新潟県佐渡島沿岸域におけるクロアワビの生息に関わる要因

Factors affecting the habitat of *Haliotis discus discus* on the coast of Sado Island, Niigata, Japan濱岡秀樹^{1), *}・池田大悟²⁾・石本綾子²⁾・伴田裕之¹⁾・佐藤智則²⁾¹⁾ 新潟県水産海洋研究所, 〒950-2171 新潟県新潟市西区五十嵐3の町13098-8²⁾ 新潟県水産課, 〒950-8570 新潟市中央区新光町4番地1Hideki HAMAOKA^{1), *}, Daigo IKEDA²⁾, Ryoko ISHIMOTO²⁾, Hiroyuki HANDA¹⁾ and Tomonori SATO²⁾¹⁾ Aquaculture Environment Division, Niigata Prefectural Fisheries and Marine Research Institute, 13098-8 Sannomachi, Ikarashi, Niigata 950-2171, Japan²⁾ Fishery Office, Niigata Prefectural Government, 4-1 Shinko-cho, Chuo-ku, Niigata 950-8570, Japan

Abstract: Between 2011 and 2017, we studied the effects of habitat characteristics on the abundance of the Japanese abalone (*Haliotis discus discus*) on the coast of Sado Island, Niigata, Japan. Subtidal areas (depth, 1–7 m) along the island were evaluated using quadrat surveys performed by scuba divers. The habitat characteristics (water depth, percent macroalgal cover, number of macroalgal species, and percent boulder cover) were recorded within each quadrat, along with the number and size of the abalones. Nonlinear models of the habitat characteristic data revealed differences in the habitat characteristics that affected the abundance of large (≥ 90 mm) and small (< 90 mm) abalones. The large abalones were more prevalent between 3 and 5 m, and their abundance increased as the macroalgal cover decreased. Alternatively, most small abalones inhabited areas covered up to 40% by macroalgae. These results suggest that Japanese abalones ontogenetically shift their habitat requirement and thereby contribute to the restoration of their habitats in coastal areas.

Key Words: habitat characteristics, Japanese abalone, macroalgal beds, nonlinear model, ontogenetic shift

はじめに

クロアワビ *Haliotis discus discus* は、メガイアワビ *H. gigantea* およびマダカアワビ *H. madaka* とともに暖流系アワビ類と呼ばれており、日本沿岸の暖流域に生息する大型アワビの1種である。暖流系アワビ類は古くから漁獲対象となっており、日本の沿岸域における重要な水産資源となっている。暖流系アワビ類の漁獲量は1970～1980年代には3000～3500トンの安定的な漁獲量を維持していたが、1990年以降は減少し続け、近年では低水準のままで推移している(小島 2005; 早川ら 2007)。そのため、減少したアワビ資源の回復や漁獲量の安定化を目的として人工種苗の放流や藻場造成などの方策が採られてきたが、いずれも十分な効果は上げられていない。

クロアワビ、メガイアワビおよびマダカアワビは広範囲にわたって同所的に分布する(猪野 1966)が、互いに重複しつつも生息水深の中心(猪野 1952; 小島 2005)や利

用する底質(野中ら 1969)、成長や成熟に適した海藻藻場(Kiyomoto et al. 2013)は種ごとに異なっている。そのため、アワビ資源の回復を目的とした種苗放流や藻場造成に関する手法を確立するためには種ごとに生息環境を把握する必要がある。

クロアワビは暖流系アワビ類の中で最も浅い海域に生息しており、漁業者が容易に漁獲できることに加え単価が高いため、暖流系アワビ類漁獲量の半分以上を占めている(青森県ら 1990)。そのため、資源管理を目的としてクロアワビの生態について多くの研究が行われてきた(例えば田中 1988; 小島 2005 など)。特に餌料は生残や成長、成熟に直接関係することから、様々な海藻種を用いた水槽実験(例えば土屋ら 1980; 藤井ら 1986)や野外個体の胃内容物調査(猪野 1952; Kiyomoto & Yamasaki 1999)が行われており、クロアワビの成長と食性の変化が対応していることが明らかとなっている。しかしながら、成長・食性の変化に伴い無節サンゴ藻帯から大型海藻群落への移動が明らかになっているエゾアワビ *Haliotis discus hannai* (高見ら 2012; Won et al. 2013)とは異なり、クロアワビではその生息域である暖流域には東北沿岸のような明瞭な植生の帯状構造がないため、植生と関連付けられる分布域の変化は報告されていない(清本・鬼塚 2018)。また、多くのクロア

Received 17 May 2018 Accepted 20 December 2018

* Corresponding author

E-mail: hideki.hamaoka@pref.niigata.lg.jp

ワビの研究は太平洋沿岸域で行われており、干満差が少なく海藻群落の種組成も異なる日本海沿岸では研究事例は少ない。そのため、日本海側におけるクロアワビの生息環境に対して植生がどのように影響しているかは不明瞭であり、調査データの蓄積と解析が望まれている。

本研究では、新潟県佐渡島沿岸において7年にわたって行われた枠取り調査から得られた生息個体数データと環境データを基に、一般化加法混合モデル (Generalized additive Mixed Model: GAMM) を用いて生息個体数に与える環境要因の影響を解析するとともにクロアワビの生息環境に植生がどのように影響しているかを考察した。

方 法

野外調査

野外調査は佐渡島の東浜地先および高千地先でスクーバ潜水を用いて2011～2017年に行った (Fig. 1)。調査は海底に方形枠を設置し、枠内のクロアワビの生息個体数、海藻被度、海藻種数、底質および水深を記録した (Table 1)。2011～2015年は1辺1 mの方形枠 (1 m 方形枠) を、2016年以降は1辺20 mの方形枠 (20 m 方形枠) を用いた。1 m 方形枠を用いた調査では、5つの方形枠を隣接するように並べ、5 m²の範囲内のすべての項目を調査した。20 m 方形枠を用いた調査では、海底に20 m クレモナロープ4本を正方形になるよう設置し、400 m²の範囲内のアワビ生息個体数の調査を行った。20 m 方形枠を用いた調査では調査枠が広大であるため、アワビ以外の調査項目については20 m 方形枠内に1辺5 mの方形枠を設置し、その中の海藻被度、海藻種数、底質および水深を記録することで代替値とした。採取されたクロアワビは船上で殻長を計測した後、採取海域に放流した。佐渡島沿岸域における海藻藻場は主にホンダワラ類で構成されているため (新潟県 2003)、海藻被度および海藻種数はホンダワラ類のみを

対象とした。底質は枠内の岩盤、転石、玉石および砂の割合 (岩盤率、転石率、玉石率および砂率) をそれぞれ記録した。底質の記録の際には、長径がおおむね30 cm以上の石を転石、それ未満の石を玉石として扱った。

統計解析

本研究では複数年にわたる調査結果を扱ったため、生息個体数は環境要因による空間的な影響 (空間的な生息環境の不均一性による生息個体の分布の偏り) と資源量変動による時間的な影響 (ある時間断面における全体的な生息個体数の多さ) を受けた値と考えられた。そのため、クロアワビの生息個体数と環境要因の関係を明らかにするためには、生息個体数から資源量の年変動の影響を取り除く必要がある。これまで資源量変動とそれ以外の要因の影響を分離する方法として GLM (generalized linear models: 一般化線形モデル) をはじめとする線形モデルが用いられてきたが、多項式の項を線形モデルで説明することは不十分であるという指摘 (Guisan et al. 2005) がある。そのため、近年では非線形の関係を柔軟に扱う手法として GAM (generalized additive models: 一般化加法モデル) や機械学習法、状態空間モデルを使った解析が試みられている (庄野 2004; Maunder & Punt 2004; 岡村・市野川 2016)。本研究では、クロアワビの生息個体数に影響を与える環境要因と資源量の年変動を分離するため、調査枠内の生息個体数を目的変数、海藻被度、海藻種数、底質、水深そして調査年を説明変数にした GAMM (generalized additive mixed models: 一般化加法混合モデル) を用いて解析を行った。本研究では、海藻被度、海藻種数、底質そして水深が生息個体数に与える効果を環境要因の影響、調査年が生息個体数に与える効果を資源量の変動とした。生息個体数は調査枠の大きさによって影響を受けることが予想されるため、調査枠の大きさを offset 項として扱った。生息個体数は0以上の整数であるため、誤差構造をポアソン分布、リンク関数を

Fig. 1. Map of the survey areas.

Table 1. Summary of the results of the survey conducted on the coast of Sado Island.

Year	Date	Site	Surveyed area for abalone (m ²)	n	Depth (m)	Macroalgal cover (%)	Macroalgal species number	Boulder cover (%)	Abalone number
2011	31-Aug	Takachi	5	6	3.1 to 7.4	16 to 80	2 to 6	0 to 48	0 to 2
2011	6-Oct	Takachi	5	6	2.9 to 7.4	32 to 76	2 to 5	0 to 70	0 to 2
2012	31-Aug	Takachi	5	6	1.0 to 5.0	5 to 70	3 to 7	0 to 24	0 to 3
2012	3-Dec	Takachi	5	6	1.0 to 5.0	20 to 76	3 to 8	0 to 52	0 to 2
2013	9-Sep	Higashi-hama	5	6	1.3 to 5.0	40 to 82	4 to 7	0 to 28	0 to 4
2013	30-Sep	Higashi-hama	5	6	1.0 to 5.2	57 to 78	4 to 8	0 to 24	0 to 4
2014	20-May	Higashi-hama	5	4	1.0 to 3.1	62 to 74	4 to 6	0 to 14	0 to 2
2014	6-Nov	Higashi-hama	5	4	1.0 to 3.5	68 to 82	5 to 10	0	1 to 4
2015	27-May	Higashi-hama	5	4	1.0 and 3.1	56 to 86	3 to 7	0 to 12	0 to 1
2015	7-Oct	Higashi-hama	5	4	1.0 and 3.0	64 to 90	4 to 7	0 to 16	0
2016	25-May	Higashi-hama	400	2	3	60 and 80	5 and 6	20 and 30	1 and 23
2016	9-Sep	Higashi-hama	400	2	3	70 and 80	4	20 and 30	6 and 9
2017	6-Jun	Higashi-hama	400	2	3.5 and 4.0	80	4	0 and 30	2 and 4

Note. For environmental variables (macroalgal cover, macroalgal species number, and boulder cover), bold values obtained with 25 m² quadrat were used instead of those obtained with 400 m² quadrat.

Fig. 2. Boxplot of the observed number of macroalgal species in two quadrats. No significant differences were observed between the quadrats (Brunner–Munzel test, p -value=0.46, 5 m²: n =52, 25 m²: n =6).

log とした。解析では佐渡島周辺のアワビ資源は単一の資源であると仮定し、地域ごとにそれぞれランダムなバラつきがあると仮定した。また、調査地（東浜と高千）と季節（調査月）で反復して調査が行われているため、これらを変量効果として扱った。説明変数のうち、底質についてはそれぞれの底質変数（岩盤率、転石率、玉石率および砂率）間で強い相関が認められ、多重共線性による解析結果への影響が考えられたため、転石率のみを解析に用いた。一般的に生物の種数は調査面積から大きな影響を受けることが指摘されており、異なる調査面積における種数を比較する場合、調査面積と種数の関係を明らかにする必要がある (MacArthur & Wilson 1967)。しかしながら、本調査海域では後述するように、調査枠の大きさにより海藻種数に

有意な差はなかったため (Fig. 2)、解析には調査枠内の海藻種数を用いた。新潟県では、新潟県漁業調整規則により殻長 9 cm 以下のアワビ類の採捕を禁止していることから、90 mm を境に生息個体数に与える漁獲の影響が異なることが予想される。そのため、本研究では 90 mm 未満のクロアワビを小型アワビ、90 mm 以上を大型アワビとして分けて扱い、解析を行った。

モデル選択では、すべての説明変数を含むモデルから全く含まないモデルまで様々な説明変数の組み合わせでモデルを作成し、それぞれのモデルについて評価指標を算出した。モデル評価指標には、赤池情報量基準 (Akaike Information Criteria: AIC) を用い、最も低い AIC 値を示したモデルを最適モデルとした。調査面積と種数の関係には Brunner–Munzel test を用い、危険率は 0.05 とした。統計解析には R 3.4.2 (R Development Core Team 2008)、加法モデルの構築には mgcv package の gam 関数を用いた。

結 果

調査の結果、殻長 20.0~146.4 mm のクロアワビが採集され、小型アワビ (90 mm 未満) では 70~90 mm に、大型アワビ (90 mm 以上) では 110~115 mm に最頻値が見られた (Fig. 3)。調査枠内の生息個体数は小型アワビで最少 0 個体、最大 8 個体、大型アワビで最少 0 個体、最大 15 個体であった。すべての採集された個体において、放流された人工種苗であることを示すグリーンマークは観察されなかった。すべての調査を通して調査海域には海藻群落が存在しており、ヤツマタモク *Sargassum patens* とマメタワラ *Sargassum piluliferum* が優占していた。海藻種数は 2~10 種が観察され、25 m² よりも 5 m² の調査区で多く観察されることがあったが (Table 1)、両区で観察された海藻種数には有意な差が見られなかった (Fig. 2, Brunner–

Fig. 3. Histogram of the shell length of Japanese abalone for different size classes.

Table 2. Summary of the best-performing models of abalone abundance for each size class. The best-performing models were selected using AIC.

Size class	Selected variables	n	Adjusted R-squared	Deviance explained
≥90 mm	depth, macroalgal cover, year	58	0.80	62.9%
<90 mm	macroalgal cover, year	58	0.80	77.1%

Munzel test: Brunner–Munzel test Statistic=0.754, df=14.73, p-value=0.46).

モデル選択の結果、大型アワビでは水深、海藻被度そして調査年が、小型アワビでは海藻被度と調査年を含むモデルが最適モデルとして選ばれた (Table 2)。最適モデルの自由度調整済み決定係数は大型アワビでも小型アワビでも 0.80 であった。最適モデルでは、大型アワビは水深 3～5 m で生息個体数が多く、海藻被度が低いほど多いことが示された (Fig. 4)。一方、小型アワビでは海藻被度が

40%前後で最も多いことが示された (Fig. 4)。どちらの最適モデルにも海藻種数や底質は含まれなかった。大型アワビの資源量は直線的に減少傾向であったが、小型アワビでは 2013～2014 年まで増加傾向で、その後は減少傾向であった。

考 察

最適モデルの自由度調整済み決定係数は大型アワビでも小型アワビでも 0.8 であった。この結果は、どちらのモデルもデータの変動の 80% を説明できていることを示している。そのため、両モデルは十分な説明力を持つモデルであると考えられた。

野外調査において、調査枠の大きさは重要な課題であり、観察者の結論にも大きな影響を及ぼす。異なるスケールで得られた結果は別のスケールでは当てはまらないことも多く、スケールの標準化をすることが重要視されている (ターナーら 2004)。本研究では、調査年によって異なる大きさの調査枠 (5 m² と 400 m²) を用いた。そのため、これら調査枠内の景観やクロアワビ生息数への影響は調査枠間で異なる可能性が考えられる。本調査ではこのようなスケールの違いを考慮した調査計画ではないため解析は行えなかった。クロアワビの生息環境と植生の関係をより詳細に理解するためには調査スケールを考慮した調査計画と解析が必要となるだろう。

佐渡島はエゾアワビの自然分布域ではないが (河村 2012)、多くのエゾアワビ稚貝の放流が行われてきた (例えば 2015 年: 91000 個体放流, 水産研究・教育機構 2017)。エゾアワビとクロアワビは形態的に近似しているため、本研究における採集個体が基本的な生態の異なるエゾアワビである可能性が考えられた。しかしながら、採集されたすべての個体について殻頂からグリーンマークが観察されなかったこと、本研究における採集者の目視による種判別と遺伝解析の結果が一致していること (佐藤 私信) から、採集個体は天然発生したと考えられるクロアワビと推察された。

佐渡島におけるクロアワビの殻長と年齢の関係は、3 歳貝で 60～80 mm、4 歳貝で 80～100 mm、5 歳貝で 100～115 mm とされる (新潟県 2005)。本調査で採取されたクロアワビの殻長における最頻値は小型アワビで 70～90 mm、大型アワビで 110～115 mm であったことから、調査範囲内に生息する小型アワビは 3～4 歳貝、大型アワビは 5 歳貝が主体と考えられた。また、クロアワビの 3 歳貝は 1 年後に漁獲対象のサイズまで成長するため、本調査の小型アワビの半数以上は 1 年後には漁獲サイズである大型クロアワビ資源に加入すると考えられた。資源量の変動に関して、小型アワビの資源量は 2013 年から 2014 年まで増加傾向であったが、大型アワビの資源量は直線的に減少していた (Fig. 4)。この結果は、大型アワビ資源への新規加

Fig. 4. Response shapes for the best-performing models of the observed number of Japanese abalones; (a) ≥ 90 mm and (b) < 90 mm. Dotted lines are approximately 95% point-wise confidence intervals. Y-axes represent the effects of the respective variables.

入が多い年もあったにもかかわらず、その資源量は減少していることを表しており、加入量よりも漁獲や自然死亡を含めた死亡量が多いことを意味している。また、一方で、小島（2005）によればクロアワビの親子関係には正の比例関係が認められており、親の資源量が多いほど次世代の漁獲量も多いことが示されている。本研究における小型アワビ資源の減少には大型アワビ資源量の減少が影響している可能性も考えられた。一般的に佐渡島でのアワビ漁は海面からカギ竿を用いた漁が主な漁法であり、潜水器具を用いた漁法に比べ比較的漁獲圧は低いと考えられる。また、漁業従事者の減少から、近年はアワビ漁に従事する採貝藻漁業者も減少しており、これらを考慮すると資源量の減少は漁獲死亡よりも自然死亡の影響の方が大きいと推察される。サイズ間での資源変動の違いは、おそらく環境変動による自然死亡量への影響がサイズ間で異なることが原因と考えられる。佐渡島におけるクロアワビ資源を持続的に活用するためには成長に対応した好適な環境の造成を進めることで、自然死亡量を軽減することが必要と考えられる。ただし、本研究では佐渡島周辺のアワビ資源を単一の資源として扱っており、調査地点間の資源量および資源変動は同一と仮定している。本調査では2つの海域を対象としており、両海域間には数十 km の距離があるため、資源変動や資源量が異なっている可能性もある。より正確な資源動態の把握や資源管理を行うためには佐渡島におけるアワビ資源の空間的な構造を明らかにする必要があると考えられる。

これまでの研究によって、クロアワビは水深 5 m 以浅に分布しており、殻長の小さい個体ほどより浅い海域に多く生息していることが報告されている（小島 2005）。本研究の結果においても大型アワビの生息個体数は水深 3～5 m において多いことが示され、過去の報告と一致していた。しかしながら、小型アワビの生息個体数については水

深の影響は見られなかった。この原因には2つの可能性が考えられた。一つは調査海域の海洋物理環境の違いである。小島（2005）の報告は干満差の大きな太平洋沿岸における研究であるが、本調査海域はほとんど干満差の無い日本海沿岸域である。このような潮位差の違いが小型アワビの分布に影響を与えたのかもしれない。もう一つの可能性は、本研究で対象とした小型アワビの殻長範囲がこれまでの報告で扱われているものよりも広いことが影響している可能性である。徳島県沿岸部での研究によると、0～1 歳貝の若齢個体（殻長 20 mm 前後）と成長の進んだ個体（殻長 45～50 mm）では生息する水深帯に違いが見られることが報告されている（小島 2005）。本研究において観察された小型アワビの殻長範囲はこれら異なる成長段階の個体を含んでいるため（Fig. 3）、水深の影響が不明瞭になったのであろう。日本海沿岸におけるクロアワビの初期生態を明らかにするためにも、今後は細かい殻長サイズクラスに分離したデータの蓄積と解析が必要になると考えられる。

クロアワビの分布と底質について、岩盤よりも転石や礫の多い場所に多く生息していることが報告されている（小島 2005; 茂木 2006）。しかしながら、本研究では大型アワビについても小型アワビについても、調査枠内の転石が占める割合は生息個体数の多さを説明する環境要因として最適モデルには含まれなかった。この結果は生息個体数の多さに与える転石割合の影響は小さいことを示している。一方で、クロアワビの付着場所を周年観察した小島（2005）はクロアワビが1年の多くを転石の下や間隙で過ごしていたことから、クロアワビの生息環境として岩石の隙間が重要であることを示した。同様に、井上（1972）も海底の形状が生息個体数の多さに影響していることを指摘している。岩盤よりも表面積の大きい転石が多いほど間隙は増加すると考えられるが、一方で岩盤や玉石にも多くの隙間が

存在する。そのため、本研究結果ではクロアワビの生息個体数に対する転石割合の影響が不明瞭になったのかもしれない。また、転石率が低い場所でも岩盤が多い場合と玉石・砂の多い場合が考えられる。このような場合にも転石率の影響は不明瞭になる可能性がある。今後、多重共線性を考慮したうえで岩盤や玉石も含めた底質の影響を評価する必要があるだろう。

クロアワビは満1歳で殻長20 mm程度に達し、分布域が拡大すると同時に大型藻類への依存度が高まる (Kiyomoto & Yamasaki 1999)。そして、70 mmに達するまでは生息環境に対応して大型藻類が利用できなければ非選択的に基質表在性生物を摂餌し (小島 2005)、アラメ *Eisenia bicyclis* やカジメ *Ecklonia cava* 等の大型藻類が利用できれば選択的に摂食する (野中・岩橋 1969)。70 mm以上の個体ではアラメを主体とした大型藻類を摂餌していることが明らかとなっている (小島 2005)。近縁種であるエゾアワビでは食性の変化に伴い、無節サンゴ藻群落から小型海藻群落を経てアラメなどの優占する大型海藻群落へ移動することが知られている (Sasaki & Shepherd 2001; 高見ら 2012)。そのため、クロアワビも同様に成長に伴う食性の変化に応じて、海藻被度の少ない環境から海藻被度の多い大型藻類群落へと移動すると推測される。本研究の結果においても、クロアワビの生息個体数は海藻被度の影響を受けていた (Fig. 4)。そして、大型アワビと小型アワビとでは生息個体数へ与える海藻被度の影響は異なっていた (Fig. 4)。この結果は成長に伴って利用する生息環境が異なることを示しており、エゾアワビに見られる成長に伴う移動と同じ意味を持つと考えられる。しかしながら、成長に伴う食性の変化を考慮すれば、小型アワビは海藻被度の少ない藻場外部、大型アワビは海藻被度の高い藻場内部に多く生息していると考えられるが、最適モデルは小型アワビは海藻被度40%前後で、大型アワビは海藻被度が低いほど生息個体数が増えることを示していた。この理由はクロアワビの摂餌法や捕食者の分布に起因しているのかもしれない。クロアワビにとってホンダワラ類を含む大型褐藻は重要な餌料であるが (土屋ら 1980)、直接に捕えて食べることは稀で主に流れ藻を利用すると推測されている (野中・岩崎 1969; 小島 2005)。そのため、構造物の多い藻場内部よりも空間的に開けた藻場縁辺部に分布することで効率的に流れ藻を利用していると考えられる。ただし、Kiyomoto & Yamasaki (1999) は季節的に消失するアカモク *Sargassum horneri* の分布がクロアワビの分布に影響していることを報告していることから、季節的に消長する海藻類の影響も考慮する必要があるかもしれない。一方で、クロアワビは流れ藻だけでなく小型の紅藻類なども摂餌することも知られている (例えば小島 2005)。そのため、紅藻類の分布がクロアワビの分布に影響している可能性も考えられるが、本調査海域ではホンダワラ類が優占しており、例えば藻場の外部であっても紅藻類を含む他の海藻の現存量は非常に少

ない (濱岡 未発表)。そのため、他の小型海藻が与える影響は低いと考えられる。また、アワビ類の分布に影響する要因は餌環境のみならず、捕食者の影響も大きい (小島 2005)。佐渡島沿岸域ではタコ類やヒトデ類などアワビの捕食者が分布しているが、代表的な捕食者であるヒトデ類の現存量は海藻被度と負の相関関係があることが認められている (濱岡 未発表)。そのため、より捕食されやすい小型個体は藻場内部に、捕食されにくい大型個体は藻場外部に分布しているのかもしれない。本研究では捕食者の影響を考慮しなかったが、今後の研究では検討していく必要があるだろう。

水生生物はその生活史段階によって様々な生息場所を利用する。そのため、対象生物の再生産効率を向上させるには各生活史段階における生息環境とその空間分布を明らかにする必要がある。本研究では、クロアワビの生息環境がサイズによって異なること、そして生息環境には植生が影響していることを明らかにした。これらの知見はクロアワビの生息環境の保全や造成、資源管理のための禁漁区の設定において有用であると考えられる。今後、海底地形の複雑さや捕食者の影響を考慮することでより詳細な生息環境を解明する必要はあるが、本結果がクロアワビ資源の回復を目的とした藻場造成や種苗放流の適地選択に活用されることが望まれる。

謝 辞: 本研究を進めるうえで、佐渡漁業組合両津支所の方々には調査の便宜と多大なご協力を賜った。また、エス・ワルド株式会社の正司正氏、および新潟県水産海洋研究所増殖環境課の緒方悠香主任研究員には多くの助言を賜った。編集委員および2人の査読者の方にも、重要かつ有益なコメントを賜った。ここに記してお礼申し上げる。本研究は新潟県資源管理協議会委託事業「資源管理体制高度化推進事業」によって行われた。

参考文献

- 青森県・岩手県・秋田県・神奈川県・福岡県 1990. アワビ種苗放流マニュアル。秋田県水産振興センター, 男鹿, 118 pp.
- 藤井明彦・小川七朗・四井敏雄 1986. クロアワビ稚貝に対する各種海藻の餌料効果。長崎県水産試験場研究報告, 12: 19-25.
- Guisan, A., T. C. Edwards, Jr. and T. Hastie 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, 157: 89-100.
- 早川淳・山川卓・青木一郎 2007. アワビ類およびサザエ資源の長期変動とその要因。水産海洋研究, 71: 96-105.
- 猪野峻 1952. 邦産アワビ属の増殖に関する生物学的研究。東海区水産研究所研究報告, 5: 1-102.
- 猪野峻 1966. アワビとその増養殖。水産増養殖叢書 11, 日本水産資源保護協会, 東京, 103 pp.
- 井上正昭 1972. アワビのすみつきと海底地形。水産増殖, 20: 147-160.
- 河村知彦 2012. アワビって巻貝。恒星社厚生閣, 東京, 115 pp.
- Kiyomoto, S. and M. Yamasaki 1999. Size dependent changes in habitat, distribution and food habit of juvenile disc abalone *Haliotis discus discus* on the coast of Nagasaki Prefecture, southwest Japan. *Bulletin of Tohoku National Fisheries Research Institute*, 62: 71-81.
- 清本節夫・鬼塚年弘 2018. II-1-2 暖流系アワビ類。山崎誠・鴨志

- 田正晃 (編), アワビ類の生態に基づく資源管理・増殖. 水産増養殖関係研究開発推進会議 養殖産業部会アワビ研究会 (監), 増養殖研究所, 南伊勢, pp. 46-53.
- Kiyomoto, S., M. Tagawa, Y. Nakamura, T. Horii, S. Watanabe, T. Tozawa, K. Yatsuya, T. Yoshimura and A. Tamaki 2013. Decrease of abalone resources with disappearance of macroalgal beds around the Ojika Islands, Nagasaki, southwestern Japan. *Journal of Shellfish Research*, 32: 51-58.
- 小島博 2005. クロアワビの資源管理に関する生態学的研究. 徳島県立農林水産総合技術センター 水産研究所研究報告, 3: 1-119.
- MacArthur, R. H. and E. O. Wilson 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, Princeton, 203 pp.
- Maunder, M. N. and A. E. Punt 2004. Standardizing catch and effort data: A review of recent approaches. *Fisheries Research*, 70: 141-159.
- 茂木省三 2006. 転石域と岩盤域におけるサザエ *Batillus cornutus* とクロアワビ *Haliotis discus discus* の生息密度と大きさの違い. 山形県水産試験場研究報告, 3: 75-76.
- 新潟県 2003. 平成 13 年度新潟県水産海洋研究所年報. 新潟県水産海洋研究所, 新潟, 196 pp.
- 新潟県 2005. クロアワビ. 神奈川県・新潟県・福井県・静岡県・山口県・福岡県・鹿児島県・沖縄県 平成 16 年度栽培漁業技術開発事業報告書 地先型定着性種 (暖海域) グループ. 新潟県水産海洋研究所, 新潟, 21 pp.
- 野中忠・岩崎義人 1969. 静岡県沿岸の磯根資源に関する研究 -IV; カジメ・アラメ群落内でのアワビの餌料. 静岡県水産試験場研究報告 2: 37-39.
- 野中忠・佐々木正・翠川忠康 1969. 静岡県沿岸の磯根資源に関する研究 -II; アワビの住み場. 静岡県水産試験場研究報告 2: 27-29.
- 岡村寛・市野川桃子 2016. 水産資源学における統計モデリング. *統計数理*, 64: 39-57.
- R Development Core Team 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>
- Sasaki, R. and S. A. Shepherd 2001. Ecology and post-settlement survival of the Ezo abalone, *Haliotis discus hannai*, on Miyagi Coasts, Japan. *Journal of Shellfish Research*, 20: 619-626.
- 庄野宏 2004. CPUE 標準化に用いられる統計学的アプローチに関する総説. *水産海洋研究*, 68: 106-120.
- 水産研究・教育機構 2017. 平成 27 年度栽培漁業・海面養殖用種苗の生産・入手・放流実績 (全国) ~資料編~. 横浜, 410 pp.
- 高見秀輝・元南一・河村知彦 2012. エゾアワビの成長に伴う棲み場の変化. *日本水産学会誌*, 78: 1213-1216.
- 田中邦三 1988. 千葉県安房地区におけるクロアワビの増殖に関する研究. 日本海区水産研究所研究報告, 38: 21-132.
- 土屋文人・小山茂生・吉田昭喜知・渡辺昭 1980. 粟島海域におけるアワビの食性と餌料海藻の状況について. 新潟県栽培漁業センター研究報告, 3: 89-95.
- ターナー M. G.・ガードナー R. H.・オニール R. V. 2004. 景観生態学. 文一総合出版, 東京, 399 pp.
- Won, N. I, T. Kawamura, H. Takami, H. Hirokawa, and Y. Watanabe 2013. Trophic structure in natural habitats of the abalone *Haliotis discus hannai* with distinct algal vegetation of kelp and coralline algae: implication of ontogenetic niche shifts. *Fisheries Sciences*, 79: 87-97.