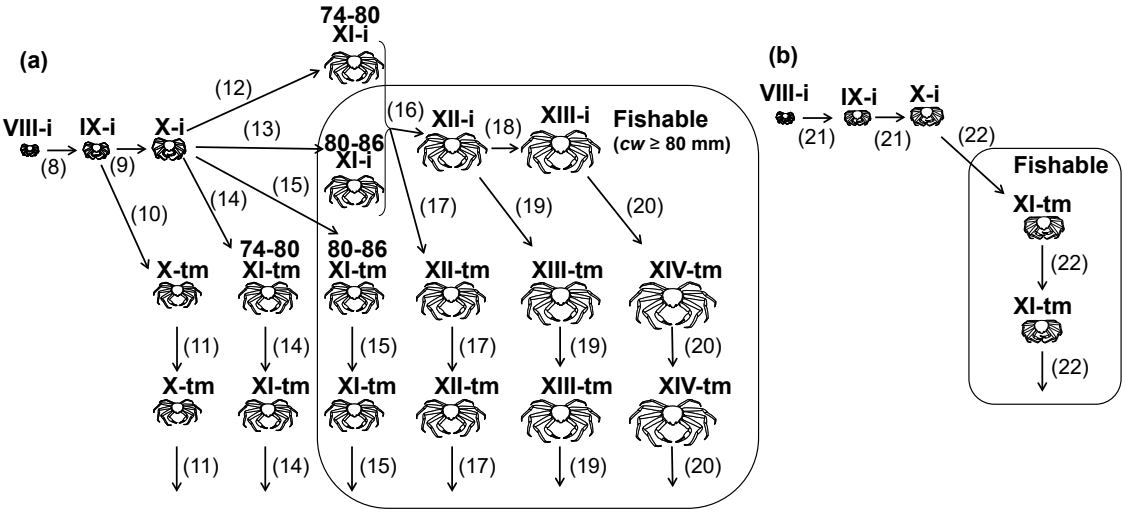
Mohn, R (1999) The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data. ICES J. Mar. Sci., **56**, 473-488.

森川英祐・成松庸二・柴田泰宙・鈴木勇人・時岡　駿・金森由妃・三澤　遼・永尾次郎 (2020) 令和 2 (2020)年度ズワイガニ太平洋北部系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書. 水産研究・教育機構, 1-27. FRA-SA2020-BRP02-5. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_zuwai_pacific_north_r.pdf

Nielsen, A. and C. W. Berg (2014) Estimation of time-varying selectivity in stock assessments using state-space models. Fish. Res., **158**, 96-101.

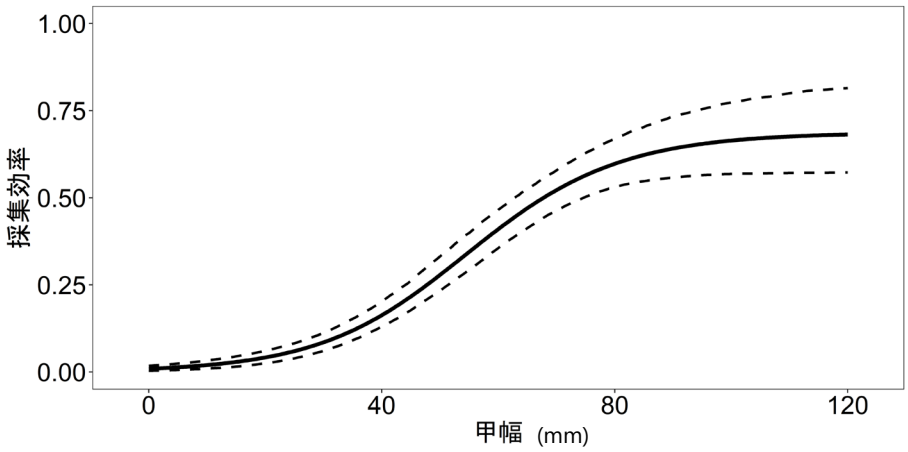
Shibata, Y., J. Nagao, Y. Narimatsu, E. Morikawa, Y. Suzuki, S. Tokioka, M. Yamada, S. Kakehi, H. Okamura (2021). Estimating maximum sustainable yield of snow crab (*Chionoecetes opilio*) off Tohoku Japan via a state-space assessment model with time-varying natural mortality. Popul. Ecol., **63**, 41-60.

柴田泰宙・成松庸二・鈴木勇人・森川英祐・時岡　駿・永尾次郎 (2020) 令和元 (2019) 年度ズワイガニ太平洋北部系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京.

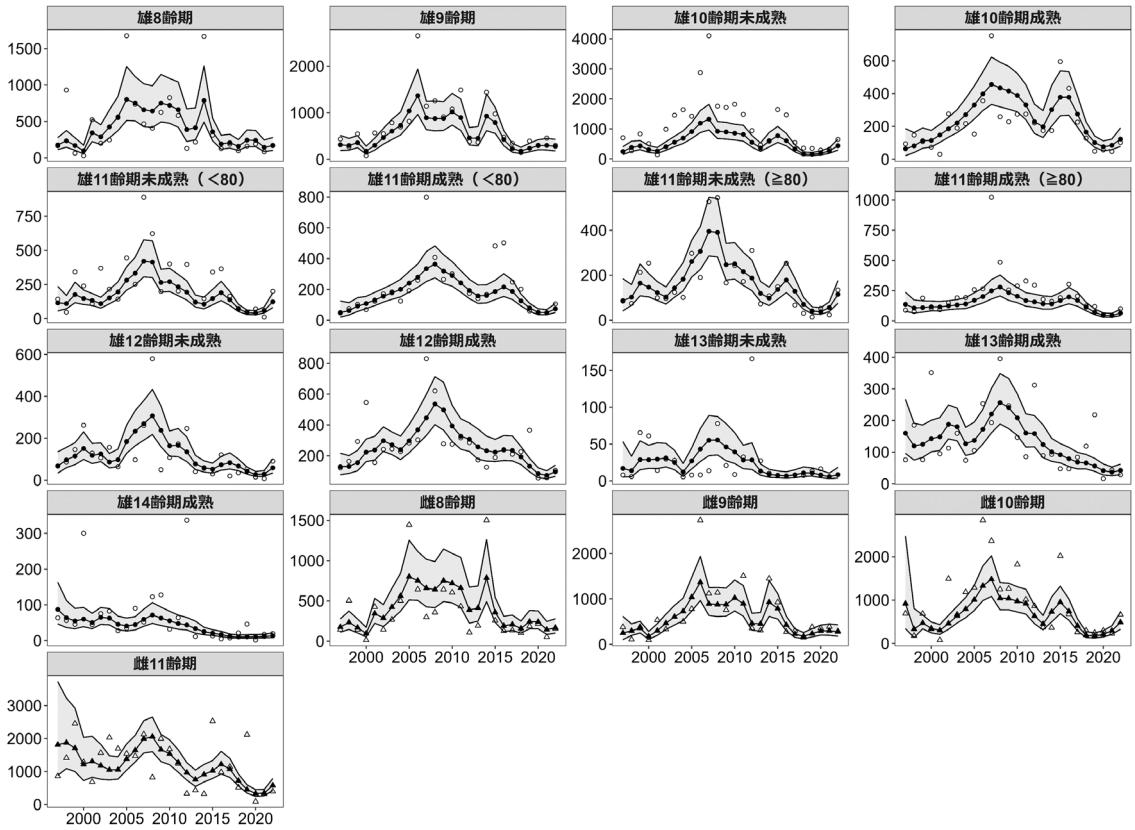


補足図 2-1.　ズワイガニの個体群動態モデル

(a)、(b)はそれぞれ雄、雌の個体群動態モデルを表す。また、図中の（）内の数字は補足資料 2 本文中の数式を表す。

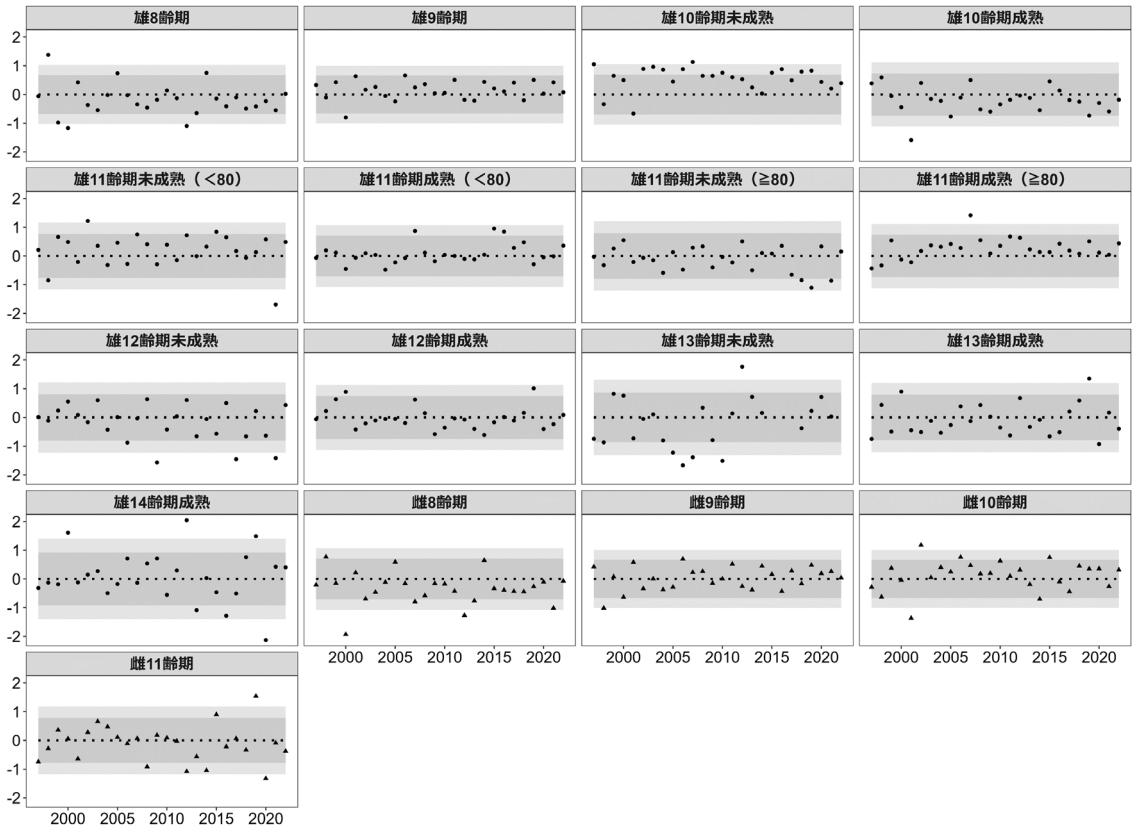


補足図 2-2.　甲幅に対する採集効率



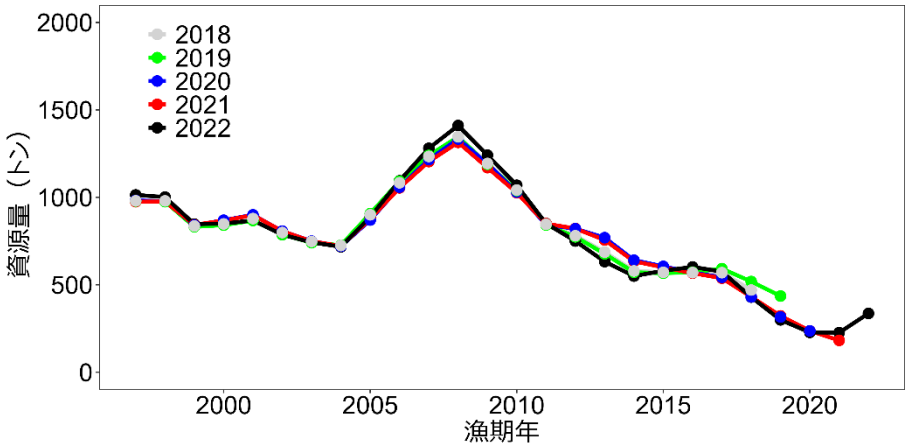
補足図 2-3.　雌雄別、齢期別資源尾数（採集効率未考慮）の推移

白点は着底トロール調査によって得られた資源尾数、黒点は JASAM によって推定された資源尾数である。網掛けは推定された資源量の 95%信頼区間を示す。

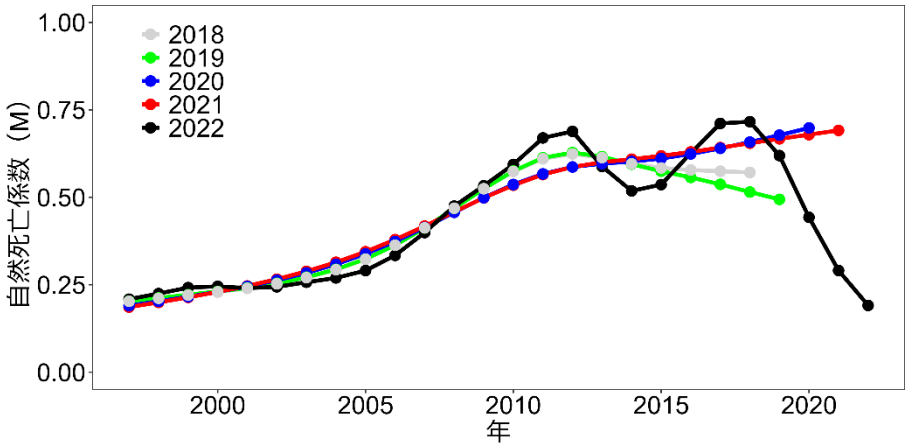


補足図 2-4.　雌雄別、齢期別資源尾数の残差プロット

着底トロール調査によって得られた資源尾数に対する JASAM で推定した資源部数の残差を示した。点線は 0 を、縦軸は残差を示し、網掛けの濃色および淡色は、残差に正規分布をあてはめたときのそれぞれ 80%点および 95%点を示す。



補足図 2-5.　JASAM で推定された資源量のレトロスペクティブ解析



補足図 2-6.　JASAM で推定された M のレトロスペクティブ解析

補足表 2-1.　着底トロール調査によって得られた雄の齢期別資源尾数（採集効率未考慮）

	8	9	10		11				12		13		14
					80 mm未満		80 mm以上						
	未	未	未	成	未	成	未	成	未	成	未	成	成
1997	166	434	705	94	142	47	85	88	68	122	8	76	64
1998	931	266	273	147	47	75	74	77	86	164	6	185	56
1999	63	546	834	107	343	102	213	189	146	293	65	76	45
2000	30	79	509	73	239	69	254	103	262	546	61	351	300
2001	525	565	136	30	108	123	99	92	129	156	14	95	45
2002	199	548	987	276	369	171	97	148	106	242	30	113	75
2003	246	784	1,456	190	216	184	124	191	156	244	28	160	82
2004	553	693	1,640	217	143	124	101	193	63	228	5	74	28
2005	1,677	816	1,423	153	445	192	298	258	185	283	8	105	34
2006	735	2,652	2,873	356	252	260	190	266	97	304	8	253	90
2007	467	1,140	4,102	752	889	798	528	1,023	260	829	14	193	52
2008	406	1,255	1,757	259	623	408	545	485	579	621	78	395	122
2009	625	912	1,716	229	199	265	166	255	50	278	21	247	128
2010	826	1,078	1,822	275	401	301	243	290	107	275	9	146	32
2011	581	1,487	1,485	275	202	242	172	331	173	316	33	86	64
2012	130	382	942	221	398	174	310	296	247	285	166	312	337
2013	216	363	466	175	120	140	72	178	40	173	27	89	11
2014	1,668	1,440	610	175	147	168	108	161	56	126	10	93	25
2015	311	974	1,646	595	342	482	149	192	29	189	0	48	13
2016	127	473	1,467	432	365	502	254	303	121	240	0	47	5
2017	188	344	546	227	164	248	67	204	19	210	0	84	7
2018	97	145	360	128	70	202	30	123	35	227	7	119	21
2019	160	392	351	49	49	60	14	119	53	366	13	218	46
2020	191	302	293	56	72	49	52	51	14	56	16	17	1
2021	83	455	323	47	11	49	24	46	7	58	6	44	17
2022	172	300	651	102	200	105	134	100	90	105	0	29	20

各列の冒頭の数字は齢期、「未」は未成熟、「成」は成熟個体を示す。

補足表 2-2.　着底トロール調査によって得られた雌の齢期別資源尾数（採集効率未考慮）

	8 未	9 未	10 未	11 成
1997	144	380	689	861
1998	505	107	177	1,413
1999	145	385	686	2,455
2000	14	93	332	1,286
2001	427	536	77	688
2002	144	331	1,494	1,566
2003	268	608	667	2,031
2004	501	500	1,184	1,695
2005	1,446	780	1,289	1,542
2006	643	2,733	2,844	1,472
2007	299	1,119	2,368	2,130
2008	359	1,140	1,249	822
2009	643	756	1,264	1,996
2010	606	1,022	1,824	1,679
2011	432	1,507	1,013	1,242
2012	109	354	864	329
2013	193	308	372	430
2014	1,503	1,449	363	320
2015	256	926	2,019	2,528
2016	129	277	672	981
2017	135	301	261	1,145
2018	102	151	299	517
2019	186	382	246	2,118
2020	217	356	298	88
2021	52	388	226	318
2022	156	289	665	398

各列の冒頭の数字は齢期、「未」は未成熟、「成」は成熟個体を示す。

補足表 2-3.　着底トロール調査で得られた雄の齢期別変動係数（CV）

	8	9	10		11				12		13		14
					80 mm未満		80 mm以上						
	未	未	未	成	未	成	未	成	未	成	未	成	成
1997	0.187	0.488	0.353	0.861	0.424	0.422	0.416	0.244	0.578	0.292	0.646	0.478	0.284
1998	0.552	0.444	0.459	0.695	0.518	0.410	0.333	0.595	0.405	0.555	0.716	0.395	0.666
1999	0.474	0.160	0.298	0.414	0.382	0.568	0.380	0.414	0.251	0.481	0.516	0.603	0.616
2000	0.128	0.531	0.421	0.420	0.551	0.431	0.880	0.880	0.820	0.834	0.531	0.815	0.932
2001	0.301	0.638	0.133	0.423	0.267	0.612	0.319	0.329	0.293	0.306	0.816	0.218	0.591
2002	0.308	0.309	0.308	0.388	0.427	0.300	0.490	0.232	0.386	0.289	0.721	0.331	0.452
2003	0.252	0.333	0.308	0.243	0.338	0.220	0.404	0.279	0.575	0.262	0.566	0.234	0.528
2004	0.205	0.229	0.176	0.167	0.194	0.239	0.204	0.246	0.304	0.286	0.467	0.383	0.528
2005	0.352	0.252	0.304	0.357	0.336	0.249	0.273	0.242	0.240	0.322	0.556	0.554	0.442
2006	0.196	0.193	0.230	0.193	0.192	0.179	0.188	0.174	0.216	0.228	0.364	0.289	0.354
2007	0.081	0.141	0.576	0.648	0.809	0.696	0.706	0.795	0.371	0.701	0.491	0.357	0.824
2008	0.190	0.206	0.328	0.281	0.494	0.353	0.571	0.403	0.678	0.587	0.820	0.490	0.672
2009	0.392	0.211	0.194	0.171	0.170	0.182	0.350	0.244	0.282	0.224	0.538	0.354	0.438
2010	0.248	0.200	0.240	0.224	0.296	0.196	0.238	0.195	0.331	0.247	0.451	0.382	0.397
2011	0.406	0.162	0.203	0.237	0.345	0.285	0.378	0.258	0.575	0.271	0.770	0.259	0.436
2012	0.207	0.240	0.175	0.284	0.050	0.282	0.043	0.185	0.038	0.167	0.411	0.059	0.011
2013	0.222	0.318	0.238	0.412	0.301	0.311	0.368	0.347	0.342	0.532	0.608	0.745	0.803
2014	0.461	0.338	0.287	0.348	0.570	0.345	0.716	0.349	0.547	0.325	0.464	0.353	0.526
2015	0.186	0.218	0.538	0.741	0.787	0.772	0.762	0.765	0.725	0.542	0.000	0.360	0.553
2016	0.386	0.286	0.289	0.229	0.319	0.228	0.482	0.323	0.430	0.278	0.000	0.468	0.690
2017	0.259	0.354	0.246	0.196	0.315	0.226	0.404	0.235	0.402	0.274	0.000	0.352	0.708
2018	0.190	0.278	0.321	0.263	0.714	0.360	0.761	0.459	0.474	0.371	0.652	0.642	0.758
2019	0.339	0.335	0.184	0.472	0.396	0.249	0.603	0.486	0.785	0.835	0.608	0.862	0.881
2020	0.241	0.199	0.204	0.282	0.357	0.241	0.442	0.304	0.519	0.302	0.000	0.386	0.771
2021	0.348	0.170	0.214	0.318	0.565	0.397	0.505	0.368	0.579	0.358	0.653	0.662	0.746
2022	0.204	0.193	0.224	0.286	0.253	0.215	0.332	0.301	0.374	0.328	0.000	0.393	0.592

各列の冒頭の数字は齢期、「未」は未成熟、「成」は成熟個体を示す。

補足表 2-4.　着底トロール調査で得られた雌の齢期別変動係数（CV）

	8 未	9 未	10 未	11 成
1997	0.357	0.451	0.327	0.511
1998	0.476	0.455	0.364	0.817
1999	0.630	0.212	0.266	0.167
2000	0.503	0.511	0.346	0.207
2001	0.397	0.578	0.326	0.469
2002	0.257	0.265	0.351	0.448
2003	0.393	0.221	0.243	0.340
2004	0.171	0.176	0.218	0.268
2005	0.378	0.216	0.264	0.242
2006	0.194	0.205	0.263	0.217
2007	0.118	0.153	0.379	0.625
2008	0.210	0.219	0.351	0.222
2009	0.327	0.166	0.183	0.429
2010	0.209	0.200	0.331	0.348
2011	0.395	0.176	0.202	0.379
2012	0.304	0.279	0.225	0.259
2013	0.170	0.334	0.250	0.291
2014	0.499	0.356	0.275	0.319
2015	0.233	0.330	0.541	0.936
2016	0.504	0.286	0.256	0.303
2017	0.241	0.447	0.245	0.345
2018	0.300	0.255	0.239	0.373
2019	0.280	0.444	0.265	0.937
2020	0.269	0.200	0.180	0.396
2021	0.223	0.176	0.186	0.560
2022	0.237	0.257	0.254	0.294

各列の冒頭の数字は齢期、「未」は未成熟、「成」は成熟個体を示す。

補足表 2-5.　JASAM によって推定された雄の齢期別資源尾数（採集効率未考慮）

	8	9	10		11				12		13		14
					80 mm未満		80 mm以上						
	未	未	未	成	未	成	未	成	未	成	未	成	成
1997	177	312	246	64	115	50	87	137	67	129	17	160	87
1998	234	296	383	81	110	62	102	106	96	131	14	120	64
1999	168	357	435	113	176	91	165	110	115	155	29	125	55
2000	96	175	309	114	147	108	147	117	151	223	29	143	60
2001	344	300	265	148	133	131	122	115	118	237	29	148	50
2002	288	465	405	185	109	155	103	124	125	297	31	188	65
2003	424	604	556	221	152	178	143	132	86	271	25	180	63
2004	562	728	693	272	196	201	182	140	97	239	12	127	45
2005	802	1,038	908	331	282	241	261	170	183	297	27	137	41
2006	752	1,366	1,191	398	333	279	306	201	233	369	43	172	44
2007	660	891	1,323	456	421	335	395	249	269	446	55	220	59
2008	642	875	919	434	414	365	391	280	307	536	56	256	71
2009	752	877	898	416	265	319	247	234	237	498	46	241	63
2010	720	1,020	856	389	271	290	251	204	164	393	39	209	55
2011	661	895	816	331	233	242	216	168	166	327	28	160	48
2012	388	459	553	229	194	193	187	157	135	307	28	159	44
2013	413	451	365	198	121	158	119	141	77	258	13	124	34
2014	787	928	592	302	106	161	98	140	59	233	9	101	25
2015	358	788	772	377	147	186	136	168	52	223	0	92	21
2016	191	425	608	378	190	216	179	198	73	237	0	79	17
2017	208	228	334	275	138	187	129	169	83	235	0	68	12
2018	158	178	162	165	74	126	70	113	67	193	11	66	10
2019	243	236	153	101	43	80	41	71	42	133	11	56	10
2020	241	294	189	76	40	51	38	45	27	84	8	42	11
2021	144	299	263	85	60	49	56	44	29	73	6	37	11
2022	168	277	440	122	123	74	115	65	58	96	0	42	13

各列の冒頭の数字は齢期、「未」は未成熟、「成」は成熟個体を示す。

補足表 2-6.　JASAM によって推定された雌の齢期別資源尾数（採集効率未考慮）

	8 未	9 未	10 未	11 成
1997	177	250	919	1,813
1998	234	296	331	1,876
1999	168	357	472	1,709
2000	96	175	347	1,215
2001	344	300	302	1,308
2002	288	465	460	1,182
2003	424	604	635	1,051
2004	562	728	793	1,056
2005	802	1,038	1,007	1,383
2006	752	1,366	1,331	1,644
2007	660	891	1,481	1,993
2008	642	875	1,044	2,059
2009	752	877	1,038	1,664
2010	720	1,020	974	1,538
2011	661	895	920	1,276
2012	388	459	633	968
2013	413	451	449	756
2014	787	928	732	910
2015	358	788	953	1,026
2016	191	425	742	1,221
2017	208	228	405	1,072
2018	158	178	191	722
2019	243	236	173	454
2020	241	294	209	331
2021	144	299	294	347
2022	168	277	486	579

各列の冒頭の数字は齢期、「未」は未成熟、「成」は成熟個体を示す。

補足表 2-7.　将来予測計算に用いたパラメータ

齢期	自然死亡係数 （注）	成熟率	平均重量(g)	現状の漁獲圧 （F2020-2022）
8	0.679	0.0	－	－
9	0.679	0.0	－	－
10	0.679	0.0	－	－
11	0.679	1.0	132	0.030

注：自然死亡係数は現状の M（令和 4（2022）年度資源評価における値、M=0.679）。

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
ホッケー・スティック型	最小二乗法	有	18.169	259.85	0.275	0.861

a と b は各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.　管理基準値と MSY

項目	値	説明
SBtarget		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		限界管理基準値。MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量（SB0.6msy）
SBban		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） （雄未成熟、雄成熟、雌） =（－，－，－）	
%SPR（Fmsy）		Fmsy に対応する%SPR
MSY		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	131 トン	2022 年漁期後の親魚量
F2022	2022 年漁期の漁獲圧（漁獲係数 F）（雄未成熟，雄成熟，雌） ＝（0.035, 0.036, 0.044）	
U2022	4.1%	2022 年漁期の漁獲割合
%SPR（F2022）	78.0%	2022 年漁期の%SPR
%SPR（F2020-2022）	92.8%	現状（2020～2022 年漁期）の漁獲圧に対応する%SPR*
管理基準値との比較		
SB2022/ SBmsy (SBtarget)	－	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 年漁期の親魚量の比
F2022/ Fmsy	－	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2022 年漁期の漁獲圧の比*
親魚量の水準	－	
漁獲圧の水準	－	
親魚量の動向	横ばい	

* 2020～2022 年漁期の選択率の下で F を%SPR 換算して算出し求めた比率。

補足表 3-4.　算定漁獲量と予測親魚量

2024 年漁期の 算定漁獲量 （トン）	2024 年漁期の親魚量 予測平均値 （トン）	現状の漁獲圧に 対する比 （F/F2020-2022）	2024 年漁期の 漁獲割合（%）
8.2	56	1	3.2

コメント:
・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」において、本系群をとることを目的とする操業が行われていない平成 23 年（2011 年）以降の最大漁獲量を考慮して漁獲可能量を算定すると取りまとめられた。
・現状の漁獲圧には 2020～2022 年漁期の平均値（F2020-2022）を用いた。
・現状の自然死亡係数 M には令和 4（2022）年度の資源評価における値（M=0.679）を用いた。
・本系群では現状の M が高く、適用した HS 再生産関係では仮に漁獲を 0 とした場合でも資源量が減少する。資源量は 2021 年漁期に最低の値を記録しており、2022 年漁期はやや回復したものの、引き続き資源の保護が必要である。

補足資料４　調査結果の概要

調査名：底魚類現存量調査

調査期間：2022 年 9 月 28 日～11 月 24 日

調査海域および調査地点：補足図 4-1

（1）調査の概要

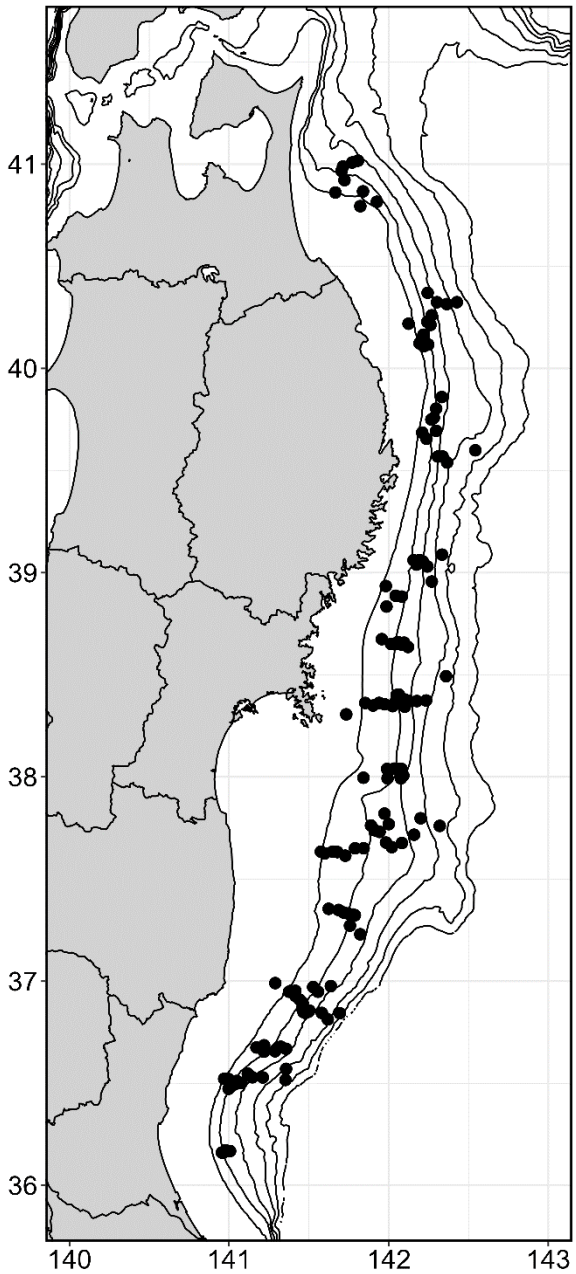
着底トロールによる現存量調査は 1997 年に開始し、以降毎年実施してきた。2002 年に推定精度向上を目的とした調査地点の増加・配置変更を行い、2004 年以降は現在の調査点数および配置となっている。現存量推定にあたり、1997～2003 年には対象海域の南北方向を 4 区分、水深帯を 100 m 毎の 8 区分の合計 32 層、2004 年以降はさらに水深 200～500 m を水深 50 m 幅に区分した合計 48 層として現存量を計算した。

2022 年は水深 150～900 m で合計 150 地点の着底トロール曳網を計画し、143 地点で調査を実施した（補足図 4-1）。採集されたズワイガニの多くは、例年と同様に主漁場である岩手県～福島県沖に分布していた。

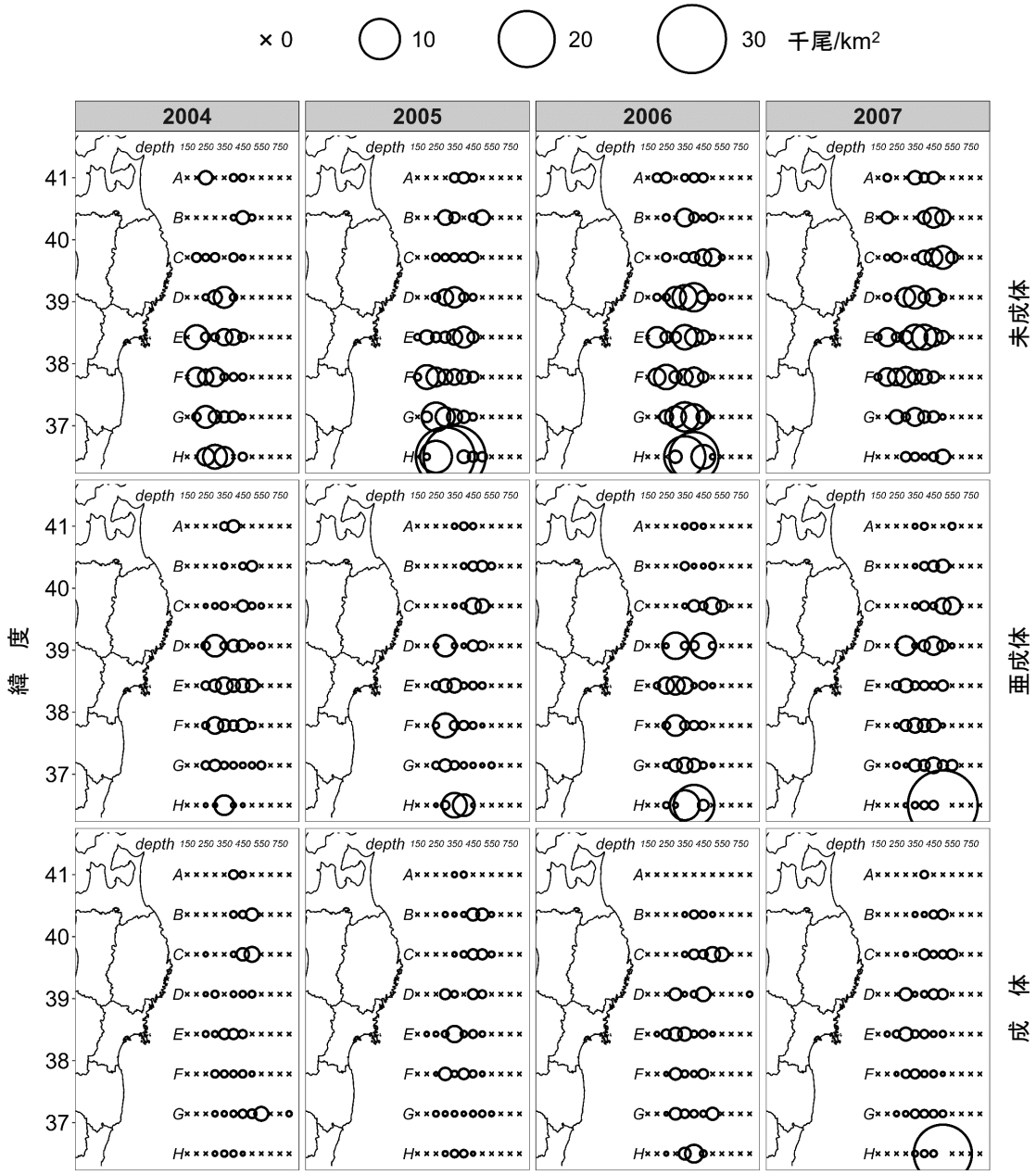
（2）分布密度の経年変化

調査点数が増加した 2004 年以降の分布の推移を雌雄別、成熟段階別に調べた（補足図 4-2～補足図 4-11）。その結果、2010 年以前には成熟段階の推移とともに経年的な分布の連続性が雌雄ともに認められたが、2011 年以降は明瞭な連続性は認められず、突発的な高分布密度点が出現するような状況が続いている。2015 年の調査では E ラインの水深 510 m（調査点名は E510）において高密度点が認められ、CV（変動係数）が極めて高かった（平成 28 年度の報告を参照）。2019 年には岩手県沖で成熟雄の分布密度が高い点が出現し、当該年で最も高い分布密度を記録した。しかし、2020 年、2021 年にはこうした高分布密度点は認められず、また 2022 年の現存量は、1997 年の調査開始以降過去 3 番目に低い値であった。

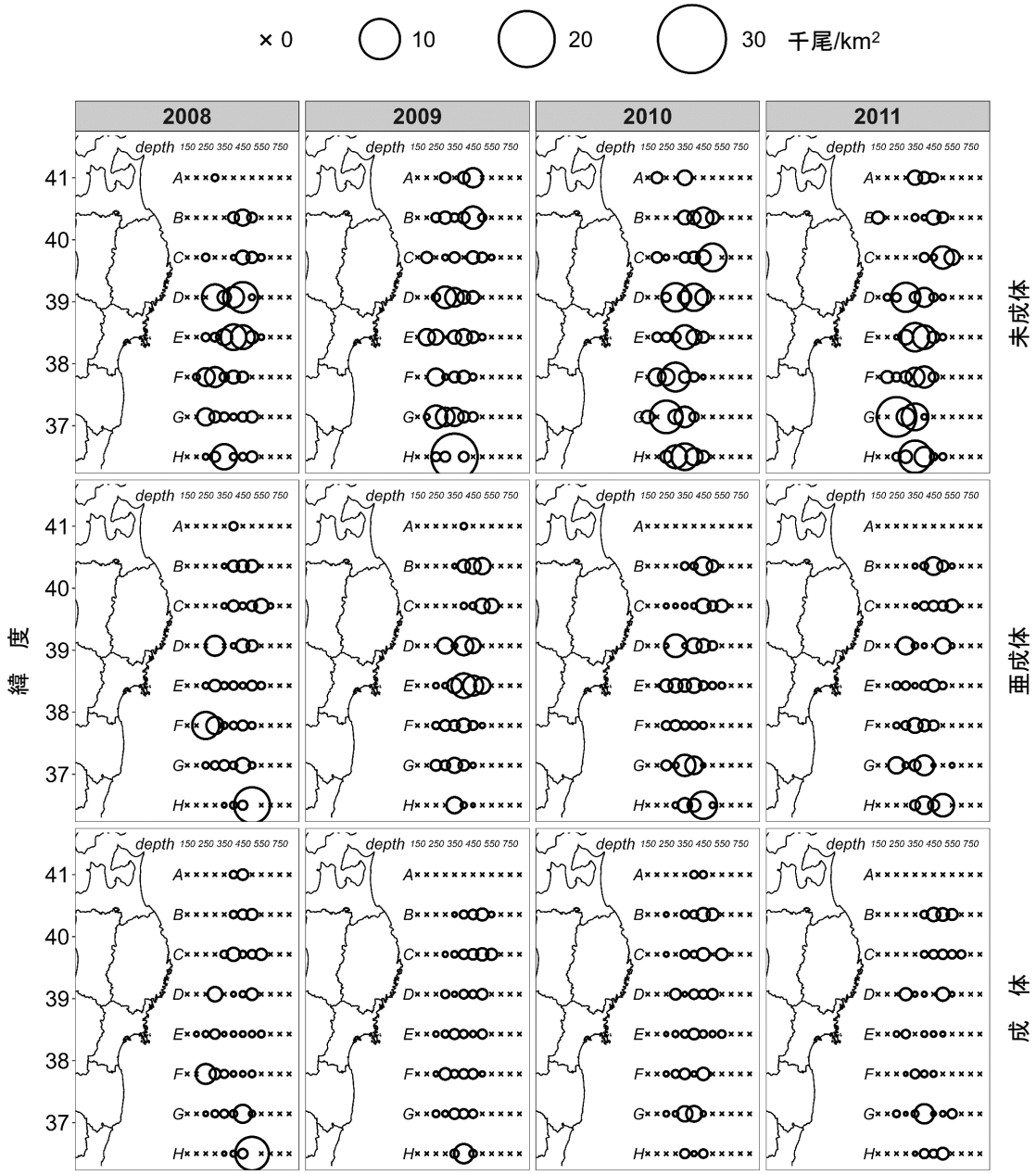
ズワイガニは 2000 年代には東北海域全体に広く分布しており、分布の南限となる日立沖でも分布密度の高い層が出現していたが、近年の福島県南部～茨城県沖では分布密度は低い水準で推移している。なお、分布密度の経年変化において、成体の分布は 2～3 年程度でみられなくなることから、本系群では漁獲対象となる年数は短く、加入の良否が資源量に大きく影響すると考えられる。



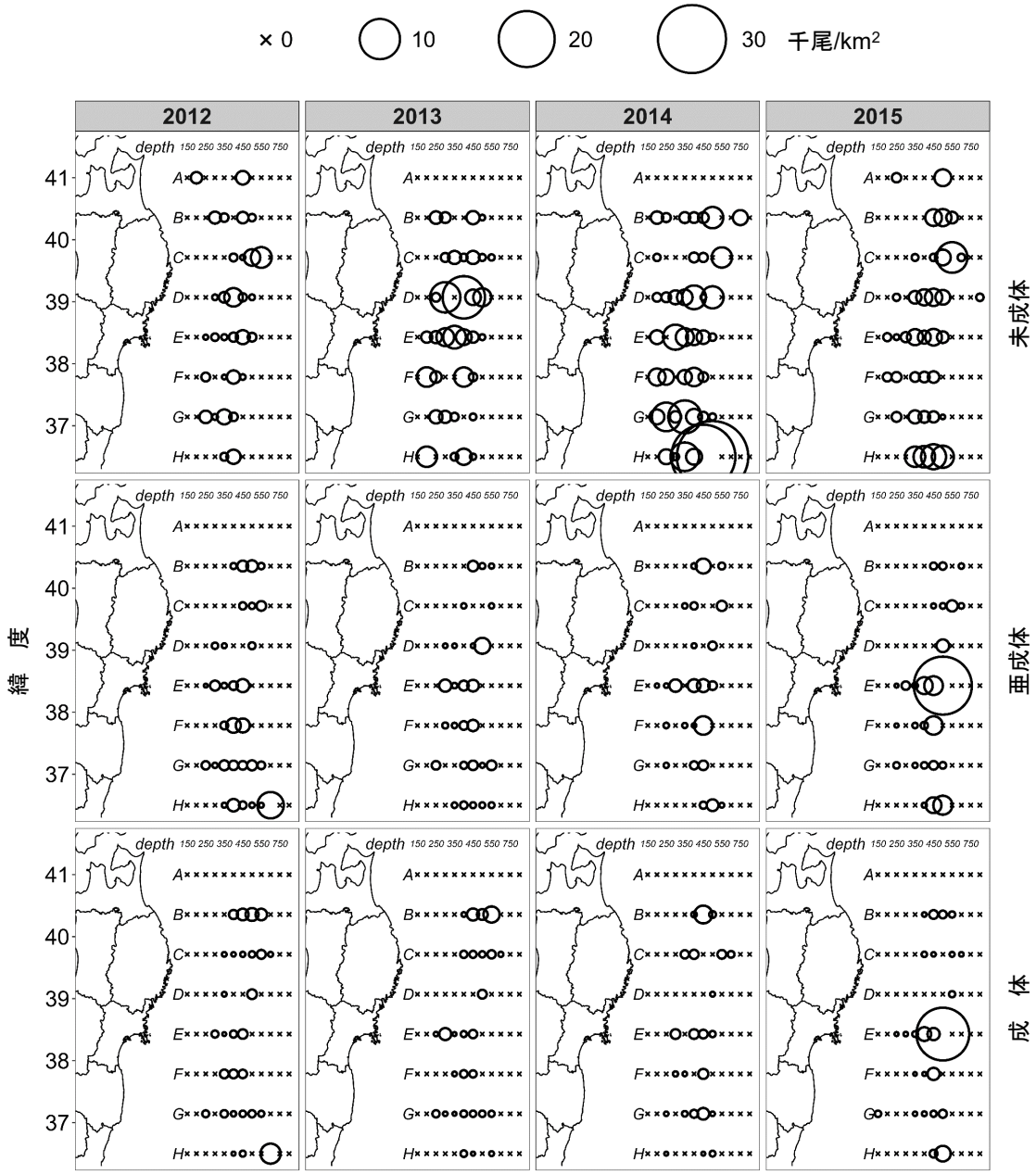
補足図 4-1.　2022 年の着底トロール調査点



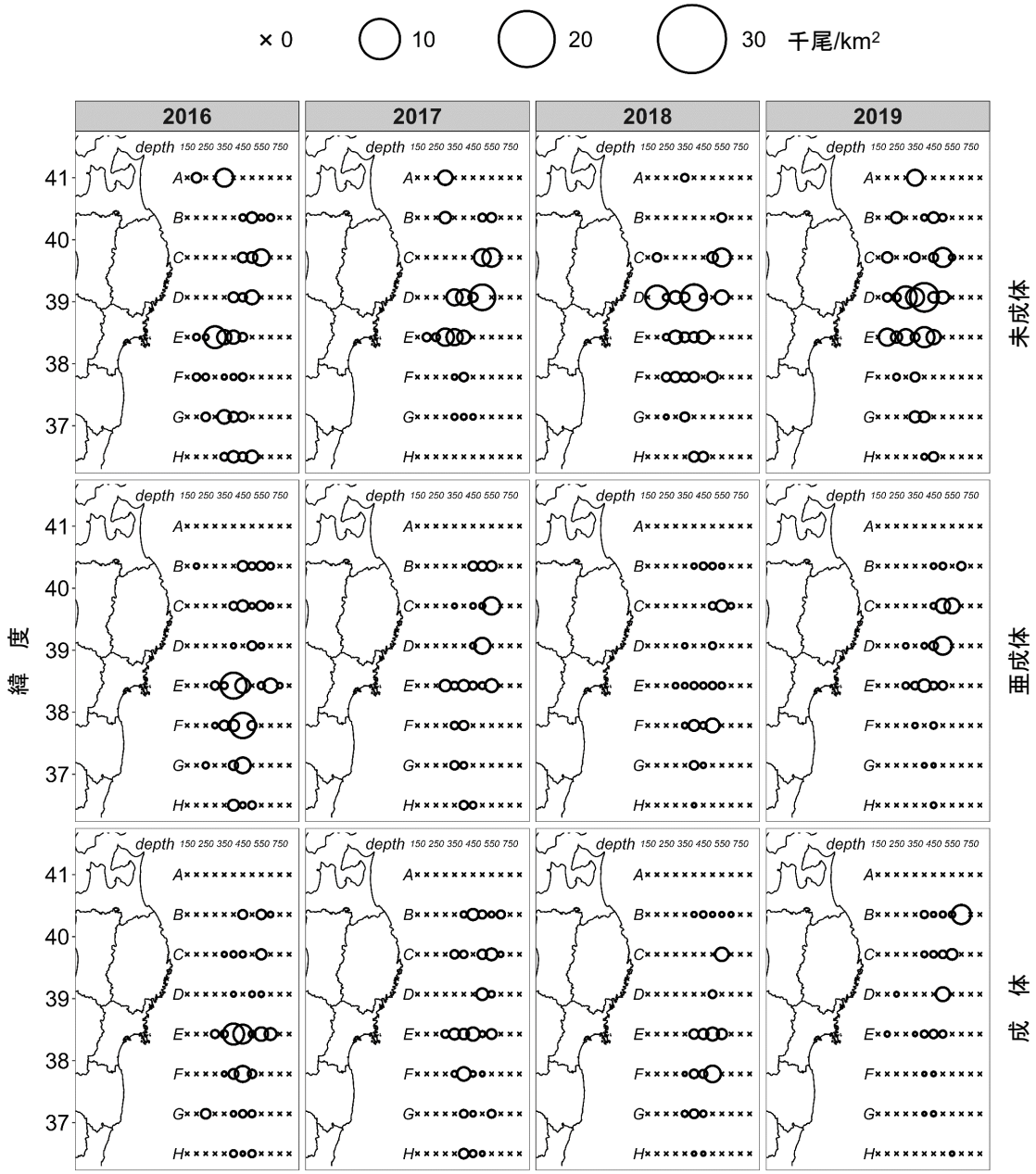
補足図 4-2.　2004～2007 年における雄の調査地点別の分布密度



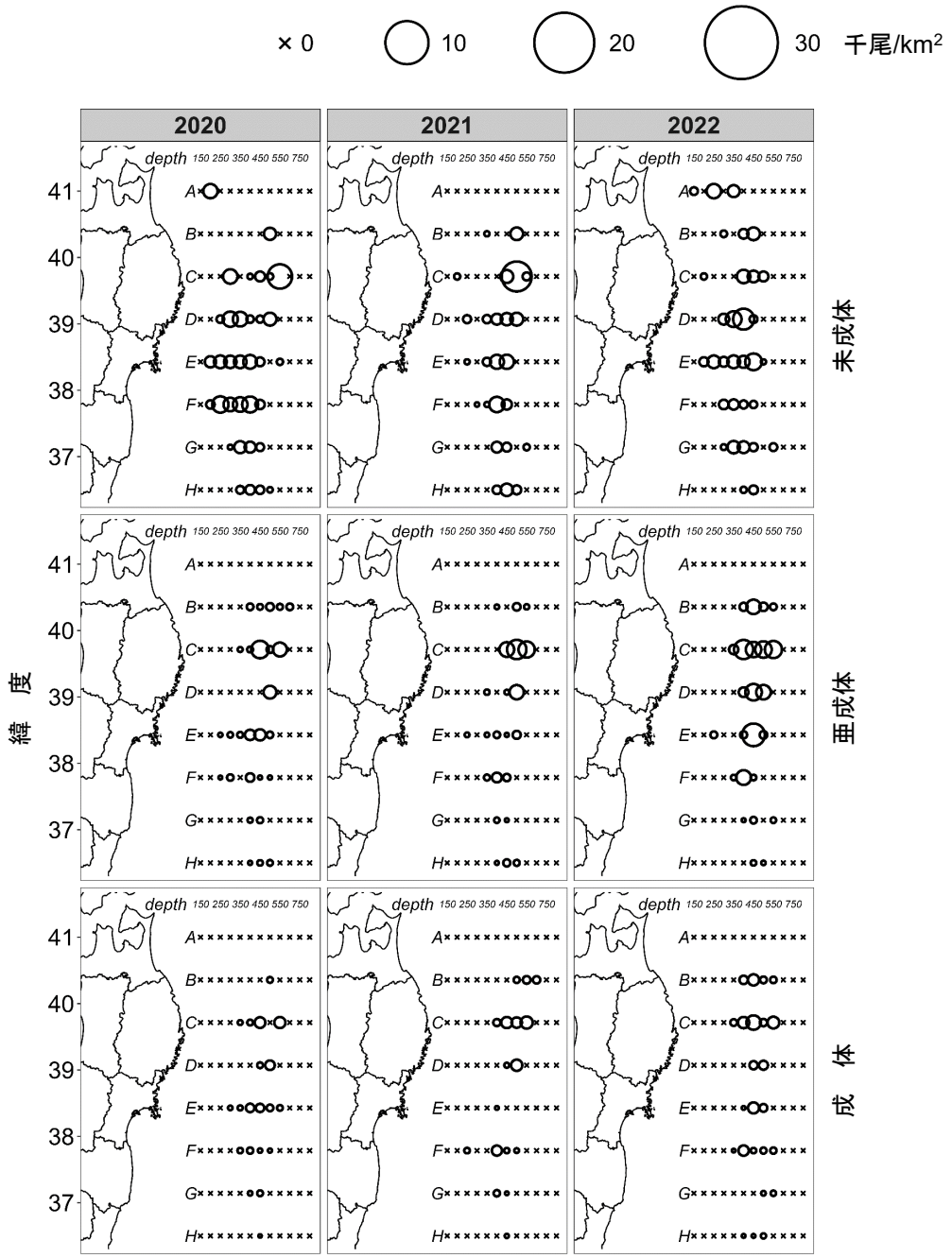
補足図 4-3.　2008～2011 年における雄の調査地点別の分布密度



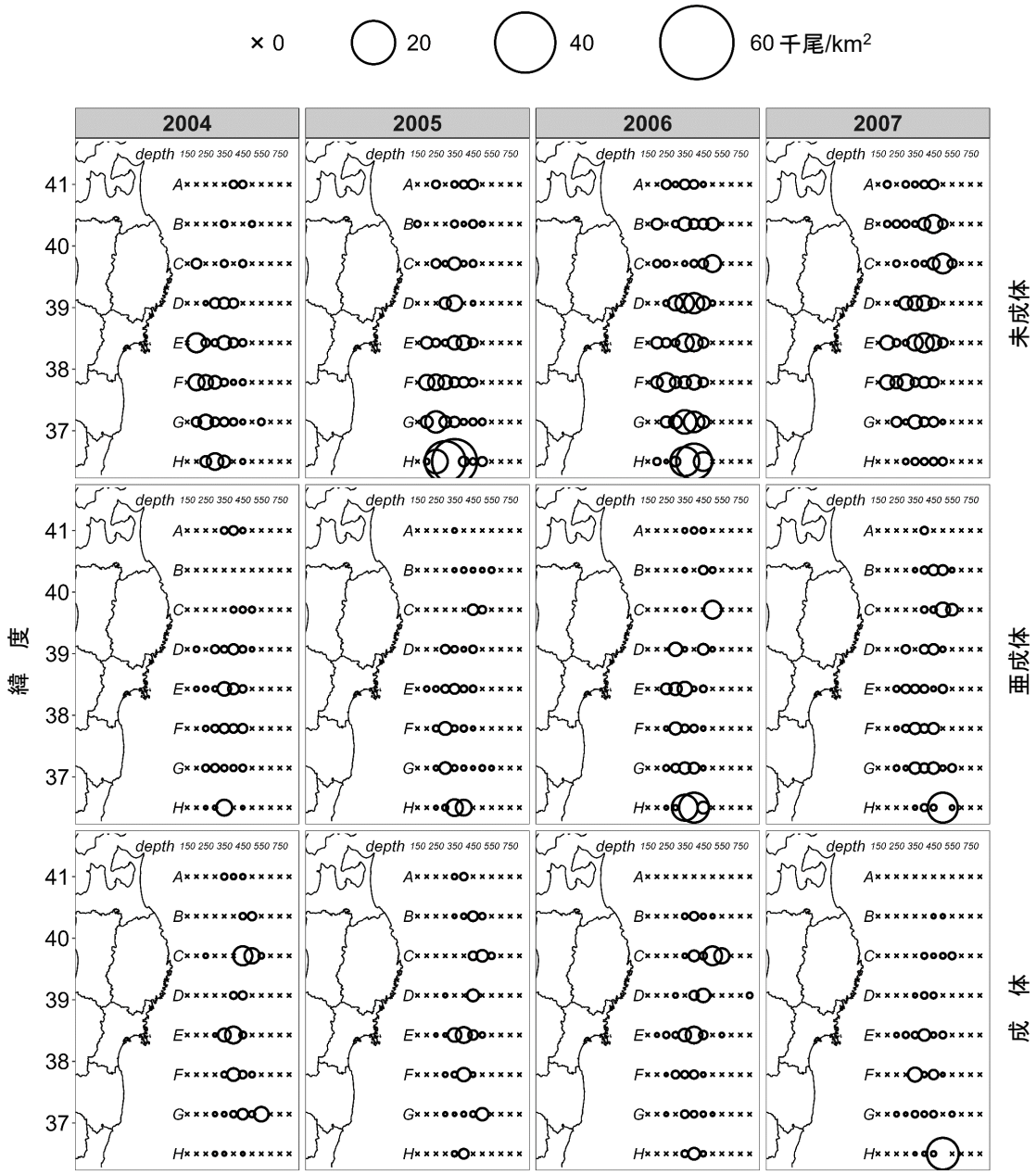
補足図 4-4.　2012～2015 年における雄の調査地点別の分布密度



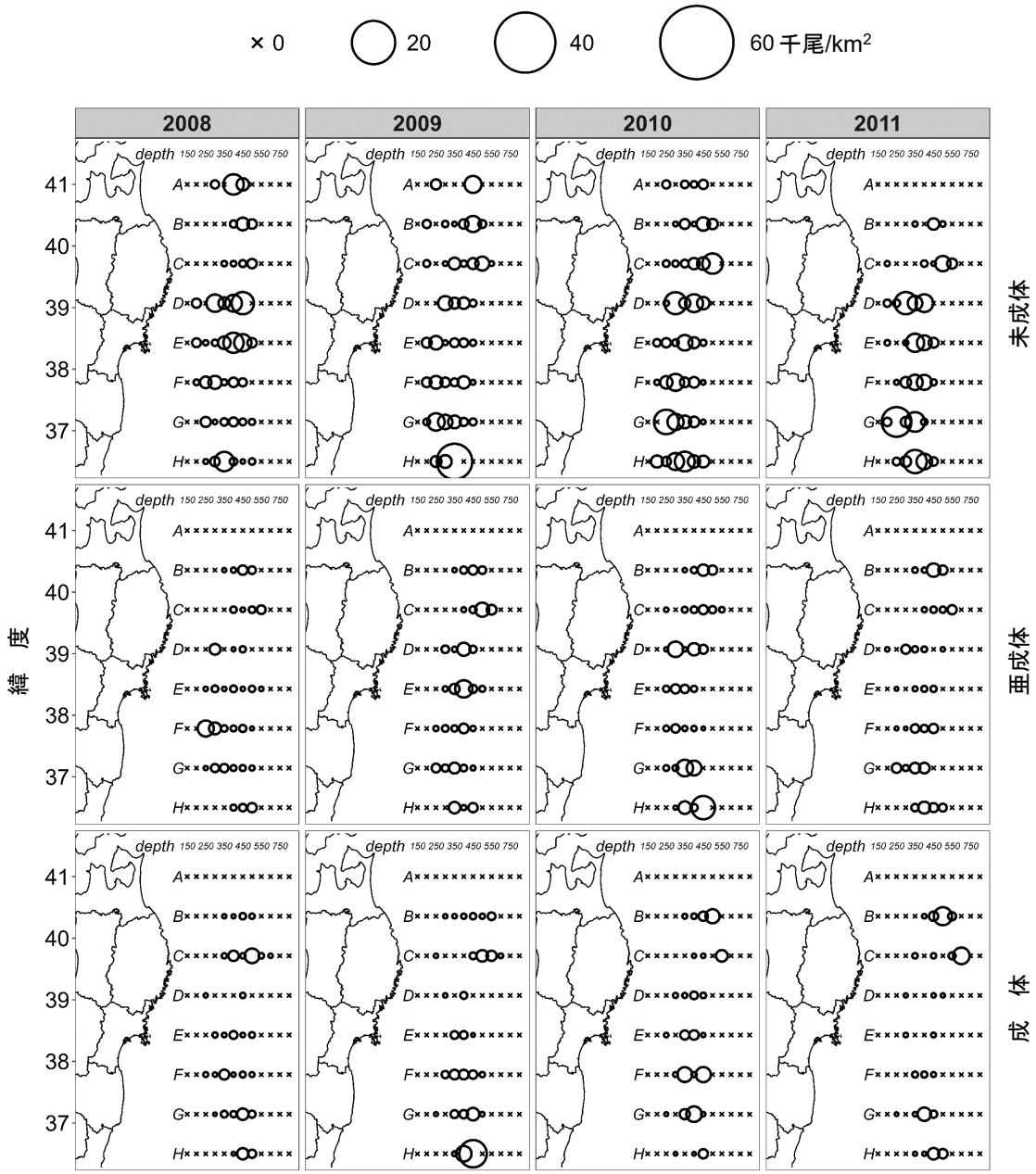
補足図 4-5.　2016～2019 年における雄の調査地点別の分布密度



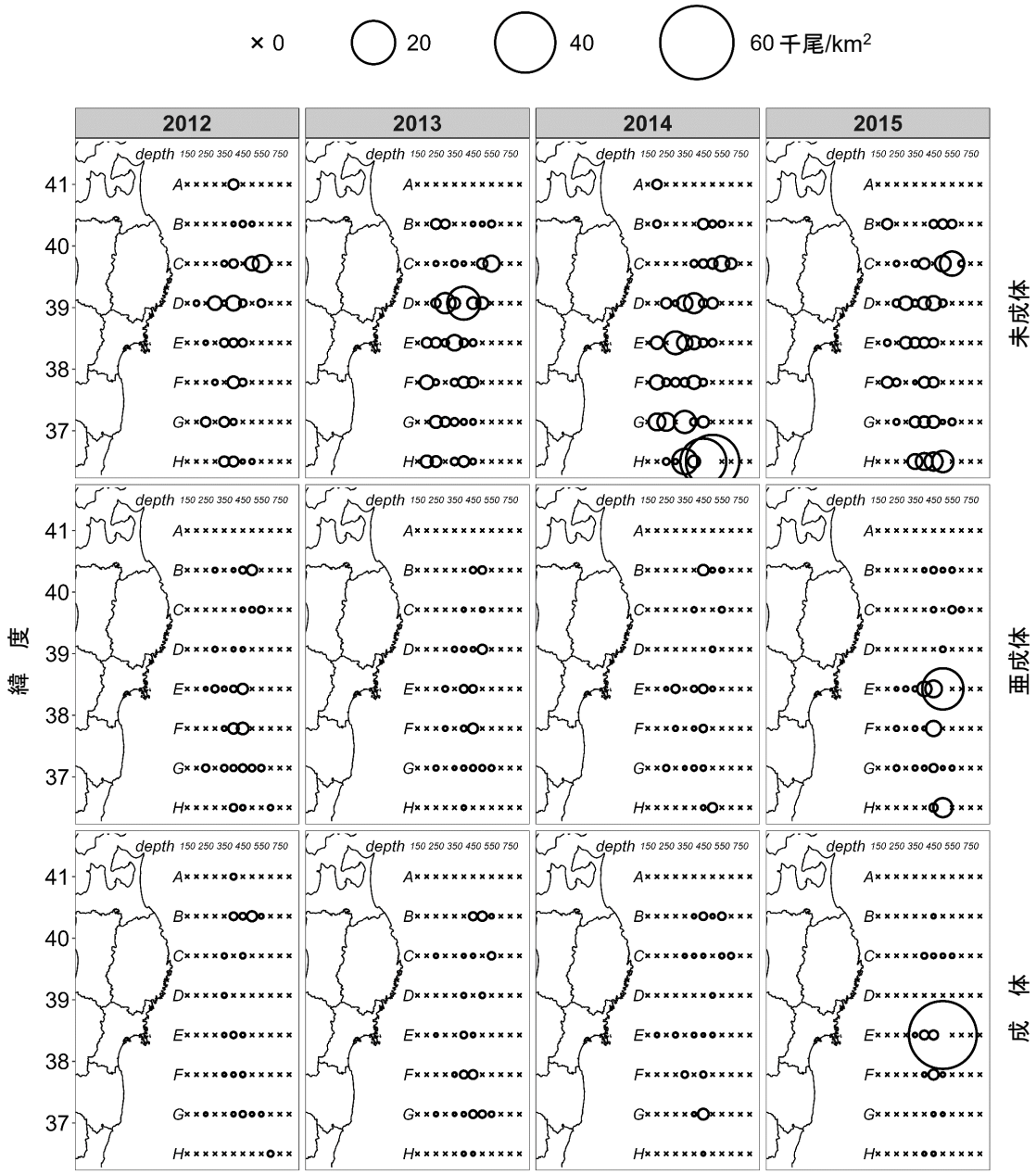
補足図 4-6.　2020～2022 年における雄の調査地点別の分布密度



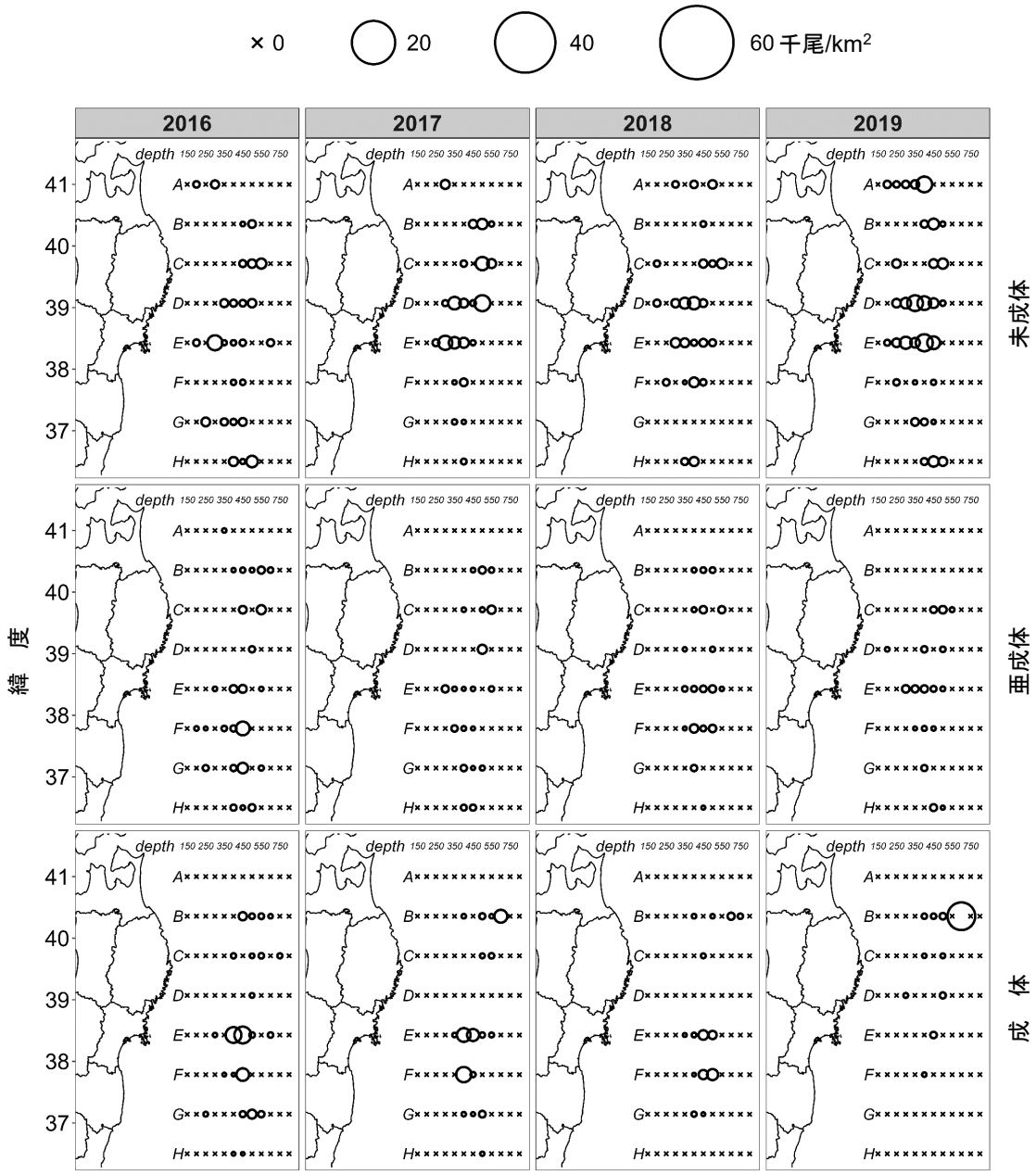
補足図 4-7.　2004～2007 年における雌の調査地点別の分布密度



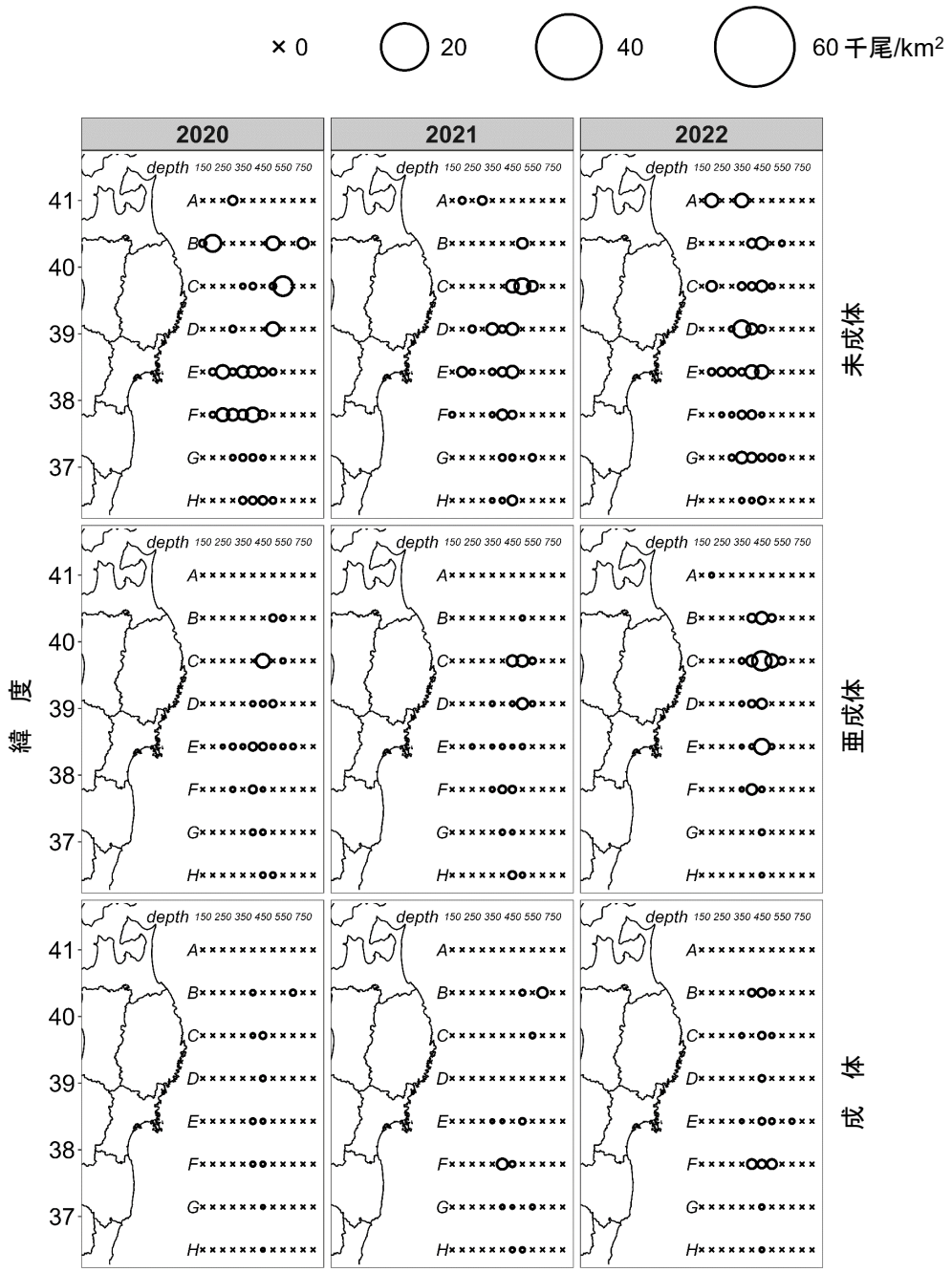
補足図 4-8.　2008～2011 年における雌の調査地点別の分布密度



補足図 4-9.　2012～2015 年における雌の調査地点別の分布密度



補足図 4-10.　2016～2019 年における雌の調査地点別の分布密度

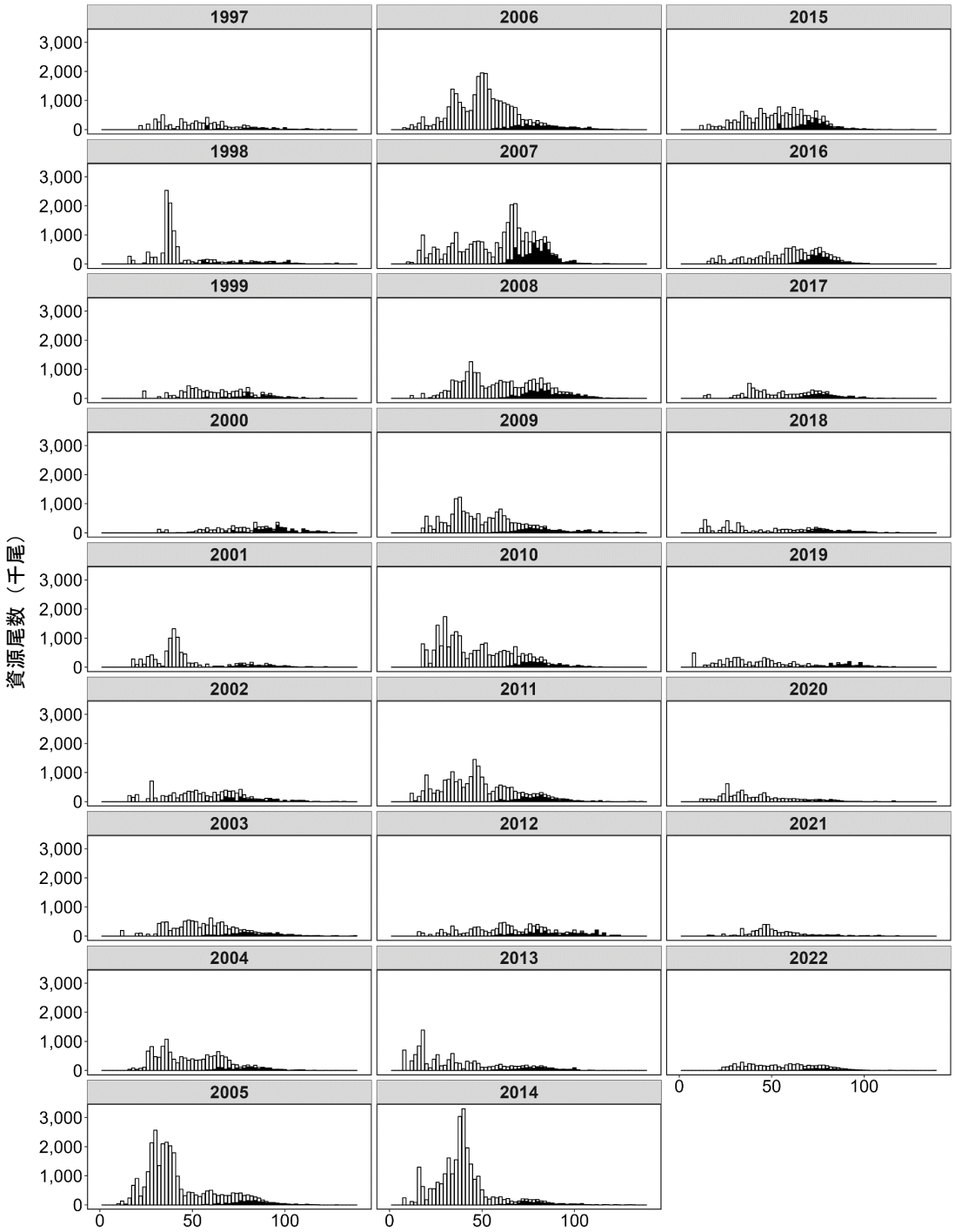


補足図 4-11.　2020～2022 年における雌の調査地点別の分布密度

補足資料５　着底トロール調査で得られた甲幅組成の推移

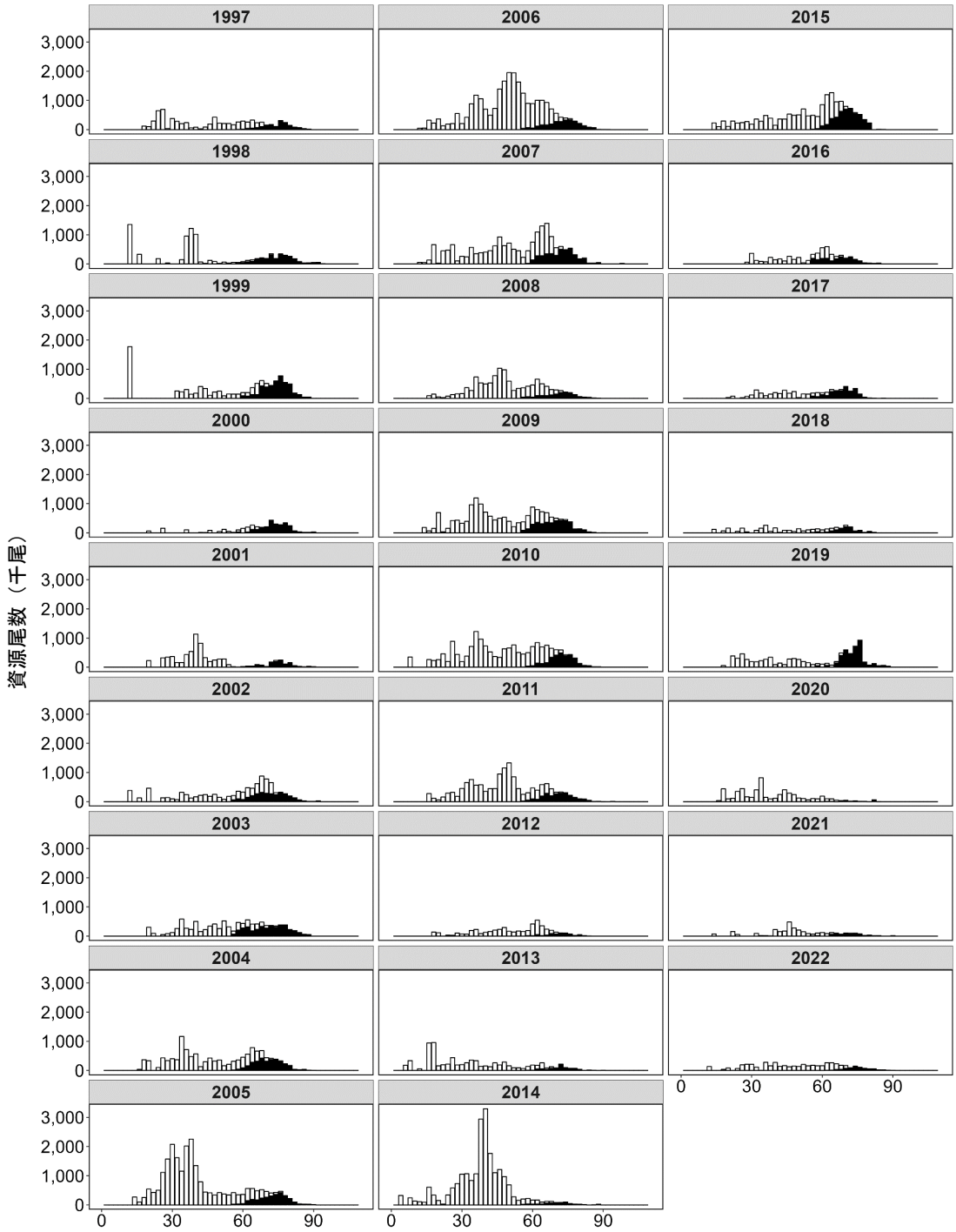
着底トロール調査で得られた甲幅組成の推移を補足図 5-1 および補足図 5-2 に示した。雄の甲幅は概ね 10～140 mm の範囲にあり、成熟個体は甲幅 60 mm 前後から出現した。甲幅 80 mm 以上の漁獲対象資源では半数近くが成熟個体であり、甲幅 100 mm 以上では 8 割以上の個体が成熟していた。1998 年には 8 齢期に相当する甲幅 30 mm 級の個体が多く採集され、漁獲対象資源への加入が期待されたが、その後の数年間では漁獲対象となるような個体の増加は認められなかった。続いて 2005 年にも 8 齢期相当の個体が多く採集され、それらが成長したことで 2007～2008 年に甲幅 80 mm 以上の漁獲対象資源が増加した。震災以降では 2014 年に 8～9 齢期に相当する個体が多く採集され、2015～2016 年にかけて成熟個体がやや増加したものの、2005 年のような大きな加入には繋がらなかった。2017 年以降は甲幅サイズに依らず全体的に現存尾数が少なくなり、2020～2021 年にかけては成熟個体が著しく少なかった。2022 年は前 2 年と比べると増加したものの、依然として現存尾数は少なく、今後の加入につながるような年級も出現していない。

雌の甲幅は 10～90 mm の範囲であり、成熟個体は甲幅 56 mm 前後から出現した。雄と同様に、2005～2006 年には甲幅 60 mm 以下の漁獲対象外の現存尾数が多く、それらが成長したことで、2007 年の漁獲対象資源が増加した。2008 年の漁獲対象資源の現存尾数は 2007 年の半分程度にまで減少したが、翌 2009 年の漁獲対象資源が 2002～2007 年に近い値に回復したことから、2008 年の漁獲対象資源の減少は過小推定であった可能性が高い。漁獲対象資源の尾数は 2011 年にやや減少し、2012～2013 年にはさらに少なくなった。2014 年には引き続き漁獲対象資源が少なかったが、雄と同様に甲幅 50 mm 以下の小型個体が増加した。その後 2015 年に漁獲対象資源が増加したが、2016、2017 年は 2011 年の水準まで減少した。2019 年は漁獲対象資源が顕著に多かったが、2020、2021 年には激減した。2022 年はやや回復したものの、資源の多かった時期と比較すると依然として少ない状況にあり、雄と同様に、今後の加入につながるような年級も出現していない。



補足図 5-1.　雄の甲幅別現存尾数

横軸は甲幅（mm）、未成熟個体を白、成熟個体を黒で示した。なお、ここでは最終脱皮の有無で未成熟、成熟を区分した。



補足図 5-2.　雌の甲幅別現存尾数

横軸は甲幅（mm）、未成熟個体を白、成熟個体を黒で示した。なお、ここでは最終脱皮の有無で未成熟、成熟を区分した。

補足資料６　漁獲物の齢期組成

1997 年漁期以降の県別漁獲量データと福島県が 1999 年以降実施している市場調査によって得られた漁獲物の甲幅組成を用いて、雄の齢期別漁獲量を推定した（補足表 6-1）。なお、データのない年については近傍のデータを用いて補完した（1997～1998 年漁期は 1999 年漁期、2002 年漁期は 2003 年漁期、2008～2010 年漁期は 2007 年漁期）。2011 漁期以降は、2018 年漁期を除いて市場測定が実施されていないため、着底トロール調査で得られた齢期別資源量を代用し、齢期別漁獲尾数を推定した。なお、2018 年漁期については福島の沖底漁業者への調査委託によって得られた甲幅組成を用いた。

補足表 6-1.　雄の齢期別漁獲量（トン）

	11				12		13		14	合計
	80 mm未満		80 mm以上							
	未	成	未	成	未	成	未	成	成	
1997	11.9	7.1	13.5	12.9	10.5	17.4	9.7	27.2	37.4	147.6
1998	6.1	3.7	7.0	6.7	5.4	9.0	5.0	14.1	19.4	76.4
1999	4.3	2.6	4.9	4.7	3.8	6.4	3.5	9.9	13.7	53.9
2000	0.6	0.5	3.0	6.5	1.9	17.1	0.3	12.8	0.9	43.6
2001	0.0	0.0	2.2	10.4	5.1	17.8	1.0	20.5	4.4	61.4
2002	1.0	0.6	5.0	9.9	11.6	21.4	1.7	22.2	6.8	80.2
2003	2.8	1.7	10.6	9.3	24.5	28.9	2.9	26.1	11.4	118.4
2004	0.0	0.0	1.5	9.1	1.7	15.1	0.4	8.8	7.2	43.7
2005	0.0	0.0	5.7	11.2	9.8	10.3	1.7	6.0	8.6	53.4
2006	0.8	0.9	7.7	10.5	9.0	20.4	4.6	17.4	6.2	77.6
2007	0.9	0.3	3.2	6.4	6.7	27.0	2.0	20.5	8.8	75.6
2008	1.6	0.5	5.6	11.2	11.9	47.7	3.5	36.1	15.5	133.5
2009	1.7	0.5	6.0	12.0	12.6	50.8	3.7	38.5	16.5	142.4
2010	1.1	0.3	3.8	7.7	8.1	32.5	2.4	24.6	10.6	91.0
2011	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3
2012	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	1.3
2013	0.0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	0.2	0.0	1.1
2014	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3
2015	0.0	0.0	0.8	1.2	0.2	1.5	0.0	0.5	0.2	4.5
2016	0.0	0.0	2.2	2.8	1.2	2.8	0.0	0.7	0.1	9.7
2017	0.0	0.0	0.7	2.5	0.3	3.2	0.0	1.7	0.2	8.6
2018	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.4	0.0	0.4	0.1	1.2
2019	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	1.7	0.1	1.3	0.4	4.2
2020	0.0	0.0	0.9	0.9	0.3	1.2	0.6	0.5	0.1	4.5
2021	0.0	0.0	0.6	1.2	0.2	1.8	0.3	2.1	1.2	7.3
2022	0.0	0.0	1.3	1.0	1.0	1.4	0.0	0.5	0.6	5.8

補足資料７　本系群の資源減少の原因に関する検討

本系群の資源量は、震災以降の低い漁獲圧にもかかわらず減少傾向にある。その要因として、底水温に代表されるような生息域における生息環境の変化、最終脱皮率の上昇、生態系のバランスの変化等が挙げられてきたが、現時点ではその原因を特定するに至っていない。本項では、本資源の動向に影響があると考えられる底水温の動向について述べる。

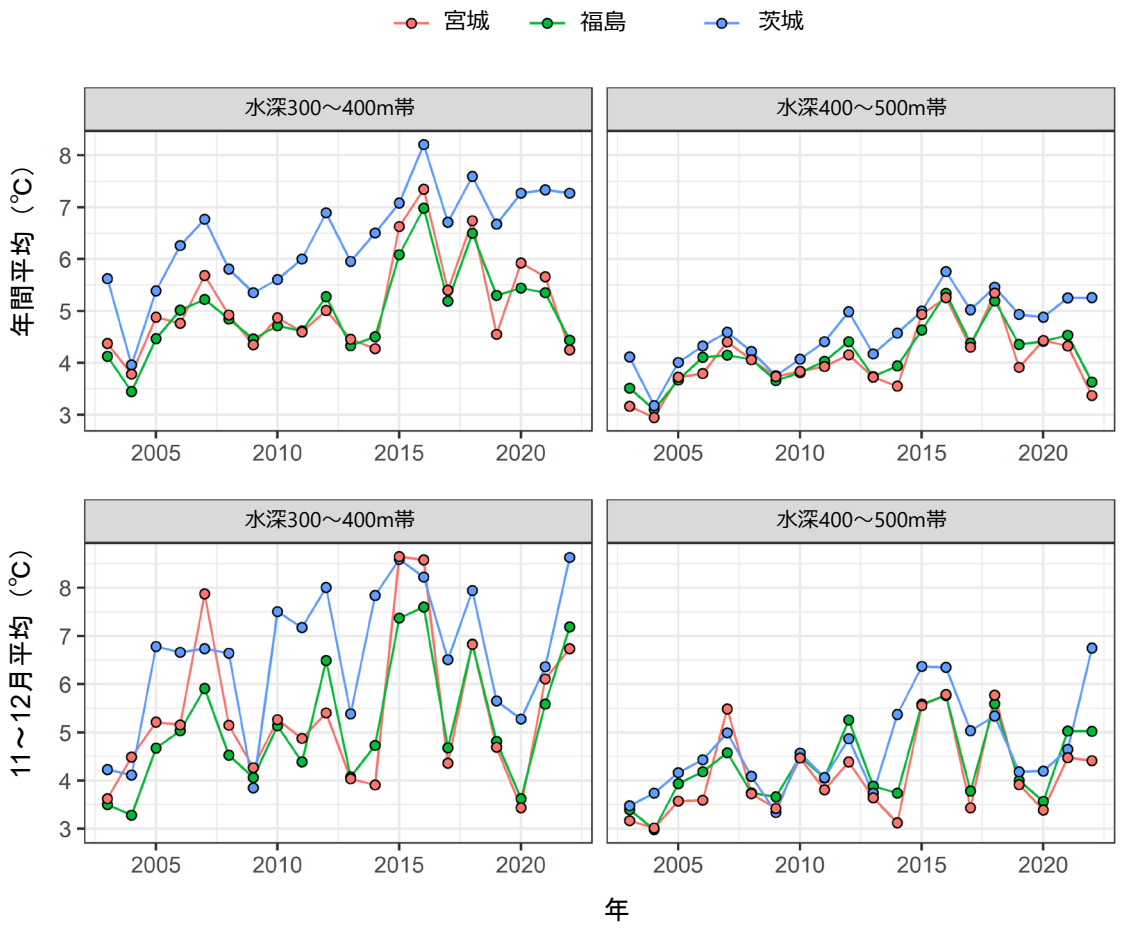
底水温は宮城県、福島県、茨城県の水産試験研究機関、および水産研究・教育機構が実施した海洋観測データを用いて、Kakehi et al.（2021）に従って月別、水深帯別に整理した。本項ではこのうち、水深 300～400 m 帯と水深 400～500 m 帯の動向について述べる。前者は主に小型個体が、後者は大型個体が生息する水深帯である。両水深帯について年間と高水温期（11～12 月）の平均水温を算出した。底水温の年間平均は 2004 年から 2016 年にかけて上昇傾向を示しており、最も底水温の高かった茨城県沖では、2016 年に水深 300～400 m 帯で 8.2℃、水深 400～500 m 帯で 5.8℃に達していた（補足図 7-1）。その後、宮城県および福島県沖では下降傾向がみられるものの、茨城県沖では依然として高い値で推移している。底水温と M の動向は完全には一致しないものの、震災以前から上昇傾向を示し、震災以降高い値で推移した点は類似している。Foyle et al.（1989）によると、7℃以上の水温では、ズワイガニが内部で消費するエネルギーが外部から吸収するエネルギーを上回る。このため、高水温期のような高い水温帯で生活することは、ズワイガニにとって厳しい環境であると考えられ、底水温の上昇が M の上昇の一因である可能性が指摘されている（Shibata et al. 2021）。この両者の関係については、今後更なる研究が望まれる。

引用文献

Foyle T. P., O'Dor R. K. and Elner R. W. (1989) Energetically defining the thermal limits of the snow crab. J. Exp. Biol., **145**, 371-393.

Kakehi, S., Y. Narimatsu, Y. Okamura, A. Yagura, S. Ito (2021). Bottom temperature warming and its impact on demersal fish off the Pacific coast of northeastern Japan. Mar. Ecol. Prog. Ser., **677**, 177-196.

Shibata, Y., J. Nagao, Y. Narimatsu, E. Morikawa, Y. Suzuki, S. Tokioka, M. Yamada, S. Kakehi, H. Okamura (2021). Estimating maximum sustainable yield of snow crab (*Chionoecetes opilio*) off Tohoku Japan via a state-space assessment model with time-varying natural mortality. Popul. Ecol., **63**, 41-60.



補足図 7-1.　東北沿岸各県別の底水温（2003～2022 年）

補足資料８　着底トロール調査の結果に対する感度分析

（1）調査の現存尾数に対する感度分析

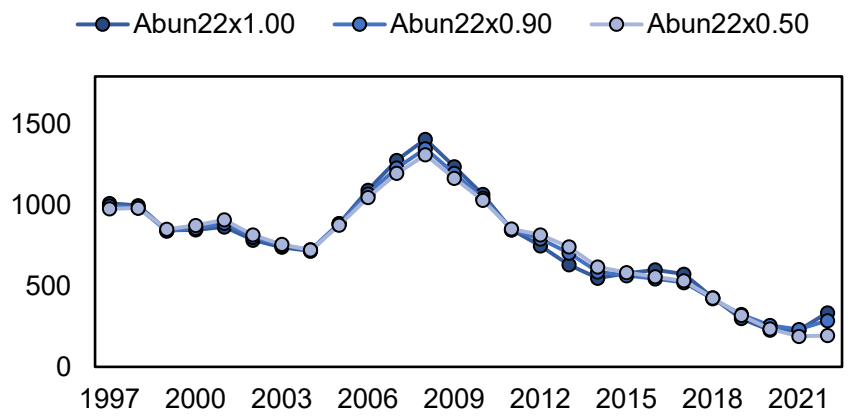
本系群の資源評価では、JASAM（Shibata et al. 2021、補足資料 2）によって資源量および資源動態に関するパラメータの推定を行っている。着底トロール調査で得られた現存尾数は JASAM による資源量推定において不可欠な基データのひとつであり、毎年のデータ更新によって直近年を中心に自然死亡係数 M をはじめとする各パラメータの動向が変化する。本年度の資源評価では、2022 年のデータが追加されたことにより、M の動向が大きく変化した（補足資料 2、補足図 2-6）。このため、現存尾数の値が資源評価に与える影響を評価するため、調査の現存尾数に対する感度分析を行った。2022 年の現存尾数の値を 0.5 倍、0.9 倍にして資源量および M の試算を行い、本年度の資源評価結果と比較した。なお、漁獲量をはじめとするその他のデータは本年度の資源評価と同一とした。

資源量の動向は、2022 年の現存尾数を 0.5 倍、0.9 倍にした場合、2021 年から 2022 年にかけての増加の度合いが変化したものの、2020 年以前を含む全体の動向は大きく変化しなかった（補足図 8-1）。一方、M の動向は 2020 年以前も含めて大きく変化し、2022 年の現存尾数が 0.9 倍以下であった場合、本年度の資源評価結果に見られた 2012～2018 年の M の増減はなく、また 2020 年以降の M の下降が比較的緩やかになっていた（補足図 8-2）。また、2022 年の現存尾数が 0.5 倍であった場合には、M は令和 4（2022）年度までの評価と同様に高止まりしていた。直近 3 年間の M の平均値は、本年度の資源評価結果では 0.309 であったが、現存尾数を 0.5 倍にした場合では 0.641、0.9 倍にした場合では 0.469 となっていた。

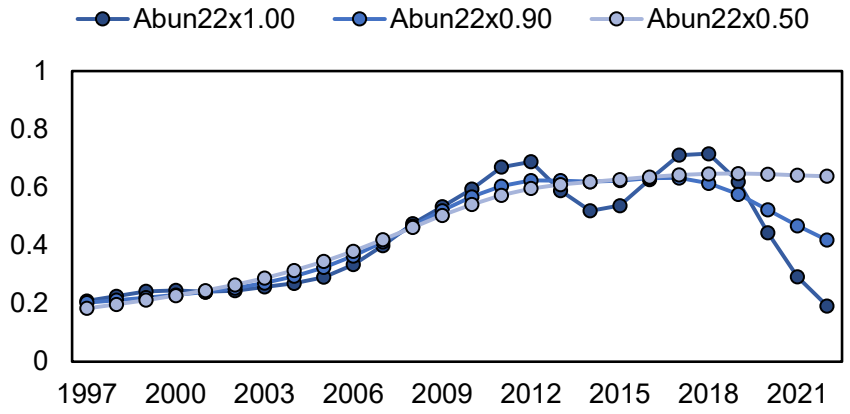
（2）調査の CV に対する感度分析

本系群の資源評価においては、資源量推定における不確実性が過少推定とならないよう、着底トロール調査で得られた齢期別の CV（補足表 2-3、補足表 2-4）を既知の値として与えている。Shibata et al.（2021）は、 CV を 1.5 倍にした場合の感度分析を行った結果、資源量および自然死亡係数 M に与える影響は小さく、CV に対してモデルの推定値は頑健であると報告している。しかし、本年度の資源評価において推定された M の動向は、令和 4（2022）年度以前の資源評価と比較して大きく変化していたことから、調査の観測誤差が資源評価に与える影響を再評価するため、CV に対する感度分析を行った。使用したデータは 1997～2022 年であり、CV をすべての年で 1.5 倍、2.0 倍にして資源量および M の試算を行った。また比較のため、令和 4（2022）年度の資源評価（1997～2021 年のデータを用いた場合）についても同様の分析を行った。

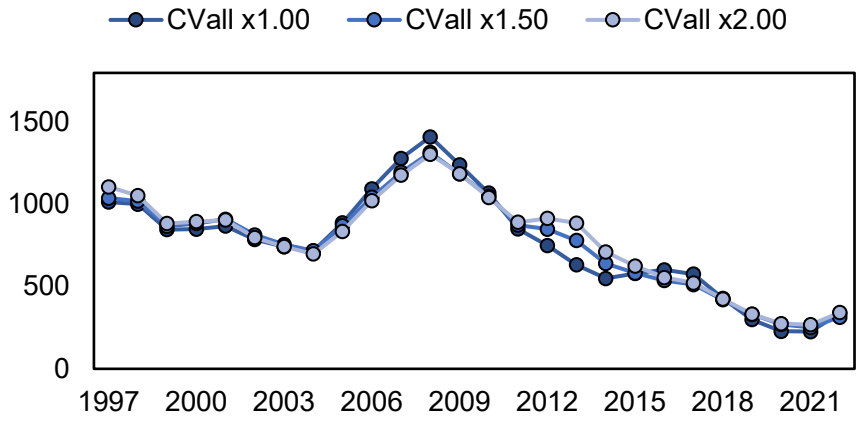
本年度の資源評価結果については、資源量の動向は CV を 1.5 倍、2.0 倍にした場合でも多くの年で同様の傾向を示した（補足図 8-1）。一方、M の動向は大きく変化し、CV を 1.5 倍以上にすると本年度の資源評価結果に見られた 2012～2018 年の M の増減はなく、また 2020 年以降の M の下降が比較的緩やかになっていた。直近 3 年間の M の平均値は、本年度の資源評価結果では 0.309 であったが、CV を 1.5 倍にした場合では 0.455、CV を 2.0 倍にした場合では 0.413 となっていた。なお、令和 4（2022）年度の資源評価結果については CV を 1.5 倍、2.0 倍にした場合でも資源量、M のどちらも大きな変化はみられなかった（補足図 8-3、補足図 8-4）。



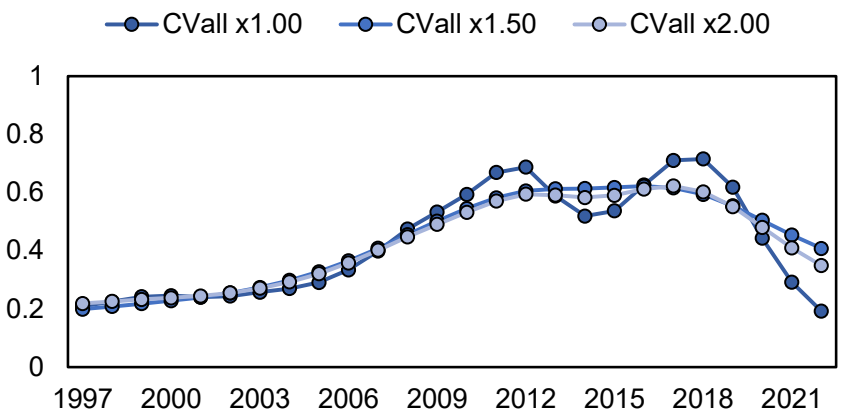
補足図 8-1.　2022 年の現存尾数を変化させた場合の JASAM による資源量推定値
縦軸は資源量（トン）、横軸は漁期年である。



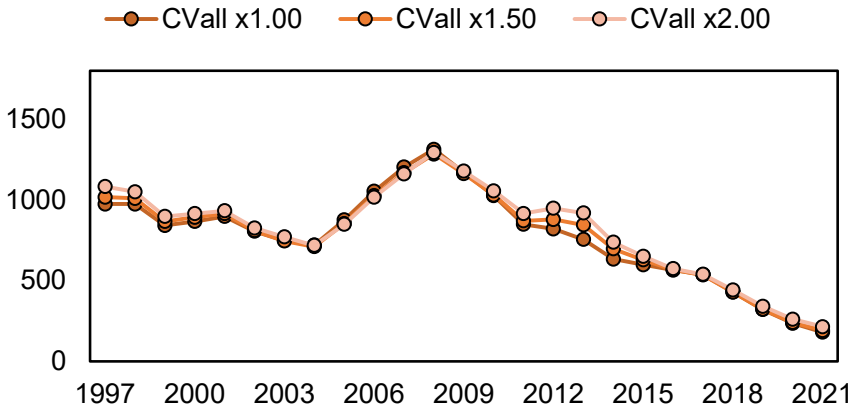
補足図 8-2.　2022 年の現存尾数を変化させた場合の JASAM による M の推定値
縦軸は M の推定値、横軸は年である。



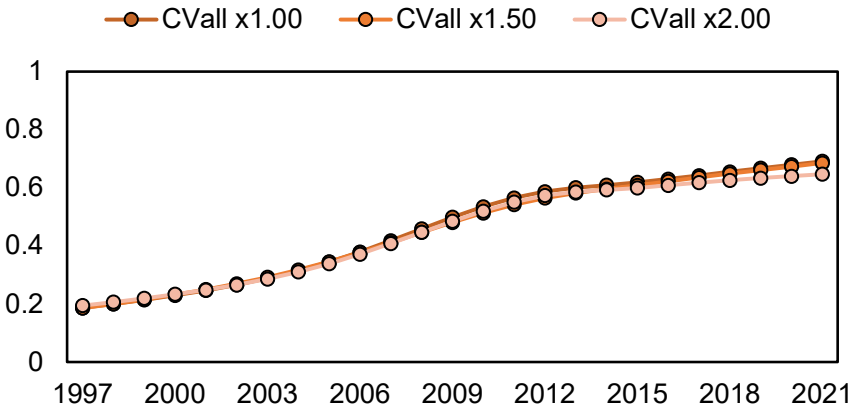
補足図 8-3.　CV を変化させた場合の JASAM による資源量推定値（本年度評価）
縦軸は資源量（トン）、横軸は漁期年である。



補足図 8-4.　CV を変化させた場合の JASAM による M の推定値（本年度評価）
縦軸は M の推定値、横軸は年である。



補足図 8-5.　CV を変化させた場合の JASAM による資源量推定値（令和 4 年度評価）
縦軸は資源量（トン）、横軸は漁期年である。

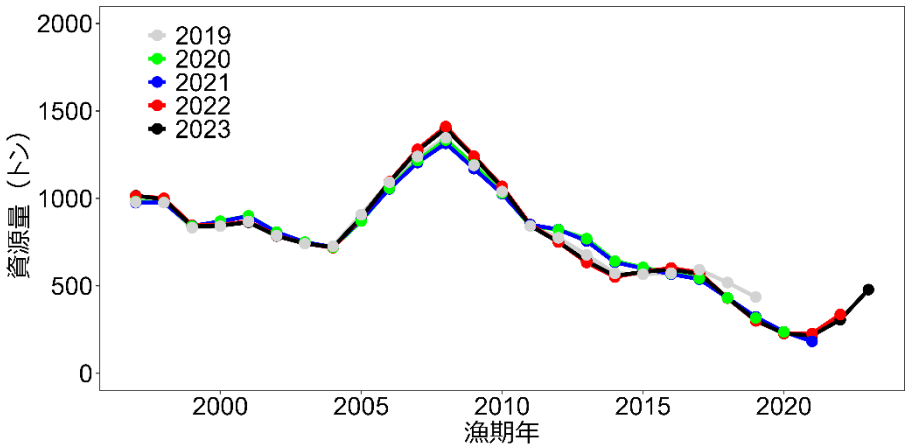


補足図 8-6.　CV を変化させた場合の JASAM による M の推定値（令和 4 年度資源評価）
縦軸は M の推定値、横軸は年である。

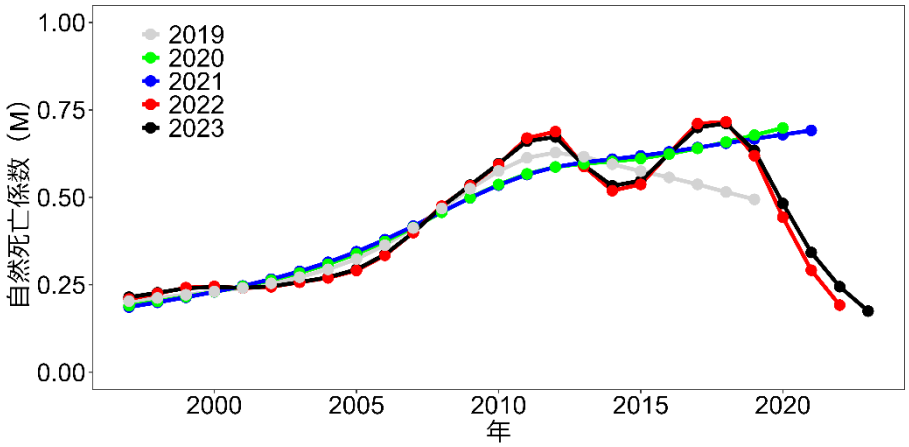
補足資料９　2023 年の現存量に仮定値を与えた試算

ズワイガニ太平洋北部系群の資源評価では、データの更新によって自然死亡係数 M をはじめとする各パラメータが再推定され、資源量の数値が更新される。本項では、2023 年の値に仮定値を与え、2023 年の調査による現存尾数の値を変化させた場合の資源量および M の挙動を試算した。ここでは、2023 年の現存尾数に 2022 年の現存尾数の 0.5 倍、1.0 倍の値を与えた場合を示す。なお、現存尾数以外のデータ（齢期別漁獲尾数、成熟率、平均甲幅など）は 2022 年と同一と仮定した。

試算の結果、2023 年の現存尾数が 2022 年の 1.0 倍とした場合、資源量の動向は本年度評価結果を継続し、明確に増加傾向を示した（補足図 9-1）。また M は 2020 年以降の値がやや上方修正されたものの、本年度評価結果の動向を維持し、直近 3 年間（2021～2023 年）の平均値は 0.356 であった（補足図 9-2）。一方、2023 年の現存尾数が 2022 年の 0.5 倍とした場合、資源量は増加傾向は示すものの、その度合いは緩やかとなった（補足図 9-3）。また M の動向は大きく変化し、本年度の資源評価結果に見られた 2012～2018 年の M の増減はなく、2020 年以降の M の下降の度合いが緩やかになっていた（補足図 9-4）。この場合における直近 3 年間（2021～2023 年）の平均値は 0.566 であった。また、この試算において調査の CV の値を 1.0 倍、1.5 倍、2.0 倍にして計算を行ったが、CV の値による変化は小さく、推定値は頑健であることが示された。

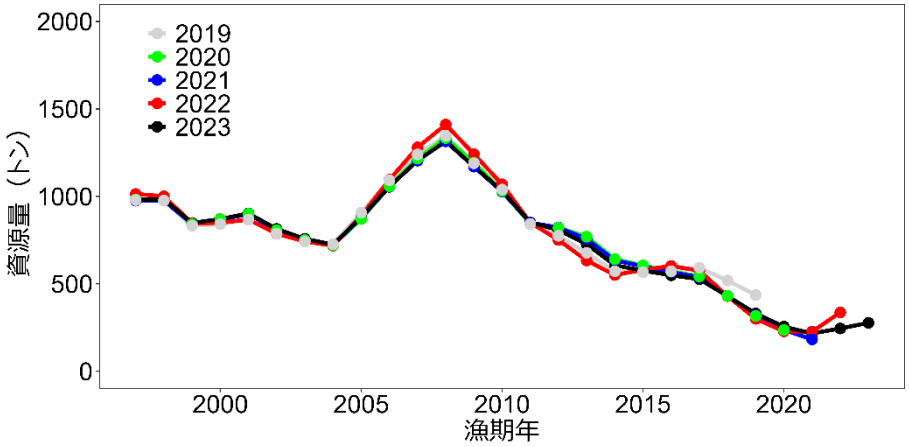


補足図 9-1.　2023 年に 2022 年の 1.0 倍の現存尾数を仮定した場合の JASAM による資源量推定値（黒線）
図中の灰～赤線は、それぞれ凡例が示す年までのデータを用いて推定された資源量の推移である。



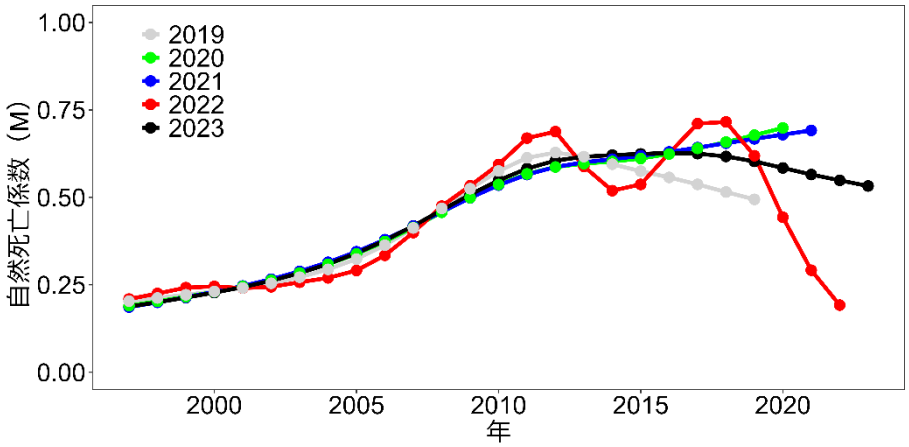
補足図 9-2.　2023 年に 2022 年の 1.0 倍の現存尾数を仮定した場合の JASAM による M の推定値（黒線）

図中の灰～赤線は、それぞれ凡例が示す年までのデータを用いて推定された M の推移である。



補足図 9-3.　2023 年に 2022 年の 0.5 倍の現存尾数を仮定した場合の JASAM による資源量推定値（黒線）

図中の灰～赤線は、それぞれ凡例が示す年までのデータを用いて推定された資源量の推移である。



補足図 9-4.　2023 年に 2022 年の 0.5 倍の現存尾数を仮定した場合の JASAM による M の推定値（黒線）

図中の灰～赤線は、それぞれ凡例が示す年までのデータを用いて推定された資源量の推移である。

補足資料 10　令和 5（2023）年度の資源評価で推定された自然死亡係数 M を用いた場合の管理基準値の試算、リスクの評価

本系群では令和 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」において、将来的に自然死亡係数 M が低下した場合に管理基準値等を設定する水準である「管理基準値設定水準案」が示されている（森川ほか 2020）。その基準は「直近 3 年間の M の平均値が 0.432 以下になること」とされ、本年度の資源評価における M の直近 3 年間（2020～2022 年）の平均値は 0.309 であり、この基準を下回っている。本項では、本年度の資源評価で推定された直近 3 年間（2020～2022 年）の平均値（M=0.309）を仮定し、ホッケー・スティック型（最小二乗法、加入に自己相関を考慮したモデル）の再生産関係を用いて管理基準値の試算を行った。なお、本試算による管理基準値等は「限界管理基準試算値」等と表記し、また引用符号（’）によって本来の管理基準値等と区別した。

管理基準試算値の算出、および将来予測は、「令和 5（2023）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2023-ABCWG02-01）」の 1 系資源の式に従い、ホッケー・スティック型再生産関係（補足資料 3）と、本年度の資源評価における将来予測計算に用いた各種設定を使用した。ここでは、目標管理基準試算値 SBtarget’を MSY 試算値を実現する親魚量（SBmsy’）、限界管理基準試算値 SBlimit’を MSY 試算値の 60%の漁獲が得られる親魚量（SB0.6msy’）、禁漁水準試算値 SBban’を MSY 試算値の 10%の漁獲が得られる親魚量（SB0.1msy’）とした。計算の結果、目標管理基準試算値は 288 トン、限界管理基準試算値は 135 トン、禁漁水準試算値は 21 トンであり、MSY 試算値は 321 トンであった。目標管理基準試算値 SBtarget’と、MSY 試算値を実現する漁獲圧を基準にした神戸プロットを補足図 10-1 に示した。本系群における F は、2003 年漁期を除いて MSY 試算値を実現する漁獲圧を下回っており、また親魚量は 2000 年漁期以降 SBmsy’を下回っていた。2011 年漁期以降、漁獲圧が急激に低下したものの、その後も親魚量の減少が続いている。JASAM で推定された 2022 年漁期の親魚量は 131 トンであり、限界管理基準試算値を下回っていた。

漁獲管理規則の F を変える閾値を限界管理基準試算値（SBlimit’ =SB0.6msy’）および禁漁水準試算値（SBban’=SB0.1msy’）とし、安全係数 β を 0 から 1 までの間で変化させ、管理開始後 10 年間の各年において親魚量が限界管理基準試算値を上回る確率および禁漁水準試算値を下回る確率を計算した。資源の生残には、M が本年度の資源評価における直近 3 年間の平均値（M=0.309）を仮定した場合に加え、「M が実際には低下していなかった場合」を想定して M が令和 4（2022）年度の資源評価における値（M=0.679）を仮定した場合について検討した。

M に本年度の資源評価における直近 3 年間（2020～2022 年漁期）の平均値（M=0.309）を仮定した場合、2034 年漁期の親魚量が限界管理基準試算値を上回る確率は、β=1.0 とした場合は 52%、β が 0.7 以下とした場合は 80%以上であった（補足表 10-1a）。また禁漁水準試算値を下回る確率は、β が 1～0 の範囲では 0%であった（補足表 10-2a）。2034 年漁期時点の平均親魚量は、β=0.8 とした場合において 175 トン、平均漁獲量は 107 トンであった（補足表 10-3a、補足表 10-4a）。これに対し、M に令和 4（2022）年度の資源評価における値（M=0.679）を仮定した場合、2034 年漁期の親魚量が限界管理基準試算値を上回る確率は、すべての β において 0%であり、また禁漁水準試算値を下回る確率は、すべての β で

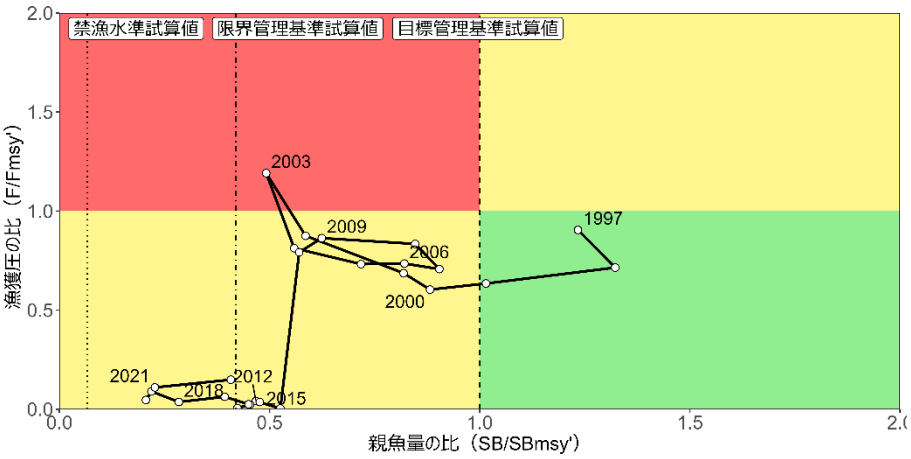
99%以上であった（補足表 10-1b、補足表 10-2b）。2034 年漁期時点の平均親魚量は、すべての β で 12 トン、平均漁獲量は 0 トンであった（補足表 10-3b、10-4b）。

本系群の M は、本年度の資源評価において令和 4（2022）年度までの資源評価で推定された値から大きく低下した。この変化は着底トロール調査による現存量の増加によって生じたものであり、調査の現存尾数や CV への感度が特異的に高いことが示唆されている（補足資料 8）。また、今後の調査結果によっては M の値が上方修正される可能性もある（補足資料 9）。仮に M が令和 4（2022）年度の資源評価で推定された値から変化しなかった場合、親魚量が禁漁水準試算値を下回る可能性は漁獲の有無に依らず非常に高く、本項で示した漁獲管理規則による漁獲を行うと資源の枯渇を招く恐れがある。2022 年の着底トロール調査による現存量は過去 3 番目に低い値であった点も考慮すると、本系群においては M の下降傾向が明確に示されるまで、少しでも多くの親魚量を確保していく必要がある。

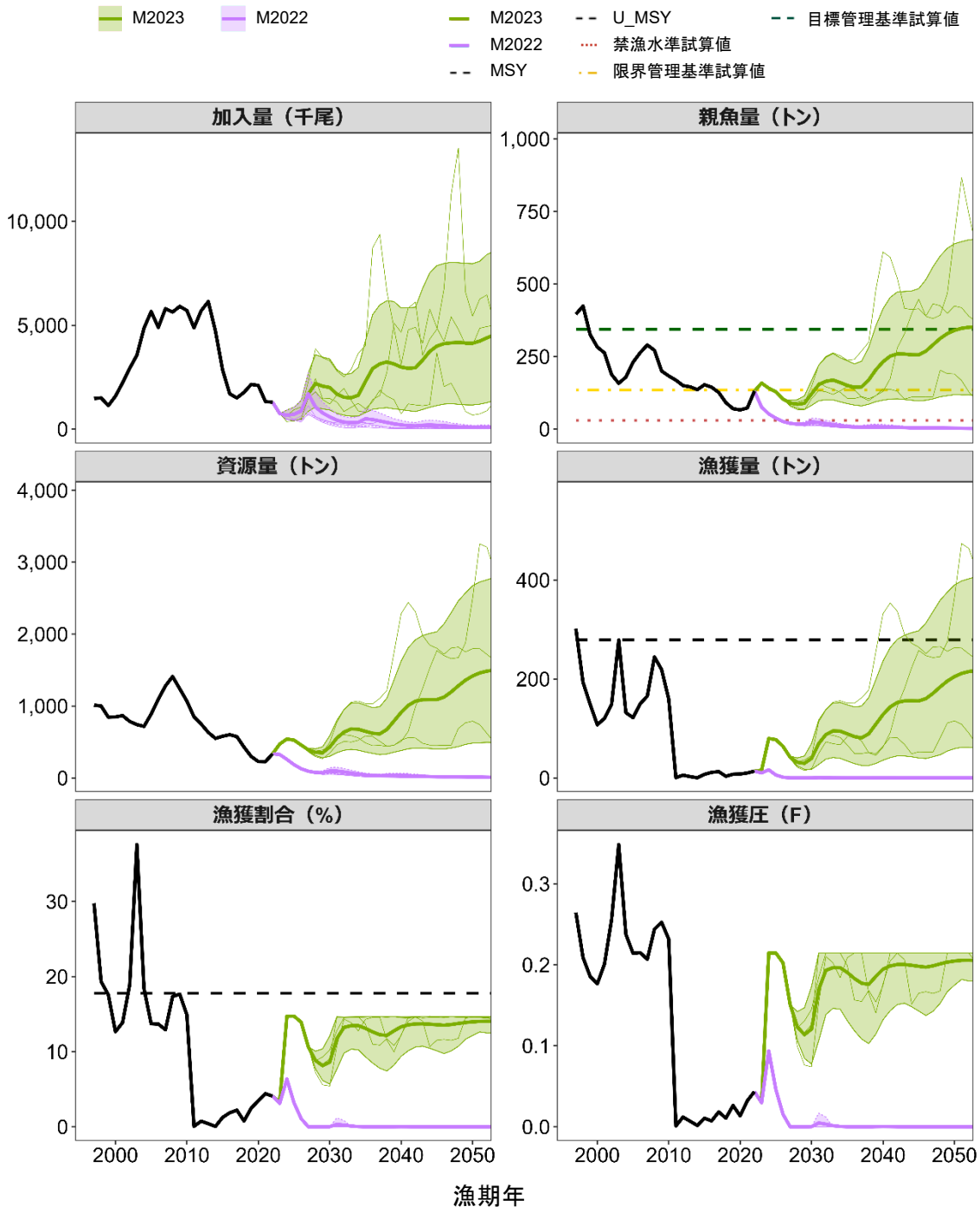
引用文献

国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産資源研究所 (2023) 令和 5 (2023) 年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2023-ABCWG02-01. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2023-ABCWG02-01.pdf (last accessed 31 Jul. 2023)

森川英祐・成松庸二・柴田泰宙・鈴木勇人・時岡　駿・金森由妃・三澤　遼・永尾次郎 (2020) 令和 2 (2020) 年度ズワイガニ太平洋北部系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書. 水産研究・教育機構, 1-27. FRA-SA2020-BRP02-5. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_zuwai_pacific_north_r.pdf (last accessed 05 August 2020)



補足図 10-1.　管理基準試算値と親魚量・漁獲圧との関係（神戸プロット）



補足図 10-2.　M に本年度の資源評価における直近 3 年間（2020～2022 年漁期）の平均値（M=0.309）を仮定した場合の将来予測（緑）と、現状の M（令和 4（2022）年度評価における値、M=0.679）を仮定した場合の将来予測（紫）

漁獲管理規則には、M に本年度の資源評価における直近 3 年間の平均値（M=0.309）を仮定して求めた管理基準試算値を閾値とする規則を仮定し、調整係数 β は 0.8 を例示した。横軸は漁期年、太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 80%が含まれる予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。

補足表 10-1.　将来の親魚量が限界管理基準試算値を上回る確率

a）M に本年度の資源評価における直近 3 年間の平均値（M=0.309）を仮定した場合

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	**2034**	2044	2054
1.0	0	100	0	0	0	0	0	2	39	68	66	61	**52**	70	83
0.9	0	100	100	0	0	0	0	3	42	72	74	70	**63**	79	90
0.8	0	100	100	0	0	0	1	5	47	76	80	79	**73**	86	94
0.7	0	100	100	0	0	0	2	7	51	80	85	85	**82**	92	97
0.6	0	100	100	100	0	1	3	10	58	84	89	90	**89**	95	99
0.5	0	100	100	100	0	3	6	14	63	87	92	94	**94**	98	100
0.4	0	100	100	100	100	14	13	21	70	91	95	97	**97**	99	100
0.3	0	100	100	100	100	46	27	33	77	93	97	98	**99**	100	100
0.2	0	100	100	100	100	90	50	48	84	96	98	99	**99**	100	100
0.1	0	100	100	100	100	100	80	71	92	98	99	100	**100**	100	100
0.0	0	100	100	100	100	100	97	88	97	99	100	100	**100**	100	100

b）M に令和 4（2022）年度の資源評価における値（M=0.679）を仮定した場合

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	**2034**	2044	2054
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0

補足表 10-2.　将来の親魚量が禁漁水準試算値を下回る確率

a）M に本年度の資源評価における直近 3 年間の平均値（M=0.309）を仮定した場合

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	**2034**	2044	2054
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0

b）M に令和 4（2022）年度の資源評価における値（M=0.679）を仮定した場合

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	**2034**	2044	2054
1.0	0	0	0	0	100	100	100	99	83	87	95	98	**100**	100	100
0.9	0	0	0	0	100	100	100	99	84	88	95	98	**100**	100	100
0.8	0	0	0	0	100	100	100	99	83	88	94	98	**100**	100	100
0.7	0	0	0	0	100	100	100	99	83	88	95	98	**100**	100	100
0.6	0	0	0	0	100	100	100	99	83	87	94	98	**100**	100	100
0.5	0	0	0	0	100	100	100	99	82	87	93	98	**99**	100	100
0.4	0	0	0	0	100	100	100	99	82	87	94	98	**99**	100	100
0.3	0	0	0	0	100	100	100	99	83	88	94	98	**100**	100	100
0.2	0	0	0	0	100	100	100	99	83	87	93	97	**99**	100	100
0.1	0	0	0	0	100	100	100	99	83	87	93	97	**99**	100	100
0.0	0	0	0	0	100	100	100	99	83	88	93	97	**99**	100	100

補足表 10-3.　将来の親魚量の平均値の推移

a）M に本年度の資源評価における直近 3 年間の平均値（M=0.309）を仮定した場合

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	**2034**	2044	2054
1.0	131	159	133	118	103	94	90	95	130	159	162	157	**148**	199	263
0.9	131	159	137	123	107	97	93	97	133	164	172	169	**161**	227	301
0.8	131	159	141	128	112	101	97	101	136	170	181	182	**175**	260	344
0.7	131	159	145	134	117	105	100	104	141	177	192	198	**193**	300	388
0.6	131	159	149	140	124	111	105	109	146	185	206	216	**213**	345	439
0.5	131	159	153	147	132	117	111	113	151	192	217	232	**233**	397	493
0.4	131	159	157	153	140	125	118	120	158	201	232	252	**258**	453	549
0.3	131	159	161	161	148	135	127	128	167	213	249	275	**287**	521	606
0.2	131	159	165	168	157	145	137	138	177	225	267	301	**320**	584	661
0.1	131	159	170	176	167	156	148	150	190	240	287	328	**354**	655	736
0.0	131	159	174	184	178	167	161	163	205	258	312	362	**397**	737	812

b）M に令和 4（2022）年度の資源評価における値（M=0.679）を仮定した場合

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	**2034**	2044	2054
1.0	131	76	51	37	26	20	17	17	25	23	19	15	**12**	4	2
0.9	131	76	52	37	26	20	17	17	25	23	19	15	**12**	4	2
0.8	131	76	53	38	26	20	17	17	25	23	19	16	**12**	4	2
0.7	131	76	53	38	26	20	17	17	25	23	19	15	**12**	4	2
0.6	131	76	54	39	27	20	17	17	25	23	19	16	**12**	4	2
0.5	131	76	54	39	27	20	17	17	26	23	20	16	**12**	4	2
0.4	131	76	55	40	27	20	17	17	26	23	20	16	**12**	4	2
0.3	131	76	56	40	27	20	17	17	25	23	20	16	**13**	4	2
0.2	131	76	56	41	28	21	17	17	25	23	20	16	**13**	4	2
0.1	131	76	57	41	28	21	17	17	25	23	20	16	**13**	4	2
0.0	131	76	57	42	28	21	18	17	25	23	20	16	**13**	4	2

補足表 10-4.　将来の漁獲量の平均値の推移

a）M に本年度の資源評価における直近 3 年間の平均値（M=0.309）を仮定した場合

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	**2034**	2044	2054
1.0	14	16	97	91	70	54	44	43	58	99	116	118	**114**	157	208
0.9	14	16	89	85	69	52	43	42	55	92	110	114	**111**	161	214
0.8	14	16	80	77	67	51	42	40	52	85	101	107	**107**	161	214
0.7	14	16	71	70	64	49	40	38	49	77	93	100	**101**	160	208
0.6	14	16	61	61	57	47	38	36	45	70	84	92	**94**	155	198
0.5	14	16	51	52	50	44	36	33	41	60	73	81	**84**	145	182
0.4	14	16	42	43	41	38	32	30	36	50	61	69	**73**	130	160
0.3	14	16	32	33	32	30	27	25	29	40	48	55	**59**	109	130
0.2	14	16	21	23	22	21	20	19	22	28	34	39	**43**	80	93
0.1	14	16	11	12	12	11	11	10	12	15	18	21	**23**	44	51
0.0	14	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0

b）M に令和 4（2022）年度の資源評価における値（M=0.679）を仮定した場合

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	**2034**	2044	2054
1.0	14	10	19	6	1	0	0	0	0	1	0	0	**0**	0	0
0.9	14	10	17	6	1	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.8	14	10	16	5	1	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.7	14	10	14	5	1	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.6	14	10	12	4	1	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.5	14	10	10	4	1	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.4	14	10	8	3	1	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.3	14	10	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.2	14	10	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.1	14	10	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0
0.0	14	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0	0

補足資料 11　我が国水域におけるズワイガニの系群構造について

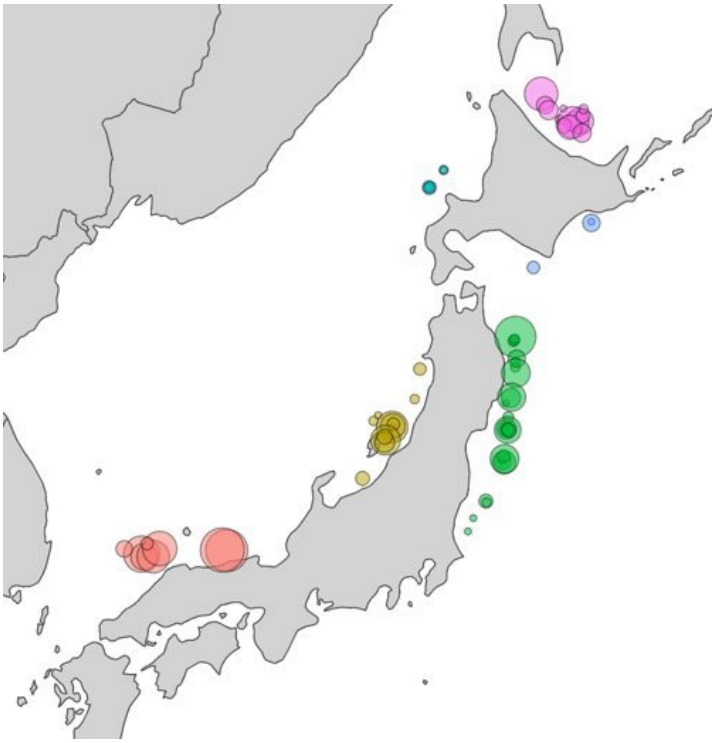
（協力：水産資源研究所　底魚資源部 底魚第 1 グループ・底魚第 3 グループ、漁業情報解析部 資源解析グループ）

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。

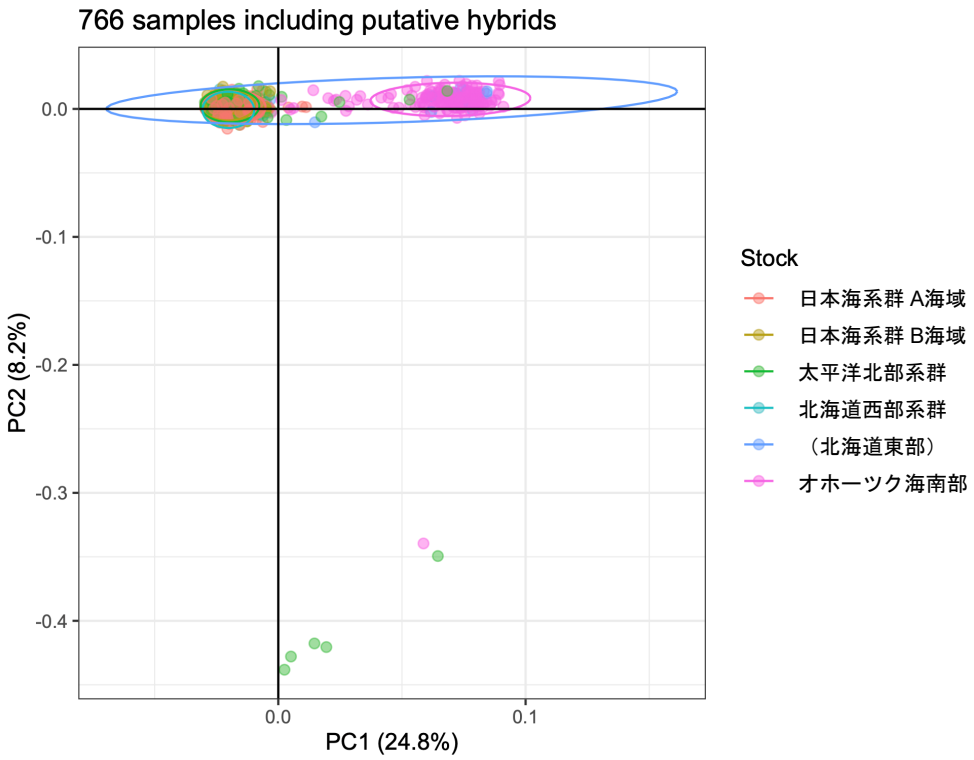
系群間の幼生分散について検討するため、ゲノムワイドな遺伝子多型解析により、ズワイガニの我が国周辺における遺伝的集団構造を明らかにした。ズワイガニの標本は主に調査船調査により収集し（補足図 11-1、補足表 11-1）、実験室にて定法により DNA を抽出した。なお収集した標本のごく一部については、外部形態からハイブリッド個体（ベニズワイガニ×ズワイガニ）であると判断された。抽出 DNA について Illumina 社シーケンサーを用いた GRAS-Di 法による一塩基多型（single nucleotide polymorphism; SNP）のジェノタイピングを行った。SNP データをドラフ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 11-2）。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 11-3）。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（$P > 0.05$）。

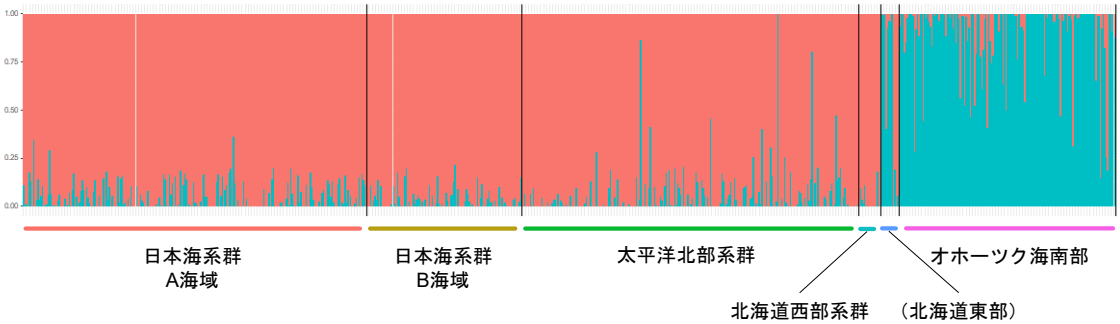
今回の結果から、我が国周辺のズワイガニはオホーツク海の集団とその他の海域で構成される集団の 2 つの遺伝的集団に区別可能であり、オホーツク海と他の海域における遺伝子流動は制限されていることが示された。一方、PCA の PC1 上で 2 集団の中間的な個体が見られたこと、各遺伝的集団内に主分布域とは異なる海域の個体が少数ながら含まれたこと等から、他海域からの移入や交雑が起こり得ることも示唆された。また、日本海および太平洋北部では距離による隔離の効果が見られなかったことから、対馬暖流の勢力下で日本海系群を上流とする長距離分散が生じている可能性がある。幼生の移入も含めた本系群の資源変動と他海域との関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



補足図 11-1.　GRAS-Di 解析に用いたズワイガニ標本の採集地点



補足図 11-2.　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 11-3.　ADMIXTURE により 2 つの潜在的母集団を仮定した際の推定結果

補足表 11-1.　Gras-Di 解析に用いたズワイガニおよび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。