

稚貝調査と出荷貝調査により明らかとなった噴火湾養殖ホタテガイへい死の実態

金森 誠¹, 夏池真史², 瀬戸啓介³, 白井睦実⁴, 河井 渉⁴, 吉田 聡⁵

¹北海道立総合研究機構, ²北海道立総合研究機構函館水産試験場,

³北海道宗谷総合振興局宗谷地区水産技術普及指導所礼文支所,

⁴北海道宗谷総合振興局宗谷地区水産技術普及指導所利尻支所,

⁵北海道渡島総合振興局渡島北部地区水産技術普及指導所

Long-term monitoring reveal mass mortality events of cultured scallops *Mizuhopecten yessoensis* in Funka Bay, Hokkaido

MAKOTO KANAMORI¹, MASAFUMI NATSUIKE², KEISUKE SETO³, ATSUSHI SHIRAI⁴, AYUMU KAWAI⁴ and SATOSHI YOSHIDA⁵

¹ Hokkaido Research Organization, *Sapporo, Hokkaido 060-0819*,

² Hakodate Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Hakodate, Hokkaido 040-0051*,

³ Rebun Branch Office, Soya Fisheries Technical Guidance Office, Soya General Subprefectural Office, Hokkaido Government, *Rebun, Hokkaido 097-1201*,

⁴ Rishiri Branch Office, Soya Fisheries Technical Guidance Office, Soya General Subprefectural Office, Hokkaido Government, *Rishiri, Hokkaido 097-0101*

⁵ North-Oshima Fisheries Technical Guidance Office, Oshima General Subprefectural Office, Hokkaido Government, *Mori, Hokkaido 049-2313, Japan*

We summarized the long-term monitoring data and the production records of cultured scallops in Funka Bay accumulated since the early 1990s to reveal the mass mortality events. Mortality and shell deformity rates of the scallops at the end of intermediate culture were correlated, and the average was 7.6% and 10.7%, respectively. Shell deformity was a more significant problem for the juvenile scallops, and that in the intermediate culture was a decline in the normality rate. The survival rate of scallops in harvest season can drop to below 20%. Therefore, the mass mortality events occurred after ear-hanging in Funka Bay. We observed that the normality rate of juvenile scallops was closely related to the survival rate of harvested scallops in the subsequent year. The survival rate of harvested scallops determined the production for that year. These results indicate that the mass mortality event of cultured scallops in Funka Bay had two continuous phases: 1) the decline of the normality rate in the intermediate culture period and 2) the subsequent high mortality rate in ear-hanged scallops. We conclude that maintaining the normality rate of juvenile scallops at an elevated level is the most critical factor for stabilizing scallop production in this area.

キーワード：出荷貝調査, 成育不良, 稚貝調査, 噴火湾, へい死, ホタテガイ, 養殖

北海道噴火湾では1970年頃からホタテガイの垂下養殖が盛んとなり、90年代以降は年間10万トン、金額で170億円（1991～2015年平均）を水揚げする基幹産業となって

いる（数値は鹿部町～室蘭市の合計値、北海道水産林務部）。2015年以降、ホタテガイの死亡率が上昇する「へい死」と呼ばれる問題が頻繁に起きている。その結果、年

Month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Cohort n	H											
Cohort n+1	IC	EH			CH						H	
Cohort n+2					SC			B		IC		

Fig. 1 Typical process of scallop aquaculture in Funka Bay, Hokkaido. SC: Spat collection, B: Bunsan (size selection and adjusting density), IC: Intermediate culture, EH: Ear-hanging, CH: Culture for harvest, H: Harvest. Hatchings indicate the period when surveys for cultured scallops were conducted.

間生産量は2017年に3万5千トン、2019年に2万9千トンまで落ち込み（同上、北海道水産林務部）、漁家経営および関連産業は大きな打撃を受けた。北海道では2019年に噴火湾養殖ホタテガイへい死対策会議を設置し、へい死要因の解明および生産者への支援に取り組んでいる。

噴火湾のホタテガイ養殖では、春に採苗器を投入し、夏に採苗器に付着した天然種苗を採取する。種苗は養殖籠で翌春まで中間育成された後、耳吊りと呼ばれる方法で本養成が行われ、耳吊りを行った年の冬から翌年の春を中心に出荷される工程が主流となっている（「北海道の漁業図鑑」北海道水産業改良普及職員協議会(Web):<https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/o7u1kr000000ceyo.html>, (2022年1月29日)。従って、ほぼ年間を通して、2世代が養殖されていることになる（Fig.1）。

噴火湾の養殖ホタテガイの「へい死」の問題については、1977～1980年の夏～冬にかけて採苗翌年の1年貝（現在の本養成貝に相当）で生じたことが記録されている（中川ら, 1981；中川・吾妻, 1982；川真田, 1982, 1983）。一方、1990年代以降のへい死の記録は本養成貝ではなく、中間育成期間中の稚貝で生じる死亡率や外部異常貝率の増加に関するものがほとんどである（伊藤, 1995；奥村・吉村, 2005；奥村ら, 2007；馬場, 2011；金森, 2018）。有馬・吾妻（1986）は、噴火湾で養殖試験を実施し、春の稚貝の外部異常率やその症状の程度が越夏後の1年貝の生残率に大きな影響を与えるとし、種苗性を評価する上での指標となることを指摘している。また、馬場（2011）は噴火湾の養殖ホタテガイのへい死について、「稚貝で生残低下・変形貝の増加が起き、耳吊り貝の減少・耳吊り後の生残低下が生じ、問題が生じた年の2年後の生産量が著しく減少する現象」と考えている。実際に、函館水産試験場が噴火湾で実施している耳吊り貝の成長モニタリングにおいて、稚貝の死亡率や外部異常貝率が高かった年の翌年の耳吊り貝の生残率は例年よりも低いことが示されている（金森・馬場, 2012）。最近では、虻田地区において2017～2019年に耳吊り時期と耳吊り貝の成長・生

残率を検証した試験においても同様の傾向が指摘されている（夏池ら, 2022）。従って、噴火湾の養殖ホタテガイのへい死と呼ばれる現象は「中間育成時（稚貝）の生残低下および外部異常貝の増加」とその後生じる「本養成時（耳吊り貝）の生残低下」を経て、生産量の大きな減少をもたらす問題と考えられる。すなわち、これまでの噴火湾におけるへい死に対する諸研究は、前者の問題を扱った1990年代以降のへい死の記録（伊藤, 1995；奥村・吉村, 2005；奥村ら, 2007；馬場, 2011；金森, 2018）、後者の問題を扱った1977年～1980年のへい死の記録（中川ら, 1981；中川・吾妻, 1982；川真田, 1982, 1983）、両者の関連を指摘した研究（有馬・吾妻, 1986；馬場, 2011；金森・馬場, 2012；夏池ら, 2022）に整理される。しかし、これまでこれらの2つの問題の関係を定量的に評価した例は、有馬・吾妻（1986）の1979～1981年の養殖試験のみであり、生産現場における検証は不十分である。生産現場では、毎年稚貝調査と出荷貝調査が行われ、長期モニタリングデータとして蓄積されている。それぞれの調査の目的は稚貝のできを評価すること、水揚げ歩留まりを推定することであり、漁業経営情報として活用されている。他方、それぞれの調査結果の関係解析は行われていない。

本研究の目的は、これまでの試験研究によって整理された噴火湾における養殖ホタテガイのへい死と呼ばれる現象が漁業実態に適合しているかどうかを稚貝調査、出荷貝調査および生産量の長期データを用いて検証することである。

試料及び方法

稚貝調査データ 稚貝調査データは、渡島北部地区水産技術普及指導所が管内の漁業協同組合とともに、1993年から実施している結果を用いた。調査は各年の2～3月に長万部地区、八雲地区、落部地区、森地区、および砂原地区の5地区で実施されている。本分散後の稚貝は1連10

～15籠程度のザブトン籠もしくは1連10段～20段の丸籠で育てられている。調査では各地区の複数の漁家を対象として、1連の上層、中層および下層からザブトン籠1籠もしくは丸籠1段の稚貝を採取し、正常生貝数、外部異常生貝数および死貝数が調べられている。養殖ホタテガイにおいては、貝殻の変形や欠損（欠刻）を持つ異常貝が出現することがある（Fig.2）。これらの異常貝は、生産現場において大量死が問題となるときに同時に見られることが知られている（森ら，1974；山形ら，1977；長内，1981；中川ら，1981）。そのため稚貝調査においては、貝殻の外観に異常のある生貝を外部異常生貝として正常生貝と区別して計数している。1993年～2021年までの各地区の平均調査漁家数は、長万部地区が5.0漁家、八雲地区が7.0漁家、落部地区が6.2漁家、森地区が17.1漁家、砂原地区が4.5漁家であった。データは、地区別の正常貝率（正常生貝数/調査個体数）、外部異常貝率（外部異常生貝数/調査個体数）および死貝率（死貝数/調査個体数）の平均値として整理されており、地区別の生残率は正常貝率と外部異常貝率の和として計算される（1 - 死貝率と同値）。今回は5地区の数値をさらに平均することで、その年の稚貝の正常貝率、外部異常貝率、死貝率、および生残率の代表値とした。なお、2011年の八雲地区および落部地区は2011年3月の東北地方太平洋沖地震による津波被災のため欠測となっており、この年は3地区の数値の平均とした。死亡と外部異常の発生の関連性を検証するため、各年の死貝率と外部異常貝率の相関分析を行った。検定はスピアマン順位相関検定を用い、フリーソフトウェア R (version 4.1.2) の `cor.test` 関数を使用した (R Core Team: URL <https://www.R-project.org/>. 2022.1.10ダウンロード)。

出荷貝調査データ 出荷貝調査データは、渡島北部地区

水産技術普及指導所が管内の漁業協同組合とともに1993年から実施している結果を用いた。調査は稚貝調査と同様に各年の2～3月に長万部地区、八雲地区、落部地区、森地区および砂原地区の5地区で実施されている。調査は各地区の複数の漁家を対象として、耳吊り貝1連の生貝数、死貝数を調べている。1993～2021年までの各地区の平均調査漁家数は、長万部地区が4.4漁家、八雲地区が7.0漁家、落部地区が6.3漁家、森地区が13.1漁家、砂原地区が3.9漁家であった。データは、各地区の生残率の平均値として整理されていたことから、稚貝調査結果と同様に、5地区の数値を平均することで、その年の出荷貝の生残率の代表値とした。なお、2017年の長万部地区は欠測となっており、この年は4地区の数値の平均とした。

生産量 北海道におけるホタテガイの生産量は、1～12月の暦年単位で北海道水産現勢として北海道水産林務部がとりまとめている。渡島海域では、春に耳吊りされたホタテガイは、主に12月頃から2年貝（年齢は1+齢）として出荷され、ピークは耳吊り翌年の3～4月となる。一方、春の耳吊り（3～5月）が終わってから3年貝として出荷される貝もあり、その場合、貝毒規制が度々かかる夏季およびオホーツク海の水揚げ時期（4～12月）との重複を避け (Imai *et al.*, 2014)、耳吊り翌年の12月～翌々年の1月の出荷が多くなる。また、4～6月には耳吊りに用いなかった稚貝も出荷される。そのため、暦年単位の漁獲統計データは、前年耳吊り貝の水揚げだけでなく、1月を中心に前々年の耳吊り貝（3年貝）、4～6月を中心に当年耳吊りに用いられなかった稚貝および12月を中心に当年耳吊り貝の生産量が含まれている。そこで稚貝調査及び出荷貝調査データの対象となっている5地区について渡島北部地区水産技術普及指導所に残されていた1996～2019年の銘柄別の水揚げデータを予備調査として分析した。銘

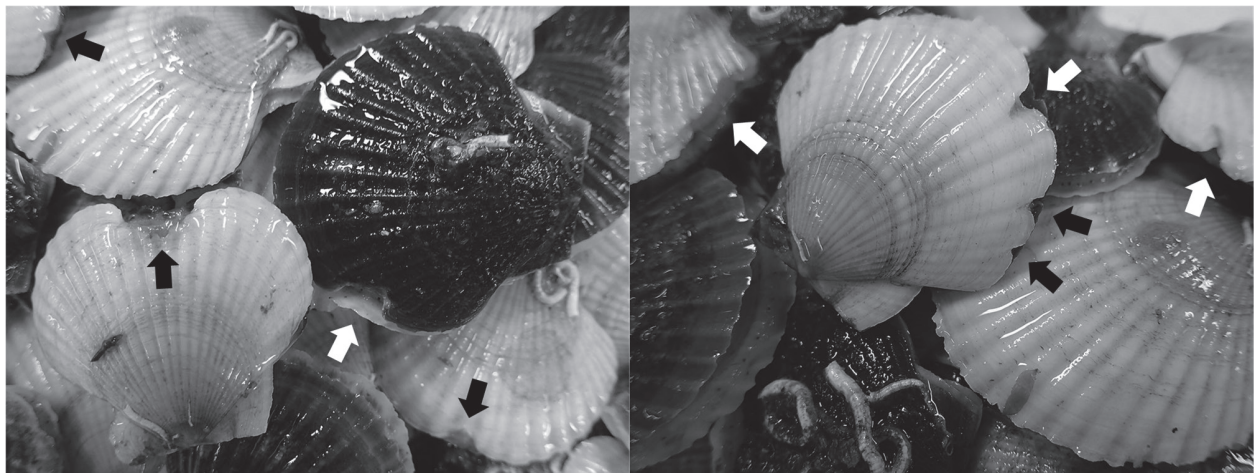


Fig.2 Intermediate cultured scallops with a high deformity rate from Funka Bay. Arrows indicate shell deformity. The images were captured on March 14, 2021, by MK.

柄の切り替え時期に不明瞭な点があり、前年耳吊り貝の水揚げを完全に区別することはできなかったが、確実に前年耳吊り貝の水揚げと考えられる1~5月の「2年貝」と6~12月の「3年貝」の年間生産量に占める割合は $82.6 \pm 10.2\%$ (平均値 \pm 標準偏差)であった(金森, 未発表)。噴火湾では、平均的な年であれば、暦年の年間生産量の8割以上が前年耳吊り貝の生産となることが確認できたことから、本分析においては、暦年の生産量のデータを前年耳吊り貝の生産量を示すデータとして扱うこととした。データ集計の対象地区は、長期モニタリングデータの対象となっている5地区に対応する長万部町, 八雲町 (旧熊石町を除く), 森町 (旧砂原町を含む) とし、その合計値を生産量とした。

稚貝調査, 出荷貝調査および生産量の関係 稚貝調査と出荷貝調査のデータを確認すると、1992年生まれの稚貝を対象として1993年に稚貝調査が行われ、その世代が耳吊りされ、1年後の1994年の出荷貝調査の対象となっていることが分かる (Table 1)。従って、1993年の出荷貝調査の対象となった1991年生まれの稚貝に関しては、対応する稚貝調査のデータはないことになる。また、2021年の稚貝調査の対象となった2020年生まれの稚貝に関しては、対応する出荷貝調査はデータが含まれていないことになる。従って、世代として対応するデータは、「1993年の稚貝調査-1994年の出荷貝調査」~「2020年の稚貝調査-2021年の出荷貝調査」の28セットとなる。稚貝と出荷貝の関係は、このデータセット (N = 28) を用いて検討した。分析は、稚貝の生残率および正常貝率のいずれかを説明変数、出荷貝の生残率を応答変数として、線形モデルによる回帰分析を行った。

次に、稚貝調査, 出荷貝調査と生産量の関係を確認する。1992年生まれ世代を対象として行われた1993年の稚貝調査と対応する生産量は1994年であることが分かる、(Table 1)。従って、稚貝調査の世代に対応する生産量は、「1993年の稚貝調査-1994年の生産量」~「2019年の稚貝調査-2020年の生産量」の27セットとなる。稚貝調査と生産量の関係はこのデータセット (N = 27) を用いて検討した。分析は、稚貝の生残率および正常貝率のいずれかを説明変数、その世代の生産量を応答変数として、線形モデルによる回帰分析を行った。1991年生まれ世代を対象として行われた1993年の出荷貝調査と対応する生産量は1993年である (Table 1)。従って、出荷貝調査の世代に対応するデータは、「1993年の出荷貝調査-1993年の生産量」~「2020年の出荷貝調査-2020年の生産量」の28セットとなる。出荷貝調査と生産量の関係はこのデータセット (N = 28) を用いて検討した。分析は、出荷貝の生残率を説明変数、生産量を応答変数として、線形モデルによる回帰分析を行った。全ての線形モデルによる回帰分析はフリーソフトウェア R (version 4.1.2) のlm関数を用いた。また、稚貝の生残率もしくは正常貝率を説明変数とした線型モデルに関しては、両者の説明変数としての有用性を考察するため、同ソフトウェアのAIC関数を用い、赤池情報量規準 (AIC) を計算した。

結果

稚貝の生残率, 正常貝率および外部異常貝率 1993~2021年の稚貝の生残率の平均値は92.4%, 最高値は99.1% (2000年), 最低値は73.5% (2016年) であった (Fig. 3A)。

Table 1 Long-term monitoring data set used for this study.

Cohort	Year of birth	Year of juvenile scallops survey	Year of harvested scallops survey	Year of production	Analysis 1	Analysis 2	Analysis 3
1	1991	No Data	1993	1993	-	-	○
2	1992	1993	1994	1994	○	○	○
3	1993	1994	1995	1995	○	○	○
4	1994	1995	1996	1996	○	○	○
.
.
.
27	2017	2018	2019	2019	○	○	○
28	2018	2019	2020	2020	○	○	○
29	2019	2020	2021	No Data	○	-	-
30	2020	2021	No Data	No Data	-	-	-

Analysis 1: Relationship between the juvenile scallops and the harvested scallops, Analysis 2: Relationship between the juvenile scallops and the scallop production, Analysis 3: Relationship between the harvested scallop and the scallop production. Circles indicate the cohort used for the analysis.

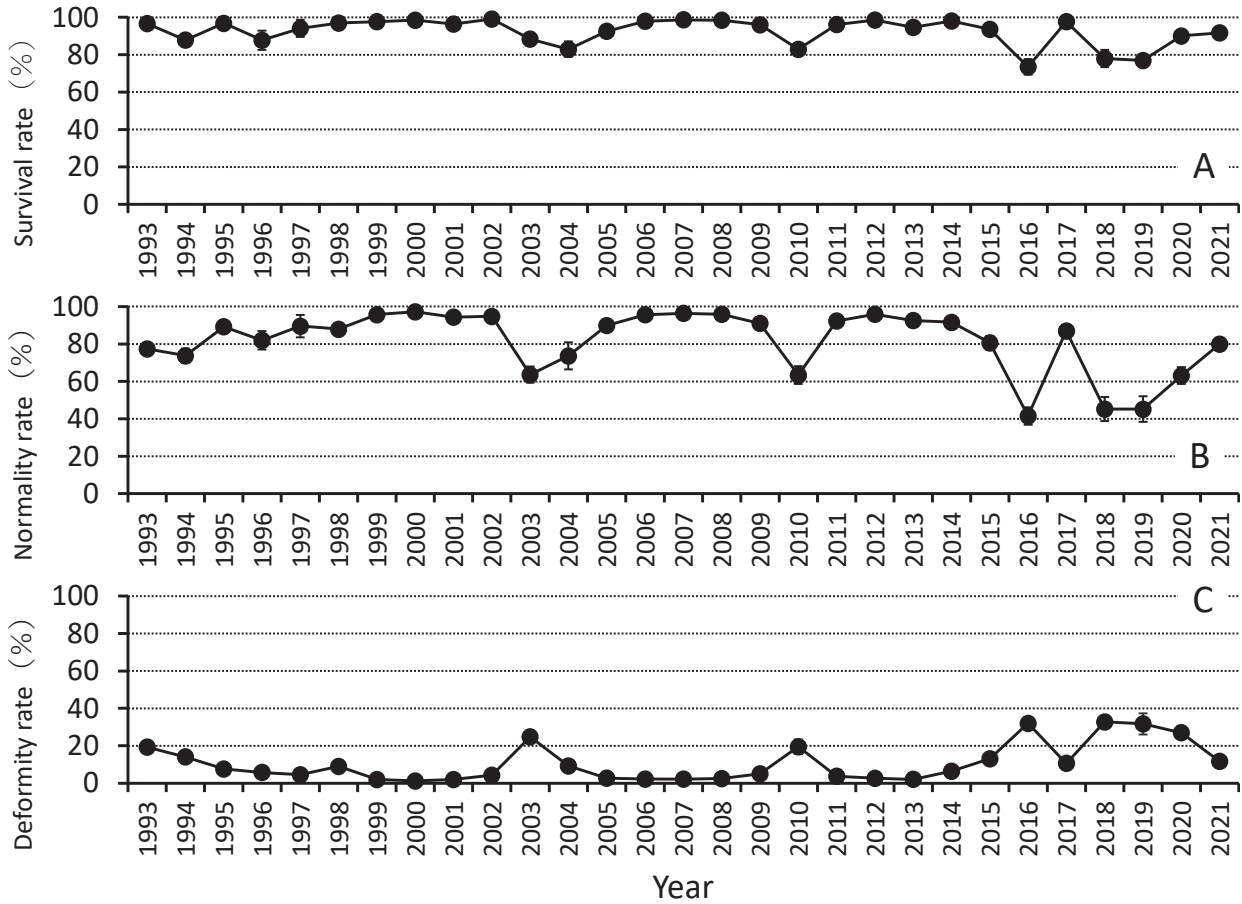


Fig.3 Annual fluctuations in the survival rate (A), the normality rate (B), and the deformity rate (C) of intermediate cultured scallops in Funka Bay from 1993–2021. Surveys were conducted from February to March in the year after the spats were collected. Bars indicate standard deviation.

1990年代（1993～1999年調査，以下同じ）の平均値±標準偏差は $94.0 \pm 4.4\%$ ，2000年代（2000～2009年調査，以下同じ）の平均値±標準偏差は $94.9 \pm 5.4\%$ ，2010年代（2010～2019年調査，以下同じ）の平均値±標準偏差は $89.0 \pm 10.0\%$ であった。同じく正常貝率の平均値は81.6%，最高値は97.3%（2002年），最低値は41.5%（2016年）であった（Fig. 3B）。1990年代の平均値±標準偏差は $85.1 \pm 7.7\%$ ，2000年代の平均値±標準偏差は $89.3 \pm 12.6\%$ ，2010年代の平均値±標準偏差は $73.6 \pm 22.4\%$ であった。外部異常貝率の平均値は10.7%，最高値は32.7%（2018年），最低値は1.2%（2000年）であった（Fig. 3C）。1990年代の平均値±標準偏差は $8.9 \pm 6.0\%$ ，2000年代の平均値±標準偏差は $5.6 \pm 8.0\%$ ，2010年代の平均値±標準偏差は $15.4 \pm 13.2\%$ であった。死貝率と外部異常貝率の関係を図4に示した。死貝率と外部異常貝率の間には有意な相関関係が認められた（スピアマン順位相関検定， $P < 0.01$ ）。また，29年のうち20年で外部異常貝率の方が死貝率よりも高かった。この傾向は正常貝率が低い年に顕著であり，正常貝率80%未満の場合，9年のうち8

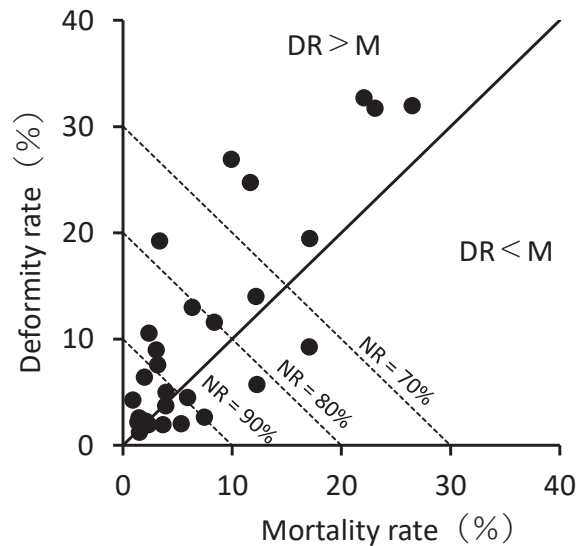


Fig.4 Relationship between the mortality and deformity rates of intermediate cultured scallops in Funka Bay from 1993–2021. NR, DR, and M indicate normality rate, deformity rate, and mortality rate, respectively.

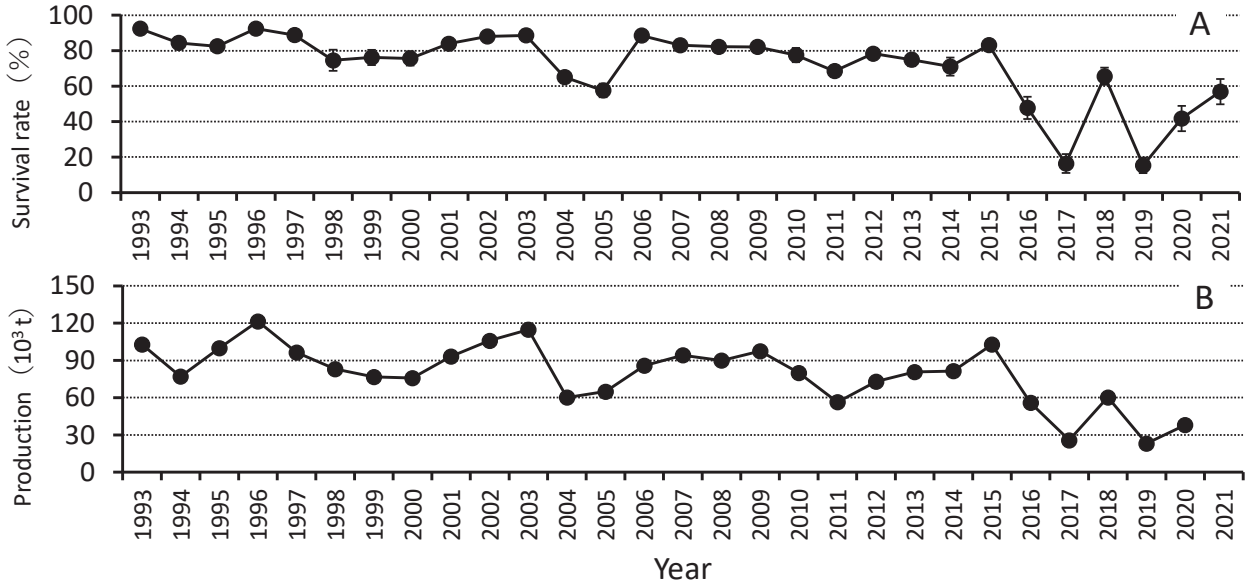


Fig.5 Annual fluctuations in the survival rate of harvested scallops (A) and scallop production (B) in Funka Bay from 1993–2021. Surveys for harvested scallops were conducted from February to March in the year following ear-hanging. Bars indicate standard deviation.

ヶ年で、正常貝率70%未満の場合、6ヶ年全てで外部異常貝率の方が死貝率よりも高かった。

出荷貝の生残率とホタテガイの生産量 29年間（1993～2021年）の出荷貝の生残率の平均値は71.9%，最高値は92.5%（1993年），最低値は15.3%（2019年）であった（Fig.5A）。1990年代の平均値±標準偏差は84.5 ± 7.3%，2000年代の平均値±標準偏差は79.5 ± 10.5%，2010年代の平均値±標準偏差は59.9 ± 25.1%であった。29年間の対象地区のホタテガイの生産量の平均値は79千トン，最高値は121千トン（1996年），最低値は23千トン（2019年）であった（Fig.5B）。1990年代の平均値±標準偏差は92 ± 15千トン，2000年代の平均値±標準偏差は88 ± 17千トン，2010年代の平均値±標準偏差は64 ± 25千トンであった。

稚貝の生残率、正常貝率と出荷貝の生残率および生産量の関係 回帰分析の結果、出荷貝の生残率に対する稚貝の生残率および正常貝率の回帰係数はいずれも有意であった（Fig.6、いずれもP<0.001）。決定係数は、稚貝の正常貝率を説明変数とした場合の方が高く、AICも稚貝の正常貝率を説明変数とした方が小さくなった。回帰分析の結果、生産量に対する稚貝の生残率および正常貝率の回帰係数はいずれも有意であった（Fig.7、いずれもP<0.001）。決定係数は、稚貝の正常貝率を説明変数とした場合の方が高く、AICも稚貝の正常貝率を説明変数とした方が小さくなった。回帰分析の結果、生産量に対する出荷貝の生残率の回帰係数は有意で（P<0.001）、決定係数は0.84と高かった（Fig.8）。

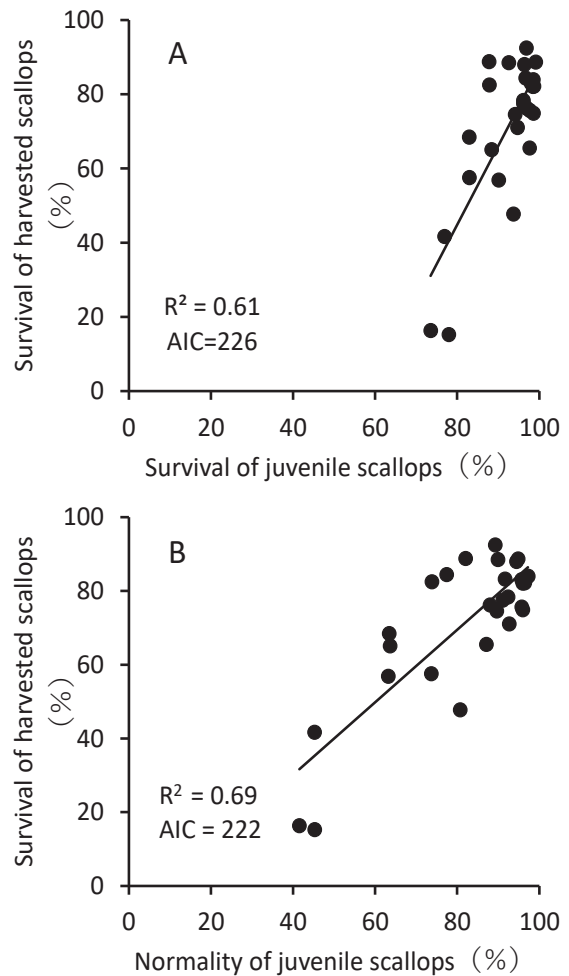


Fig.6 Relationship between the survival rate of harvested scallops and the survival rate (A) and the normality rate (B) of intermediate cultured scallops in Funka Bay.

考察

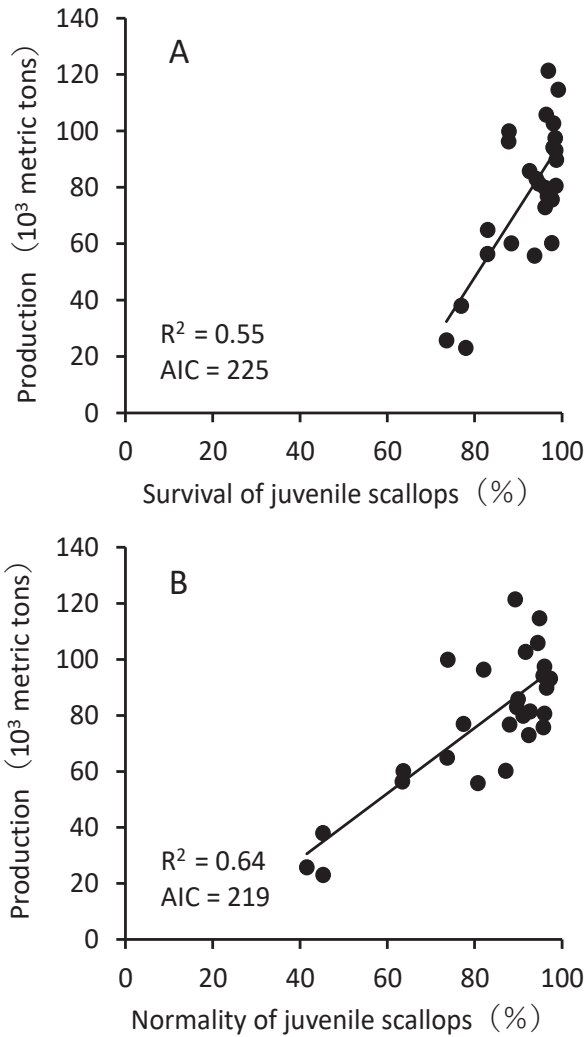


Fig. 7 Relationship between scallop production and the survival rate (A) and normality rate (B) of intermediate cultured scallops in Funka Bay.

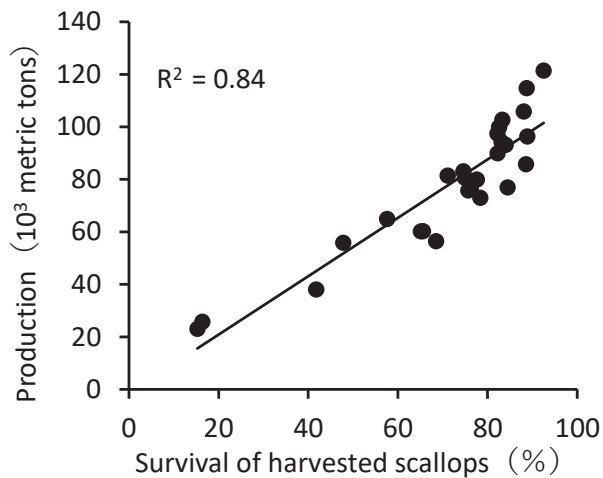


Fig. 8 Relationship between the survival rate of harvested scallops and scallop production in Funka Bay.

稚貝と出荷貝のへい死の実態 稚貝調査の結果から、稚貝の生残率の平均値は90%以上、最低値でも70%以上あり、中間育成の段階では「大量死」と呼ぶべき生残率の大きな低下は起きていないことが分かった(Fig.3A)。また、稚貝の死貝率と外部異常貝率は関連しており、過去の研究(森ら, 1974; 山形ら, 1977; 長内, 1981; 中川ら, 1981)で言及されているとおり、両者は同時に上昇するパラメータであることが確認された(Fig.4)。また、正常貝率が低い年は多くの場合、外部異常貝率の方が死貝率よりも高いことが明らかとなった。従って、中間育成時の稚貝で起きている問題は、死貝の増加とともにそれを上回る頻度で外部異常を持った生貝が増加し、その結果、生産者が耳吊りに用いることができる正常な稚貝が少なくなる現象と考えられる。これまで噴火湾の養殖ホタテガイの稚貝で起きている問題に対しては、一般に「へい死」という用語が用いられてきた(伊藤, 1995; 奥村・吉村, 2005; 奥村ら, 2007; 馬場, 2011; 金森, 2018, 2019)。しかし、稚貝で起きている問題は正常貝率の低下であることから、生死のみを示す用語である「へい死」は誤解を招きやすい。そのため、我々はこの問題については「例年よりも正常貝率が低下する現象」として「稚貝の成育不良」という用語を提案する。長期的なトレンドとしては、2010年代の稚貝の正常貝率は1990年代、2000年代と比較して約10ポイント低下している。これは2010年代に、正常貝率が50%未満となる深刻な成育不良が3回(2016, 2018, 2019年調査)起きていることが影響している。従って、近年の稚貝の成育不良は、深刻化していると言える。

出荷貝調査の結果から、出荷貝の生残率の平均値は70%以上あるのに対して、最低値は20%未満まで低下しており、「大量死」と呼ぶべき現象は本養成後の耳吊り貝で生じていることが明らかとなった(Fig.5A)。従って、本養成の段階で生じる問題は、「耳吊りから出荷までの間に生残率が大きく低下する現象」と考えられる。長期的なトレンドとしては、2010年代の出荷貝の生残率は1990年代、2000年代と比較して約20ポイント低下している。これは2010年代には、生残率が20%未満となる極めて深刻な大量死が2回(2017, 2019年調査)起きていることが大きく影響している。従って、近年は耳吊り貝の生残低下が深刻化していると言える。また、対象地区のホタテガイの生産量は1990年代と2000年代は、年変動はあるものの概ね90千トンをベースラインとして±30千トンで推移していたが、2010年代は生産量の低迷する年が多く、特に2016年以降に生産量が低迷する年が集中していた(Fig.5B)。

稚貝調査, 出荷貝調査および生産量の関係 稚貝と出荷貝の長期モニタリングデータの分析から, 稚貝の生残率, 正常貝率とも出荷貝の生残率に影響していること, 決定係数およびAICのいずれの指標においても, 出荷貝の生残率の説明変数としては, 正常貝率の方が適していることが明らかとなった (Fig.6)。生産者は稚貝を耳吊りする際に, 正常貝を選別して用いる。しかし, 今回の分析から, 稚貝の正常貝率が低下した年は, 正常貝を選んだとしても, 耳吊り後に生残率が低下すると考えられる。このことは, 稚貝の正常貝率が低下した場合, 外観上, 異常が認められない稚貝もその内面に何らかの問題を抱えていると推測される。青森県陸奥湾において, 耳吊り前の外部異常貝が多い年に, 正常貝および外部異常の見られる耳吊り不適貝を耳吊りした試験では, 耳吊り不適貝のうち軽症の軽度欠刻貝の4ヶ月後の死亡率が40.4%であったのに対して, 正常貝の死亡率も34.1%に達した (吉田, 2018)。そのため, 吉田 (2018) は試験に用いた正常貝は肉眼ではダメージを確認できない「異常貝予備群」であった可能性を指摘している。噴火湾の長期モニタリングデータの分析結果はこの陸奥湾での実験結果と同様の現象が生産現場において生じていることを示している。稚貝の成育不良が原因となって, 耳吊り後の大量死が起きるとすれば, 後者は前者を経験した世代における予後不良と解釈するべきであろう。稚貝の成育不良が耳吊り貝の大量死をもたらすメカニズムについては, 本研究からは議論できないが, 近年, アワビ類に対する病原体として知られていた*Francisella haliotica*がホタテガイにも感染し, 閉殻筋の膿瘍の原因となっていること, および室内実験においてこの細菌の感染がホタテガイの死因になることが示されている (Meyer *et al.*, 2017; Kawahara *et al.*, 2018, 2019)。もし, 耳吊り後の大量死にこのような感染症が関与しているとしたら, 稚貝の成育不良が, 免疫力の低下につながり, 耳吊り後の感染症の流行や重症化を助長しているのかもしれない。

稚貝調査と生産量の分析から, 稚貝の生残率, 正常貝率とも生産量に影響していること, 決定係数およびAICのいずれにおいても, 生産量の説明変数としては, 稚貝の正常貝率の方が適していることが明らかとなった (Fig.7)。噴火湾においては, 2~3月の稚貝の正常貝率から, 翌年の生産量の見通しをある程度立てられると考えられる。出荷貝調査と生産量の分析から, 出荷貝の生残率はその年の生産量に強く影響していることが明らかとなった (Fig.8)。決定係数 R^2 値は0.8を超えており, 2~3月の出荷貝調査の結果から, その年の生産量は比較的高い精度で予測できると考えられる。ただし, Fig.8を見ると生残率が90%を超えている年は, 回帰式よりも生産量

が高くなる傾向が認められる。出荷貝の生残率が高い年は, 稚貝の正常貝率が高い年であり, 生産者は耳吊り用の正常な稚貝を例年よりも多く確保できることから, 垂下する耳吊り貝の総数が多くなり, 正常貝率から期待される以上に生産が増加しやすいのかもしれない。

噴火湾の養殖ホタテガイのへい死の実態と対策 以上の分析結果から, 噴火湾の養殖ホタテガイのへい死と呼ばれる現象は, 中間育成の稚貝の正常貝率が低下する段階 (フェイズ1), 本養成の耳吊り貝が大きく減耗する段階 (フェイズ2) を経て, 最終的に生産量が大きく低下する現象であることが生産現場の長期データから裏付けられた。先に考察したとおり, フェイズ1の段階でホタテガイが問題を内包しているとすれば, フェイズ2に進んでから, 対策に取り組んでもすでに手遅れとなっている可能性がある。噴火湾の養殖ホタテガイの生産安定化のためには, まずフェイズ1に対する対策, すなわち稚貝の成育不良対策が最も重要と考えられる。これまでの分析から, 稚貝の成育不良年には夏季の気象・海洋環境にいくつかの特徴 (気温が低い, 日照時間が短い, 海面水温が低い, 水温の成層化が弱い) が認められる (金森, 2019)。これらの特徴が稚貝の成育不良とどのように関わっているかは解明できていないが, 少なくとも環境面から, 稚貝を育てにくい年が存在すると考えられる。そして, 近年, 稚貝の成育不良が深刻化していることは, このような稚貝を育てにくい年の頻度が増加していることを示唆している。しかし, 環境の年変動に関わらず, 毎年, 管理方法をそれほど変えない生産者が多く, その結果, 稚貝を育てにくい年に稚貝の正常貝率が低下し, その後の生残率の低下と生産量の低下につながっていると推測される。1990年代以降, 野生生物の保護管理や水産資源の管理では, 順応的管理という概念が広く適用されている (鷲谷, 1998; 勝川, 2007)。これは対象に不確実性を認めた上で, 政策の実行を順応的な方法で実施しようとするシステム管理手法である。噴火湾の養殖ホタテガイの管理についても, このような概念を導入し, 環境の不確実性を前提として, 環境や稚貝のモニタリングで得られる情報から, 稚貝を育てにくい年を早期に把握して, 作業方法を調整することで稚貝の正常貝率の低下を防ぐ順応的な管理方法を確立することを目指すべきであろう。そのために, 成育不良年の稚貝の状態, 環境の特徴の分析を進めるとともに, 成育不良年に有効な管理手法の検証を進める必要がある。

最後に ホタテガイの垂下養殖に関する技術は1970年代には概ね確立され, 噴火湾では大規模な養殖産業が成立した。産業化された後, 試験研究は主に道の水産試験場が担い, 生産現場の指導や各種モニタリングは道の水産

技術普及指導所が中心となって行われてきた。今回、噴火湾の養殖ホタテガイへい死の対策として、噴火湾へい死対策会議が設置されたことで、水産試験場と水産技術普及指導所の間で長期モニタリングデータの共有化および分析が推進され、その結果をとりまとめたものが本報告となる。北海道の生産現場で長期間実施されているモニタリングデータを整理、分析し、そこで得られる知見を生産現場に還元していくことは重要であり、そのためには水産技術普及指導所と水産試験場が連携して課題に取り組む必要がある。本報告がその重要性を示す一例となれば幸いである。

謝 辞

稚貝および出荷貝の長期モニタリングを担ってきた渡島北部地区水産技術普及指導所、長万部、八雲町、落部、森および砂原漁業協同組合の歴代の担当職員、さらには調査に協力いただいた各漁協の生産者の方々に厚く御礼申し上げます。また、噴火湾養殖ホタテガイへい死対策会議の設置にあたり、組織間の連携を推進いただいた水産振興課の能登正樹前主席および予備分析に用いた銘柄別の水揚げデータの入手に協力いただいた同課の本案一彦前主任普及指導員に感謝いたします。本報には令和元年度水産研究本部長梓「海洋環境情報を活用した噴火湾養殖ホタテ稚貝のへい死リスク低減対策の確立—データベースの構築と効果的な研究体制の設計—」で得られた成果が多く含まれおり、本課題の提案を主導した函館水産試験場の萱場隆昭前調査研究部長、提案した研究課題の意義を理解し、採択いただいた当時の水産研究本部の方々に御礼申し上げます。最後に、読者の理解を深める観点から、原稿に対して多くの有益な意見を提示いただいた査読者に感謝いたします。

引用文献

- 有馬健二、吾妻行雄. ホタテガイの種苗の育成と養殖試験. 北水試月報 1986 ; 43 : 85-94.
- 馬場勝寿. 噴火湾養殖ホタテガイのへい死要因. 試験研究は今 2011 ; No. 695.
- 北海道水産林務部. 平成5年度～令和2年度北海道水産現勢. 札幌. 1993～2020.
- Imai I, Shimada H, Baba K, Kanamori M, Sato M, Kuwahara Y, Miyoshi K, Tada M, Hirano K, Miyazono A, Itakura S. Prediction of toxic algal bloom occurrences and adaptation to toxic blooms to minimize economic loss to the scallop aquaculture industry in Hokkaido, Japan, PICES Scientific Report 2014 ; 47 : 7-16.
- 伊藤義三. 1995年噴火湾養殖ホタテガイ稚貝の斃死について (速報). 北水試だより 1995 ; 31 : 25-30.
- 金森誠. ホタテガイ養殖業の現状と課題. 北日本漁業 2018 ; 46 : 76-78.
- 金森誠. 噴火湾養殖ホタテガイのへい死年の気象・海洋環境について. 試験研究は今 2019 ; No. 888.
- 金森誠, 馬場勝寿. 養殖ホタテガイの成長モニタリング調査. 平成22年度函館水産試験場事業報告書 2012 ; 25-28.
- 勝川俊雄. 水産資源の順応的管理に関する研究. 日本水産学会誌 2007 ; 73 (4) : 656-659.
- Kawahara M, Kanamori M, Meyer GR, Yoshinaga T, Itoh N. *Francisella halioticida*, identified as the most probable cause of adductor muscle lesions in Yesso scallops *Patinopecten yessoensis* cultured in southern Hokkaido, Japan. 魚病研究 2018 ; 53(2) : 78-85.
- Kawahara M, Meyer GR, Lowe GJ, Kim I, Polinski MP, Yoshinaga N, Itoh N. Parallel studies confirm *Francisella halioticida* causes mortality in Yesso scallops *Patinopecten yessoensis*. *Dis. Aquat. Organ.* 2019 ; 135 : 127-134.
- 川真田憲治. ホタテガイへい死要因究明調査. 昭和56年度北海道立栽培漁業総合センター事業報告書 1982 ; 76-84.
- 川真田憲治. ホタテガイへい死要因究明調査. 昭和57年度北海道立栽培漁業総合センター事業報告書 1983 ; 106-108.
- Meyer GR, Lowe GJ, Gilmore SR, Bower SM. Disease and mortality among Yesso scallops *Patinopecten yessoensis* putatively caused by infection with *Francisella halioticida*. *Dis. Aquat. Organ.* 2017 ; 125 : 79-84.
- 森勝義, 菅原義雄, 小畑一臣. 三陸沿岸における養殖ホタテガイの大量斃死に関する研究-I: 貧栄養, 貧栄養+振動の両実験条件下で発生する斃死について. 魚病研究 1974 ; 9 : 10-18.
- 中川義彦, 吾妻行雄, 坂本富蔵, 吉田孝夫. 噴火湾養殖ホタテガイ斃死原因究明調査. 昭和55年度北海道立函館水産試験場事業報告書 1981 ; 95-96.
- 中川義彦, 吾妻行雄. 噴火湾養殖ホタテガイ斃死原因究明調査. 昭和56年度北海道立函館水産試験場事業報告書 1982 ; 108-125.
- 夏池真史, 金森誠, 一ノ瀬寛之, 中田幸保. 噴火湾における垂下式養殖ホタテガイの生残・成長におよぼす耳吊り作業時期の影響. 北海道水産試験場研究報告 2022 ; 101 : 25-30.

奥村裕弥, 吉村圭三. 台風の通過に伴う静狩地区の環境変化-噴火湾養殖ホタテガイ稚貝斃死予備調査から-. 北水試だより 2005 ; 68 : 12-14.

奥村裕弥, 吉村圭三, 宮園章, 稲村明宏, 木戸和男, 磯田豊. 台風の通過に伴う津軽暖流水の流水と噴火湾奥部静狩での沿岸環境の急変について. 北海道水産試験場研究報告 2007 ; 72 : 1-8.

長内健治. 異常ホタテガイ発生機構の基礎研究. 青森県水産増殖センター事業報告 1981 ; 10 : 100-123.

鷺谷いづみ. 生態系管理における順応的管理. 保全生態

学研究 1998 ; 3 : 145-166.

山形実, 坪田哲, 北野英示, 西山勝蔵, 菅原勤, 佐々木鉄郎, 苫米地昭一, 横山勝幸, 熊谷登, 高橋克成, 青山宝蔵, 塩垣優, 植村康, 小田切明久. ホタテガイ異常へい死実態調査 (昭和50年7月16~19日). 青森県水産増殖センター事業報告 1977 ; 6 : 12-31.

吉田達. ホタテガイ耳吊り養殖試験 (耳吊り時の欠刻の程度とへい死, 成長の関係). 平成28年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告 2018 ; 398-399.