

令和 4（2022）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

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（1,314 トン）以降減少し、2021 年漁期は 1997 年の調査開始以降最低の 182 トンと推定された。雌の漁期後の親魚量（以下、「親魚量」という）は、調査期間において減少傾向にあり、2021 年漁期は過去最低の 38 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－・スティック型が適用された。本系群では自然死亡係数（ M ）が上昇しており、直近 3 年間の M 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（ SB_{msy} ）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令和元年（2019 年）漁期の資源量（令和 2 年（2020 年）漁期の資源評価で 436 トン）と定められた。

本年度の評価結果では令和元年（2019 年）漁期の資源量は 436 トンから 322 トンに修正されたものの、2021 年漁期の資源量は調査開始以降の過去最低値（182 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）の資源量を下回った。近年 5 年間（2017～2021 年漁期）の推移から親魚量の動向は「減少」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、震災のあった平成 23 年（2011 年）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。2023 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 155 トンおよび 4.6 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	—
2021 年漁期の親魚量の水準	—
2021 年漁期の漁獲圧の水準	—
2021 年漁期の親魚量の動向	減少
最大持続生産量 (MSY)	—
2023 年漁期の ABC	—
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 2019～2021 年漁期の平均値(F2019-2021)を用いた。 ・ 本系群では自然死亡係数 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。また資源量、親魚量ともに 1997 年の調査開始以降、最低の値にあり、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					
漁期年	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	漁獲量 (トン)	F/F _{msy}	漁獲割合 (%)
2017	538	126	12.7	—	2.4
2018	431	97	3.3	—	0.8
2019	322	72	7.4	—	2.3
2020	237	54	7.9	—	3.3
2021	182	38	9.9	—	5.5
2022	165	38	5.0	—	3.0
2023	155	36	4.6		3.0
・ 2022 年漁期、2023 年漁期の値は将来予測に基づく平均値である。 ・ 2022 年漁期、2023 年漁期の漁獲圧は、2019～2021 年漁期の平均値 (F₂₀₁₉₋₂₀₂₁) 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。

(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 齢期末満)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回脱皮すると推定されている(桑原ほか 1995)。雌雄ともに最終脱皮後には個体の成長が停止する。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)。

雄では、10 齢期となるのは甲幅56～74 mmであり、この齢期以降で最終脱皮をする個体が出現する。その後、雄の最終脱皮をしていない個体は、11 齢期で甲幅74～86 mm、12 齢期で甲幅86～98 mmとなり、多くの個体は13 齢期(甲幅98～110 mm)までに最終脱皮を行う。ごく少数ながら、13 齢期でも最終脱皮をしていない個体(甲幅98 mm以上)が認められ、14 齢期となる甲幅110 mm以上では、最終脱皮前の個体は認められていない。

雌では、10 齢期の個体は甲幅56～76 mm程度である。太平洋北部では、ほとんどの雌は11 齢期になる際、最終脱皮を行うと考えられることから、本系群の資源評価では、すべての雌

が 11 齢期になる際、最終脱皮すると仮定している。また、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

本系群では、10 齢期で最終脱皮を開始する雄がみられる（図 2-2、上田ほか 2007）。最終脱皮した個体は甲幅が小さいまま成長が止まるため、雄では甲幅が 80 mm 未満で最終脱皮した個体は漁獲対象資源とならない。なお、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。

1997～2021 年の着底トロール調査で得た甲幅別成熟割合を図 2-3 に示した。雄では、甲幅 60 mm 未満でも成熟個体がわずかにみられるが、甲幅 80 mm で成熟個体の割合が 50%以上となり、甲幅 110 mm 以上でほとんどの個体が成熟する。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）。

雌では、甲幅 60 mm から成熟割合が高まり、甲幅 68 mm で 50%以上、甲幅 76 mm 以上で大部分が成熟する。雌の成熟甲幅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、大型の個体についても脱皮直後と思われる個体をマダラが被食した事例が報告されている（伊藤ほか 2014、伊藤 1968、Robichaud et al. 1991）。

(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（Just another state-space stock assessment model、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。その結果、経年的な M の上昇が認められており、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 6）。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を意味する。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

本報告では、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。漁獲量のうち、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）による漁獲が大部分を占め、特に福島県の占める割合が高い（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漁獲している（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 月以降、試験操業のみが行われている。

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。これらの公的規制に加え、水揚げの中心である福島県松川浦漁港では、沖底船の 1 隻 1 航海当たりの水揚げ量制限や休漁日の設定が行われている。

（2）漁獲量の推移

1985 年漁期以降、福島県松川浦漁港では雌雄別漁獲量が把握されているが、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。全県の合計漁獲量の推移をみると、漁獲の大部分を占める福島県の漁獲量と類似した傾向を示している。また、その推移は増減を繰り返しており、1995 年漁期には岩手県が含まれていないものの 353 トンを記録したが、2000 年漁期には 107 トンまで減少した（図 3-1、表 3-1）。2003 年漁期には茨城県の漁獲量が増加して 279 トンに急増したが、2005 年漁期には 122 トンに減少し、その後は 2008 年漁期に 245 トンとなった後、2010 年漁期には 159 トンに減少した。

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、2017 年漁期は 12.7 トンの漁獲量があった。2018 年漁期は荒天による努力量減少によって 3.3 トンと減少したが、2021 年漁期は 9.9 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）。

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 年漁期には 138 網となった。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、2020 年漁期の漁獲努力量の分布をみると、震災前（2009 年漁期）と比較してその分布は大きく変化しており、相馬沖の一部の海域のみとなっていた（図 3-4）。

4. 資源の状況

（1）資源評価の方法

雌雄別の齢期別漁獲尾数（補足資料 5）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資源量調査（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、2021 年は計 139 地点、ズワイガニの採集地点は 88 地点）から得た現存量（面積－密度法、補足資料 3）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、2021 年漁期は 187 トンと過去 2 番目に低い値となった。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）は、1999 年漁期の 462 トン以降、長期的には減少傾向を示している。2021 年漁期の現存親魚量は 40 トンであり、現存量と同様に 1997 年漁期以降 2 番目に低い値となっている。

沖底漁績から得た有漁網数と漁獲量を用い、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、2018 年漁期以降は 70 kg/網前後で推移している。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 日毎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 721～1,314 トンの間を変動した後、減少傾向となっており、2021 年漁期は 182 トンと過去最低の資源量であった（図 4-3、表 4-1）。雌雄別の資源量は雌雄ともに 2008 年漁期をピーク（雌：518 トン、雄：796 トン）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、2021 年漁期の雌雄別資源量は雌が 80 トン、雄が 102 トンであった。親魚量の推移を見ると、1998 年漁期の 416 トン以降、調査期間を通して長期的に減少傾向にある（図 4-5）。2003～2007 年漁期に緩やかに増加したものの、その後は減少傾向にあり、2021 年漁期には過去最低となる 38 トンであった。

推定された自然死亡係数 M の推移をみると、1997 年は $M=0.186$ であったが、以降一貫して上昇傾向にある（図 4-6、表 4-2）。2021 年は $M=0.692$ と推定され、直近 3 年間の平均値は $M=0.679$ であった。

雌雄合計の漁獲割合は、1997 年漁期の 30.9%をピークに 2000 年漁期に 12.4%まで減少した後、2003 年に 37.2%まで上昇した（図 4-7、表 4-1）。その後、2004～2010 年漁期には 13～18%程度を推移した。2011 年漁期には、震災の影響による福島県船の操業休止に伴い、漁獲量はごくわずかとなり、漁獲割合は 0.1%まで激減した。2012 年漁期に福島県船の試験操業が開始されたものの、2011 年漁期以降の漁獲割合は 0.1～5.5%と低い値に留まっている（2021 年漁期は 5.5%）。また、成熟別の 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）。2021 年漁期の F 値は、未熟雄で 0.042、成熟雄で 0.087、雌で 0.039 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 年級で増加しており、2008 年級は 31.6 尾/kg であった。その後は増減しながら推移しているが、長期的には減少傾向にあり、2021 年級は 7.8 尾/kg と低い水準で推移している。

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 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（補足図 2-6）。直近年の結果を比較すると、2019 年時点の M （1997～2019 年のデータを用いて推定された 1997～2019 年の M 、以下同様とする）の推定値は、2012 年に最大値をとり、その後低下傾向を示していた。これに対し、2020 年、2021 年時点の M の推移は、2012 年を区切りとして上昇の度合いは緩やかになるものの、その後も上昇し続けていた。

令和 2 年（2020 年）資源評価において、令和元年（2019 年）の資源量は 436 トンと推定されていたが、 M が令和 4 年（2022 年）の資源評価において上方修正されたため、322 トンに修正された。しかし、2021 年漁期の資源量は、調査開始以降の過去最低値（182 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）の資源量（令和 2 年（2020 年）資源評価推定値 436 トン、本報告による修正値 322 トン）を下回った。

（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）。

本系群の %SPR と YPR の計算には、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（Ueda et al. 2009）、雌雄別に求めた（図 4-10）。 M および最終脱皮率には、JASAM で得られた推定値を用いた。本系群では、雄は甲幅 80 mm 以上、雌は成熟個体が漁獲対象となるが、漁獲対象外資源は漁獲対象資源と同様の 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、漁獲対象外資源が放流される際、50%が生残すると仮定した。

M を直近 3 年間の平均値 ($M=0.679$) とした場合、 F_{max} は雄で 0.36、雌で 0.28、 $F_{0.1}$ は雄で 0.27、雌で 0.21、 $F_{30\%SPR}$ は雌で 0.56 であった。 $F_{2019-2021}$ (2019～2021 年漁期の平均) は雄で 0.039、雌で 0.025 であり、 $F_{0.1}$ 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 ($F_{2006-2009}$ 、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 $F_{0.1}$ よりも大きい値であった。

JASAM で得られた 1997～2021 年漁期の各年の雌の F 値と各年の M 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 25～50% で推移していたが、震災によって漁獲圧が大きく低下した 2011 年漁期以降は 90% 以上で推移しており、2021 年漁期は 90.9% 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・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、最適化方法には最小二乗法を用い、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。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)。ただし、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 が今後も継続した場合、適用した HS 型再生産関係では漁獲を 0 とした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、JASAM によって推定された近年の M が高く、適用した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 MSY を実現する親魚量および漁獲圧を計算できなかった。そのため、目標管理基準値 (SB_{msy}) の提案を見送り、その値を基準とした神戸プロットは提示できず、MSY 水準に基づく資源水準は判断できなかった。なお、JASAM によって推定された 2021 年漁期の資源量は、1997 年の調査開始以降、最低の値 (182 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) の資源量

（令和 2 年（2020 年）資源評価推定値 436 トン、本報告による修正値 322 トン）を下回った。親魚量の動向は近年 5 年間（2017～2021 年漁期）の推移から「減少」と判断される。

5. 将来予測

（1）将来予測の設定

資源評価で推定した 2021 年漁期の齢期別資源量に基づき、2022～2053 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（8 齢期）は、森川ほか

（2020）で適用された HS 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、5000 回の繰り返し計算を行った。8 齢期以降の生残率には現状の M（2019～2021 年の平均値）を用い、2022 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、外仔を持つ成熟雌の重量）と現状の漁獲圧（F2019-2021）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案の提案が見送られており、漁獲管理規則案は提案されていない。

（3）2023 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、2023 年の予測資源量に現状の漁獲圧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、2023 年漁期に予測される漁獲量は 4.6 トン、親魚量は平均 36 トンと見込まれた。

（4）2024 年漁期以降の予測

2024 年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。現状の漁獲圧による漁獲を 10 年間継続した場合、2033 年漁期の親魚量の予測値は平均 8.1 トン（80%予測区間は 4.2～13.0 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、2033 年漁期の親魚量の予測値は平均 8.9 トン（80%予測区間は 4.5～14.4 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 1,314 トンをピークに減少傾向が続いており、2021 年漁期の資源量は過去最低の 182 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」にて、本系群の再生産関係に適用された HS 型再生産関係においては、本系群の上昇した直近 3 年間の自然死亡係数（M）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（SB_{msy}）を算出することが見送ら

れている。2021 年漁期の資源量は 1997 年の調査開始以降、過去最低の値であり、資源管理基本方針で目標値とされた令和元年（2019 年）の資源量を下回った。近年 5 年間（2017～2021 年漁期）の推移から、親魚量は「減少」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 の平均値（2019～2021 年の平均値）は 0.679 であり、管理基準値設定水準案を上回ることから、本系群では引き続き管理基準値案、漁獲管理規則案は検討できなかった。

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、小型個体が入網する場所では操業を控える、成体についても可能な限り放流するなど、少しでも親魚量を確保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. Lovvorn, 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.

(執筆者：森川英祐、柴田泰宙、成松庸二、富樫博幸、鈴木勇人、時岡 駿、三澤 遼、
金森由妃、永尾次郎)

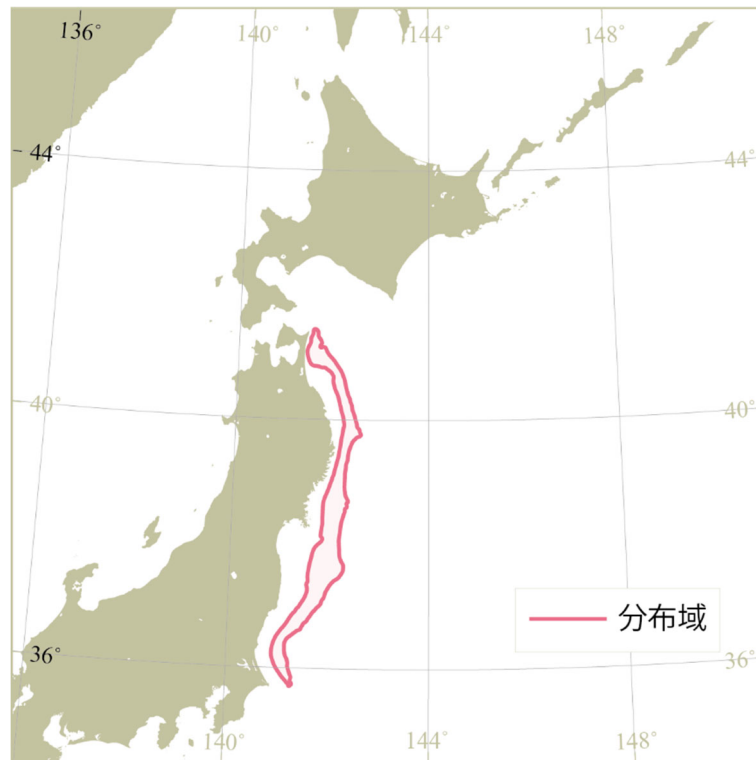


図 2-1. 太平洋北部（北海道を除く）のズワイガニの分布

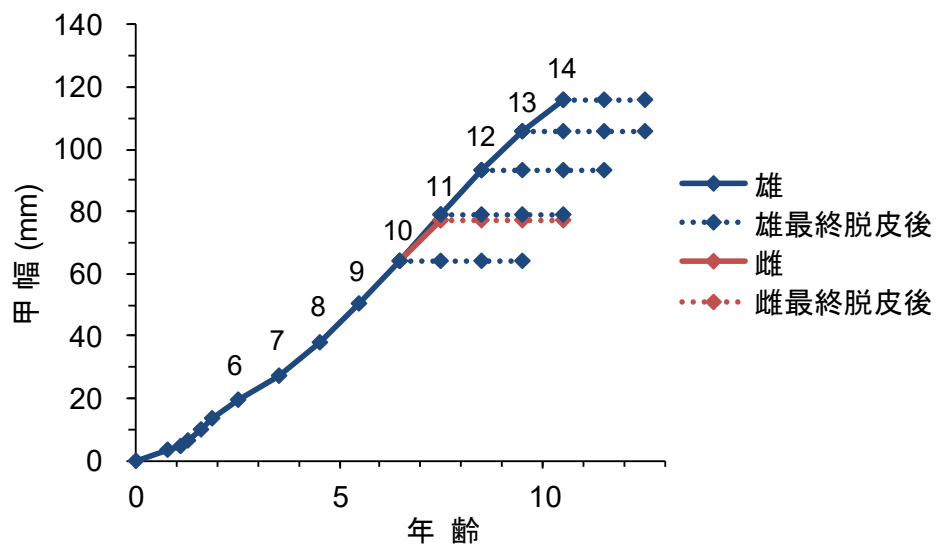


図 2-2. 太平洋北部におけるズワイガニの年齢、脱皮齢期および甲幅の関係

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。

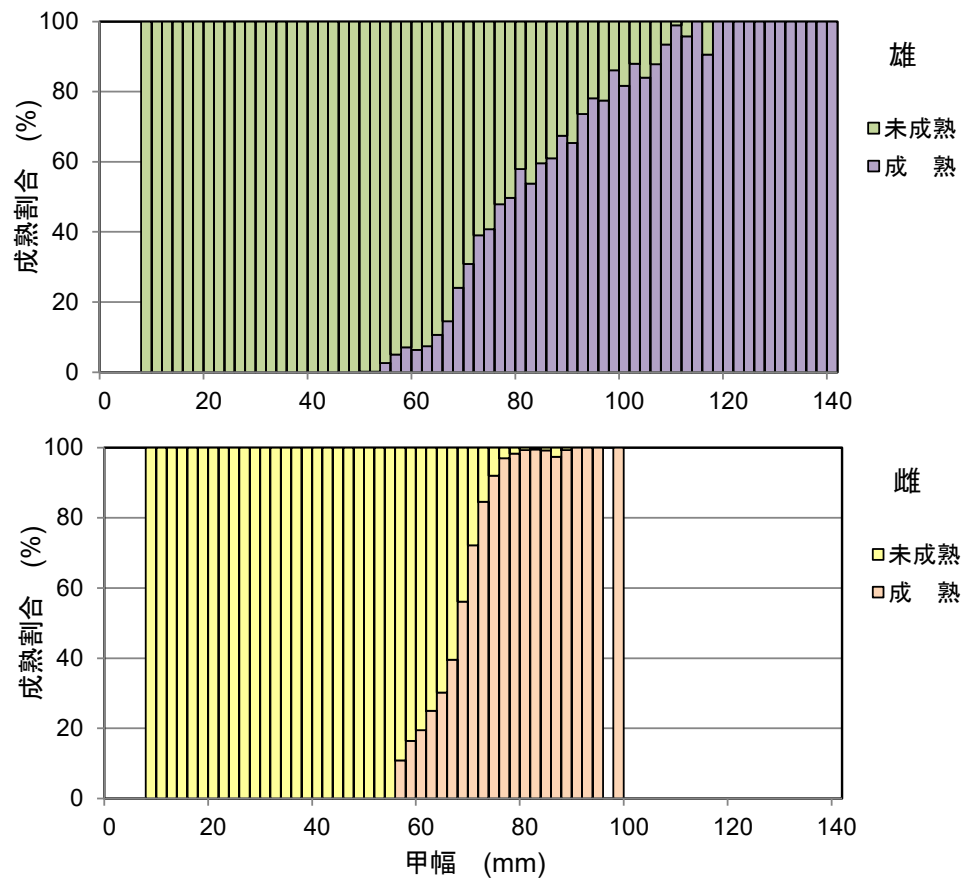


図 2-3. ズワイガニの甲幅別成熟割合 (1997～2021 年漁期)

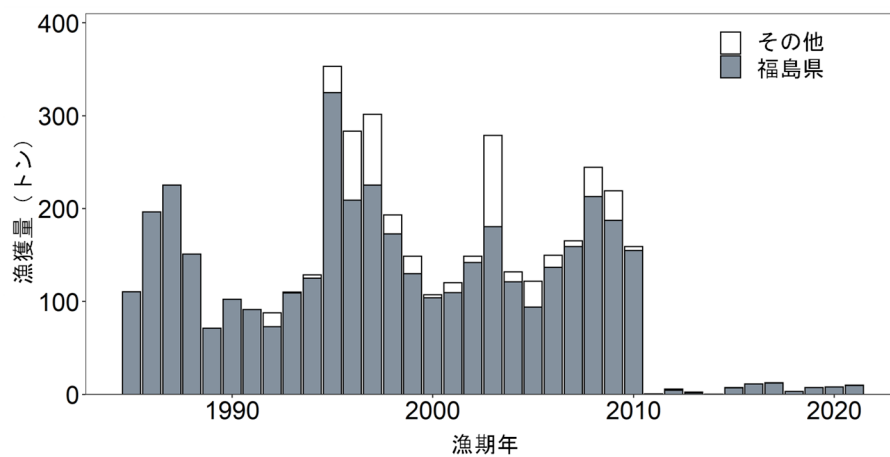


図 3-1. 漁獲量の推移

1985～1991 年漁期の福島県の漁獲量は、相馬港のみの値。

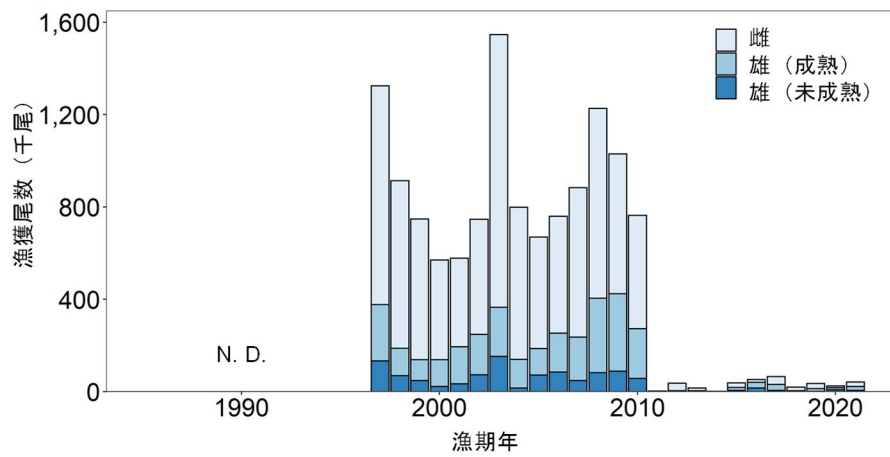


図 3-2. 齢期別漁獲尾数

雄の齢期別漁獲尾数については補足資料 5 参照。

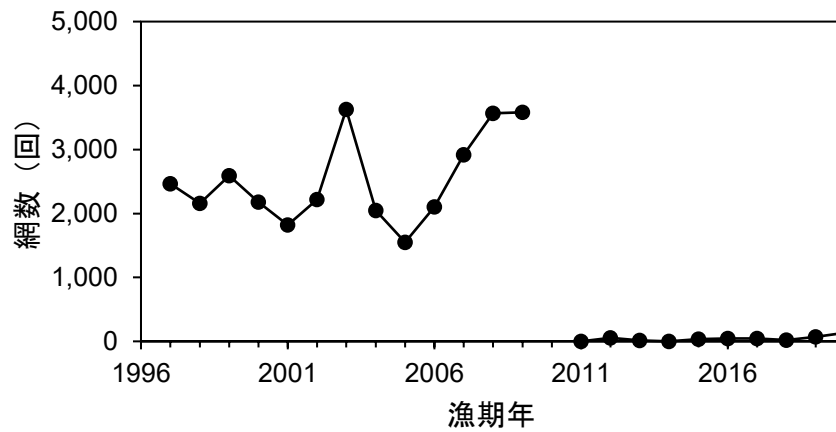


図 3-3. 漁獲努力量（有漁網数）の推移（福島県の沖底）

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。

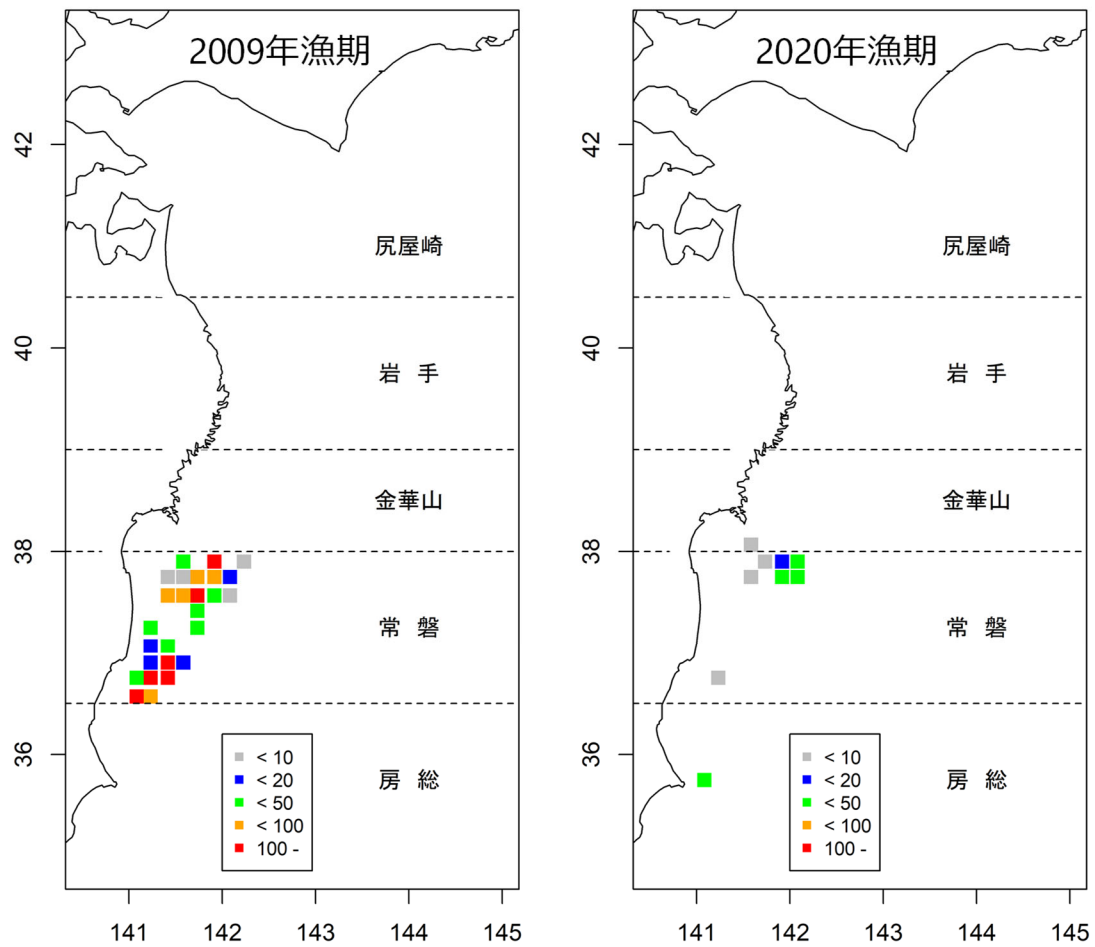


図 3-4. 震災前（2009 年漁期）と 2020 年漁期の漁獲努力量（有漁網数）の比較

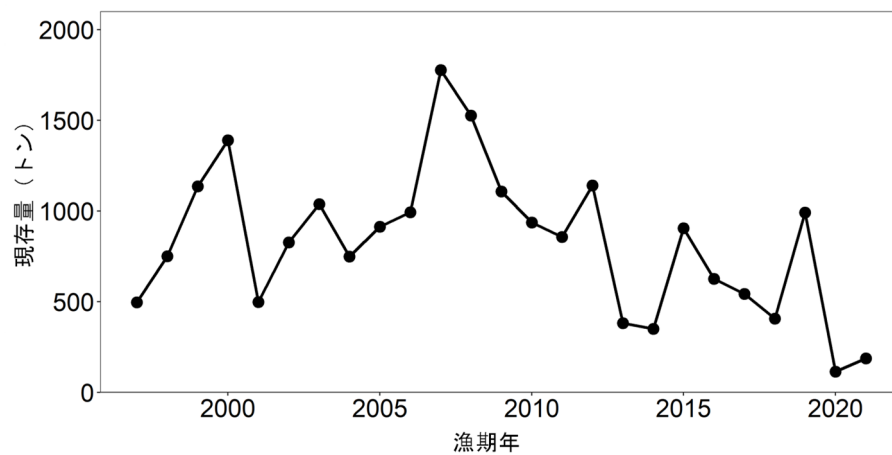


図 4-1. 着底トロール調査で得られた現存量の推移

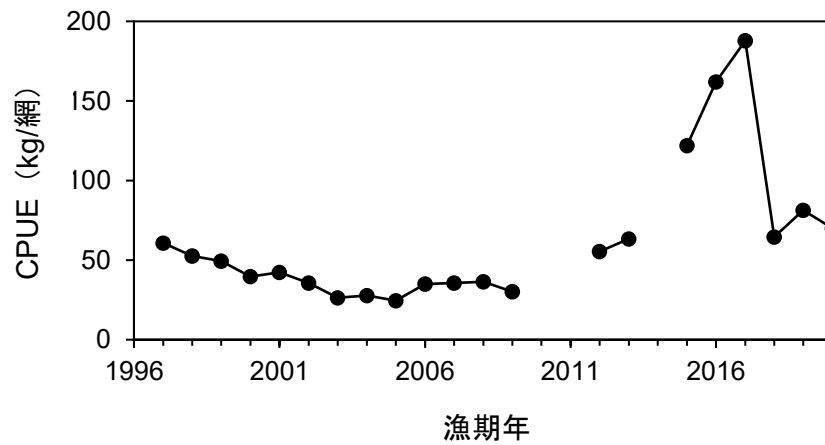


図 4-2. 福島県の沖底（トラール）によるズワイガニの CPUE

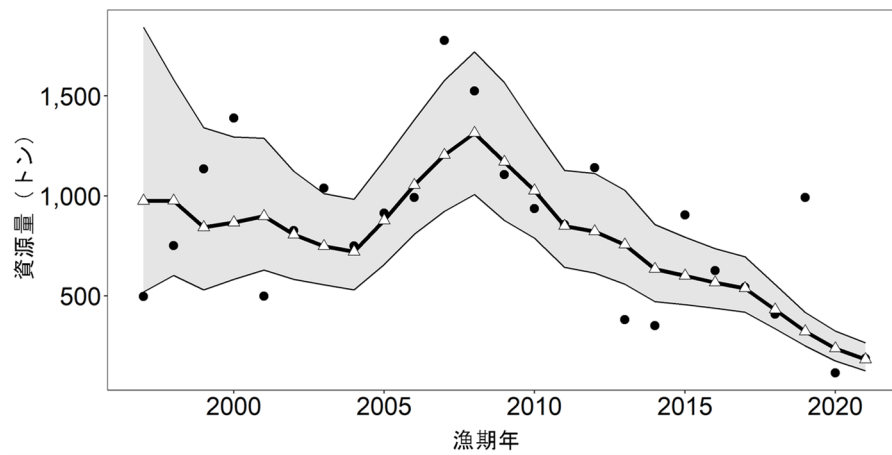


図 4-3. 漁獲対象資源量（三角点）、着底トラール調査による現存量（黒点）の推移
網掛けは推定値の 95%信頼区間を示す。

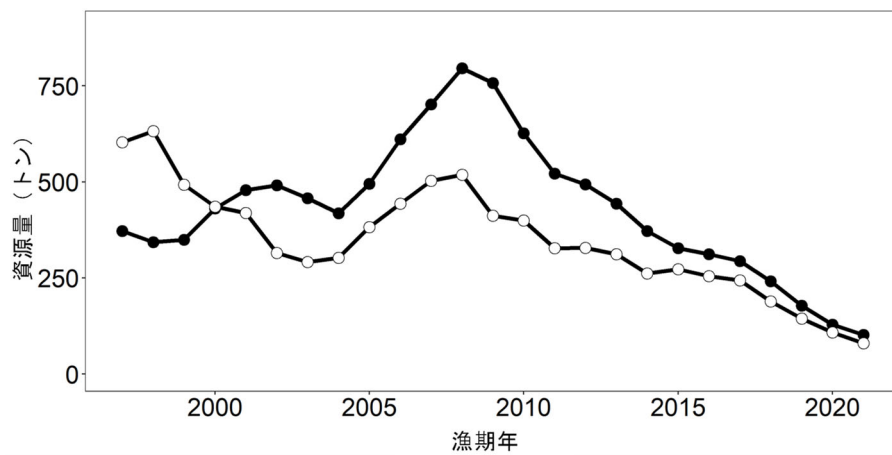


図 4-4. 雌雄別漁獲対象資源量（雄：黒点、雌：白点）の推移

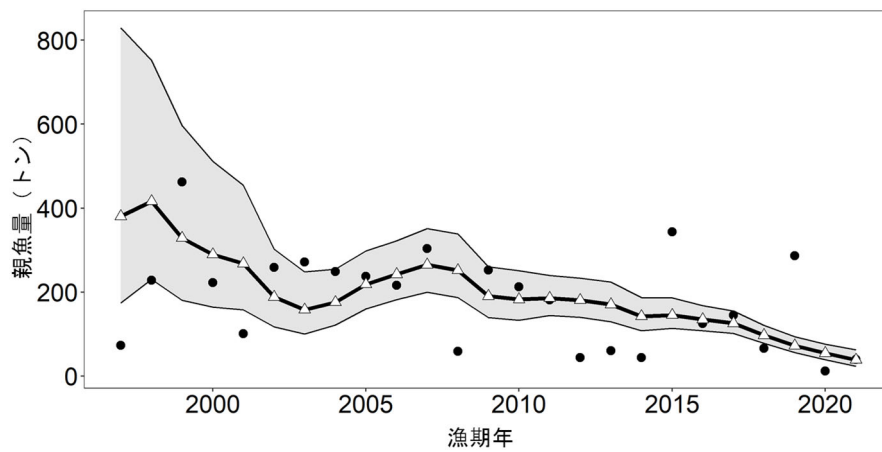


図 4-5. 親魚量 (SSB) の推移

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。

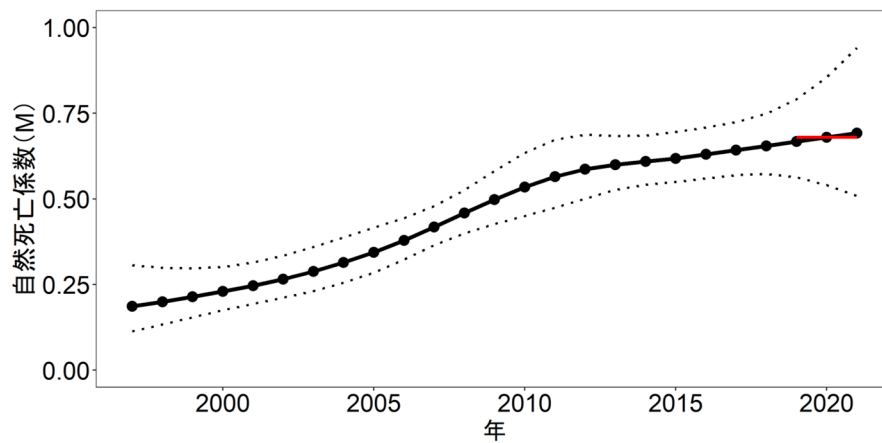


図 4-6. 自然死亡係数 M の推移

なお、点線は 95%信頼区間、赤線は現状の M (2019~2021 年の平均値) である。

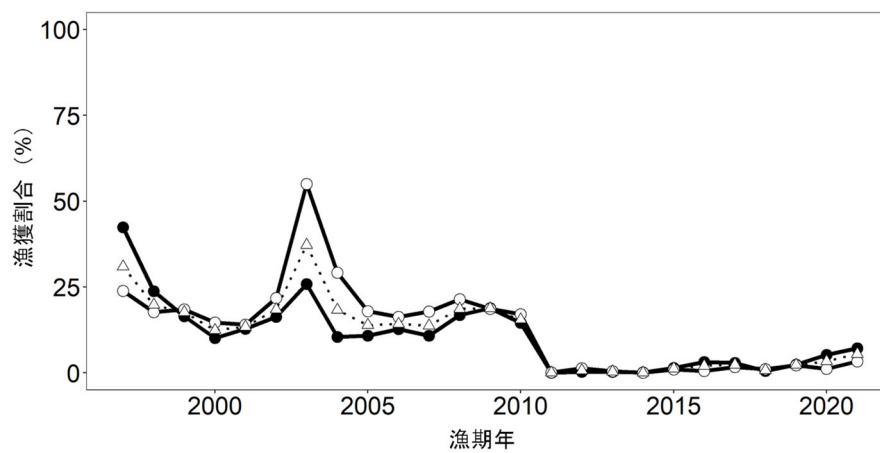


図 4-7. 漁獲割合 (雄：黒点、雌：白点、雌雄計：三角点) の推移

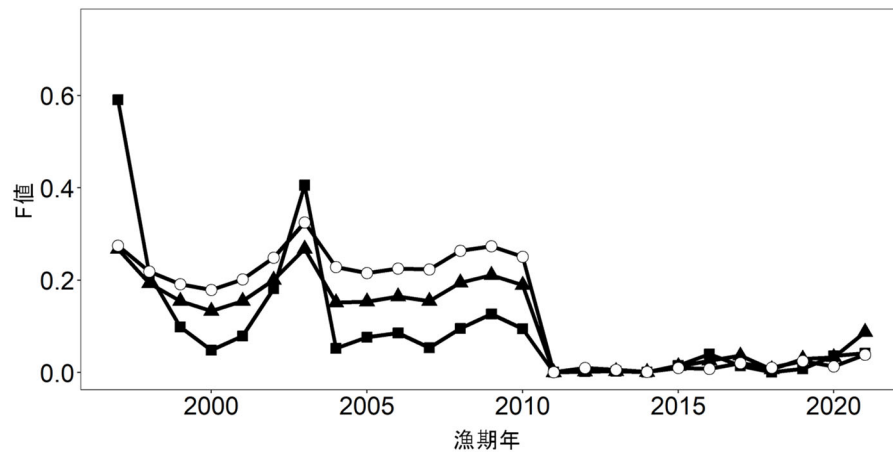


図 4-8. F 値（未成熟雄：黒四角点、成熟雄：黒三角点、雌：白点）の推移
なお、ここでは最終脱皮の有無で未成熟、成熟を区分した。

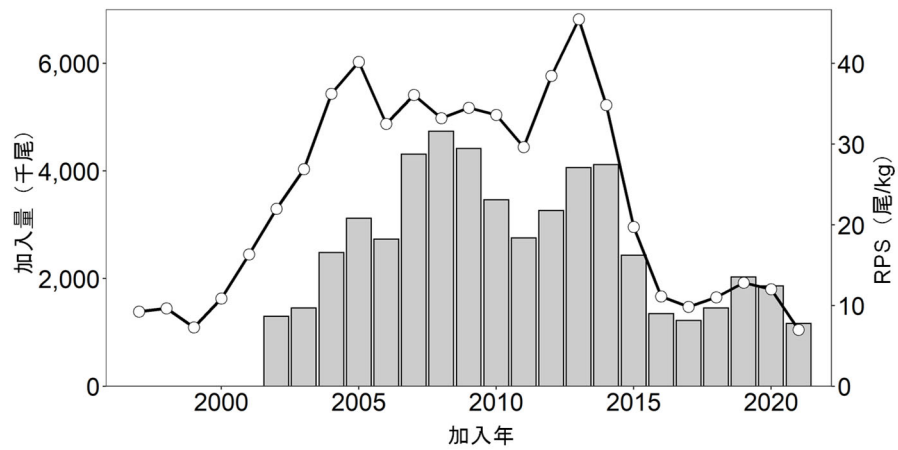


図 4-9. 加入量（折れ線）と再生産成功率（棒グラフ）の推移

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。

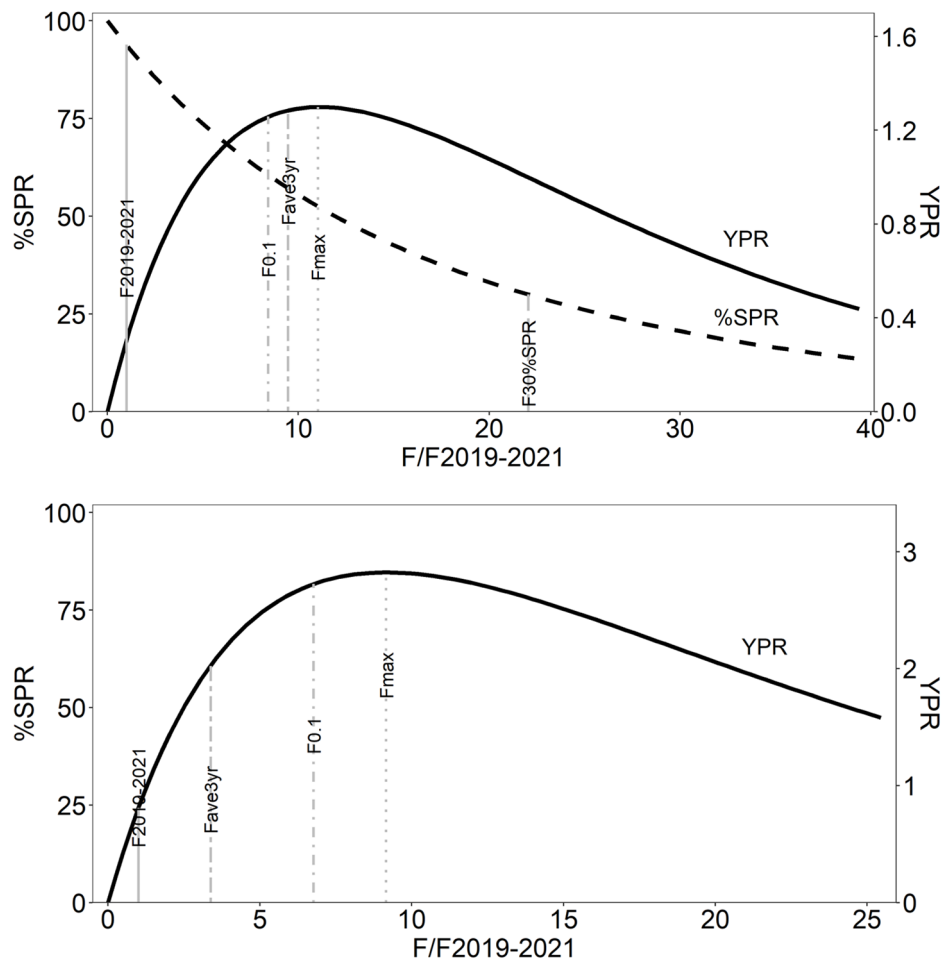


図 4-10. 雌雄別の F 値と YPR および %SPR の関係

横軸は現状の漁獲圧 ($F_{2019-2021}$) に対する比である。また、現状の M (2019～2021 年の平均値) を仮定し、漁獲対象とならない小型個体の混獲後の再放流による生残率が 50% の場合で計算した。

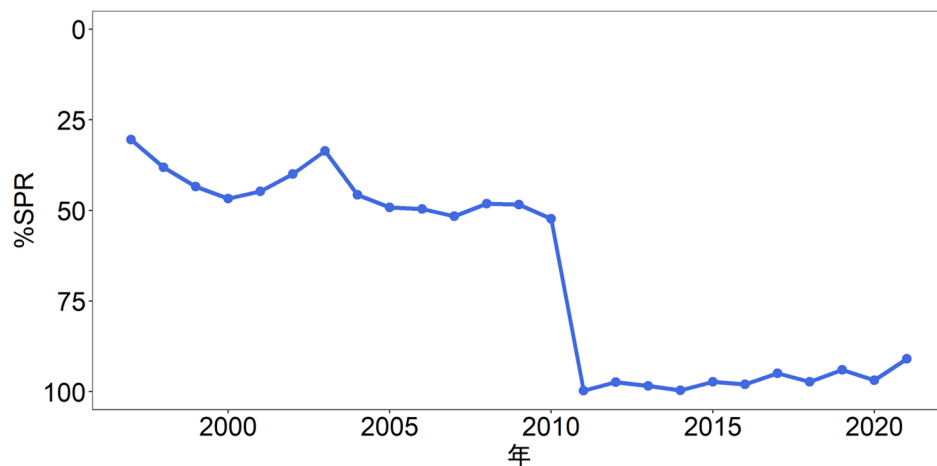


図 4-11. 各漁期年における%SPR 値の経年推移

%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 に対応した値である。なお、 M が高い場合には同じ F 値においても%SPR は大きく、 M が低い場合には小さくなる。

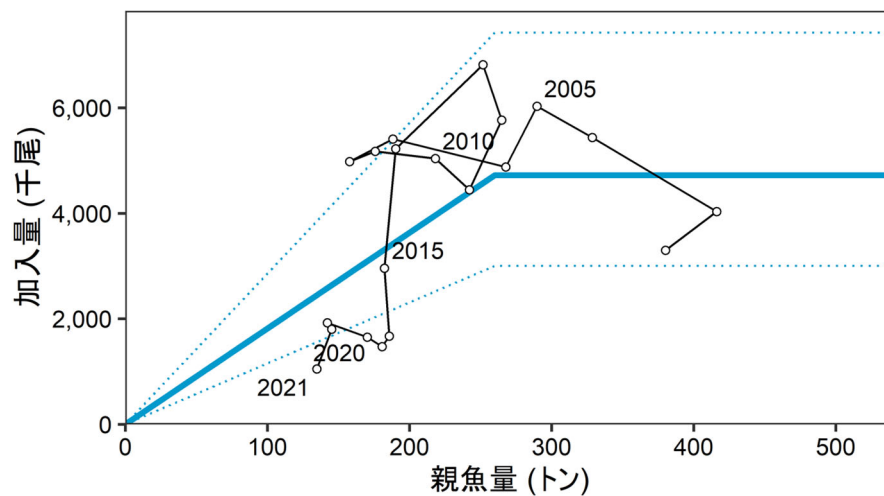


図 4-12. 親魚量と加入量の関係（再生産関係）

図中の青実線は令和元（2019）年度の資源評価で推定された、1997～2013 年の親魚量と 2002～2018 年の加入量から求めた再生産関係式を示す。また、図中の白点は令和 4（2022）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。

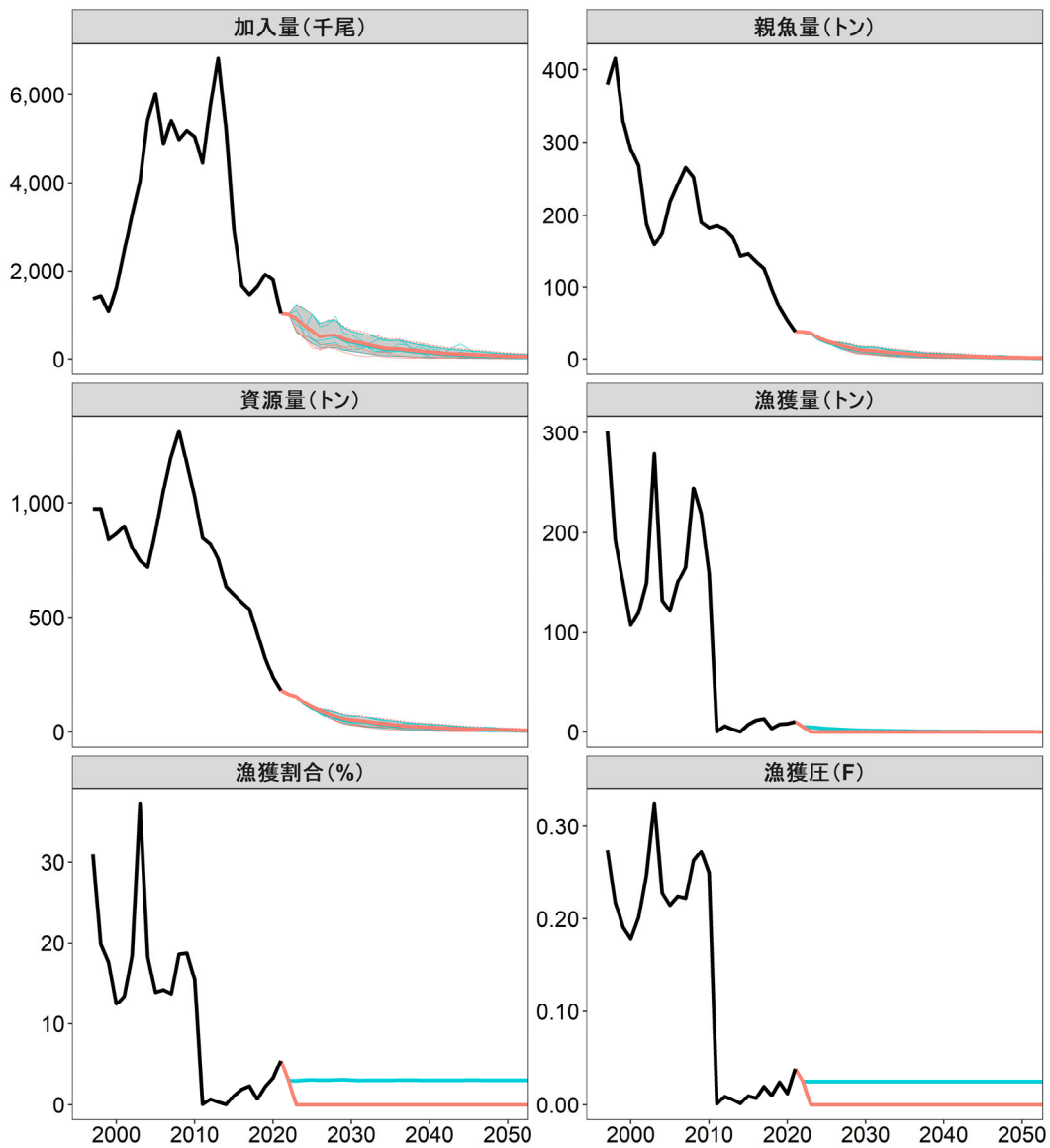


図 5-1. 現状の漁獲圧 (F2019-2021) で漁獲を続けた場合の将来予測 (緑) と、漁獲を 0 とした場合の将来予測 (赤)

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）

脱皮齢	雄		脱皮齢	雌	
	以上	未満		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	98以上				
13齢期、最終脱皮後	98	110			
14齢期、最終脱皮後	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	0.1	9.7	0.1	9.9	97.9

1995年漁期以前の値（福島県以外）にカニ類を一部含む。

福島県では2011年漁期に操業を休止し、2012年漁期以降は試験操業のみを行っている。

1985～1991年漁期の福島県の漁獲量は、相馬港のみの値。

漁獲量は、漁期年（7月～翌年6月）で集計。漁期は、12月～翌年3月である。

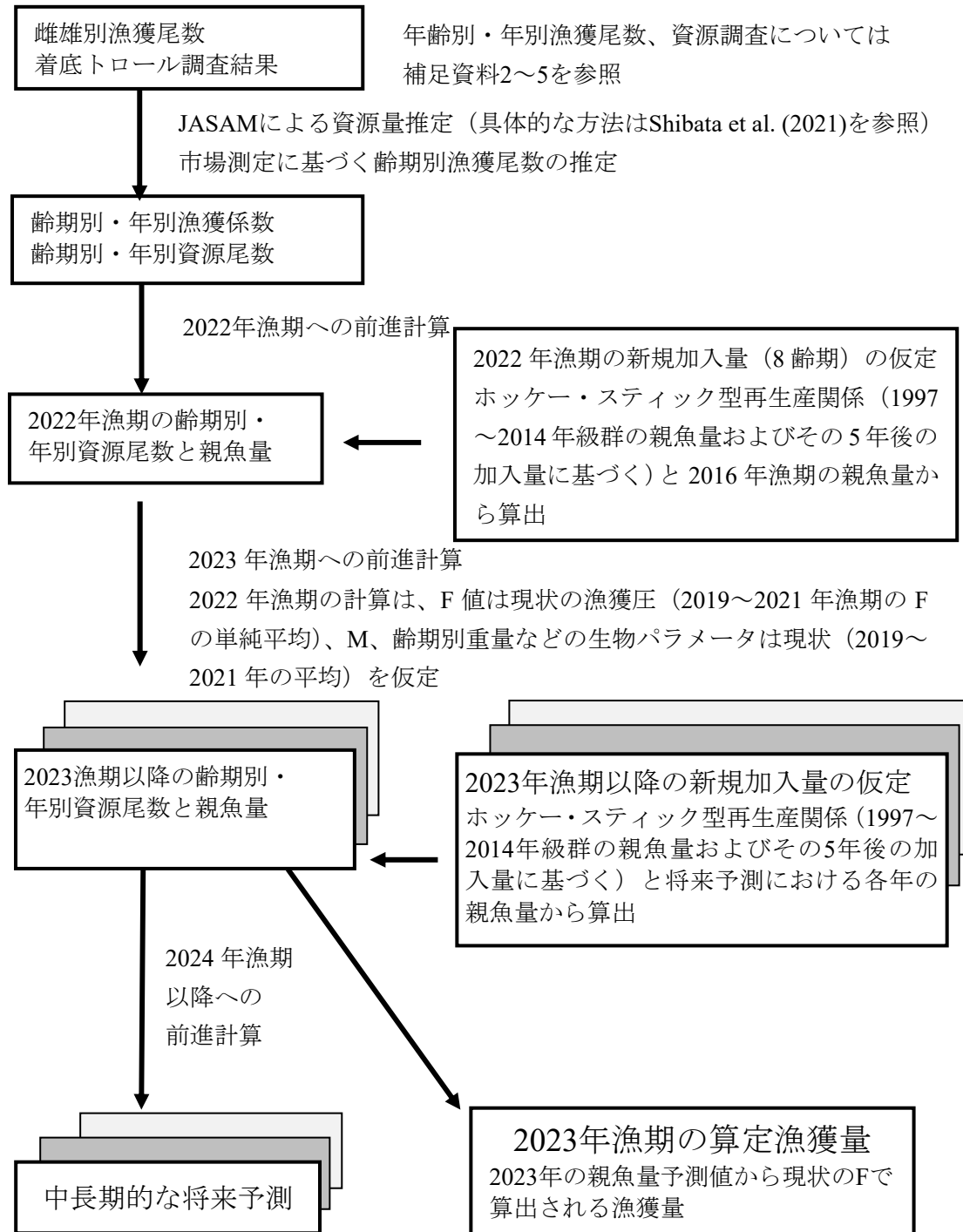
表 4-1. 面積－密度法と JASAM で推定したズワイガニの漁獲対象資源（甲幅 80 mm 以上の雄および成熟雌ガニ）の資源量、漁期後の親魚量（SSB）、漁獲量、F 値および漁獲割合の推移

			1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
資源尾数 (千尾)	雄	トロール	816	1,025	1,653	2,959	1,007	1,291	1,571	1,117	1,898	1,936	4,721	4,538	1,825
		JASAM	1,114	1,024	1,154	1,383	1,539	1,489	1,408	1,434	1,779	2,153	2,510	2,760	2,499
	雌	トロール	1,556	2,559	4,457	2,350	1,239	2,979	3,908	3,239	2,876	2,749	4,017	1,574	3,940
		JASAM	3,970	4,110	3,294	2,958	2,726	2,291	2,145	2,261	2,698	3,106	3,624	3,837	3,255
		トロール合計	2,371	3,584	6,110	5,309	2,247	4,270	5,479	4,357	4,774	4,684	8,738	6,111	5,766
		JASAM合計	5,083	5,134	4,448	4,341	4,265	3,780	3,553	3,694	4,477	5,259	6,135	6,597	5,754
資源量 (トン)	雄	トロール	260	357	469	1,043	307	417	507	315	506	600	1,220	1,313	608
		JASAM	372	343	349	431	479	491	457	418	495	611	701	796	758
	雌	トロール	236	394	667	346	191	410	531	434	407	392	557	213	498
		JASAM	603	632	493	436	419	315	291	303	382	443	503	518	412
		トロール合計	496	751	1,135	1,389	497	826	1,038	749	913	992	1,777	1,525	1,107
		JASAM合計	975	975	842	867	898	806	748	721	877	1,054	1,204	1,314	1,169
親魚量 (トン)	トロール	63	206	430	210	97	252	268	256	252	236	347	72	313	
	JASAM	380	416	329	290	268	188	158	176	218	242	265	252	190	
漁獲量 (トン)	雄		157.6	81.5	57.6	43.7	61.4	80.2	118.4	43.7	53.4	77.6	75.6	133.5	142.5
	雌		144	111.7	91.1	63.7	58.9	68.6	160.4	88.2	68.4	72.1	89.8	111	76.6
	合計		301.6	193.2	148.7	107.4	120.3	148.7	278.7	131.9	121.8	149.8	165.4	244.5	219.1
F値	雄未熟		0.591	0.213	0.099	0.048	0.079	0.182	0.406	0.052	0.076	0.086	0.054	0.096	0.127
	雄成熟		0.268	0.193	0.155	0.133	0.155	0.200	0.268	0.151	0.154	0.164	0.155	0.195	0.211
	雌		0.275	0.219	0.191	0.179	0.202	0.249	0.325	0.229	0.216	0.225	0.223	0.264	0.273
	合計		0.370	0.221	0.194	0.132	0.144	0.204	0.466	0.202	0.150	0.153	0.148	0.206	0.208
漁獲割合 (%)	雄		42.4	23.8	16.5	10.2	12.8	16.3	25.9	10.5	10.8	12.7	10.8	16.8	18.8
	雌		23.9	17.7	18.5	14.6	14.1	21.8	55.1	29.2	17.9	16.3	17.9	21.4	18.6
	合計		30.9	19.8	17.7	12.4	13.4	18.5	37.2	18.3	13.9	14.2	13.7	18.6	18.7
			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
資源尾数 (千尾)	雄	トロール	1,780	1,894	3,101	953	937	1,010	1,585	959	898	1,312	336	322	
		JASAM	2,094	1,779	1,671	1,514	1,264	1,161	1,176	1,087	850	607	433	347	
	雌	トロール	3,143	2,375	624	811	624	4,825	2,031	2,270	1,001	3,883	159	599	
		JASAM	2,874	2,432	2,428	2,271	2,011	2,050	2,191	1,974	1,465	997	706	577	
		トロール合計	4,923	4,269	3,725	1,764	1,561	5,835	3,617	3,229	1,899	5,195	495	920	
		JASAM合計	4,968	4,211	4,099	3,785	3,275	3,212	3,367	3,061	2,315	1,603	1,139	924	
資源量 (トン)	雄	トロール	498	537	1,056	269	269	264	389	263	278	429	89	104	
		JASAM	626	522	494	444	372	327	311	294	242	178	128	102	
	雌	トロール	437	319	84	111	81	641	236	280	129	562	24	83	
		JASAM	400	327	328	312	262	272	255	244	189	144	108	80	
		トロール合計	935	856	1,141	381	350	905	626	543	407	992	114	187	
		JASAM合計	1,026	849	822	756	634	600	566	538	431	322	237	182	
親魚量 (トン)	トロール	276	240	60	83	62	493	180	213	98	433	18	62		
	JASAM	182	186	181	170	142	145	135	126	97	72	54	38		
漁獲量 (トン)	雄		91	0.3	1.3	1.1	0.3	4.5	9.7	8.6	1.3	4.2	6.7	7.3	
	雌		68.2	0.3	4.3	1.5	0	2.7	1.5	4.1	2	3.2	1.2	2.7	
	合計		159.3	0.5	5.6	2.6	0.3	7.2	11.2	12.7	3.3	7.4	7.9	9.9	
F値	雄未熟		0.095	0.001	0.002	0.003	0.001	0.015	0.040	0.015	0.001	0.008	0.036	0.042	
	雄成熟		0.190	0.000	0.002	0.003	0.001	0.014	0.026	0.036	0.007	0.030	0.033	0.088	
	雌		0.251	0.001	0.010	0.006	0.002	0.010	0.008	0.020	0.011	0.025	0.013	0.039	
	合計		0.169	0.001	0.007	0.004	0.000	0.012	0.020	0.024	0.008	0.023	0.034	0.056	
漁獲割合 (%)	雄		14.5	0.1	0.3	0.2	0.1	1.4	3.1	2.9	0.6	2.4	5.2	7.1	
	雌		17.1	0.1	1.3	0.5	0.0	1.0	0.6	1.7	1.0	2.2	1.1	3.3	
	合計		15.5	0.1	0.7	0.4	0.0	1.2	2.0	2.4	0.8	2.3	3.3	5.5	

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
M	0.186	0.200	0.214	0.230	0.247	0.266	0.288	0.314	0.344	0.379	0.418	0.458	0.498
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	現状のM
M	0.535	0.565	0.587	0.600	0.609	0.618	0.630	0.642	0.655	0.667	0.679	0.692	0.679

[illegible]

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において、

$$\ln(F_{k,t+1}) = \ln(F_{k,t}) + \varepsilon_{k,t}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_{k,t} \sim \text{MVN}(0, \Sigma_F), \quad (2)$$

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、

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

と表せると仮定した。ただし、 $\varepsilon = (\varepsilon_{k,1997}, \dots, \varepsilon_{k,2017})$ 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、

$$\Sigma_F = \rho_k \sigma_{F,k} \sigma_{F,\tilde{k}} = \begin{pmatrix} \sigma_{F,k=1}^2 & & \\ \rho_{k=1} \sigma_{F,k=1} \sigma_{F,k=2} & \sigma_{F,k=2}^2 & \\ \rho_{k=3} \sigma_{F,k=3} \sigma_{F,k=1} & \rho_{k=2} \sigma_{F,k=2} \sigma_{F,k=3} & \sigma_{F,k=3}^2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

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。

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

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

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。

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

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。

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

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)

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

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

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

- ・ 10 齢期から 11 齢期 (a=10)

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

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

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

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

- ・ 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)

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

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

- ・ 13 齢期から 14 齢期 (a=13)

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

*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)

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

- ・ 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。

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

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

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）。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 2-2、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。 $\gamma_1 \sim \gamma_3$ 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

$$\ln(n_{a,u,t}) \sim \text{Normal}(\ln(q_{a,t}N_{a,u,t}), \log(1 + \omega_{a,u,t}^2) + \log(1 + CV_{a,u,t}^2)), \quad (26)$$

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

・甲幅サイズ別の採集効率

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

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

$$\gamma_h \sim \text{MVN}(\hat{\gamma}_h, \Sigma_\gamma), \quad (30)$$

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

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。

$$\ln(c_{a,u,t}) \sim \text{Normal}(\ln(C_{a,u,t}), \tau_{a,u}^2), \quad (32)$$

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

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

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図 2-3 および補足表 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、 $\rho_A = 14.2\%$ 、 $\rho_M = -18.9\%$ 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、 $i=1, 2, \dots, 5$ 、 $T=2021$ 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} ($R_i=R_1, \dots, R_5$) 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）。

$$\text{雄未成熟} \quad BW = 7.943 \times 10^{-4} \times CW^{2.815}$$

$$\text{雄成熟} \quad BW = 4.954 \times 10^{-4} \times CW^{2.946}$$

$$\text{雌未成熟} \quad BW = 9.616 \times 10^{-4} \times CW^{2.755}$$

$$\text{雄成熟} \quad BW = 3.556 \times 10^{-3} \times CW^{2.464}$$

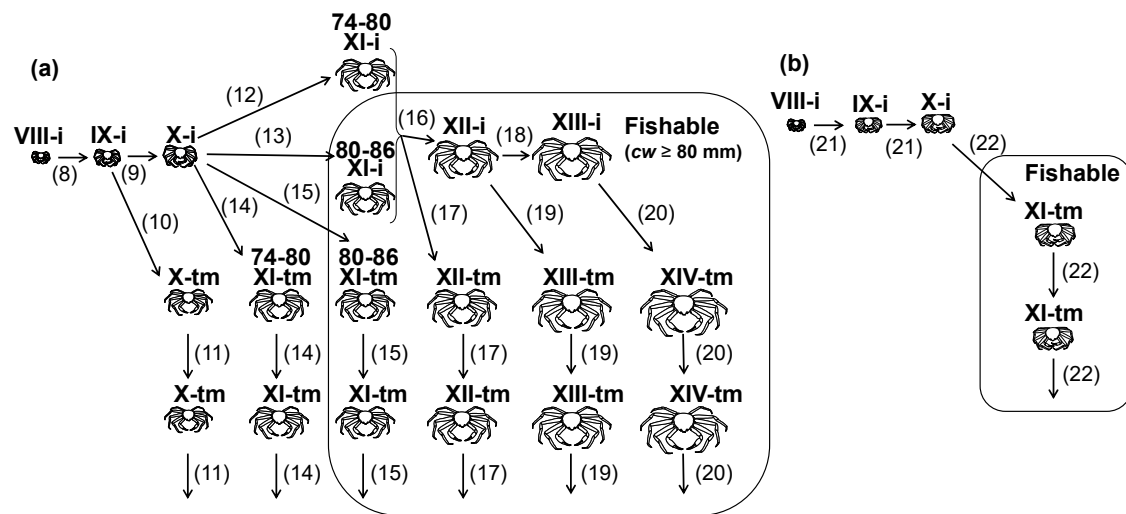
(2) 将来予測方法

資源評価で推定した 2021 年漁期の齢期別資源量、現状の自然死亡係数 M (2019～2021 年の平均値)、および現状の漁獲圧 ($F_{2019-2021}$) に基づき、2022～2053 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 2-4 に示す。2022 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・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。2022 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 (F2019-2021) から算出した。また、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。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。

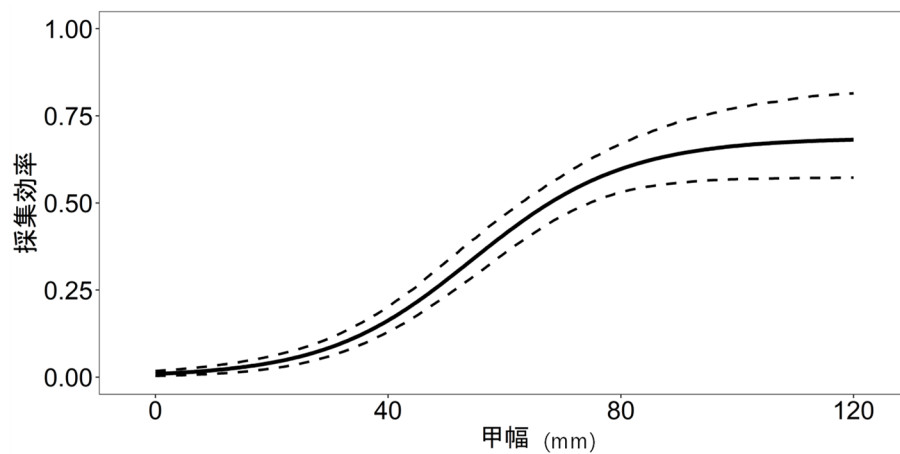
引用文献

- 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.

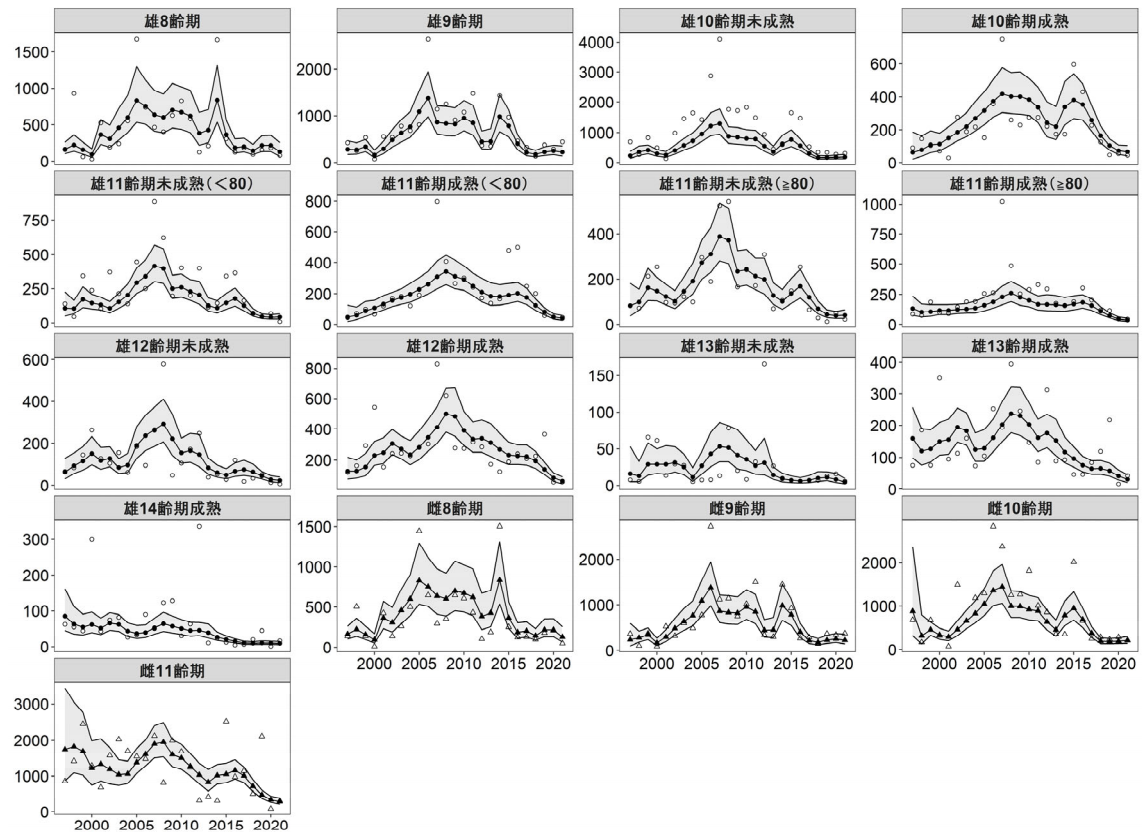


補足図 2-1. ズワイガニの個体群動態モデル

(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。

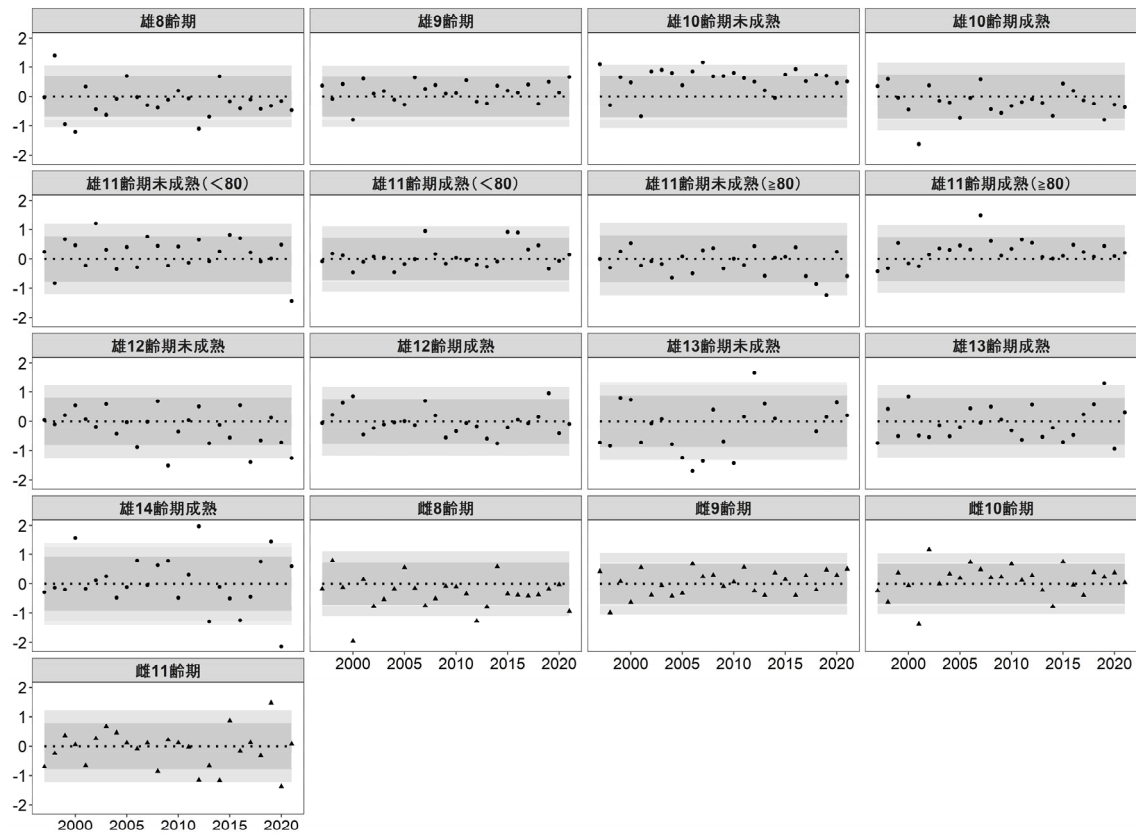


補足図 2-2. 甲幅に対する採集効率



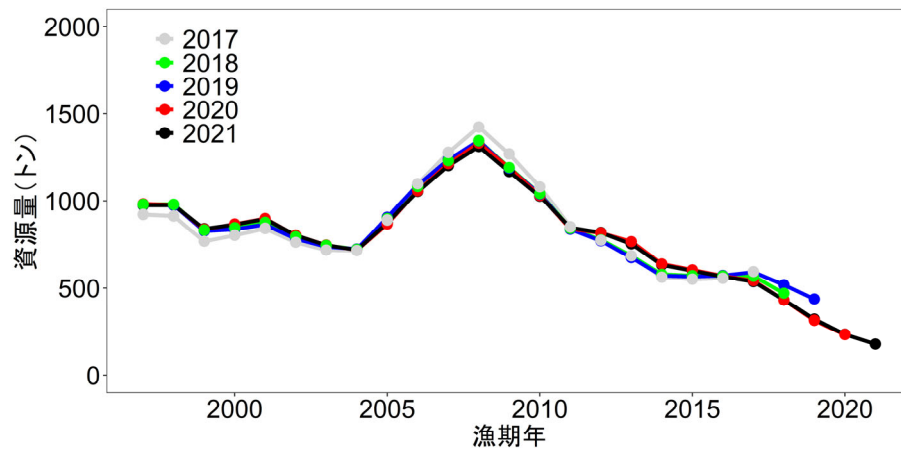
補足図 2-3. 雌雄別、齢期別資源尾数（採集効率未考慮）の推移

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。

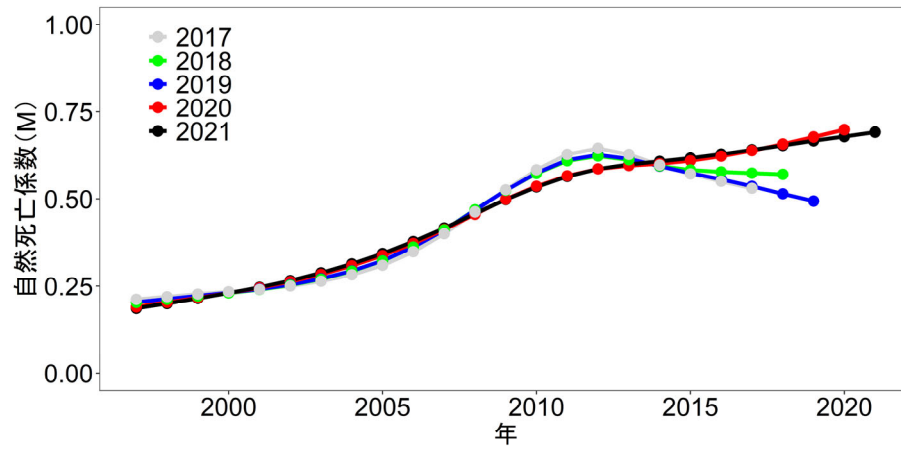


補足図 2-4. 雌雄別、齢期別資源尾数の残差プロット

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齢期別資源尾数（採集効率未考慮）

齢期	性別	成熟	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
8	雄	未	166	931	63	30	525	199	246	553	1,677	735	467	406	625
9	雄	未	434	266	546	79	565	548	784	693	816	2,652	1,140	1,255	912
10	雄	未	705	273	834	509	136	987	1,456	1,640	1,423	2,873	4,102	1,757	1,716
10	雄	成	94	147	107	73	30	276	190	217	153	356	752	259	229
11	雄	未	142	47	343	239	108	369	216	143	445	252	889	623	199
11	雄	成	47	75	102	69	123	171	184	124	192	260	798	408	265
11	雄	未	85	74	213	254	99	97	124	101	298	190	528	545	166
11	雄	成	88	77	189	103	92	148	191	193	258	266	1,023	485	255
12	雄	未	68	86	146	262	129	106	156	63	185	97	260	579	50
12	雄	成	122	164	293	546	156	242	244	228	283	304	829	621	278
13	雄	未	8	6	65	61	14	30	28	5	8	8	14	78	21
13	雄	成	76	185	76	351	95	113	160	74	105	253	193	395	247
14	雄	成	64	56	45	300	45	75	82	28	34	90	52	122	128
8	雌	未	144	505	145	14	427	144	268	501	1,446	643	299	359	643
9	雌	未	380	107	385	93	536	331	608	500	780	2,733	1,119	1,140	756
10	雌	未	689	177	686	332	77	1,494	667	1,184	1,289	2,844	2,368	1,249	1,264
11	雌	成	861	1,413	2,455	1,286	688	1,566	2,031	1,695	1,542	1,472	2,130	822	1,996

齢期	性別	成熟	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
8	雄	未	826	581	130	216	1,668	311	127	188	97	160	191	83
9	雄	未	1,078	1,487	382	363	1,440	974	473	344	145	392	302	455
10	雄	未	1,822	1,485	942	466	610	1,646	1,467	546	360	351	293	323
10	雄	成	275	275	221	175	175	595	432	227	128	49	56	47
11	雄	未	401	202	398	120	147	342	365	164	70	49	72	11
11	雄	成	301	242	174	140	168	482	502	248	202	60	49	49
11	雄	未	243	172	310	72	108	149	254	67	30	14	52	24
11	雄	成	290	331	296	178	161	192	303	204	123	119	51	46
12	雄	未	107	173	247	40	56	29	121	19	35	53	14	7
12	雄	成	275	316	285	173	126	189	240	210	227	366	56	58
13	雄	未	9	33	166	27	10	0	0	0	7	13	16	6
13	雄	成	146	86	312	89	93	48	47	84	119	218	17	44
14	雄	成	32	64	337	11	25	13	5	7	21	46	1	17
8	雌	未	606	432	109	193	1,503	256	129	135	102	186	217	52
9	雌	未	1,022	1,507	354	308	1,449	926	277	301	151	382	356	388
10	雌	未	1,824	1,013	864	372	363	2,019	672	261	299	246	298	226
11	雌	成	1,679	1,242	329	430	320	2,528	981	1,145	517	2,118	88	318

補足表 2-2. 着底トロール調査で得られた齢期別の変動係数 (CV)

齢期	性別	成熟	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
8	雄	未	0.187	0.552	0.474	0.128	0.301	0.308	0.252	0.205	0.352	0.196	0.081	0.190	0.392
9	雄	未	0.488	0.444	0.160	0.531	0.638	0.309	0.333	0.229	0.252	0.193	0.141	0.206	0.211
10	雄	未	0.353	0.459	0.298	0.421	0.133	0.308	0.308	0.176	0.304	0.230	0.576	0.328	0.194
10	雄	成	0.861	0.695	0.414	0.420	0.423	0.388	0.243	0.167	0.357	0.193	0.648	0.281	0.171
11	雄	未	0.424	0.518	0.382	0.551	0.267	0.427	0.338	0.194	0.336	0.192	0.809	0.494	0.170
11	雄	成	0.422	0.410	0.568	0.431	0.612	0.300	0.220	0.239	0.249	0.179	0.696	0.353	0.182
11	雄	未	0.416	0.333	0.380	0.880	0.319	0.490	0.404	0.204	0.273	0.188	0.706	0.571	0.350
11	雄	成	0.244	0.595	0.414	0.880	0.329	0.232	0.279	0.246	0.242	0.174	0.795	0.403	0.244
12	雄	未	0.578	0.405	0.251	0.820	0.293	0.386	0.575	0.304	0.240	0.216	0.371	0.678	0.282
12	雄	成	0.292	0.555	0.481	0.834	0.306	0.289	0.262	0.286	0.322	0.228	0.701	0.587	0.224
13	雄	未	0.657	0.716	0.526	0.542	0.816	0.721	0.576	0.467	0.556	0.364	0.491	0.820	0.538
13	雄	成	0.478	0.395	0.603	0.815	0.218	0.331	0.234	0.383	0.554	0.289	0.357	0.490	0.354
14	雄	成	0.284	0.666	0.616	0.932	0.591	0.452	0.528	0.528	0.442	0.354	0.824	0.672	0.438
8	雌	未	0.357	0.476	0.630	0.513	0.397	0.257	0.393	0.171	0.378	0.194	0.118	0.210	0.327
9	雌	未	0.451	0.455	0.212	0.511	0.578	0.265	0.221	0.176	0.216	0.205	0.153	0.219	0.166
10	雌	未	0.327	0.364	0.266	0.346	0.326	0.351	0.243	0.218	0.264	0.263	0.379	0.351	0.183
11	雌	成	0.511	0.817	0.167	0.207	0.469	0.448	0.340	0.268	0.242	0.217	0.625	0.222	0.429

齢期	性別	成熟	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
8	雄	未	0.248	0.406	0.207	0.222	0.461	0.186	0.386	0.259	0.190	0.339	0.241	0.348
9	雄	未	0.200	0.162	0.240	0.318	0.338	0.218	0.286	0.354	0.278	0.335	0.199	0.170
10	雄	未	0.240	0.203	0.175	0.238	0.287	0.538	0.289	0.246	0.321	0.184	0.204	0.214
10	雄	成	0.224	0.237	0.284	0.412	0.348	0.741	0.229	0.196	0.263	0.472	0.282	0.318
11	雄	未	0.296	0.345	0.050	0.301	0.570	0.787	0.319	0.315	0.714	0.396	0.357	0.565
11	雄	成	0.196	0.285	0.282	0.311	0.345	0.772	0.228	0.226	0.360	0.249	0.241	0.397
11	雄	未	0.238	0.378	0.043	0.368	0.716	0.762	0.482	0.404	0.761	0.614	0.442	0.505
11	雄	成	0.195	0.258	0.185	0.347	0.349	0.765	0.323	0.235	0.459	0.486	0.304	0.368
12	雄	未	0.331	0.575	0.038	0.342	0.547	0.725	0.430	0.402	0.474	0.785	0.519	0.579
12	雄	成	0.247	0.271	0.167	0.532	0.325	0.542	0.278	0.274	0.371	0.835	0.302	0.358
13	雄	未	0.451	0.770	0.419	0.619	0.464	0.000	0.000	0.000	0.664	0.619	0.000	0.665
13	雄	成	0.382	0.259	0.059	0.745	0.353	0.360	0.468	0.352	0.642	0.862	0.386	0.662
14	雄	成	0.397	0.436	0.011	0.803	0.526	0.553	0.702	0.708	0.758	0.881	0.771	0.746
8	雌	未	0.209	0.395	0.304	0.170	0.499	0.233	0.504	0.241	0.300	0.280	0.269	0.223
9	雌	未	0.200	0.176	0.279	0.334	0.356	0.330	0.286	0.447	0.255	0.444	0.200	0.176
10	雌	未	0.331	0.202	0.225	0.250	0.275	0.541	0.256	0.245	0.239	0.265	0.180	0.186
11	雌	成	0.348	0.379	0.259	0.291	0.319	0.936	0.303	0.345	0.373	0.937	0.396	0.560

補足表 2-3. JASAM によって推定された齢期別資源尾数（採集効率未考慮）

齢期	性別	成熟	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
8	雄	未	170	228	164	98	367	312	460	598	830	751	634	601	698
9	雄	未	296	288	353	174	307	494	644	772	1,088	1,382	866	839	824
10	雄	未	237	370	431	312	266	417	587	732	956	1,218	1,294	880	853
10	雄	成	65	81	112	116	151	187	219	269	315	374	419	403	402
11	雄	未	110	109	175	149	136	110	156	205	294	339	414	396	251
11	雄	成	50	62	91	110	135	158	176	198	228	261	308	341	311
11	雄	未	85	101	163	148	125	104	147	191	273	313	389	372	233
11	雄	成	136	107	109	120	120	127	132	139	162	189	230	262	227
12	雄	未	65	95	117	152	119	129	86	98	190	235	263	291	221
12	雄	成	129	130	156	231	248	306	272	235	281	346	412	503	486
13	雄	未	17	14	29	29	29	32	26	12	27	43	53	51	42
13	雄	成	159	120	127	150	156	194	183	125	129	161	203	238	232
14	雄	成	86	64	56	63	53	67	63	45	38	41	54	65	58
8	雌	未	170	228	164	98	367	312	460	598	830	751	634	601	698
9	雌	未	246	288	353	174	307	494	644	772	1,088	1,382	866	839	824
10	雌	未	883	330	466	351	303	472	667	835	1,050	1,356	1,444	1,001	993
11	雌	成	1,739	1,823	1,687	1,222	1,330	1,189	1,042	1,061	1,377	1,606	1,901	1,953	1,595

齢期	性別	成熟	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
8	雄	未	669	619	386	427	836	368	193	208	150	222	222	134
9	雄	未	956	853	455	463	985	791	415	227	187	237	264	233
10	雄	未	809	792	566	374	638	775	578	322	171	172	183	192
10	雄	成	383	334	242	219	337	380	352	258	165	107	75	68
11	雄	未	260	230	206	130	112	150	180	130	76	49	44	46
11	雄	成	290	250	211	184	183	192	204	177	126	85	53	42
11	雄	未	241	213	199	129	104	138	169	121	72	46	41	43
11	雄	成	202	170	170	166	159	172	186	160	114	76	46	37
12	雄	未	155	166	147	86	63	52	70	78	67	46	29	24
12	雄	成	391	335	340	313	268	233	227	224	194	141	85	63
13	雄	未	36	28	31	15	9	8	6	8	11	11	9	5
13	雄	成	203	162	176	153	117	97	76	66	66	59	42	32
14	雄	成	52	46	47	41	28	22	16	11	10	11	11	10
8	雌	未	669	619	386	427	836	368	193	208	150	222	222	134
9	雌	未	956	853	455	463	985	791	415	227	187	237	264	233
10	雌	未	924	892	645	467	790	952	701	391	201	193	201	217
11	雌	成	1,495	1,273	1,033	834	1,017	1,053	1,156	1,010	723	488	349	295

補足表 2-4. 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 (F2019-2021)
8	0.679	0.0	—	—
9	0.679	0.0	—	—
10	0.679	0.0	—	—
11	0.679	1.0	132	0.038

注：自然死亡係数は現状の M（2019～2021 年の平均値）。

補足資料 3 調査船調査の概要および結果

調査名：底魚類資源量調査

調査期間：2021 年 9 月 29 日～11 月 25 日

調査海域および調査地点：補足図 3-1

着底トロールによる資源量調査は 1997 年から実施されているが、2002 年以降は資源量推定精度向上のため、調査点数の増加や配置変更を行い、2004 年から現在の調査点数および配置となっている。資源量推定にあたり、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 区分とし、合計 32 層で資源量を計算した。2004 年以降には、南北方向の 4 区分に加え、ズワイガニの主分布水深帯である 200～500 m を水深 50 m 幅に区分し、合計 48 層で計算を行っている。なお、2012 年の調査では南部のズワイガニ主分布水深帯で調査点が 1 地点しかない層があったため、1 地点となる層では隣接する水深帯と統合した。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)。

(1) 2021 年の調査の概要

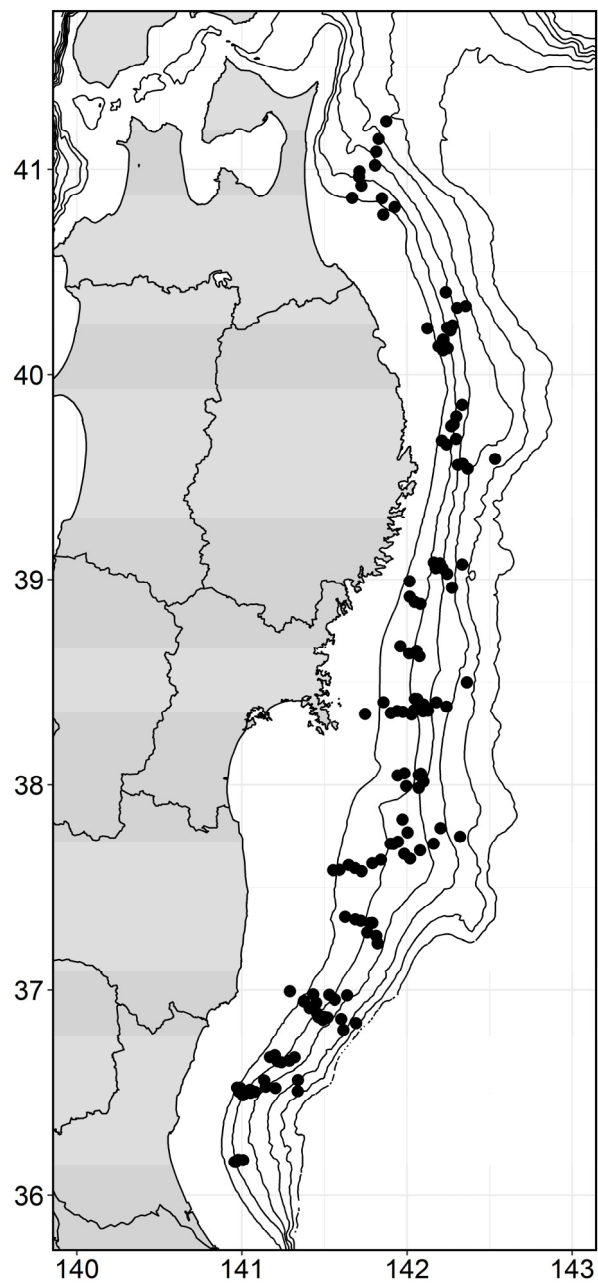
2021 年は水深 150～900 m で合計 150 地点の着底トロール曳網を計画し、139 地点で調査を実施した (補足図 3-1)。合計 88 地点でズワイガニが採集され、その多くは例年と同様にズワイガニの主漁場である宮城県～茨城県沖であった。

(2) 分布密度の経年変化

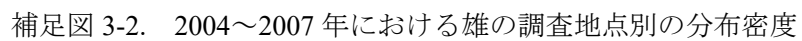
調査点数が増加した 2004 年以降の分布の推移を雌雄別、成熟段階別に調べた (補足図 3-2～補足図 3-11)。その結果、2010 年以前には成熟段階の推移とともに経年的な分布の連続性が雌雄ともに認められたが、2011 年以降は明瞭な連続性は認められず、突発的な高分布密度点が出現するような状況が続いている。2019 年には岩手県沖で成熟雄の分布密度が高い点が出現し、当該年で最も高い分布密度を記録した。しかし、2020 年、2021 年にはこうした高分布密度点は認められず、本調査から求めた 2021 年の現存量は過去 2 番目に低い値であった。

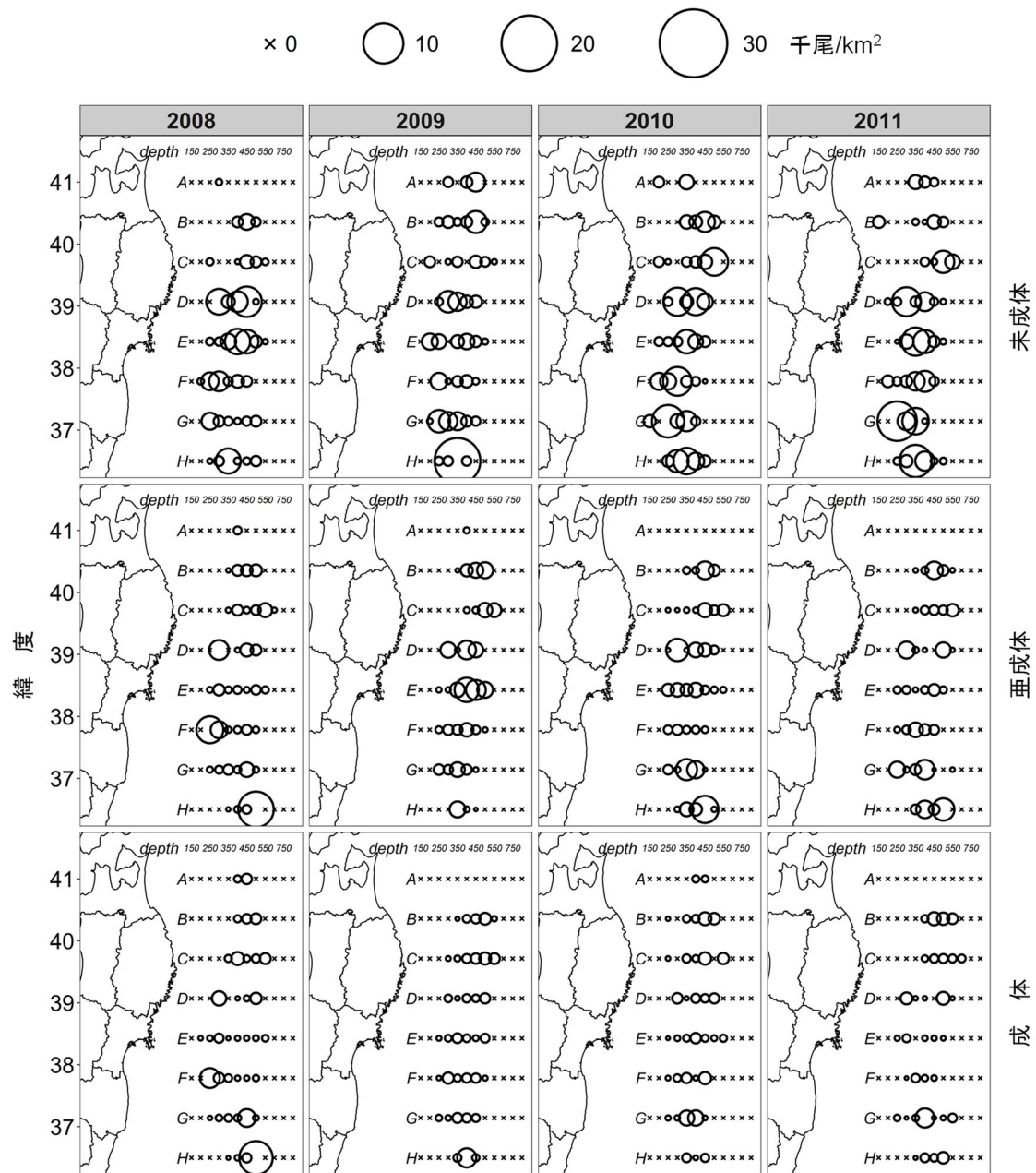
また 2000 年代にはズワイガニは東北海域全体に広く分布しており、当海域の南限となる日立沖でも分布密度の高い層が出現していたが、近年の福島県南部～茨城県沖では分布密度は低い水準で推移している。

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。

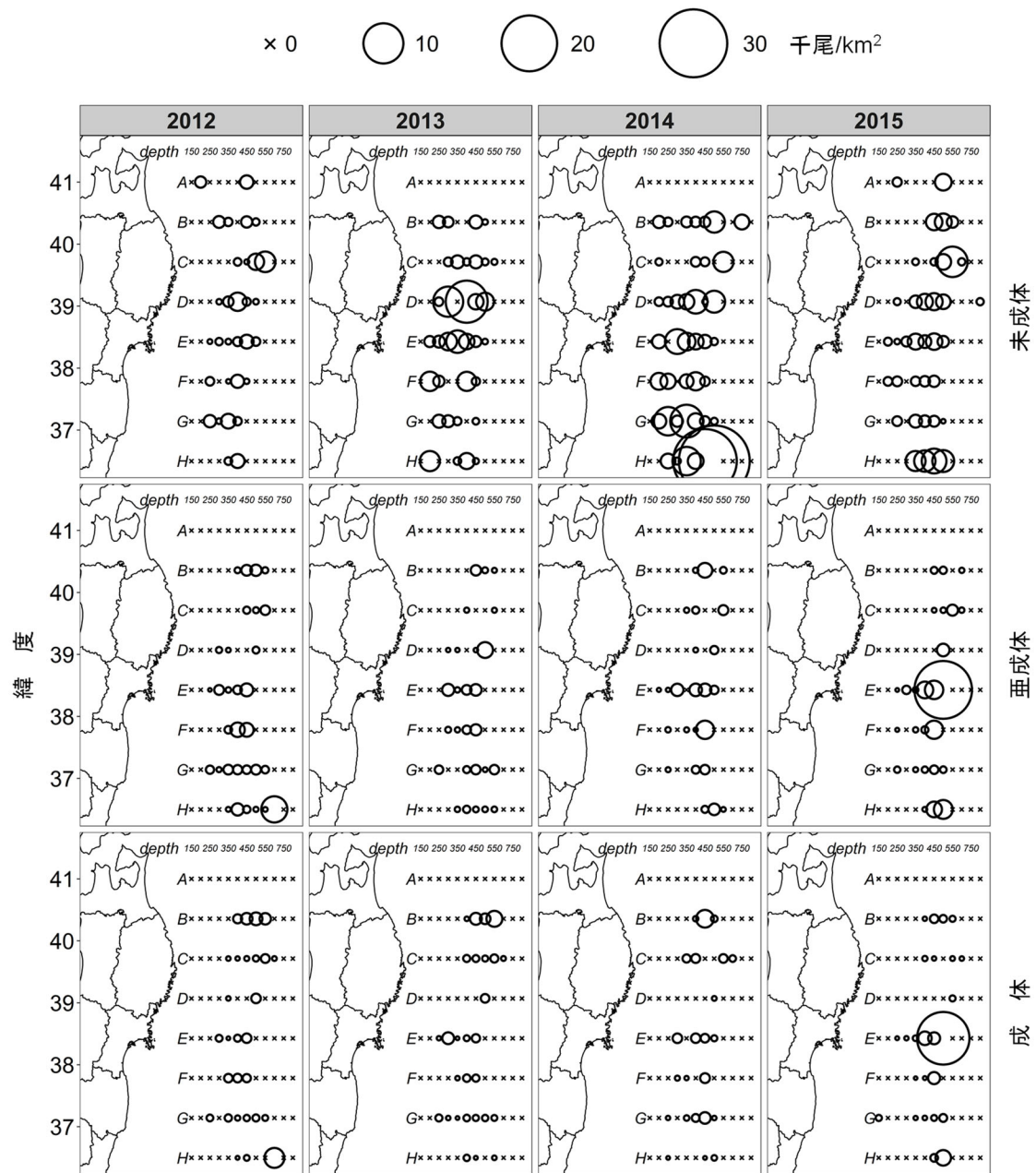


補足図 3-1. 2021 年の着底トロール調査点

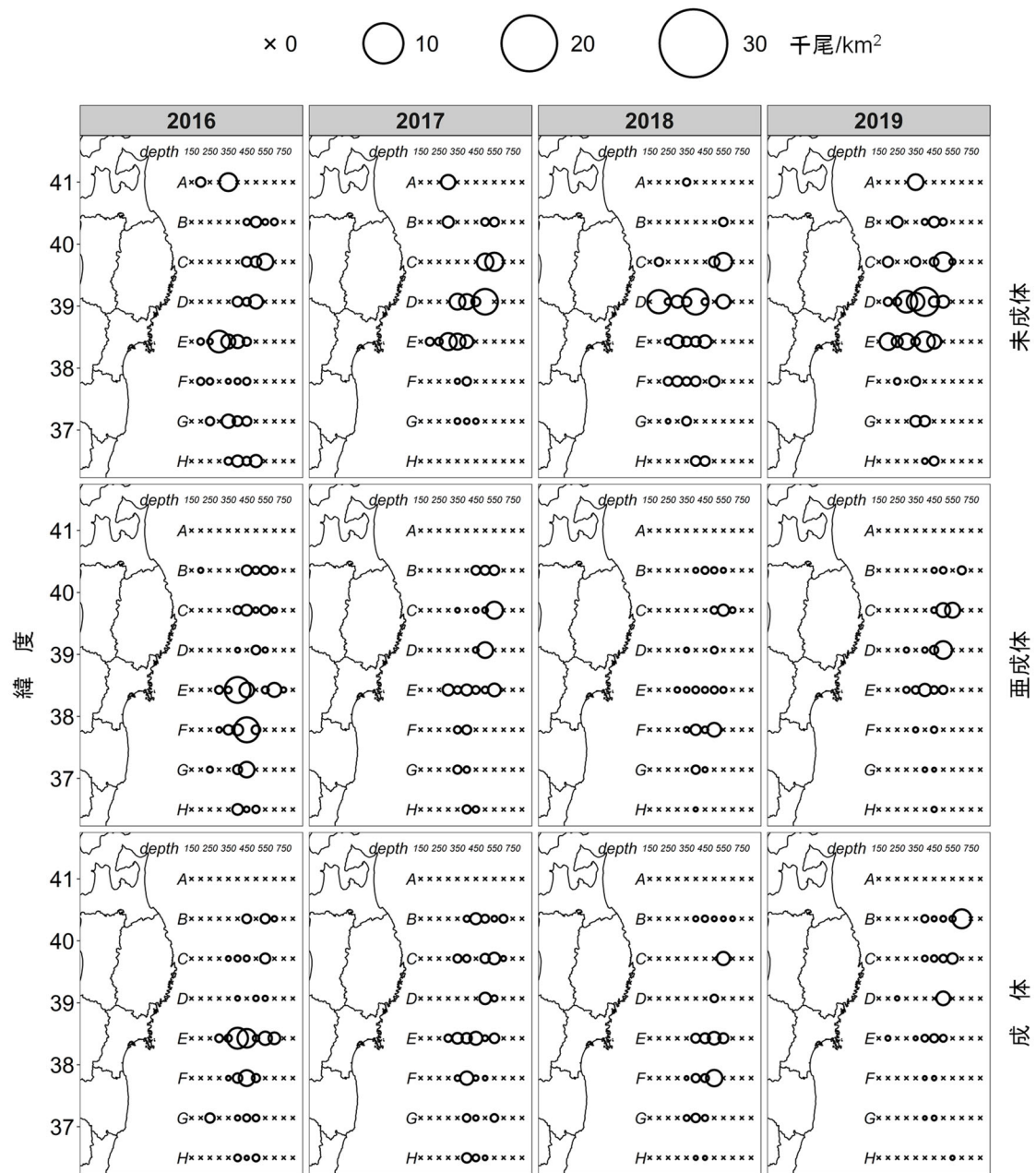




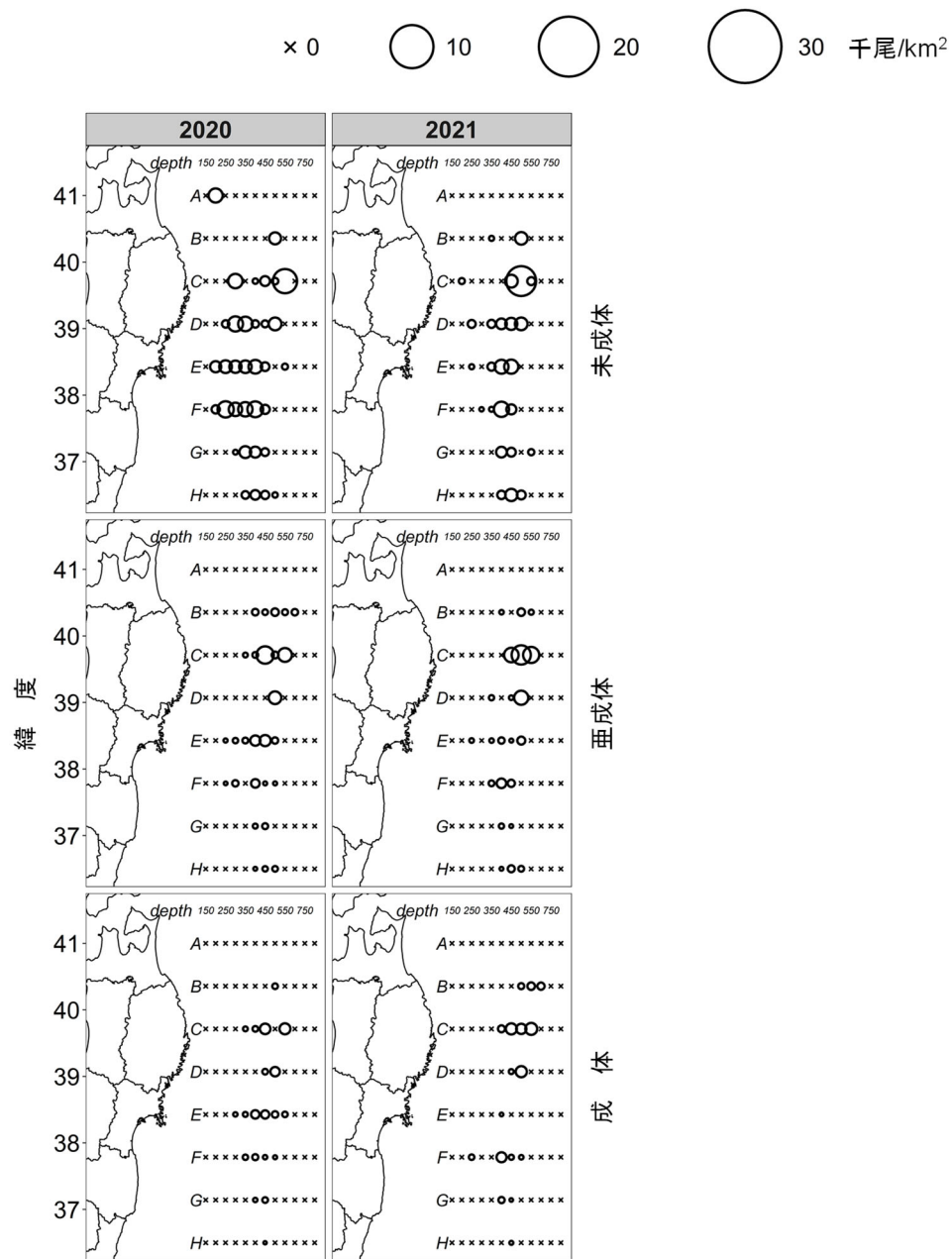
補足図 3-3. 2008～2011 年における雄の調査地点別の分布密度



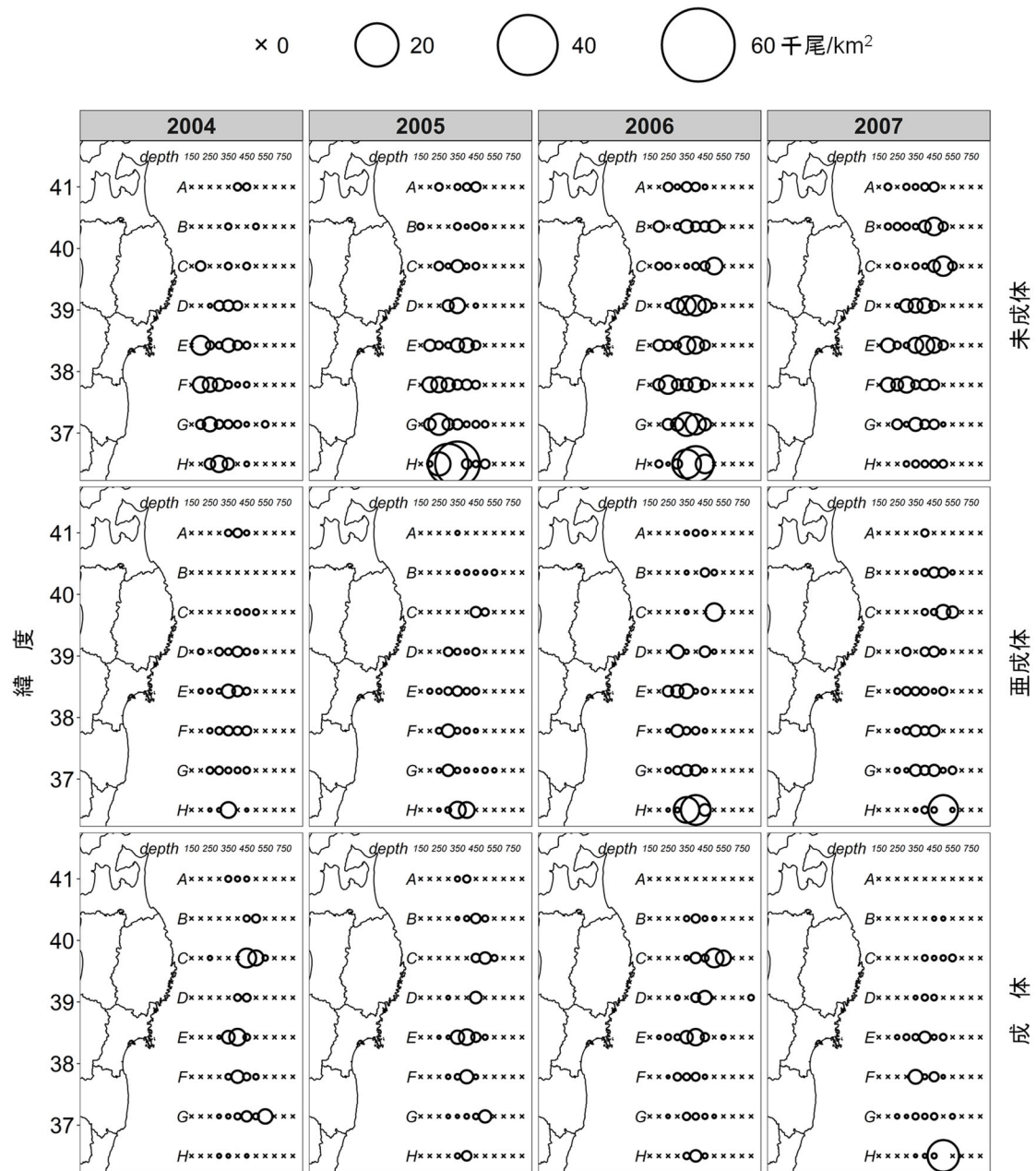
補足図 3-4. 2012～2015 年における雄の調査地点別の分布密度



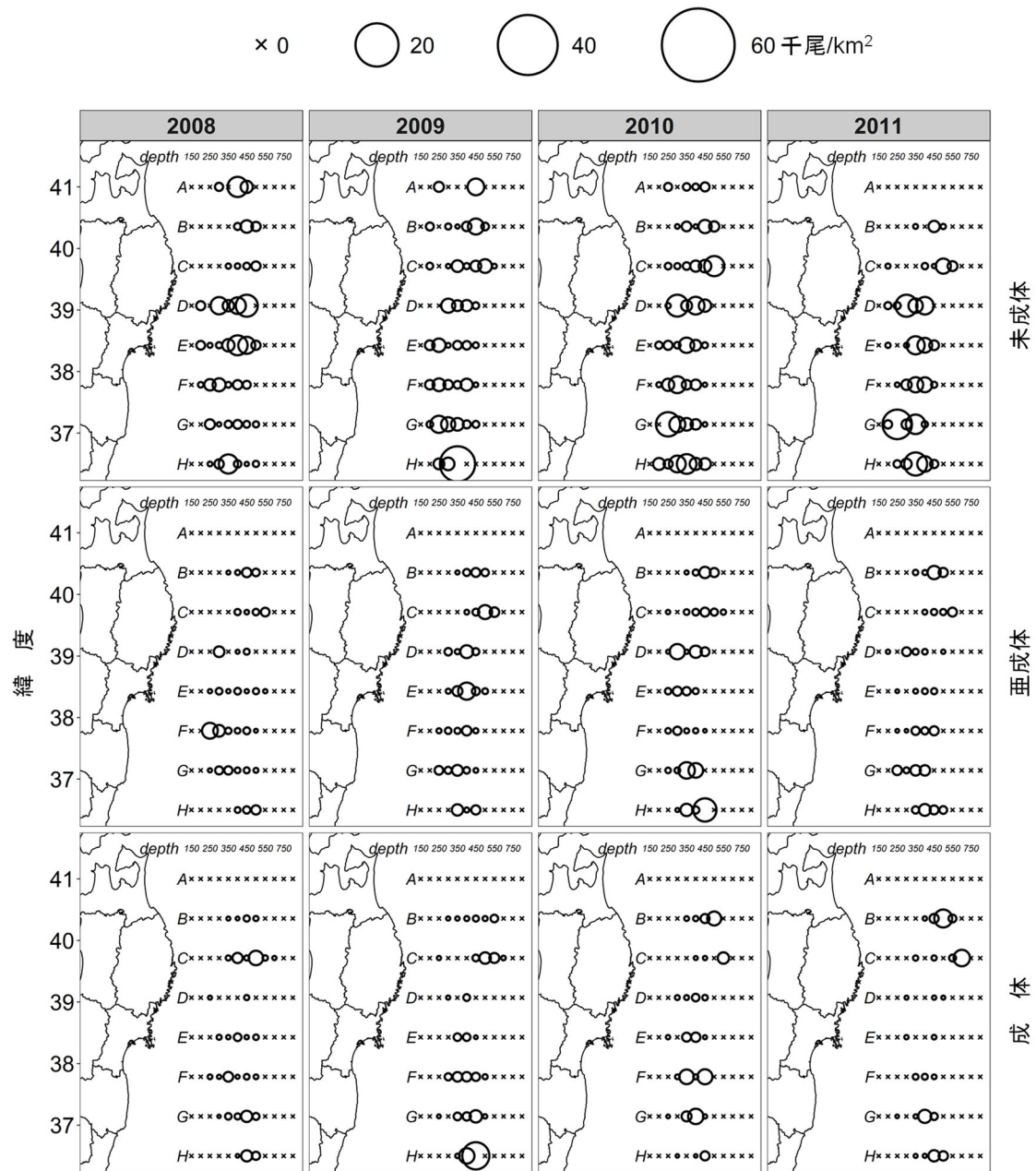
補足図 3-5. 2016～2019 年における雄の調査地点別の分布密度



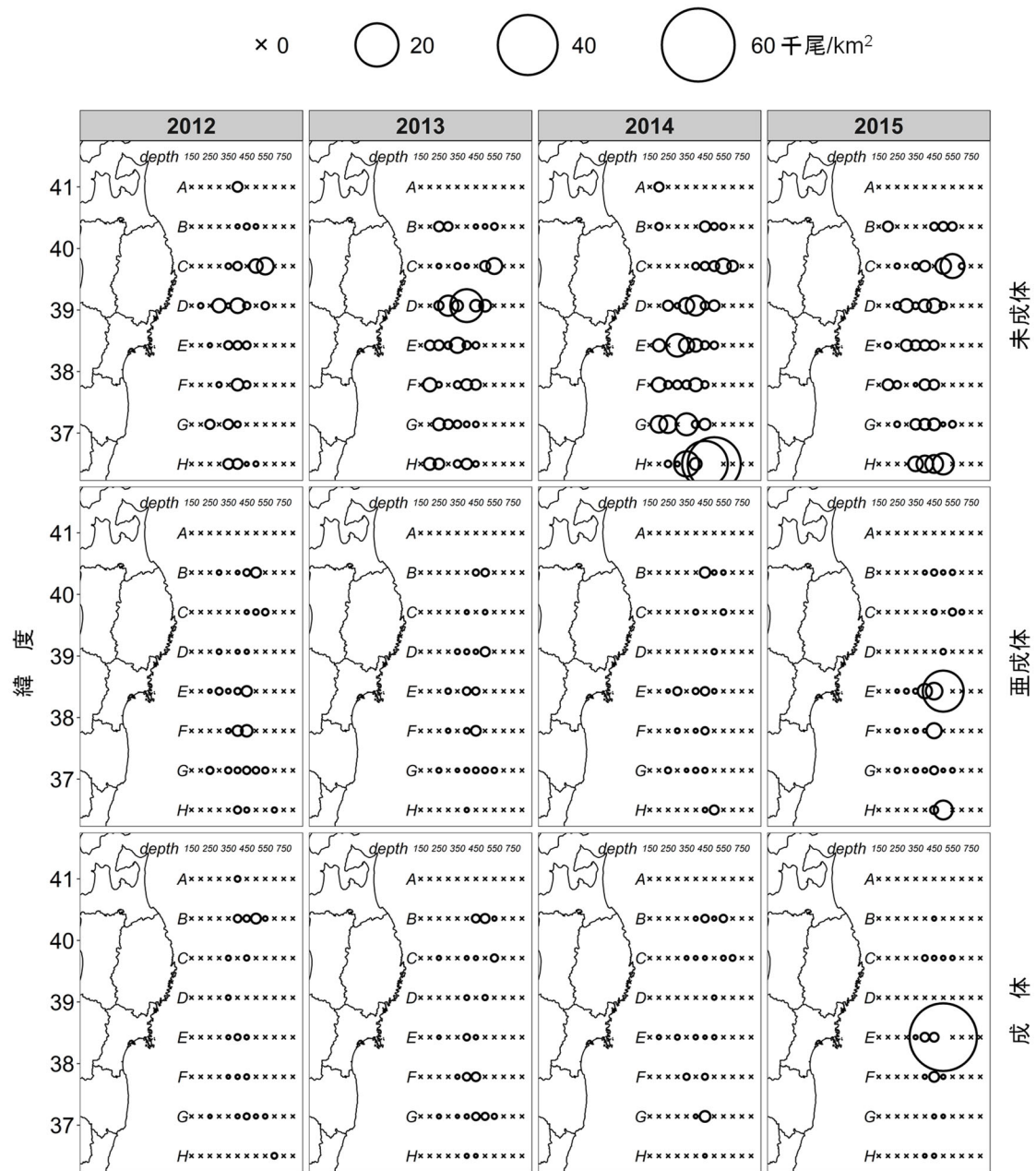
補足図 3-6. 2020～2021 年における雄の調査地点別の分布密度



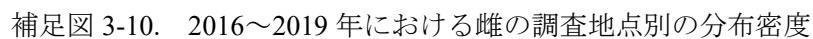
補足図 3-7. 2004～2007 年における雌の調査地点別の分布密度

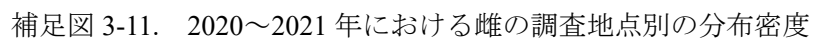


補足図 3-8. 2008～2011 年における雌の調査地点別の分布密度



補足図 3-9. 2012～2015 年における雌の調査地点別の分布密度



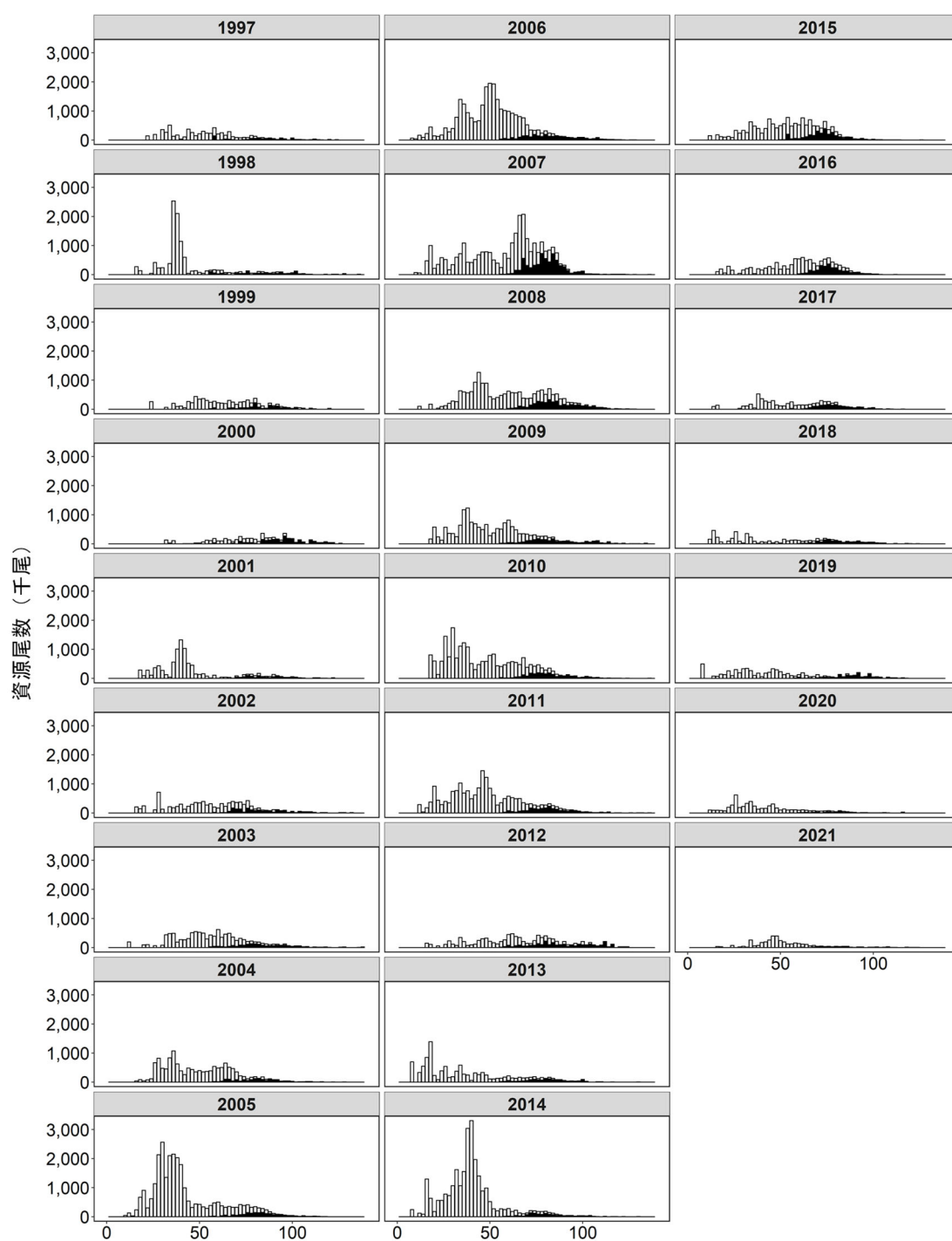


補足資料 4 着底トロール調査で得られた甲幅別現存尾数の推移

着底トロール調査で得られた現存尾数について、甲幅組成の推移を補足図 4-1 および補足図 4-2 に示した。雄の甲幅は 10～130 mm の範囲にあり、また甲幅 80 mm 以上の漁獲対象資源では大部分が最終脱皮後の個体であった。1998 年には甲幅 38 mm モードの個体が多かったが、その後、甲幅 30～70 mm 程度の漁獲対象外の現存尾数は減少した。2005 年には漁獲対象外の現存尾数が増加し、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。震災直後の 2011 年には、2012 年に漁獲対象資源となる予定の 10 齢期と 2013 年に漁獲対象資源となる予定の 9 齢期が比較的多く認められた。しかし、2013 年は震災の影響で漁獲が減少しているにもかかわらず、漁獲対象資源は減少した。

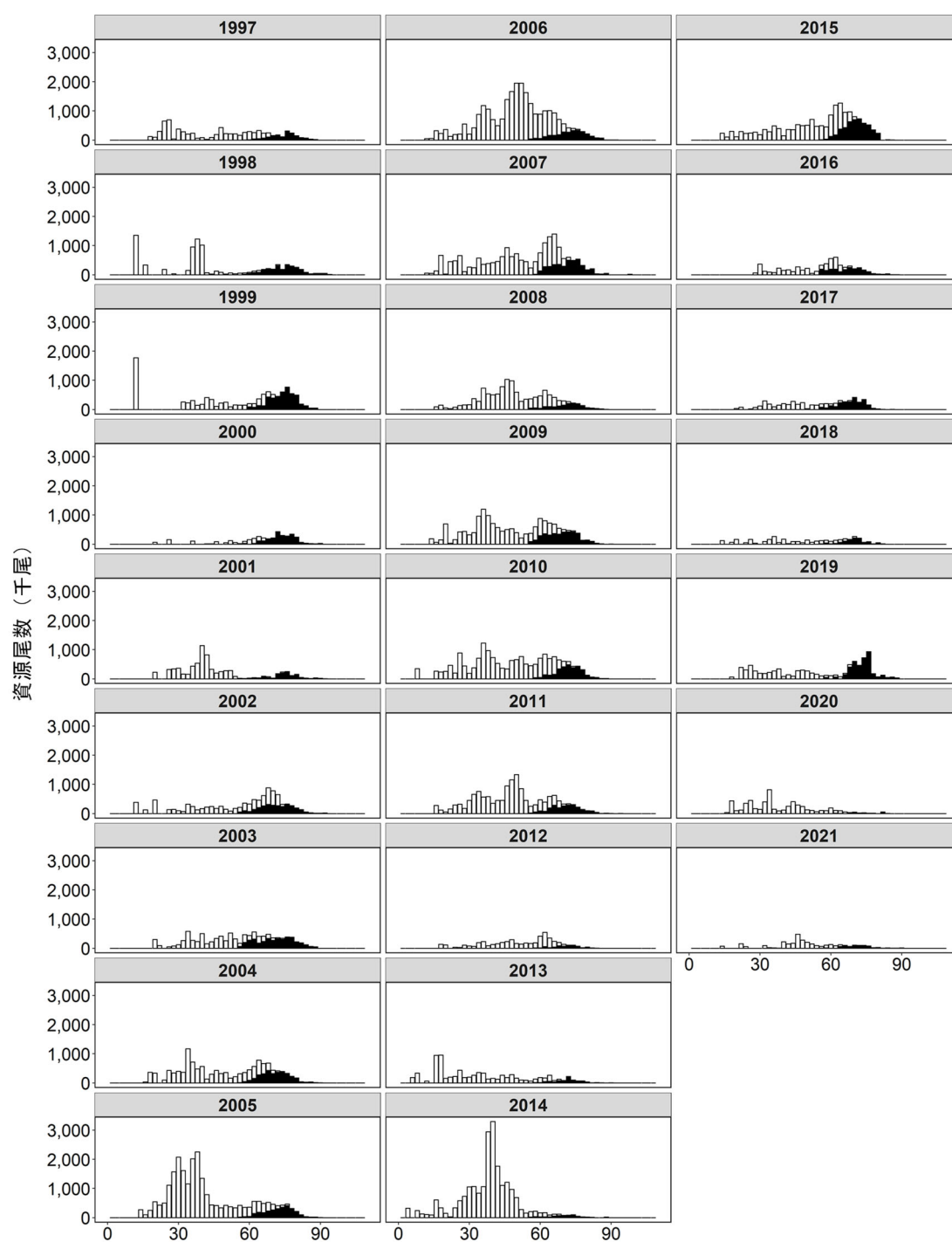
2012～2013 年の甲幅組成をみると、両年ともに甲幅 80 mm 未満の個体が少なかった。2012 年は甲幅 100 mm 以上の個体が多かったが、2013 年にはそれらの大型個体はみられなくなった。2014 年には甲幅 50 mm 以下の小型個体が増加し、2015～2016 年には成熟個体が増加した。2017 年は 100 mm 以上の個体が 2015～2016 年に比べて増加した。2018 年も 100 mm 以上の個体が昨年より増加したが、全体的には個体数が減少した。2019 年は、甲幅 90 mm 以上の成熟個体が増加したほか、甲幅 60 mm 以下の個体も 2018 年に比べて増加した。しかし、2020 年、2021 年は成熟個体が著しく少なく、また未成熟個体も少なかった。

雌では、甲幅 76 mm 以上の個体の大部分が成熟しており、漁獲対象資源となっている。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。しかし、2008 年の漁獲対象資源の尾数は 2007 年の半分程度にまで減少した。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、漁獲対象資源は 2015 年に増加したが、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 年には激減し、2021 年も同様に少なかった。



補足図 4-1. 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 4-2. 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 5 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、雄の齢期別漁獲尾数を推定した（補足表 5-1）。このとき、いくつかの年では甲幅組成が欠損していたため、1997～1998 年漁期は 1999 年漁期、2002 年漁期は 2001 年漁期と 2003 年漁期の平均値、2008～2010 年漁期は 2007 年漁期の甲幅組成を当てはめて齢期別漁獲尾数を推定した。2011 年漁期以降は、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 5-1. 雄の齢期別漁獲量（トン）

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
8齡期、最終脱皮前	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
9齡期、最終脱皮前	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
10齡期、最終脱皮前	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
10齡期、最終脱皮後	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
11齡期、最終脱皮前 (甲幅80 mm未満)	11.9	6.1	4.3	0.6	0.0	1.0	2.8	0.0	0.0	0.8	0.9	1.6	1.7
11齡期、最終脱皮後 (甲幅80 mm未満)	7.1	3.7	2.6	0.5	0.0	0.6	1.7	0.0	0.0	0.9	0.3	0.5	0.5
11齡期、最終脱皮前 (甲幅80 mm以上)	13.5	7.0	4.9	3.0	2.2	5.0	10.6	1.5	5.7	7.7	3.2	5.6	6.0
11齡期、最終脱皮後 (甲幅80 mm以上)	12.9	6.7	4.7	6.5	10.4	9.9	9.3	9.1	11.2	10.5	6.4	11.2	12.0
12齡期、最終脱皮前	10.5	5.4	3.8	1.9	5.1	11.6	24.5	1.7	9.8	9.0	6.7	11.9	12.6
12齡期、最終脱皮後	17.4	9.0	6.4	17.1	17.8	21.4	28.9	15.1	10.3	20.4	27.0	47.7	50.8
13齡期、最終脱皮前	9.7	5.0	3.5	0.3	1.0	1.7	2.9	0.4	1.7	4.6	2.0	3.5	3.7
13齡期、最終脱皮後	27.2	14.1	9.9	12.8	20.5	22.2	26.1	8.8	6.0	17.4	20.5	36.1	38.5
14齡期、最終脱皮後	37.4	19.4	13.7	0.9	4.4	6.8	11.4	7.2	8.6	6.2	8.8	15.5	16.5
合計	147.6	76.4	53.9	43.6	61.4	80.2	118.4	43.7	53.4	77.6	75.6	133.5	142.4

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
8齡期、最終脱皮前	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9齡期、最終脱皮前	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10齡期、最終脱皮前	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10齡期、最終脱皮後	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11齡期、最終脱皮前 (甲幅80 mm未満)	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11齡期、最終脱皮後 (甲幅80 mm未満)	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
11齡期、最終脱皮前 (甲幅80 mm以上)	3.8	0.0	0.1	0.1	0.0	0.8	2.2	0.7	0.0	0.0	0.9	0.6
11齡期、最終脱皮後 (甲幅80 mm以上)	7.7	0.1	0.1	0.3	0.1	1.2	2.8	2.5	0.2	0.4	0.9	1.2
12齡期、最終脱皮前	8.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	1.2	0.3	0.0	0.2	0.3	0.2
12齡期、最終脱皮後	32.5	0.1	0.2	0.3	0.1	1.5	2.8	3.2	0.4	1.7	1.2	1.8
13齡期、最終脱皮前	2.4	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	0.2
13齡期、最終脱皮後	24.6	0.0	0.2	0.2	0.1	0.5	0.7	1.7	0.4	1.3	0.5	2.1
14齡期、最終脱皮後	10.6	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.1	0.4	0.1	1.2
合計	91.0	0.3	1.3	1.1	0.3	4.5	9.7	8.6	1.2	4.2	4.5	7.3

補足資料 6 本系群の資源減少の原因に関する検討

本系群の資源量、親魚量は、震災以降、低い漁獲圧が続いているにもかかわらず減少傾向にある。しかし、現時点ではその原因を特定するに至っていない。

近年の生息環境の変化として、宮城～茨城県のすべての県で年間平均の底水温が上昇傾向にあり、また、11、12月に絞ってみると、宮城県、茨城県では底水温が7～8℃に達していた年があることが明らかとなった（Shibata et al. 2021）。Foyle et al.（1989）は、7℃以上の水温では、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ため、ズワイガニがその水温帯で生活することはエネルギー収支の観点から不可能と報告している。これをふまえ、Shibata et al.（2021）は、底層水温の上昇がMの上昇の一因である可能性を指摘している。

東北海域の底水温の推移を把握するため、宮城、福島、茨城の各県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、月別、水深帯別の底水温の推移を調べた。なお、データの解析はKakehi et al.（2021）に従い、比較的小型のズワイガニの生息水深帯である水深300～400 m帯と、大型個体が生息する水深400～500 m帯に分けて整理した。また、年平均に加え、分布南限である茨城県沖が最も高水温となる11、12月の平均的な底水温を抽出、整理した。その結果、底水温の年間平均は2004年以降上昇傾向を示し、最も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6-1）。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。茨城県沖の2021年の底水温は、水深300～400 m帯で7.3℃、水深400～500 m帯で5.3℃であった。底水温が2011年の震災以前から上昇傾向を示している点はMの動向と同様であるが、その挙動は完全には一致していない。底水温とMの関係については、引き続き検討が必要である。

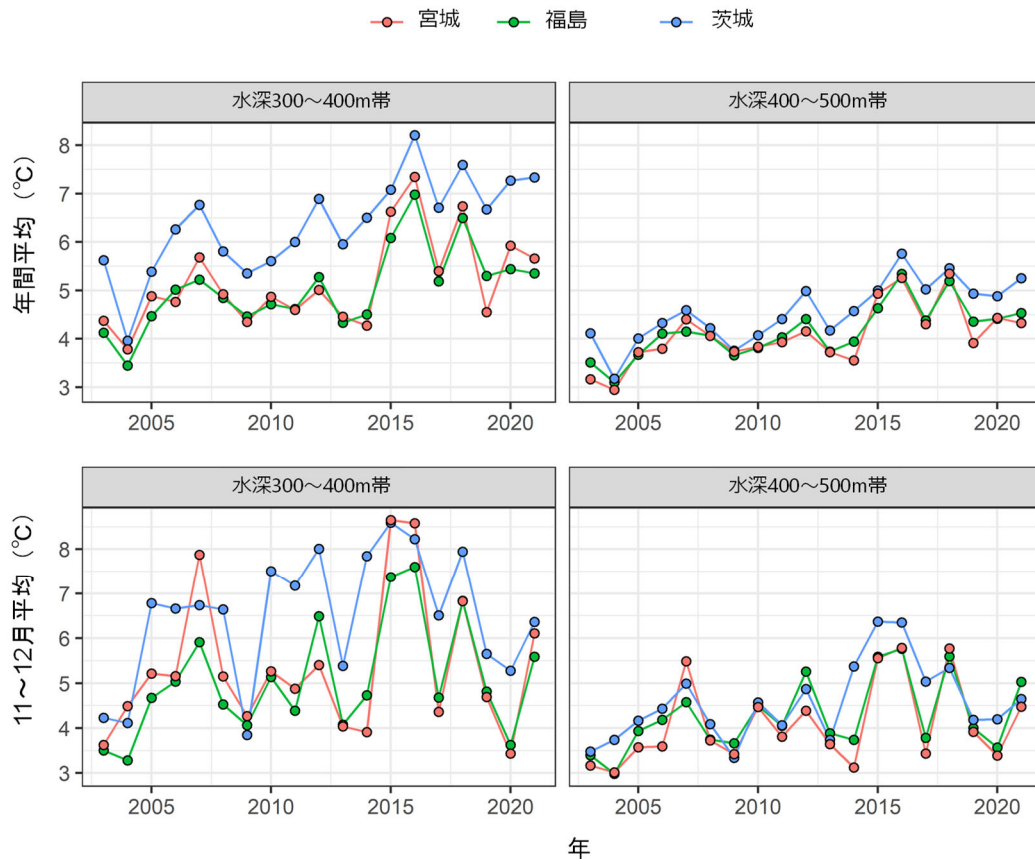
その他、資源減少の原因として、最終脱皮率の上昇や、底水温以外の生息環境、生態系のバランスの変化が考えられる。本系群ではJASAMによって最終脱皮率が推定されており、その結果、各齢期の最終脱皮率は長期的には上昇傾向にあると推定された（補足表6-1）。最終脱皮率の上昇によって資源が小型化すると、漁獲対象資源の減少につながることから、今後の動向を注視する必要がある。さらに、本系群を取り巻く環境の変化として、震災以降に東北海域のマダラ資源が急増した際、これによる捕食がズワイガニ資源に与える影響は小さくないことが指摘されている（伊藤ほか 2014）。しかし、依然として本系群の資源減少の原因は特定されてはならず、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.
- 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.
- 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.

清水勇吾・伊藤進一 (1996) 東北海区水温等値線図の新しい作成方法について. 東北水研研報 **58**, 105-117



補足図 6-1. 東北沿岸各県別の底水温 (2006～2019 年)

All は全県の平均 (黒)、MY は宮城県沖 (青)、FK は福島県沖 (緑)、IB は茨城県沖 (赤) を示す。

補足表 6-1. JASAM によって推定された最終脱皮率

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
9齢期	0.07	0.07	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.09	0.10	0.10	0.12	0.14	0.12
10齢期	0.16	0.17	0.24	0.27	0.25	0.26	0.27	0.20	0.23	0.23	0.26	0.30	0.27
11齢期	0.33	0.35	0.45	0.48	0.47	0.47	0.48	0.40	0.43	0.44	0.48	0.52	0.48
12齢期	0.56	0.58	0.68	0.71	0.69	0.70	0.71	0.63	0.66	0.67	0.70	0.74	0.71
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
9齢期	0.11	0.12	0.20	0.19	0.19	0.17	0.18	0.15	0.11	0.09	0.11	0.10	
10齢期	0.25	0.26	0.39	0.38	0.37	0.35	0.36	0.31	0.24	0.20	0.25	0.23	
11齢期	0.46	0.48	0.62	0.61	0.60	0.59	0.59	0.54	0.45	0.40	0.46	0.44	
12齢期	0.68	0.71	0.81	0.80	0.80	0.78	0.79	0.75	0.68	0.63	0.69	0.67	