

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

夏池真史^{*1}, 金森 誠¹, 一ノ瀬寛之², 中田幸保³

¹北海道立総合研究機構函館水産試験場,

²北海道水産林務部,

³北海道胆振総合振興局胆振地区水産技術普及指導所

Effects of ear-hanging time on survival and growth of Yesso scallops (*Mizuhopecten yessoensis*) in Funka Bay, Hokkaido, Japan

MASAFUMI NATSUIKE¹, MAKOTO KANAMORI¹, HIROYUKI ICHINOSE² and YUKIYASU NAKATA³

¹ Hakodate Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Hakodate, Hokkaido 040-0051*,

² Department of Fisheries and Forestry, Hokkaido Government, *Sapporo, Hokkaido 060-8588*,

³ Iburi Fisheries Technical Guidance Office, Iburi General Subprefectural Bureau, Hokkaido Government, *Muroran, Hokkaido 051-8558, Japan*

For Yesso scallop aquaculture in Funka Bay, Hokkaido, Japan, ear-hanging is a process that changes the intermediate to the final suspended culture. This process requires considerable effort and causes stress to the scallops. Thus, effective and efficient methods for ear-hanging are required. This study aimed to reveal a suitable duration for the ear-hanging process. Ear-hanging was performed in three months (April, May, and June), and survival and growth were followed until the scallop harvest time (the following February). This examination was conducted on three year classes of scallops (born in 2016, 2017, and 2018, and suspended in 2017, 2018, and 2019, respectively). The survival ratios of the scallops suspended in 2018 were remarkably lower than those in 2017 and 2019, regardless of ear-hanging time; however, their survival ratios and weights suspended in June were lower than those in April and May in all year classes. Thus, the ear-hanging process should be completed by May at the latest in order to reduce mortality of the scallops in Funka Bay.

キーワード：作業適期，収量，ホタテガイ，耳吊り

北海道南部に位置する噴火湾では、静穏な海洋環境を活用したホタテガイの耳吊り式垂下養殖が行われている。噴火湾の耳吊り養殖は、1970年代から急速に普及して生産量が拡大し、1990年ころから毎年10万トン前後が水揚げされる湾内の主要な漁業となっている (Kosaka, 2016)。しかし、近年ではヨーロッパザラボヤの付着やへい死の深刻化などの問題が生じ (Kanamori et al., 2017; 金森, 2019)、養殖手法の改良や見直しが喫緊の課題となっている。耳吊りは、ホタテガイ左殻耳状部の前耳 (Anterior ear) をドリルで穿孔してできた穴に通したテグスやアゲピンと呼ばれる専用のプラスチック製ピンでロープに固

定して海中に吊して養成する養殖手法である (Kosaka, 2016)。噴火湾において、耳吊りの工程は主に早春～春に実施され、1個体ずつ貝殻を穿孔して糸を通す作業が求められることから、最も労力のかかる工程と言える (浜田ら, 1996)。そこで、耳吊り作業の機械化や (林・矢田, 1997)、適切な耳吊り作業方法 (濱田ら, 1999; Hamada et al., 2000; Hamada et al., 2001; 山下ら, 2000) など、耳吊り工程を効率的かつ効果的に行うための手法が検討されてきた。しかし、数ヶ月間にわたって行われる耳吊り作業において、耳吊り作業の時期が出荷時期 (耳吊り翌年の冬から春) までの生残や成長に及ぼす影響を実験的に検

証した例は少ない。噴火湾では多くの地区で、出荷によって空いた施設に新たな耳吊り貝を吊すため、出荷が進まないで耳吊り作業を行えない。他方、生産者はできるだけ貝の成長・成熟を進めて歩留まりを高めて出荷するため、耳吊り時期が遅くなる場合がある。ホタテガイを含むイタヤガイ科二枚貝の籠養殖では、過密になるほど成長や生残が悪化することが報告されているため（例えばDuggan, 1973; 有馬・吾妻, 1986）、耳吊りが遅れることによって、耳吊り養成のために籠中で中間育成された稚貝の成長に伴う相対的な過密による成長や生残の悪化が懸念される。さらに、耳吊り作業時期はホタテガイの生殖時期と重なり、噴火湾における海洋環境が季節的に大きく変化する時期でもあるため（嶋田ら, 2000）、貝に対して一定のストレスが生じる耳吊り作業が、その他の環境や生理的状态の変化と関連して生残や成長を悪化させている可能性がある。本研究では、噴火湾における適切な耳吊り作業時期を明らかにすることを目的に、耳吊り作業時期がホタテガイの生残および成長に及ぼす影響を調べるための養殖試験を実施した。

材料及び方法

時期別耳吊り養殖試験 作業時期による影響を調べるために、噴火湾内の養殖海域において2017年から2019年までの毎年4~6月に毎月1回の頻度でホタテガイを耳吊りし、通常の養殖貝と同様に養殖した（Table 1）。これら試験に用いたホタテガイは、噴火湾内で2016年から2018年に採苗、中間育成された稚貝を用い、耳吊り作業時期によって分散が大きくなるように、また外部異常の

無い個体を選別した。実験に用いた稚貝は、それぞれの年級群ごとにすべて同じ養殖海域内で採苗され、中間育成における選別や収容密度などの作業が年級群ごとに同じ条件となるよう管理育成された。本研究では、2017年に耳吊りに用いた2016年級群の貝を2017年耳吊り群、2018年に耳吊りに用いた2017年級群の貝を2018年耳吊り群、2019年に耳吊りに用いた2018年級群の貝を2019年耳吊り群とする。耳吊り用に選別した稚貝の一部を耳吊り前に採集し（ $n = 50 \sim 60$ ）、殻長、全重量、軟体部重量、生殖巣重量、生殖巣指数（生殖巣重量が軟体部重量に占める割合）を計測した。垂下ロープ1本（1連）あたり約250個体の稚貝を耳吊りし、各月ごとに4連ずつ垂下した。この1連ずつを本養成後の9, 11, 12, 翌2月に引き上げ、耳吊り時に計数した耳吊り個体数と引き上げたときの生残個体数から生残率（耳吊り個体数に占める生残個体数の割合）を求めるとともに、生残個体の一部（ $n = 60$ 、ただし1連当たりの生残個体数が60より少ない場合は全個体）の殻長と全重量を測定し、開殻して内面着色（本研究の図表説明文では、内面着色を英語でnacre discolorationとした）の有無を調べた。ここで、測定した個体数に占める内面着色が認められた個体数の割合を内面着色率とした。

統計解析 耳吊り時期（4, 5, 6月）および調査月（9, 11, 12, 2月）の組み合わせごとに対応した一対の標本と見なし、生残率および内面着色率に耳吊り年（2017年耳吊り群と2018年, 2019年耳吊り群）による差を年ごとにWilcoxonの符号順位検定で調べた。ここで、Bonferroniの方法で有意水準を補正した。また、調査月で対応した3群の標本と見なし、生残率および内面着色率に各年の耳吊り時期で

Table 1 Averages of shell length, weight, and gonad index (GI) of juvenile scallops used for the ear-hanging process at different times during April to June, 2017, 2018, and 2019. The scallops used in 2017, 2018, and 2019 were born in 2016, 2017, and 2018, respectively. S.D. indicates standard deviation.

Date	Shell length (mm \pm standard deviation)	Weight (g \pm standard deviation)	GI (\pm standard deviation)
2017 25 April	68.9 \pm 2.9	35.3 \pm 4.3	0.13 \pm 0.035
25 May	72.2 \pm 3.1	40.4 \pm 4.4	0.054 \pm 0.015
12 June	73.3 \pm 5.6	45.3 \pm 8.8	0.041 \pm 0.010
2018 18 April	69.5 \pm 4.2	36.1 \pm 6.0	0.15 \pm 0.036
25 May	77.3 \pm 3.6	48.0 \pm 6.4	0.050 \pm 0.014
19 June	79.4 \pm 4.7	51.5 \pm 7.8	0.041 \pm 0.010
2019 22 April	72.2 \pm 3.6	39.4 \pm 5.3	0.17 \pm 0.036
10 May	72.4 \pm 3.6	43.0 \pm 6.6	0.14 \pm 0.035
3 June	77.2 \pm 4.9	48.3 \pm 8.9	0.053 \pm 0.015

差があるかFriedman検定で調べた。各年の2月に回収した成貝について殻長および全重量に耳吊り時期で差があるかSteel-Dwassの方法で検定した。統計解析の有意水準を5%とした。

結果

生残率と内面着色率の調査月ごとの結果を耳吊り年ごとにFig. 1に示した。まず、耳吊り年により生残率および内面着色率を比較すると、生残率は年ごとに有意に異なり、内面着色率は2017年と2019年で有意差がみられなかった(Wilcoxon検定)。次に、耳吊り時期ごとの生残率および内面着色率と比較すると、生残率と内面着色率はすべての年でそれぞれの耳吊り時期で有意な差となり(Friedman検定)、生残率はどの年も6月耳吊り区で4、5月耳吊り区よりも低くなる特徴、内面着色率は6月耳吊り区で4、5月耳吊り区よりも高くなる特徴がみられた。

出荷時期にあたる2月の調査で測定した殻長と全重量の耳吊り時期ごとの比較をFig. 2に示した。殻長は2017、2018耳吊り年では6月耳吊り区が4、5月よりも有意に小さく、2019耳吊り年では耳吊り時期による差はみられなかった。全重量はすべての年で6月耳吊り区が4、5月よりも

有意に小さくなった。耳吊り時期による重量差が大きかった2018年について2月の平均個体重量をみると、4月耳吊り区で143 g、5月耳吊り区で137 g、6月耳吊り区で96 gと重量差は最大47 gであった。

考察

耳吊り作業時期が生産に及ぼす影響について 生残率は耳吊り年ごとに有意に異なり、2018年耳吊り年ではどの耳吊り時期でも生残率が6割以下となり他の年よりも低い特徴がみられた(Fig. 1)。これは、噴火湾のホタテガイ養殖における耳吊り貝の生残率の顕著な減少いわゆる「へい死」が、採苗後の稚貝の成育不良(稚貝の生残率の低下と変形貝率の増加)に依存する(馬場, 2011; 金森, 2019)といった報告に一致する。噴火湾の養殖ホタテガイ生産量から見ると(Fig. 3)、2017年耳吊り群(2016年生まれ)は非へい死年級(稚貝の成育が良好で、耳吊り後の生残が良い年級)、2018年および2019年耳吊り群(2017年、2018年生まれ)はへい死年級(稚貝の成育不良が顕著に発生し、耳吊り後の生残が悪い年級)に相当する(金森, 2019)。2018年耳吊り群(2019年に生産量に反映される年級)は、噴火湾全体で特にへい死が問題とな

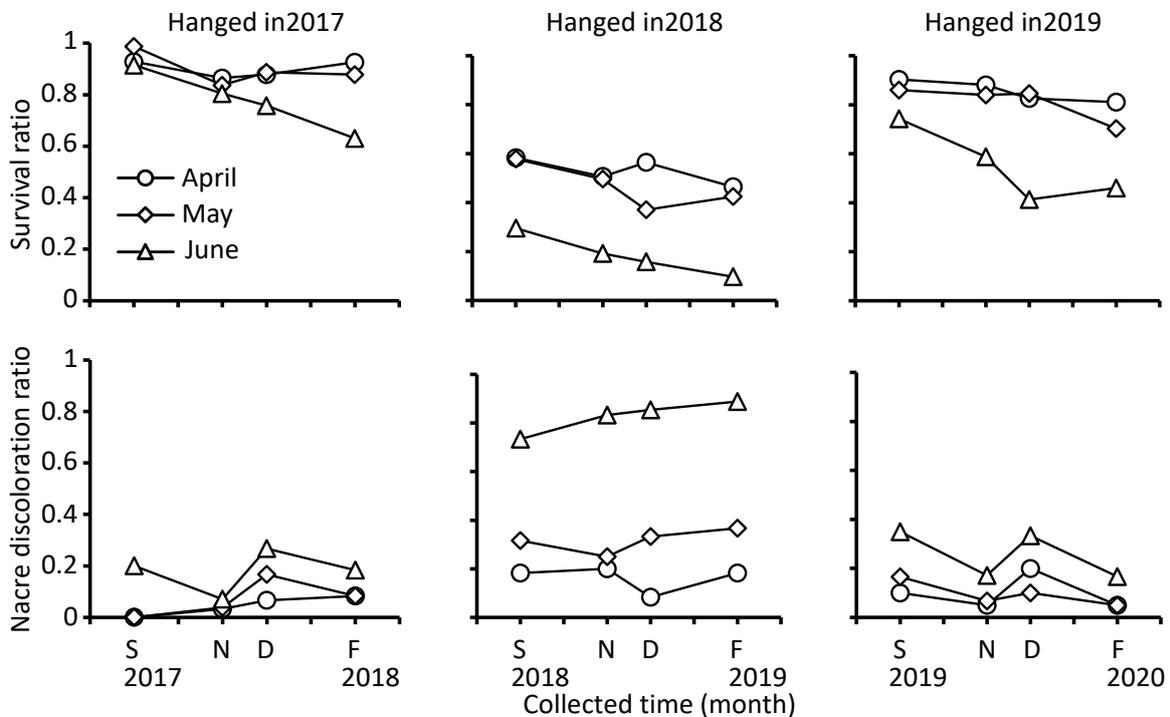


Fig. 1 Temporal changes of survival ratios (upper column) and nacre discoloration ratios (lower column) of the cultured scallops with different ear-hanging times from April to June in 2017, 2018, and 2019. The survival ratio is defined as the ratio of the number of individuals hanged to the number that survived. The nacre discoloration ratio is defined as the ratio of the number of individuals with nacre discoloration to the number of individuals that survived. The juvenile scallops used for ear-hanging process in 2017, 2018, and 2019 were born in 2016, 2017, and 2018, respectively.

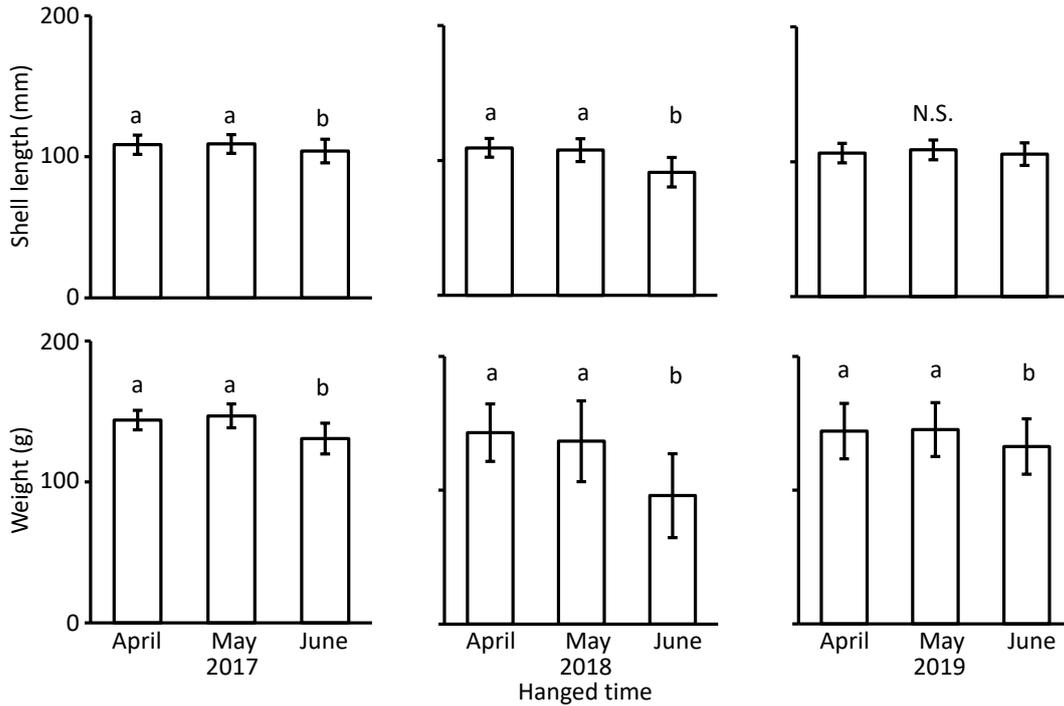


Fig. 2 Shell length (mm ± standard deviation) and weight (g ± standard deviation) of the cultured scallops in February with different ear-hanging times. Letters (a and b) indicate significant differences between the hanging times (Steel-Dwass test, $p < 0.05$). N.S. = Not significant.

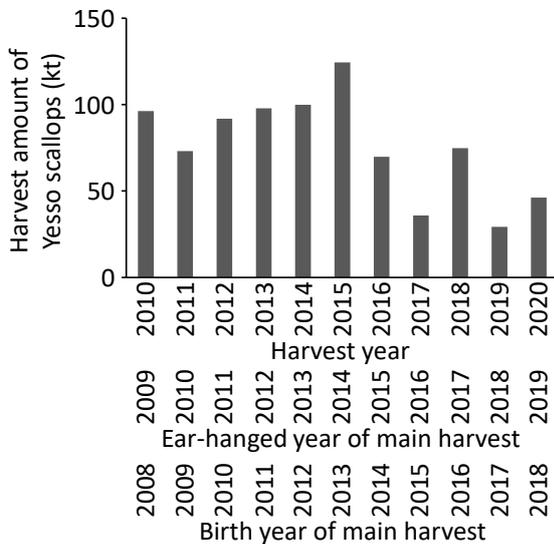


Fig. 3 Annual production of cultured scallops in Funka Bay from 2010 to 2020. The scallops were mainly harvested at two years of age.

った年で、直近10年で最低のホタテガイ生産量が記録された (Fig.3)。本研究においても、年ごとの稚貝育成の良・不良の影響を受けて、2017年、2019年、2018年耳吊り群の順に生残率が小さくなり、特に2018年耳吊り群で顕著に生残が低下したと考えられる。この2017、2019年耳吊り群の出荷時期にあたる翌2月の生残率は、2018年耳

吊り群よりも、耳吊り時期にかかわらず3~5割程度高い (Fig.1)。このように、耳吊り前の稚貝の育成の良し悪しは、耳吊り時期よりも耳吊り後の生残に強く影響している可能性が高く、噴火湾における「へい死」を考える上で重要な問題である。

他方、年級群ごとの生残率に差があるものの、すべての年の耳吊り群ともに耳吊り時期で生残率や内面着色率に差があることが示され、特に6月耳吊り区は4、5月耳吊り区よりも顕著に生残率が低くなった (Fig.1)。このことは、耳吊り前の稚貝の良し悪しにかかわらず、耳吊り作業の遅れが6月に及ぶと、耳吊り後の生残が悪化することを示唆している。同様に、年級にかかわらず6月耳吊り区は、4、5月耳吊り区よりも出荷盛期 (翌2月) の成長 (全重量) が悪化したため (Fig.2), 耳吊り作業時期の遅れが6月に及ぶとその後の成長も悪化することが示唆された。以上のことから、耳吊り時期を遅くとも5月までに終了させることは、耳吊り後の生残率低下、成長悪化を防ぐために重要であると考えられる。

ここで、1連当たりの耳吊り個体数を250個体、4、5月の耳吊り作業時期区の翌年2月の生残率および全重量から想定される1連当たりの水揚げは、2017年で32.3~33.3 kg、2018年で14.5~16.6 kg、2019年で25.5~29.2 kgと計算されるのに対し、6月の耳吊り時期区で想定される1連当たりの水揚げは、2017年で20.6 kg、2018年で2.3 kg、2019

年で15.2 kgとなる。このように、耳吊り作業時期が6月まで遅れることによって想定される1連当たりの水揚げの減少は、年にかかわらず10 kg以上にも達するため、耳吊り時期が6月以降になることは生産量減少を防ぐためには避けるべきと言えよう。

耳吊り作業時期の遅れが生残率低下および成長悪化につながる要因について 一般に養殖籠による二枚貝育成では一籠当たりの密度が多い（いわゆる過密）条件で成長や生残が悪化することが知られている（例えばDuggan, 1973; 有馬・吾妻, 1986）。耳吊り時期が遅れると耳吊りに用いる丸籠中の中間育成貝は成長して、相対的に過密条件になると考えられる。耳吊り前に養殖籠中で過密飼育というストレスに長く曝されたことが、本研究で確認された遅い時期に耳吊りした群の低い生残や成長に影響した可能性がある。ホタテガイにおける内面着色は、変形や欠殻などの殻の異常を伴った貝で頻繁に観察され（長内, 1981）、過密条件下や振動条件下におかれた養殖籠で飼育されたホタテガイで内面着色の発生率が高まる場合があることが指摘されている（有馬・吾妻, 1986; 森ほか, 1977）。本研究においても耳吊り時期の遅れによって、耳吊り貝の内面着色率が増加したことから（Fig. 1）、耳吊り時期の遅れによって過密状態での飼育が長くなることによるストレスが、耳吊り後の成長や生残に悪影響を及ぼしている可能性がある。

本研究で耳吊りに用いた稚貝は、生殖巣指数の減少から、2017年、2018年耳吊り群の稚貝で4月から5月の間で、2019年耳吊り群の稚貝で4月から6月の間で放精・放卵が活発であったと考えられる（Table 1）。ホタテガイを含むイタヤガイ科の二枚貝において、成熟や生殖によって生理的なストレスを生じ（Brokordt et al., 2015; Brokordt and Guderley, 2004）、生殖によるストレスがへい死の要因となる可能性が指摘されている（Xiao et al., 2005）。しかし、本研究では、2017年や2018年のように放精・放卵が活発であった期間に耳吊りされた稚貝においても、耳吊り後の生残率の顕著な減少がなかったことから、放精放卵によるストレスと耳吊りによるストレスが重なることは、生残の低下や成長の悪化に大きく影響しないと考えられる。ただし、ホタテガイは放精・放卵の終了後にも生殖巣における生理学的な変化が少なくとも1ヶ月程度は継続することが報告されているため（森ほか, 1977）、生殖に伴う何らかの生理学的ストレスが生残率の低下の一因となることは否定できない。以上のように、耳吊り作業時期の遅れが生残の低下と成長の悪化につながる要因として、籠養殖期間が長くなることによる相対的な過密および生殖によるストレスを考察したが、両者の明確な影響は見られなかった。本研究では考慮できなかった

が、6月まで養殖籠で過ごすことによる何らかの環境ストレスや、耳吊り後の6月の何らかの環境要因（例えば、嶋田ら（2000）で示されているこの時期の水温の季節的な上昇や低いChl. a濃度）と耳吊り作業によるストレスが相互に作用することによって、生残率の低下を引き起こしている可能性があり、これらを明らかにすることは今後の課題となる。

本研究によって噴火湾における耳吊り式ホタテガイ養殖において、耳吊り作業時期が6月まで遅れると、耳吊り後の生残率低下および成長悪化につながることを示された。また、この作業時期の遅れによる影響は、稚貝の良・不良に関係なく毎年認められたため、生産量の減少を防ぐ上で、耳吊り作業を遅くとも5月までに終了させることは重要であると結論される。

謝 辞

本研究の実施にご協力いただいたホタテガイ生産者の皆様ならびに噴火湾胆振海区漁業振興推進協議会に厚く御礼申し上げます。養殖試験を主に実施された胆振地区水産技術普及指導所職員の皆様に感謝申し上げます。

引用文献

- 有馬健二, 吾妻行雄. ホタテガイ健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 ; 695 : <https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/o7u1kr0000001f27.html>
- Brokordt K, Guderley H. Energetic requirements during gonad maturation and spawning in scallops: Sex differences in *Chlamys islandica* (Müller 1776). *J. Shellfish Res.* 2004 ; 23 : 25-32.
- Brokordt K, Pérez H, Herrera C, Gallardo A. Reproduction reduces HSP70 expression capacity in *Argopecten purpuratus* scallops subject to hypoxia and heat stress. *Aquat. Biol.* 2015 ; 23 : 265-274.
- Duggan W. Growth and survival of the bay scallop, *Argopecten irradians*, at various locations in the water column and at various densities. *Proc. Natl. Shellfish. Assoc.* 1973 ; 63 : 68-71.
- 浜田武士, 山下成治, 見上隆克, 橋本忍. ホタテガイ養殖業の分散・耳吊り作業のラインバランシング法による効率評価. 日本水産学会誌 1996 ; 62 : 83-88.
- Hamada T, Yamashita N, Takagi S, Natsume S. Difference in performance of three ear-hanging methods in scallop

- farming. *Bull. Fish. Sci. Hokkaido Univ.* 2000 ; 51 : 105-110.
- 濱田武士, 山下成治, 渡部智彦, 夏目俊二. 耳吊り式ホタテガイ養殖の穿孔作業時に発生する外套膜の損傷. *水産工学* 1999 ; 36 : 147-152.
- Hamada T, Yamashita N, Watanabe T, Natsume S. Drilling position of the ear affects growth and mortality of scallop (*Patinopecten yessoensis*, Jay) in ear-hanging culture. *Aquaculture* 2001 ; 193 : 249-256.
- Kanamori M, Baba K, Natsuike M, Goshima S. Life history traits and population dynamics of the invasive ascidian, *Ascidella aspersa*, on cultured scallops in Funka Bay, Hokkaido, northern Japan. *J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom* 2017 ; 97 : 387-399.
- 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;888:<https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/work1/ima888.html>
- Kosaka Y. Scallop fisheries and aquaculture in Japan. In ; Shumway SE, Parsons GJ (eds) *Scallops: Biology, Ecology, Aquaculture, and Fisheries*. Elsevier, Amsterdam. 2016 : 891-936.
- 林 艾光, 矢田 貞美. 養殖ホタテ稚貝の耳揃え制御方法に関する研究. *水産工学* 1997 ; 34 : 1-8.
- 森 勝義, 長内健治, 佐藤隆平. 岩手県唐丹湾における養殖ホタテガイ生殖巣の周年変化に関する組織学的研究. *日本水産学会誌* 1977 ; 43 : 1-8.
- 長内健治. 異常ホタテガイ発生機構の基礎的研究. *青森県水産増殖センター事業概要* 1981 ; 8 : 100-123.
- 嶋田宏, 西田芳則, 伊藤義三, 水島敏博. 噴火湾八雲沿岸における養殖ホタテガイの成長, 生残と漁場環境要因の関係. *北海道立水産試験場研究報告* 2000 ; 58 : 49-62.
- Xiao J, Ford SE, Yang H, Zhang G, Zhang F, Guo X. Studies on mass summer mortality of cultured zhikong scallops (*Chlamys farreri* Jones et Preston) in China. *Aquaculture* 2005 ; 250 : 602-615.
- 山下成治, 濱田武士, 見上隆克, 橋本忍. ホタテガイ用穿孔機による貝殻耳状部の開孔成功率の推定. *水産工学* 2000 ; 36 : 221-228.