

## 噴火湾における養殖ホタテガイ中間育成籠の動揺とその物理要因に対する現場観測の試み

夏池真史<sup>\*1</sup>, 西田芳則<sup>2</sup>, 金森 誠<sup>3</sup>, 佐藤政俊<sup>4</sup>, 本家一彦<sup>5</sup>

<sup>1</sup>北海道立総合研究機構函館水産試験場, <sup>2</sup>北海道立総合研究機構中央水産試験場,

<sup>3</sup>北海道立総合研究機構, <sup>4</sup>北海道立総合研究機構稚内水産試験場,

<sup>5</sup>北海道オホーツク総合振興局網走西部地区水産技術普及指導所

Field observations of the physical environment and behavior of culture cages during juvenile Yesso scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) culture in Funka Bay, Hokkaido, Japan

MASAFUMI NATSUIKE<sup>1</sup>, YOSHINORI NISHIDA<sup>2</sup>, MAKOTO KANAMORI<sup>3</sup>, MASATOSHI SATO<sup>4</sup> and KAZUHIKO HONKE<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Hakodate Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Hakodate, Hokkaido 040-0051*,

<sup>2</sup> Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Yoichi, Hokkaido 046-8555*,

<sup>3</sup> Hokkaido Research Organization, *Sapporo, Hokkaido 060-0819*,

<sup>4</sup> Wakkanai Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Wakkanai, Hokkaido 097-0001*,

<sup>5</sup> Abashiri-Seibu Fisheries Technical Guidance Office, Okhotsk General Subprefectural Bureau, *Hokkaido Government, Monbetsu, Hokkaido 094-0011, Japan*

Recently, a decline in the normality ratio of net-caged juvenile scallops and the subsequent mass mortality of adult scallops has become a serious problem in scallop aquaculture in Funka Bay. A decline in the normality ratio of juvenile scallops may result from increased vibrations of the culture net cages during summer. To reveal the relationship between physical environmental factors (such as waves and currents) and vibration of the net cages, continuous observations of the current velocity and vertical and horizontal accelerations, as well as the water levels of the net cages (pearl and lantern nets), were conducted in the scallop culture facility in Funka Bay from summer to autumn in 2020. Fluctuations in resultant acceleration and water levels of the net cages showed strong correlations with oscillating widths (as a result of wave action) of the significant current velocity. We conclude that strong wind-driven waves from the bay mouth are the leading cause of the vibration of the net cages. Furthermore, short-term meteorological disturbances due to the passage of low-pressure systems might cause vibration in the net cages without the occurrence of strong waves.

キーワード：ザブトン籠, 動揺, 波浪, ホタテガイ, 丸籠

噴火湾は北海道南西部に位置する直径50 km程度の円形に近い湾で、南東部の開口部で太平洋と接している (Fig. 1)。ホタテガイの垂下養殖漁業は、比較的静穏な海況を活用して開口部を除く湾内のほぼ全周で行われており、1990年ころから毎年10万トン前後が水揚げされる地域の基幹漁業となっている (Kosaka, 2016)。噴火湾では、春～夏に天然採苗した稚貝を約1年間、密度調整を行いな

成した後、貝殻に穿孔した穴にテグスなどを通して垂下縄に固定して本養成する「耳吊り」という手法で養殖が行われる。近年、噴火湾の養殖ホタテガイでは耳吊り後の本養成貝の大量死が頻発し、生産上の大きな問題となっている (金森, 2021; 金森ら, 2022)。著者らが、これまでに水産技術普及指導所と漁業協同組合で経年的に実施されてきた稚貝から成貝にわたる生残や成長、外部異常等に関する長期モニタリングデータを分析した結果、

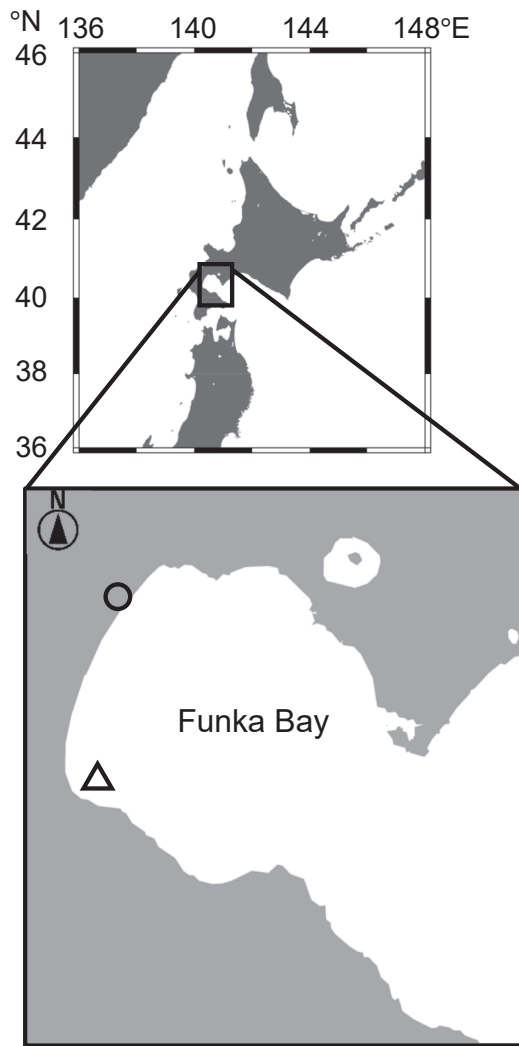


Fig. 1 Location of the field observation points in Funka Bay, Hokkaido, Japan. The open triangle and circle indicate the position of the aquaculture facilities offshore of Yakumo Town and the meteorological station in Oshamambe Town, respectively.

耳吊り後の本養成員の大量死は特定の年級で発生し、その年級における養殖籠による中間育成時の稚貝の育成不良に起因すると考えられた(金森, 2021; 金森ら, 2022)。ホタテガイを含む二枚貝養殖に関する先行研究においては、養殖籠の動揺(振動)が稚貝の成長不良や死亡につながることを示されている(松原ほか, 1993; 森, 1974)。また、噴火湾における近年の稚貝育成不良が発生した年の夏に、養殖施設の動揺が発生しやすい海洋環境が形成されている可能性が示唆されている(金森, 2019)。このように、養殖籠の動揺は籠内で飼育する二枚貝の育成に悪影響を及ぼす可能性があることから、これまでにイタヤガイなどの二枚貝養殖における延縄や筏などの垂下養殖施設を想定し、水槽実験施設や現地観測によって養殖籠の動揺を解析する研究が詳細に行われている(松原ほ

か, 1985; 1993; 明田・上北, 1990)。しかし、噴火湾のホタテガイ養殖現場において、波浪や潮流などの物理環境によって実際に養殖籠がどのように動揺しているかを実地に観測した知見が乏しいために、養殖籠の動揺が稚貝に与える影響を検討するに至っていない。そこで本研究の目的は、噴火湾のホタテガイ養殖施設において養殖籠の挙動とその周辺の物理環境の連続観測を試み、養殖籠の動揺に及ぼす物理環境、特に波浪の影響を検討することにある。

## 材料及び方法

**物理環境** 気象庁が公開している長万部における風速風向の特別データ(<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>, 2022年2月7日閲覧)を取得した。なお、気象庁の気象観測点の中で、現場観測を行った養殖施設にもっとも近傍の観測点は八雲であるが、湾内の波浪等海洋物理条件を検討するには、噴火湾の縦断(南東-北西)方向の最奥に位置する長万部が適当と判断した(磯田ほか, 2002)。湾内の八雲沖の稚貝養殖施設の幹綱から電磁流向流速計(INFINITY-EM, JFEアドバンテック株式会社)を垂下した(Fig. 2)。垂下水深は5 m深と10 m深の2層とし、観測設定は0.2秒間隔の300回バースト観測、バースト間隔は60分とした。本研究では養殖施設周辺に波高計を設置・回収することが困難であったため、波浪の指標として流向流速計から求められる有義流速振幅を用いた。ここで有義流速振幅とは、1バースト毎に得られる300個の流速データをゼロアップクロス法により5~6秒程度の1周期の波形に分解し、波の最大値と最小値との差分を流速の振幅としたものである。ゼロアップクロス法で用いる平均流速は流速の15秒移動平均とした。なお、有義流速振幅が現場海域の波浪の影響の指標として適当かどうか検証するために、沿岸波浪モデルの数値予報GPV(気象庁が作成し、(財)気象業務支援センターを通して公開され、京都大学生存圏研究所の生存圏データベースによって収集されたデータ(<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/jmadata/gpv-original.html>, 2022年2月9日閲覧))から、八雲の養殖施設近傍の格子点(北緯43° 18', 東経143° 18')における同日の午前9時と午後9時の有義波高および波向の推定データを入手し、それぞれ午前と午後の推定波高として、有義流速振幅の南東-北西成分と相関分析を行った。波動以外の流速と養殖籠の動揺との関連を評価するために、1回のバースト観測で得られた流向・流速データを南東-北西成分と北東-南西成分に分解した上で、各成分の流速を平均して1時間ごとの流速とした。噴火湾の開口方向に従って、風速・風向データを南

Table 1 Environmental and associated factors relating to vibrations of culture net cages used for the correlation and principal component analyses.

Factors	Codes
Days	D
Indicator of wind stress in Southeast-Northwest direction	E1
Indicator of wind stress in Northeast-Southwest direction	E2
Significant oscillating width in Southeast-Northwest direction	E3
Significant oscillating width in Northeast-Southwest direction	E4
Current velocity in Southeast-Northwest direction on upper layer	E5
Current velocity in Northeast-Southwest direction on upper layer	E6
Current velocity in Southeast-Northwest direction on lower layer	E7
Current velocity in Northeast-Southwest direction on lower layer	E8
Standard deviation of resultant acceleration of pearl net	P1
Standard deviation of vertical tilt of pearl net	P2
Standard deviation of water level of upper pearl net	P3
Standard deviation of water level of lower pearl net	P4
Standard deviation of resultant acceleration of lantern net	L1
Standard deviation of vertical tilt of lantern net	L2
Standard deviation of water level of upper lantern net	L3
Standard deviation of water level of lower lantern net	L4

東-北西方向（湾の縦断方向）と北東-南西方向（湾の横断方向）に分解した。バルク式によれば風が海面に及ばず運動量は密度、抵抗係数、風速の2乗値の積に比例することから、ここでは簡単に風速の2乗値を風応力の指標とした。各データは半日単位（午前と午後）で平均化した。これらを環境因子とした（Table 1）。

**養殖籠の動揺** 噴火湾では、7～8月ごろに採苗した稚貝

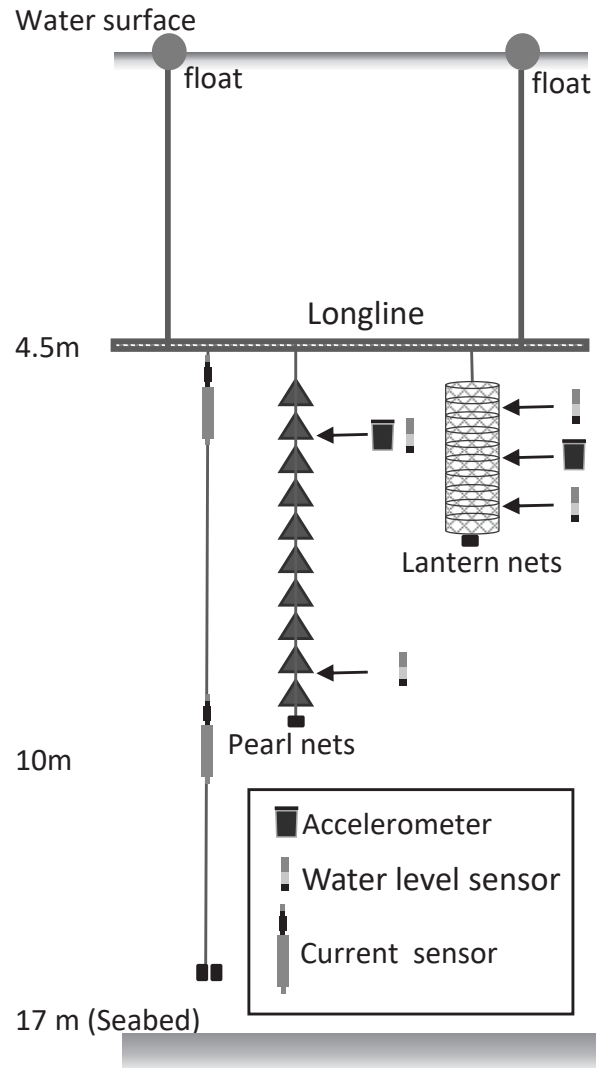


Fig.2 Schematic illustration of the culture nets, equipped with measuring instruments of physical parameters, used in the longline aquaculture facility for juvenile scallops in this study.

をサイズ選別して収容密度を1籠あたり数百個体程度に調整したうえで、ザブトン籠と呼ばれる四角錐状の養殖籠に収容して中間育成を開始する。海中への垂下時には、ザブトン籠を複数段連結して1連として幹綱から垂下する。この作業は仮分散と呼ばれる。ザブトン籠で育成された稚貝は、その後9～11月頃に再度サイズ選別され、収容密度を1籠あたり数十個体に調整されたうえで、円筒状の養殖籠の内側を10～15段の区画に仕切った丸籠に収容される。この丸籠を幹綱から垂下して翌年の春まで養成する。この作業を本分散と呼ぶ。本研究では、仮分散用のザブトン籠（目合い3 mm, 10段）と本分散用の丸籠（目合い9.1 mm, 10段）の2, 9段目に水位計（DEFI-DHG, JFEアドバンテック株式会社）およびザブトン籠の2段目と丸籠の5段目に加速度計（CO-UA-004-64, Onset社）を

取り付けた (Fig.2)。また, 養殖中の籠の動きに近づけることを想定して, 測器を取り付けなかった2, 9段目以外の

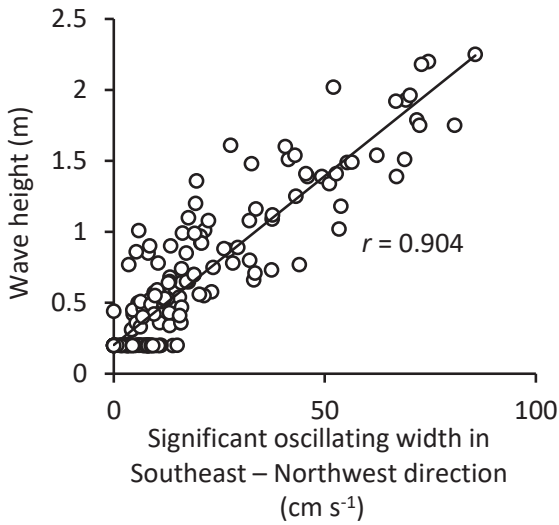


Fig.3 Relationships between simulated wave height (from GPV models from the Japan meteorological agency) and oscillating widths of significant current velocity (calculated from current velocity data collected in this study) in the Southeast–Northwest direction.

外のザブトン籠に1籠あたり150個体, 丸籠に1籠あたり30個体の仮分散および本分散に用いられる稚魚を収容し, ザブトン籠と丸籠の最下部にそれぞれ 750 gと1 kgの沈子を取り付けた。これらのザブトン籠を2020年7月16日から10月26日まで, 丸籠を9月11日から10月26日まで, 先述の八雲沖の稚魚養殖施設の幹綱に垂下して加速度計で水平2方向と鉛直1方向の各加速度の2乗和の平方根である3軸合成加速度と鉛直方向の籠の傾きおよび水位計で2層の深度を連続観測した (Fig.2)。水位計および加速度計のデータを, それぞれ10分に1回と2分に1回の頻度で取得した。加速度計は30日間程度の連続観測でバッテリー切れになるため, 籠内に複数の加速度計を設置し, 1台ごとに測定期間をずらして観測して一連のデータとした。ただし, 測器の不調のため, ザブトン籠の加速度計からは8月14~26日の期間, データを取得できなかった。

本研究では, 籠の振動要因として波浪を想定しているが, 一般的な波浪の1周期は数秒であるため, 本来, 加速度計や水位計の測定頻度である2分や10分間隔のデータ取得では分解しきれない。しかし, それらよりさらに長い期間で見たととき, 動揺の大きな期間では, 動揺の小さな期間に比べてデータのばらつきは大きくなると想定さ

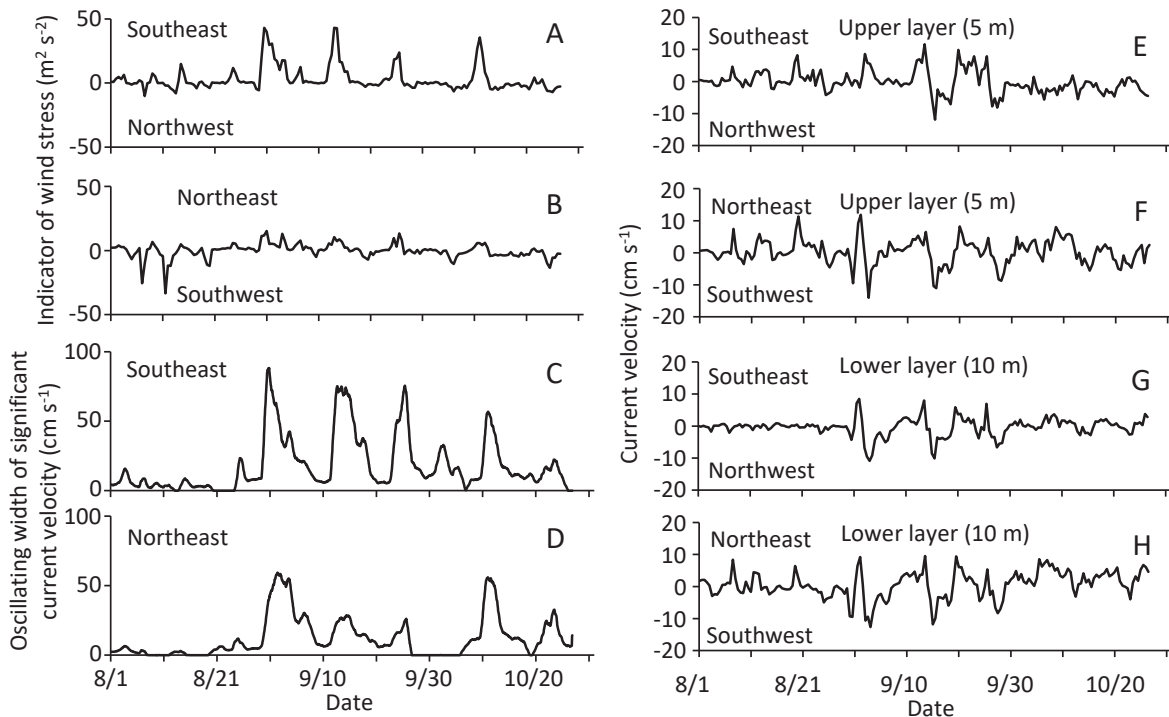
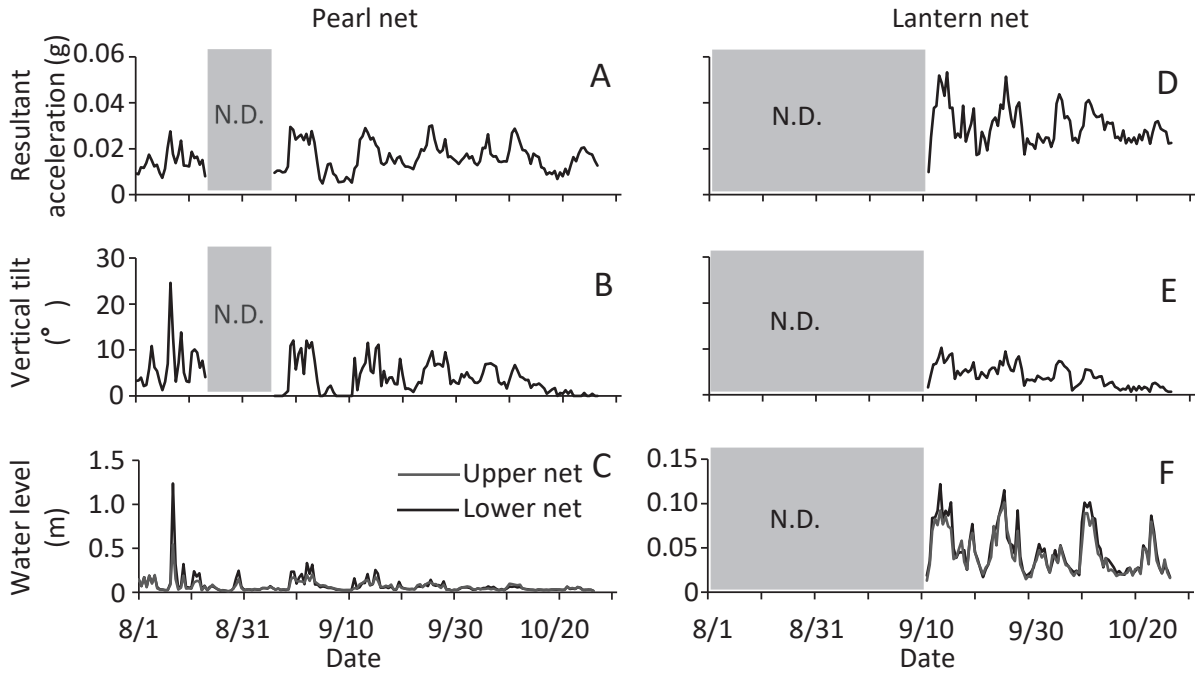


Fig.4 Temporal changes in the physical environmental factors (indicator of wind stress A and B; oscillating widths of significant current velocity C and D; current velocity E, F, G, and H) in Funaka Bay, Japan, from August to October 2020. Oscillating widths of significant current velocity is quantified as follows: The difference between the maximum and minimum current velocities in any wave cycle (5–6 s) is considered the oscillating width of the current velocity. The average of the top third oscillating width of the current velocity is defined as the oscillating widths of significant current velocity. Indicator of wind stress is defined as the squared value of the wind velocity.



N.D. indicates no data.

Fig.5 Temporal changes in standard deviations of resultant acceleration in the horizontal and vertical directions (A and D), vertical tilt (B and E), and water levels at the upper and lower levels (C and F) of the pearl (A, B, and C) and lantern nets (D, E, and F) for the intermediate culture of juvenile scallops.

れる。そこで、加速度計の合成加速度、および鉛直方向の傾き、上層段と下層段の水位計データを半日単位で1つのデータ群としたうえで、それらの標準偏差を籠の動揺に関するパラメーターとした (Table 1)。

**データ解析** 環境因子 (観測日数, 風応力, 有義流速振動幅) とザブトン籠の動揺に関するパラメーター, 環境因子と丸籠の動揺に関するパラメーターで相関分析とともに主成分分析を行った。相関分析および主成分分析には統計解析ソフト (エクセル統計Ver.3.23, 株式会社社会情報サービス) を用いた。

**結果**

**有義流速振動幅と推定波高の関係** 有義流速振動幅の南東-北西成分を説明変数, GPVから推定された波高を応答変数とする相関分析の結果, 両者には相関係数が0.9を超える強い正の相関があり, 有義流速振動幅は現地の波浪による周期性をもった流速変動を示す指標として有効であると考えられた (Fig.3)。

**物理環境および養殖籠の振動の時間変動** 8月上旬と中旬に南西方向 (浜なり) の風応力の影響の指標が一時的に強まり, 同時に, 表層および底層で南西方向の流速の上昇も観測された (Fig.4)。このとき, ザブトン籠の傾きと水位計の標準偏差も顕著に高い値を示した (Fig.5)。

Table 2 Coefficients of correlation (*r*) between physical environmental factors and the factors related to vibrations of culture net cages. Grey hatchings indicate weak ( $|0.2| < r < |0.5|$ ), moderate ( $|0.5| < r < |0.8|$ ), and strong ( $|0.8| < r$ ) correlations (from light to dark).

A												
	D	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	P1	P2	P3
E1	-0.13											
E2	-0.08	0.65										
E3	0.07	0.82	0.58									
E4	0.13	0.66	0.47	0.69								
E5	-0.29	0.34	0.21	0.18	0.22							
E6	-0.02	0.12	-0.01	-0.07	-0.02	0.35						
E7	0.10	0.09	-0.06	-0.11	-0.17	0.25	0.78					
E8	0.26	-0.13	-0.35	-0.28	-0.26	0.12	0.72	0.83				
P1	0.09	0.62	0.26	0.70	0.50	0.21	-0.04	-0.11	-0.13			
P2	-0.36	0.37	0.09	0.38	0.17	0.18	-0.05	-0.17	-0.16	0.69		
P3	-0.40	0.36	0.17	0.38	0.29	0.28	-0.01	-0.20	-0.19	0.53	0.78	
P4	-0.35	0.16	-0.01	0.17	0.12	0.22	0.02	-0.15	-0.07	0.42	0.78	0.93

B												
	D	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	L1	L2	L3
E1	-0.37											
E2	-0.46	0.78										
E3	-0.48	0.80	0.73									
E4	0.06	0.61	0.45	0.60								
E5	-0.29	0.46	0.39	0.27	0.20							
E6	-0.02	0.29	0.17	-0.03	0.10	0.52						
E7	0.13	0.26	0.08	-0.12	0.04	0.58	0.82					
E8	0.30	0.02	-0.25	-0.34	-0.11	0.35	0.71	0.84				
L1	-0.25	0.60	0.41	0.70	0.48	0.16	-0.10	-0.05	-0.13			
L2	-0.70	0.54	0.45	0.66	0.19	0.20	-0.11	-0.16	-0.28	0.78		
L3	-0.35	0.73	0.62	0.83	0.65	0.33	0.02	-0.05	-0.24	0.76	0.69	
L4	-0.35	0.76	0.62	0.83	0.67	0.30	-0.02	-0.06	-0.27	0.76	0.71	0.96

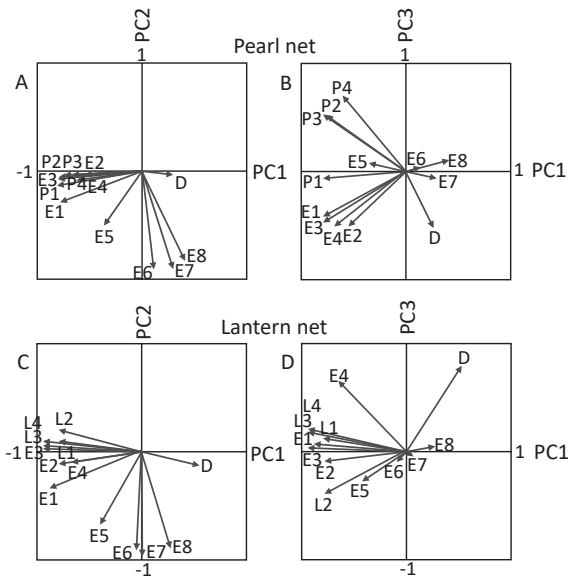


Fig. 6 Factor loadings of the first three principal components (PC1, PC2, and PC3) of the principal component analysis of the environmental factors and those related to vibrations of the culture net cages are indicated in Table 1.

8月末から10月中旬にかけて、南東方向（沖方向から岸方向）で風応力の指標の顕著な増加がスパイク状に数日間連続することが間欠的に観測され、同様に沖方向から岸方向の有義流速振動振幅も増加した。同時期に流速も大きな変動を見せた。同時にザブトン籠および丸籠の動揺に関する因子も高い値を示した。

**相関分析** ザブトン籠では、合成加速度の標準偏差 (P1) は、南東-北西方向の風応力の指標 (E1) や有義流速振動振幅 (E3) と相関係数が0.6を超える正の相関を示した (Table 2A)。籠の傾き (P2) および上層の水位計の標準偏差 (P3) も、南東-北西方向の風応力の指標 (E1) や有義流速振動振幅 (E3) と弱い正の相関を示した。合成加速度と水位計の標準偏差 (P1, P3, P4) は、南東-北西方向の上層の流速と弱い正の相関を示した (E5)。また、経過日数 (D) と籠の傾き (P2) や水位計の標準偏差 (P3, P4) は、弱い負の相関を示した。次いで、丸籠ではすべての籠の動揺に関する因子 (L1~L4) は、南東-北西方向の風応力の指標 (E1) や有義流速振動振幅 (E3) と正の相関を示した (Table 2B)。水位計の標準偏差 (L3, L4) は、南東-北西方向の上層の流速 (E5) と弱い正の相関を示した。また、経過日数 (D) は籠の傾きの標準偏差 (L2) と負の相関を、合成加速度と水位計の標準偏差 (L1, L3, L4) と弱い負の相関を示した。

**主成分分析** 環境因子とザブトン籠の動揺に関する因子における第1, 2, 3主成分の寄与率は、それぞれ35.1, 20.3, 17.2% (累積寄与率72.7%) であった。第1主成分では、南

東-北西方向の風応力の指標 (E1) および有義流速振動振幅 (E3) などの環境因子と籠の動揺に関する各因子 (P1~P4) における因子負荷量がともに負の高い値を示し、第2主成分では流速に関する各因子 (E5~E8) が負に高い値を示した (Fig. 6A)。第3主成分の因子負荷量では経過日数 (D)、北東-南西方向の風応力の指標 (E2) と有義流速振動振幅 (E4) が負の、籠の傾きと水位計の標準偏差 (P2~P4) が正の値で大きくなる傾向を示した (Fig. 6B)。環境因子と丸籠の動揺に関する因子における第1, 2, 3主成分の寄与率は、それぞれ46.9, 23.8, 10.2% (累積寄与率80.9%) であった。第1主成分では、ザブトン籠と環境因子による主成分分析と同様に、南東-北西方向の風応力の指標 (E1) および有義流速振動振幅 (E3) などの環境因子と籠の動揺に関する各因子 (L1~L4) における因子負荷量がともに負の高い値を示し、第2主成分では流速に関する各因子 (E5~E8) が負に高い値を示した (Fig. 6C)。第3主成分の因子負荷量では経過日数 (D) と北東-南西方向の有義流速振動振幅 (E4) が高い正の値を示し、籠の傾きの標準偏差 (L2) が負でやや高い値を示した (Fig. 6D)。

## 考察

観測期間中の南東方向の風応力の指標の強まりと同じ向きの有義流速振動振幅の増加が対応しており (Fig. 4)、南東方向の風により強い波浪が生じた事を示している。これは、噴火湾では吹送距離の長い湾口からの南東風で強いうねりが生じる過去の知見と対応する (阿部島ほか, 1995)。主成分分析における第1主成分には、南東方向の風応力の指標および有義流速振動振幅とザブトン籠と丸籠の動揺に関するすべての因子の寄与が大きく (Fig. 6A and C)、これらの因子は強い正の相関を示した (Table 2)。従って第1主成分は、南東風によって波浪が強まり、波浪によって籠が強く動揺するという一連の環境変化による籠の動揺を示した指標と考えられる。噴火湾における近年のホタテガイ稚貝の成育不良年級が経験する夏の環境の特徴の一つとして、最大風速の風向が湾口方向である日数が長いことが挙げられている (金森, 2019)。また養殖籠の振動はホタテガイ成貝の成長や生残に悪影響を及ぼすことが報告されている (森ほか, 1974)。夏季に南東方向の風の連吹で波高が高まり、養殖籠の振動が強まることによって、噴火湾におけるホタテガイ稚貝の成育不良が引き起こされている可能性がある。今後、籠の動揺が稚貝の成育に及ぼすストレスを評価することは、稚貝の成育不良のメカニズムを明らかにする上で重要な課題と考えられる。

環境因子とザブトン籠および丸籠の動揺に関する主成分分析では、ともに第2主成分で流速に関連した因子が高い因子負荷量を示すことから、第2主成分は観測期間中の流速変動に関連した指標と考えられる。この第2主成分において、籠の動揺に関する因子負荷量はさほど高くなく (Fig. 6A and C)、相関分析において各流速因子は、籠の動揺に関する因子と強い相関を示さないことから、潮流が籠の動揺に及ぼす影響は波浪ほど大きくないと考えられる。

ザブトン籠と環境因子による主成分分析における第3主成分の因子負荷量は、養殖日数が負、籠の動揺に関する因子で正の高い値を示していることから、第3主成分は観測期間中の早い時期の強い籠の動揺を示した指標と考えられる。この第3主成分の主成分得点は、8月7日の午後の数値のみ顕著に高くなっており (8月7日午後の主成分得点11.4で、それ以外は-2.7から4.6の範囲)、さらにザブトン籠の傾きと水位の標準偏差が観測期間中最も高い値を示しており、この一時的な強い籠の動揺が第3主成分に強く反映されていると考えられる。しかし、有義流速振動幅はさほど高くなく (Fig. 4)、波浪では説明できない強い籠の動揺であったと言える。8月7日には台風から変わった低気圧が北海道を通過しており (気象庁ホームページ, <https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>, 2022年3月7日閲覧)、南西風が強まるとともに北東向きへの流速が強まったため、一時的な気象攪乱が籠の動揺に関連したと推察される。沿岸域で突発的に発生し、漁具などの破損を引き起こす強流現象は「急潮」と呼ばれ、低気圧の通過によっても生じ得ることが知られている (松山, 2013)。8月7日に生じた環境変動と籠の動揺は、このような強流現象によって引き起こされた可能性がある。しかし、観測期間中の1例のみなので、一時的な気象攪乱が籠の動揺にどのように影響するかは今後の検討課題となろう。

経過日数と丸籠の傾きの変動は、負の相関を示した (Table 2)。これに加え、丸籠の動揺に関する因子と環境因子による主成分分析における第3主成分では、養殖日数の因子負荷量が正の大きい値をとる一方で、籠の傾きの変動が負の値を示した (Fig. 6)。このような経過日数と籠の傾きの変動の負の相関関係はザブトン籠でも認められ、これらの結果は稚貝の成長に伴う籠全体の重量の増加などによって籠が傾きにくくなっていることを示唆している。他方、丸籠の動揺に関する因子と環境因子による主成分分析における第3主成分では、籠の傾きが経過日数と異なる符号のベクトルであるのに対し、籠が受ける加速度は小さいながら同じ符号である。時間が経過するとともに、籠は水平方向に揺れにくくなるものの、鉛直

方向の揺れは時間の経過にさほど影響されないと考えられる。

本研究では、ホタテガイ稚貝養殖施設に垂下したザブトン籠と丸籠の動揺を噴火湾において現地観測した。その結果、観測期間における調査対象施設では、湾の開口方向から吹送る風にもなって強まる波浪が籠の動揺を引き起こす重要な因子であると結論された。

筆者らは、本研究で行った養殖籠の動揺の観測に加えて、タイムラプス撮影を用いた養殖籠中のホタテガイ稚貝の行動観察を試みている (夏池ほか, 2021; Natsuike et al., 2022)。噴火湾におけるホタテガイ稚貝の育成不良の発生メカニズムを明らかにするという目標においては、養殖籠の動揺に対して稚貝の行動や育成がどのように影響されるのかを検討していくことが重要になろう。

## 謝 辞

八雲町漁業協同組合、同組合の阿チ谷大輔氏、渡島総合振興局渡島地区水産技術普及指導所、渡島北部地区水産技術普及指導所所員の皆様、北海道立総合研究機構函館水産試験場の北川雅彦氏ならびに同栽培水産試験場の渡野邊雅道氏に現場調査にご協力頂いたことを御礼申し上げます。

## 引用文献

- 阿部島直哉, 天下井清, 木村暢夫, 大越金蔵. 船舶観測による噴火湾の波浪特性について. 日本航海学会論文集 1998; 98: 93-101.
- 明田定満, 上北征男. 延縄養殖施設の動揺に関する研究. 水産工学研究所技報 1990; 12: 57-78.
- 磯田 豊, 齊田季実治, 鈴木 恒. 噴火湾石倉沖の数日周期水温変動. 水産海洋研究 2002; 39: 151-161.
- 金森 誠. 試験研究は今No.888「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」. 2019; <https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/work1/ima888.html>
- 金森 誠. 試験研究は今No.924「噴火湾養殖ホタテガイの稚貝育成不良の実態-生産現場における長期モニタリングデータの分析から-」. 2021; <https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/work1/ima924.html>
- 金森 誠, 夏池真史, 瀬戸啓介, 白井睦実, 河井 渉, 吉田 聡. 稚貝調査と出荷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. 北海道水産試験場研究報告 2022; 102: 13-22.
- 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.
- 松原雄平, 平尾 章, 川原秀昭, 野田英明. 波による延縄式養殖施設の動的応答に関する研究. 海岸工学講演会論文集 1985 ; 32 : 647-651.
- 松原雄平, 野田英明, 黒岩正光, 阿部信弥, 沖合養殖筏施設の波浪動揺に関する研究. 海岸工学論文集 1993 ; 40 : 916-920.
- 松山優治. 急潮・・・沿岸強流災害. 東京海洋大学研究報告 2013 ; 9 : 1-4.
- 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.
- 夏池真史, 金森 誠, 山崎千登勢, 西田芳則, 本家一彦. 安価なタイムラプスカメラを用いた中間育成中のホタテガイ稚貝の行動観察(技術報告). 北海道水産試験場研究報告 2021 ; 100 : 55-62.
- Natsuike M, Natsuike Y, Kanamori M, Honke K. Semi-automatic recognition of juvenile scallops reared in lantern nets from time-lapse images using a deep learning technique. *Plankton and Benthos Research* 2022 ; 17 : 91-94.