

ホタテガイによる 環境モニタリング法に関する研究開発

吉田 達・小坂 善信・山内 弘子・鹿内 満春

近年、二枚貝の殻体運動を測定する装置（通称：貝リングル）が開発され、アコヤガイでは有害物質や赤潮等に対して特異的な殻体運動を示すことが明らかになっている¹⁾。陸奥湾のホタテガイ養殖漁業においても、高水温・餌料不足・潮流などがホタテガイの成長不良やへい死要因として考えられている。このため、ホタテガイに貝リングルを装着して殻体運動を常時把握し、漁場環境の変化をいち早く察知することにより、漁業者に情報を提供するシステムを開発するものである。

なお、研究にあたって御協力いただいた（株）東京測器研究所の山下所長に感謝申し上げます。

調査方法

1 殻体運動に与える水温と餌料環境の影響

室内における各種試験を行う前に、ホタテガイの平常時の殻体運動を把握するために、以下のような予備試験を行った（図1～2）。

4 lの円形水槽2個に、1 μ mのフィルターでろ過した海水を定量液送ポンプ（EYELA、RP1000）で550ml/分注水し、ホタテガイをそれぞれ1個体ずつ収容した。ホタテガイは青森市久栗坂沖で養殖した平成16年産貝を用いた。一方の水槽には、10 l瓶で培養した*Chaetoceros gracilis*を、円形水槽の注水部のクロロフィルa濃度が2.0 μ g/l（陸奥湾のブルーミング時の平均値²⁾を参考）となるように、定量液送ポンプ（EYELA、MP3）で注入した。収容したホタテガイの左殻には貝リングル（東京測器研究所、DC104R）のホール素子センサーを、右殻にはホール素子センサーと相対する位置に磁石を、それぞれ水中硬化型エポキシ樹脂（ヘルメチック社、アクアコート）で接着後、高水温期の平成17年8月2日～8月5日にかけて1秒間隔で殻体運動を記録した。また、低水温期の平成17年12月2日～12月5日にかけて同様に試験を行った。なお、水槽内の水温を自記式水温計（オンセットコンピューター社、StowAway TidbiT）を用いて1時間間隔で記録した。

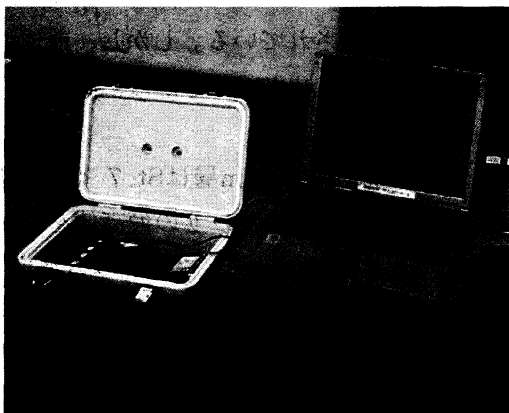


図1 殻体運動測定装置(左)と制御用パソコン



図2 センサーを装着したホタテガイ(左が給餌区、右が無給餌区)

2 殻体運動に与える塩分、溶存酸素、濁り、流れ、有害物質の影響

予備試験の結果に基づき、塩分、溶存酸素、濁り、流れ、有害物質（アンモニア）に対する殻体運動を把握するために以下のとおり試験を行った（図3～4）。

塩分、溶存酸素、濁り、アンモニアに対する殻体運動試験は、4ℓの円形水槽2個にホタテガイをそれぞれ1個体ずつ収容し、片方の水槽には1μmのフィルターでろ過した海水を、もう一方の水槽には塩分濃度、溶存酸素量、濁度、アンモニア濃度を調整した海水を、定量液送ポンプ（EYELA、RP1000）でそれぞれ550ml/分注水した。溶存酸素量、濁度、塩分濃度はポータブル多項目水質計（TOA DKK社、WQC-24）を用いて測定し、アンモニア濃度はアンモニア態窒素をオートアナライザー（プランルーベ社、TRACCS800）で分析した。

流れの試験は、200ℓFRP水槽に1μmのフィルターでろ過した海水を入れ、パールネットにホタテガイを1個体収容して静置し、対照区とした。また、FRP水槽上部に幅15cm×高さ13cm×長さ150cmの亚克力製水路を設置し、水路内に長さ15cm×直径0.5cmの木製棒を流れに対して直角になるように取り付け付けた。新耳吊り留金を付けたホタテガイ1個体を木製棒に固定した後、水路内に水中ポンプで水流を発生させ、試験区とした。

なお、それぞれの試験区は以下のような考え方に基づき、設定値を決めて、ろ過海水を調整した。

- ・塩分：H8～15年度の漁場環境調査³⁻¹⁰では、表層はSt.7（青森沖水深33m）で24.5%の最低値を記録しているが、養殖水深に近い20m層はSt.4（東湾中央水深47m）の31.9%が最低値であった。当研究所のろ過海水は30.4%と低いことからろ過海水を試験区とし、対照区はろ過海水にNaClを溶かして塩分濃度を34.0%に調整した。
- ・溶存酸素：H8～15年度の漁場環境調査³⁻¹⁰では、養殖水深に近い20m層はSt.3（大島沖水深52m）で6.6mg/ℓであったが、底層はSt.4（東湾中央水深47m）で3.5mg/ℓが最低値であったことから、試験区はろ過海水に亜硫酸ナトリウムを溶かして溶存酸素を3.5mg/ℓに調整した。
- ・濁り：陸奥湾内の濁度に関する調査データが全くないが、北海道石狩川沖、鶴川沖では100～200mg/ℓの濁度¹¹を観測していること、平成15～16年度漁場環境保全方針策定事業¹²⁻¹³では微細粒子の影響を確認するため濁度100mg/ℓの海水を用いて試験を行っていることから、試験区はろ過海水に粒径63μm以下の海底泥を溶かして濁度を100mg/ℓに調整した。
- ・流れ：養殖施設内の流速に関する調査データが全くないが、昭和50年7月に平館で発生した急潮被害の流速は0.95m/s（1.8ノット）以上と推定¹⁴されている。しかし、前述の水中ポンプの能力が0.51m/s（1ノット）の流れしか作り出せないことから、試験区の流速は0.51m/s（1ノット）とした。
- ・アンモニア：H8～15年度の漁場環境調査³⁻¹⁰では、養殖水深に近い20m層はSt.7（青森沖水深33m）で55μg/ℓ、底層はSt.2（西湾中央水深53m）で74μg/ℓの最高値を記録していることから、試験区はろ過海水にアンモニウム水を添加してアンモニウム濃度を70μg/ℓに調整した。また、佐藤ら¹⁵によるアンモニアの半数致死濃度試験ではアンモニア濃度が2,000、10,000、20,000μg/ℓの海水を用いたことから、佐藤らと同様の方法により調整した濃度でも試験を行った。

供試貝は茂浦地先で養殖した平成16年産貝を用い、貝殻に貝リングルのセンサーを装着後、試験前の1日間ろ過海水に馴致して、殻体運動を1秒間隔で記録し異常な波形がないことを確認した。なお、塩分・溶存酸素・流れの3試験、濁り・アンモニアの2試験（高濃度アンモニア試験除く）には、それぞれ同じ貝を用いたため、試験終了後、10ℓ瓶で培養した*Chaetoceros gracilis*を円形水槽の注水部のク

ロロフィル a 濃度が $2.0 \mu\text{g}/$ となるように添加したろ過海水中で3～6日間飼育してから次の試験に供した。

塩分、溶存酸素、濁り、流れ、アンモニア試験（高濃度除く）は平成17年12月9日から17年12月21日にかけて、高濃度アンモニア試験は平成18年4月12日及び14日に実施し、それぞれ1秒間隔で3～6時間殻体運動を記録した。また、流れの試験は試験終了後にポンプを停止し、試験区のホテルゲイを水路からパールネットに移し替えて、200ℓFRP水槽に静置後に引き続き2時間殻体運動を記録した。

なお、水槽内の水温を自記式水温計（オンセットコンピューター社、StowAway TidbiT）を用いて1時間間隔で記録した。

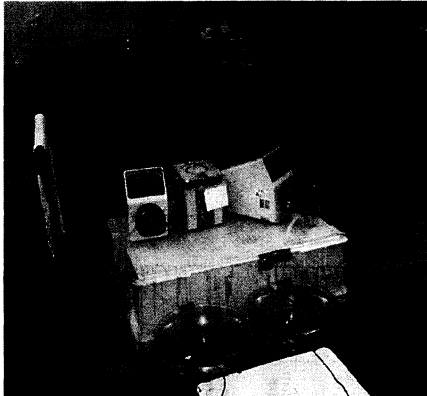


図3 塩分、溶存酸素、濁り、アンモニアに対する試験



図4 流れに対する試験

3 屋外試験

ホテルゲイの養殖籠内における波浪に対する殻体運動を把握するために、以下のような試験を行った。目合2分目のパールネット（底面35cm×35cm）1段に1.5kgのコンクリートの錘を付けて、貝リングのセンサーを装着したホテルゲイを1個体ずつ収容し、一方を波浪の影響を受ける当研究所前の筏に、もう一方を波浪の影響を受けにくい栈橋にそれぞれ垂下した（図5）。ホテルゲイは青森市久栗坂沖で養殖した平成16年産貝（殻長10cm）を用い、平成18年1月30日～2月3日にかけて、1秒間隔で殻体運動を記録した。また、収容密度による違いも明らかにするために、ホテルゲイを5個体/段と12個体/段ずつ収容し、平成18年2月19日～2月23日にかけて同様の試験を行った。

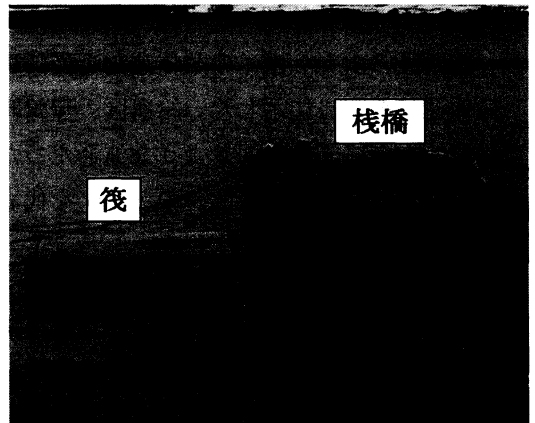


図5 波浪及び収容密度に対する試験

なお、自記式水温計（オンセットコンピューター社、StowAway TidbiT）を用いて1時間間隔で水温を記録した他、ポータブル多項目水質計（TOA DKK社、WQC-24）を用いて、海水中の溶存酸素量、濁度、塩分濃度を毎日午前中に記録した。収容密度による試験は、自記式深度計（アレック電子、MDS-MkV/D）をパールネットに装着して、パールネットの上下動も記録した。

結果と考察

1 殻体運動に与える水温と餌料環境の影響

8月2日～8月5日の高水温期における試験中の水温は $23.1\sim 25.8^{\circ}\text{C}$ とかなり高めに推移していた

(図6)

給餌区のホタテガイの殻体運動を図7に、無給餌区の殻体運動を図8に示した。グラフの縦軸は、センサーと磁石間のひずみ出力値（磁力を電圧に変換した値）であり、0 $\mu\epsilon$ 付近のフラットな波形は、ホタテガイが貝殻を開き気味にして安定した状態であることを示す。数値がマイナスになるほど、ホタテガイは殻を閉じる状態であることを示し、鋭角なスパイク波形はホタテガイが安定状態から急激に殻を閉る状態を示している。

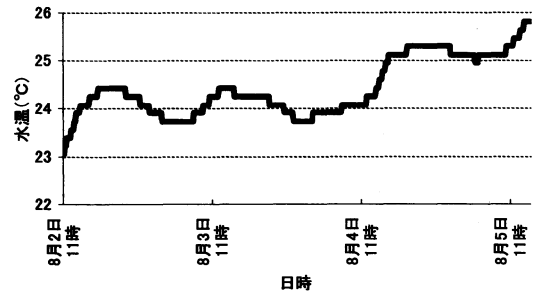


図6 室内試験（高水温期）における水温の推移

給餌区、無給時区ともに、試験開始から終了まで同じような波形だったことから、8月4日19時～8月5日3時のデータを代表的な波形として示した。

給餌区よりも無給時区で激しい殻体運動が見られることから、高水温時には餌料環境により殻体運動に差が見られることが明らかになった。

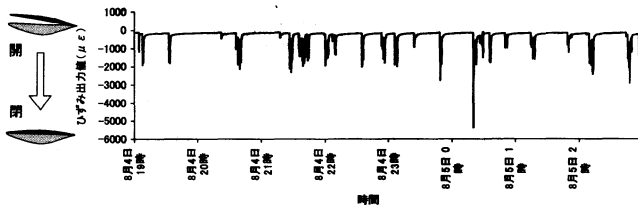


図7 高水温におけるホタテガイ殻体運動（給餌あり）

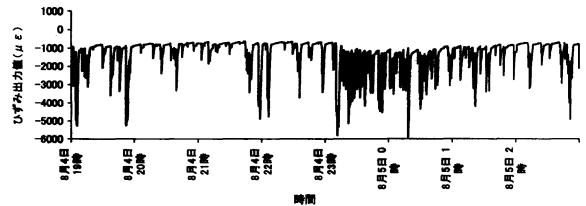


図8 高水温におけるホタテガイ殻体運動（無給餌）

12月2日～12月5日の低水温期における試験中の水温は9.8～11.8℃の範囲であった（図9）。

給餌区のホタテガイの殻体運動を図10に、無給餌区の殻体運動を図11に示した。給餌区、無給時区ともに、試験開始から終了まで同じような波形だったことから、12月1日18時～12月2日2時のデータを代表的な波形として示した。

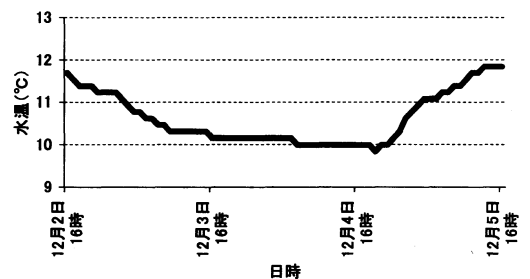


図9 室内試験（低水温期）における水温の推移

高水温期とは異なり、給餌区と無給餌区とでは差が見られなかった。水温が低ければ餌料環境の影響を排除できることが明らかになったことから、塩分、溶存酸素、濁り、流れ、アンモニアに関する室内試験は低水温期に無給餌で行うこととした。

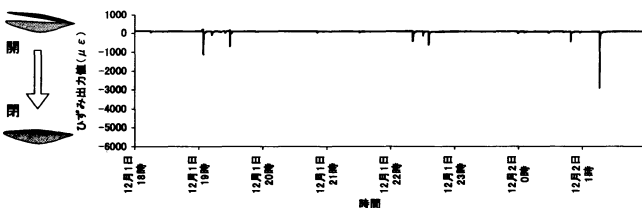


図10 低水温におけるホタテガイ殻体運動（給餌あり）

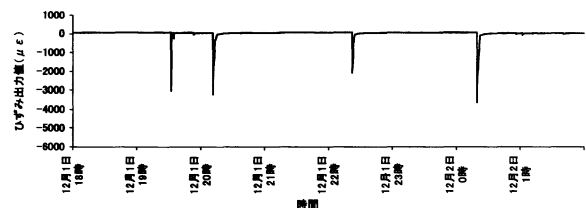


図11 低水温におけるホタテガイ殻体運動（無給餌）

2 殻体運動に与える塩分、溶存酸素、濁り、流れ、アンモニアの影響

各試験における水温の変化を図12に示した。塩分試験では11.4～12.3℃、溶存酸素試験では9.2～10.8℃、濁度試験では10.2～10.6℃、流速試験では8.3～9.7℃、アンモニア試験では8.3～11.1℃の範囲で推移した。

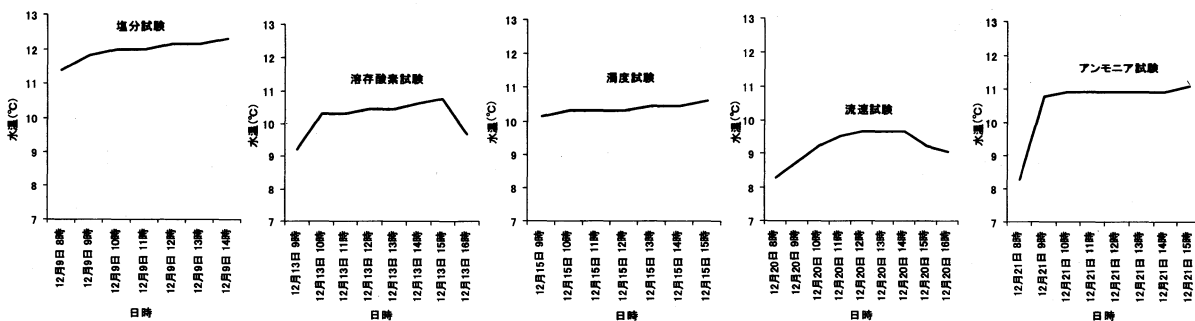


図12 室内試験（塩分、溶存酸素、濁度、流速、アンモニア）における水温の推移

(1) 塩分

塩分試験における馴致期間の殻体運動を図13に示した。塩分濃度30.4‰のろ過海水に馴致したところ、高塩分区（本試験で塩分濃度34.0‰にする貝）、低塩分区（本試験で塩分濃度30.4‰にする貝）ともに安定した状態であった。

塩分試験の結果を図14に示した。高塩分区、低塩分区ともに、試験開始から終了まで同じような波形だったことから、12月9日8時～15時のデータを代表的な波形として示した。低塩分区よりも高塩分区の方が殻体運動は激しかった。これは、当研究所の低塩分海水に馴致していた試験貝が、急に高塩分環境に曝されたことが原因と考えられた。

今回は当研究所のろ過海水の塩分濃度が30.4‰と低かったので、低塩分環境から高塩分環境への変化に対する殻体運動を明らかにしたものであるが、高塩分環境から低塩分環境への変化（雪解けや大雨による河川水流入等）に対しても同様の反応を示すことが予想された。

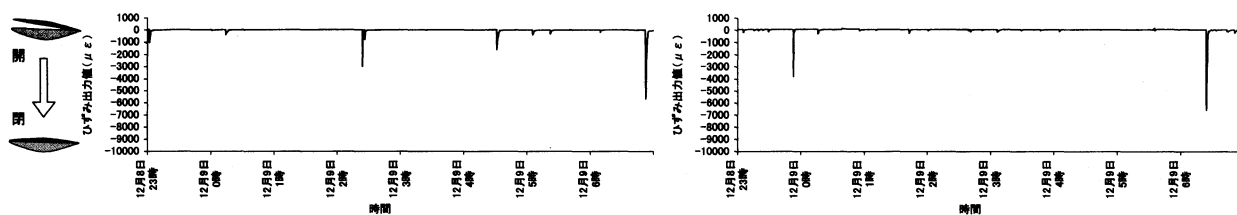


図13 塩分試験の馴致期間におけるホタテガイ殻体運動（左は本試験で塩分34.0‰にする貝、右は塩分30.4‰にする貝）

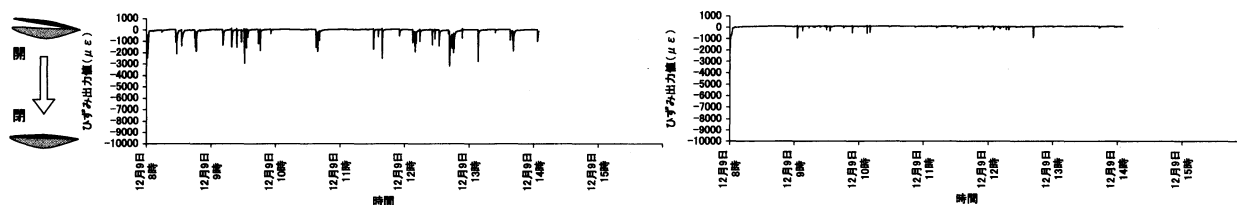


図14 塩分試験におけるホタテガイ殻体運動（左は塩分34.0‰、右は塩分30.4‰）

(2) 溶存酸素

亜硫酸ナトリウムの水質に与える影響が懸念されたため、試験開始前にそれぞれの水槽の濁度、pH、塩分濃度を測定した結果、試験区（溶存酸素3.5mg/ℓ）と対照区（溶存酸素10.9mg/ℓ）で差が無いことを確認した（表1）。

表1 溶存酸素試験における試験開始前の濁度、pH、塩分濃度

	試験区	対照区
	(溶存酸素3.5mg/ℓ)	(溶存酸素10.9mg/ℓ)
濁度 (mg/ℓ)	0.0	0.0
pH	8.65	8.66
塩分濃度 (%)	30.4	30.5

馴致期間の殻体運動を図15に示した。溶存酸素10.9mg/ℓのろ過海水に馴致したところ、試験区

(本試験で溶存酸素3.5mg/ℓにする貝)、対照区(本試験で溶存酸素10.9mg/ℓにする貝)ともに安定した状態であった。

溶存酸素試験の結果を図16に示した。試験区、対照区ともに、試験開始から終了まで同じような波形だったことから、12月13日9時～16時のデータを代表的な波形として示した。試験区では、小刻みで連続した波形が見られたことから、ホタテガイは低酸素の環境に曝されると、貝殻をわずかに開閉する運動を繰り返すことが明らかになった。

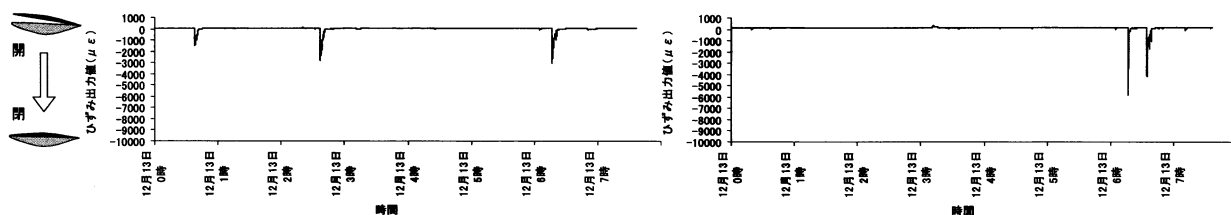


図15 溶存酸素試験の馴致期間におけるホタテガイ殻体運動(左は本試験で溶存酸素3.5mg/ℓにする貝、右は溶存酸素10.9mg/ℓにする貝)

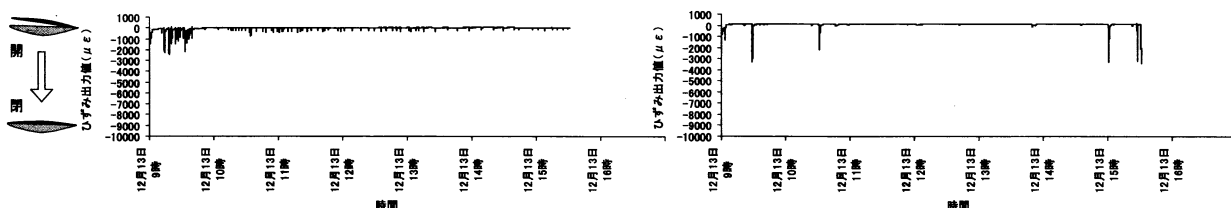


図16 溶存酸素試験におけるホタテガイ殻体運動(左は溶存酸素3.5mg/ℓ、右は溶存酸素10.9mg/ℓ)

(3) 濁り

馴致期間の殻体運動を図17に示した。濁度0mg/ℓのろ過海水に馴致したところ、試験区(本試験で濁度100mg/ℓにする貝)では初めに多少の殻体運動が見られたが、その後は安定した状態になった。対照区(濁度0mg/ℓにする貝)は安定した状態であった。

濁度試験の結果を図18に示した。試験区、対照区ともに、試験開始から終了まで同じような波形だったことから、12月15日9時～16時のデータを代表的な波形として示した。試験区では試験開始から3時間は連続した激しい波形が見られたことから、ホタテガイは濁りの激しい環境に曝されると、貝殻を激しく開閉させることが明らかになった。

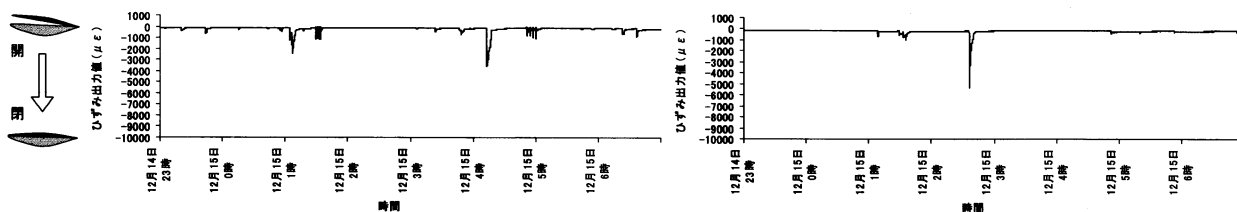


図17 濁度試験の馴致期間におけるホタテガイ殻体運動(左は本試験で濁度100mg/ℓにする貝、右は濁度0mg/ℓにする貝)

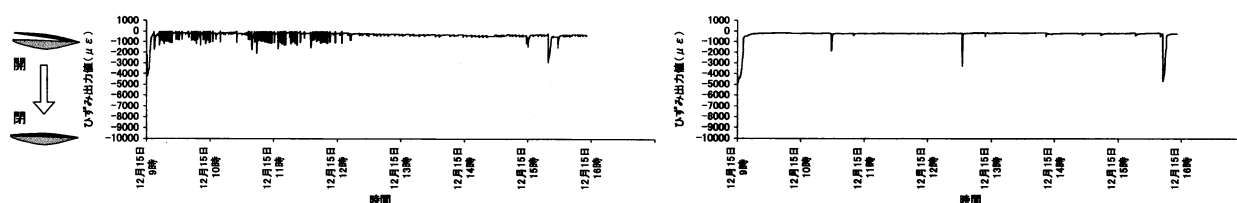


図18 濁度試験におけるホタテガイ殻体運動(左は濁度100mg/ℓ、右は濁度0mg/ℓ)

(4) 流れ

馴致期間の殻体運動を図19に示した。止水のろ過海水に馴致したところ、試験区（本試験で流速1ノットにする貝）、対照区（流れがない状態にする貝）ともに安定した状態であった。

流速試験の結果を図20に示した。試験区、対照区ともに、試験開始から終了まで同じような波形だったことから、12月20日8時～16時のデータを代表的な波形として示した。試験区では、試験開始から6時間は、ひずみ出力値が-1000近くの低いレベルで、激しい波形が見られたが、試験終了（ポンプ停止）後2時間は比較的安定した状態になった。また、対照区では、試験開始から6時間は激しい波形が見られたが、試験終了（ポンプ停止）後2時間は非常に安定した状態になった。

こうしたことから、ホタテガイは流れの速い環境に曝されると貝殻をほとんど閉じた状態になることが明らかになった。なお、試験区も対照区もポンプ作動中は激しい殻体運動が見られたが、対照区は水中ポンプを入れたFRP製水槽内に設置していることから微小な流れの影響は否定できない。このため、ポンプ作動中のホタテガイの殻体運動が流れによるものか、ポンプの振動によるものかは明確にできなかった。

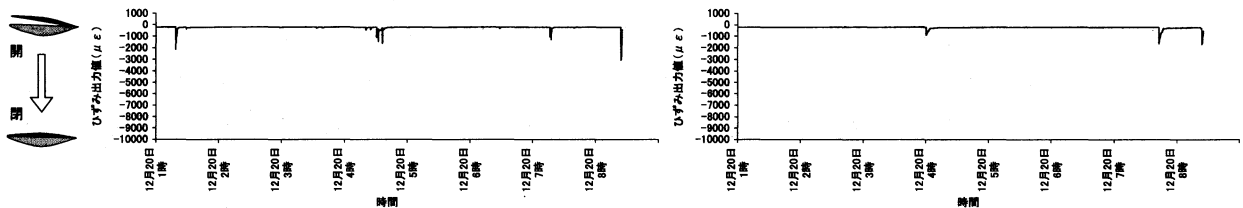


図19 流速試験の馴致期間におけるホタテガイ殻体運動（左は本試験で流速1ノットにする貝、右は流速なしの状態にする貝）

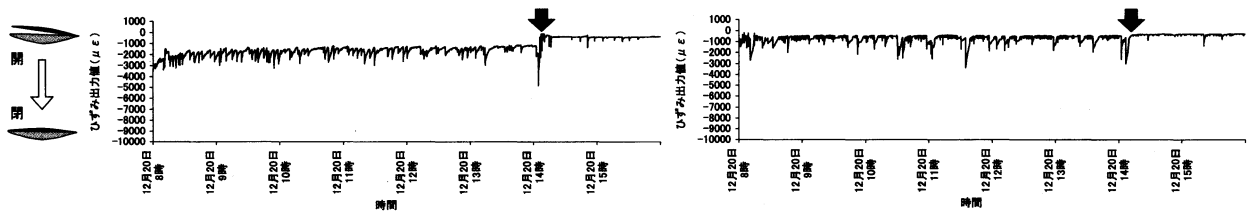


図20 流速試験におけるホタテガイ殻体運動（左は流速1ノット、右は流速なし。矢印はポンプ停止）

(5) 有害物質（アンモニア）

馴致期間の殻体運動を図21に示した。アンモニア濃度0 mg/lのろ過海水に馴致したところ、試験

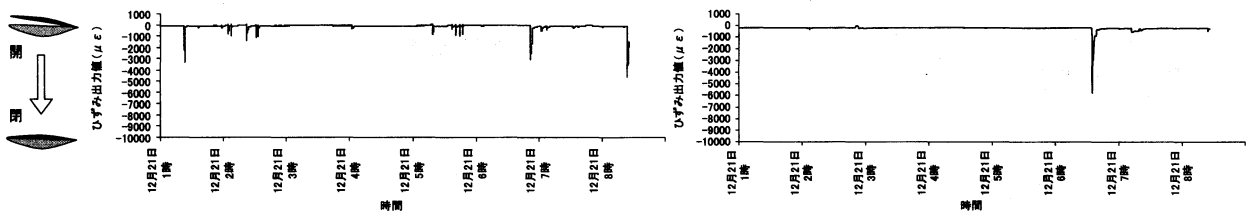


図21 アンモニア試験の馴致期間におけるホタテガイ殻体運動（左は本試験でアンモニア濃度70 μg/lにする貝、右はアンモニア濃度0 μg/lにする貝）

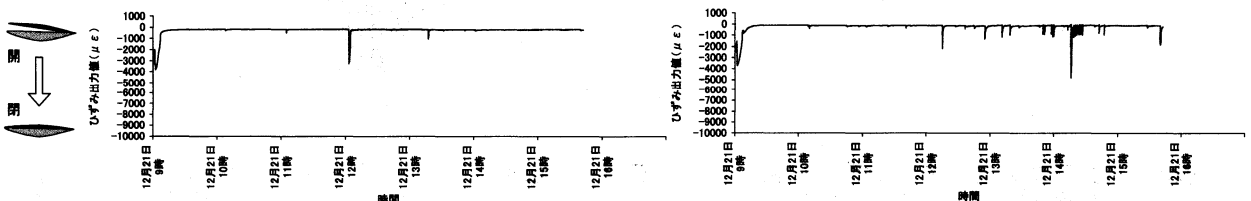


図22 アンモニア試験におけるホタテガイ殻体運動（左はアンモニア濃度70 μg/l、右はアンモニア濃度0 μg/l）

区（本試験で70 $\mu\text{g}/\text{l}$ にする貝）、対照区（0 $\mu\text{g}/\text{l}$ にする貝）ともに安定した状態であった。

アンモニア試験の結果を図22に示した。試験区、対照区ともに、試験開始から終了まで同じような波形だったことから、12月21日9時～16時のデータを代表的な波形として示した。試験区、対照区ともに殻体運動に大きな変化は見られなかった。なお、試験区のアンモニア態窒素は分析の結果、770 $\mu\text{g}/\text{l}$ であり、設定値の70 $\mu\text{g}/\text{l}$ よりもかなり高い値であった。

高濃度アンモニア試験における試験開始時の水温、pH、塩分濃度、溶存酸素量の測定結果を表2にした。水温は8.0～8.5 $^{\circ}\text{C}$ 、pHは8.4～8.5、塩分濃度は30.7～31.4‰、溶存酸素量は8.3～8.7 mg/l であった。

表2 アンモニア試験開始時の水温、pH、塩分濃度、溶存酸素量

	対照区	アンモニア濃度		
		2,000 $\mu\text{g}/\text{l}$	10,000 $\mu\text{g}/\text{l}$	20,000 $\mu\text{g}/\text{l}$
水温	8.1 $^{\circ}\text{C}$	8.5 $^{\circ}\text{C}$	8.0 $^{\circ}\text{C}$	8.2 $^{\circ}\text{C}$
pH	8.5	8.5	8.5	8.4
塩分濃度	30.7‰	30.7‰	31.0‰	31.4‰
溶存酸素量	8.4 mg/l	8.3 mg/l	8.6 mg/l	8.7 mg/l

馴致期間の殻体運動を図23に示した。対照区とアンモニア濃度が2,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ の試験区

は比較的安定していたが、アンモニア濃度が10,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ と20,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ の試験区は、多少の殻体運動が見られた。これは、対照区とアンモニア濃度が2,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ の試験区のホタテガイは、後述の波浪試験に用いた貝（試験終了後パールネットに5個体ずつ収容）を使用したのに対して、アンモニア濃度が10,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ と20,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ の試験区のホタテガイは、当研究所前の栈橋に垂下した蓄養籠（底面の直径50cm）に15～20枚と高密度で蓄養していたホタテガイを使用したことが影響した可能性がある。

高濃度アンモニア試験の結果を図24に示した。対照区とアンモニア濃度が2,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ の試験区ではあまり変化は見られなかったが、アンモニア濃度が10,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、20,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ の試験区では、こ

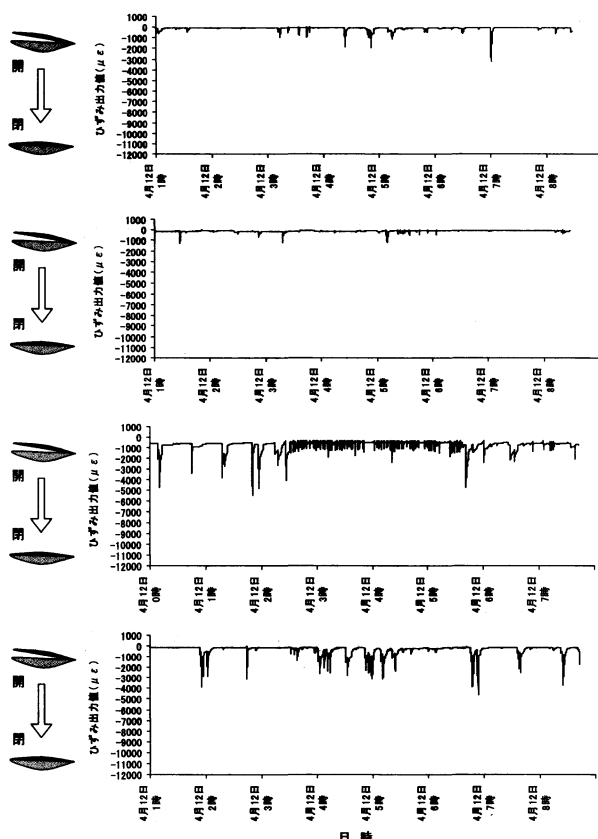


図23 アンモニア試験の馴致期間におけるホタテガイ殻体運動（上から順に対照区、アンモニア濃度2,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、10,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、20,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ ）

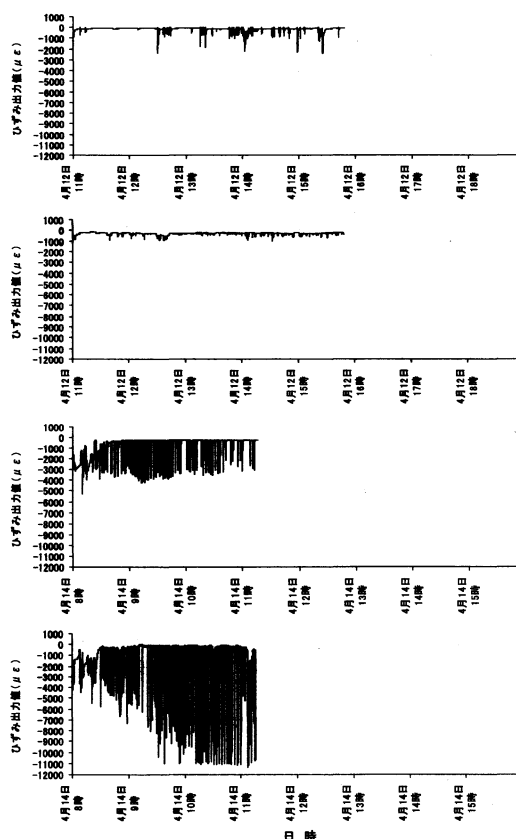


図24 アンモニア試験におけるホタテガイ殻体運動（上から順に対照区、アンモニア濃度2,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、10,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、20,000 $\mu\text{g}/\text{l}$ ）

れまでの室内試験の中で最も激しい殻体運動を示した。なお、 $10,000\mu\text{g}/\text{l}$ 、 $20,000\mu\text{g}/\text{l}$ の供試貝は、試験（記録）終了後に通常のろ過海水を注水し、目視により貝の状態を確認したところ、しばらくは外套膜が後退して、貝が半開きの状態のままであった。

なお、実際の養殖籠中でホタテガイがへい死した場合に生じるアンモニアの濃度を推定するために、以下のような方法で腐敗水を作成して、アンモニア濃度を分析した。

- ・殻長10cmの養殖1年貝を、 $1\mu\text{m}$ のフィルターでろ過した海水1ℓを入れた密閉容器に収容して、平成18年2月20日～27日（1週間）の間、室温で静置した。
- ・腐敗水を $0.45\mu\text{m}$ ミリポアフィルターで濾過し、凍結保存後、オートアナライザー（ブランルーベ社TRACCS800）でアンモニウム態窒素を測定した。

分析の結果、アンモニア濃度は $379,000\mu\text{g}/\text{l}$ であったが、実際は腐敗水が海水の交換により養殖籠外へ徐々に流出していくために、このような高濃度のアンモニアがホタテガイに影響するかどうかは不明である。しかし、へい死貝が大量に発生した場合や、付着物で目詰りして海水交換が悪くなった場合などは、籠内のアンモニア濃度が一時的に高くなる危険性があり、ホタテガイが忌避行動を取る可能性は十分考えられる。

3 屋外試験

(1) 殻体運動に与える波浪の影響

水温、溶存酸素量、濁度、塩分濃度の測定結果を図25、表3に示した。

水温は $2.4\sim 4.4^\circ\text{C}$ 、溶存酸素量は $7.2\sim 8.7\text{mg}/\text{l}$ 、濁度は $0\sim 5.2\text{mg}/\text{l}$ 、塩分濃度は $30.2\sim 31.0\%$ の範囲であり、ホタテガイの異常な殻体運動を示す数値は見られなかった。

栈橋、筏ともに、試験開始から終了まで同じような波形だったことから、2月2日17時～2月3日1時のデータを代表的な波形として示した（図26～27）。殻体運動については、栈橋の個体よりも、筏の個体の方が激しかった。筏の揺れは数値化できないものの、目視により上下の揺れが観察されたことから、波浪による振動の影響があったものと考えられる。

表3 屋外試験における溶存酸素量、濁度、塩分濃度の推移

	1月30日	1月31日	2月1日	2月2日	2月3日
溶存酸素量(mg/l)	8.7	8.1	7.3	7.2	8.7
濁度(mg/l)	0.0	0.0	3.7	5.2	0.0
塩分濃度(‰)	30.2	30.9	30.6	30.9	31.0

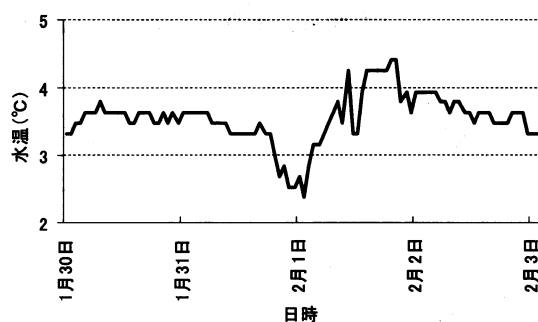


図25 屋外試験における水温の推移

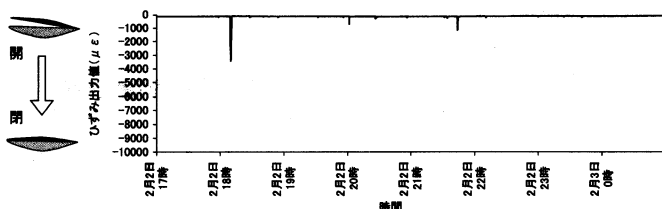


図26 屋外試験におけるホタテガイ殻体運動（栈橋に垂下した貝）

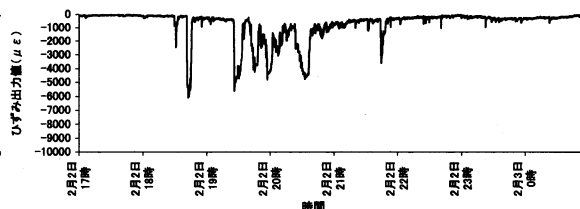


図27 屋外試験におけるホタテガイ殻体運動（筏に垂下した貝）

(2) 殻体運動に与える波浪及び収容密度の影響

水温、溶存酸素量、濁度、塩分濃度の測定結果を図28、表4に示した。

水温は $2.7\sim 4.3^\circ\text{C}$ 、溶存酸素量は $10.10\sim 10.61\text{mg}/\text{l}$ 、濁度は $1.0\sim 4.2\text{mg}/\text{l}$ 、塩分濃度は $30.1\sim 30.9$

%の範囲であり、ホタテガイの殻体運動に影響を及ぼす数値は見られなかった。

波がない場合（2月22日16時～23日0時）、波が途中から出てきた場合（2月22日0時～8時）、波がある場合（2月23日0時～8時）の特徴的な3パターンのデータを図29に示した。試験期間中は、筏の場合は海面からネットまでの距離がほぼ一定に保たれているため水深の変動は少ないが、栈橋の場合はネットが栈橋に固定されるため潮汐の影響を受けることにより1.7～2.3mの範囲で変化が見られた。また、それぞれのネットで0.1～0.2mの波浪による振幅が観測された。

表4 屋外試験における溶存酸素量、濁度、塩分濃度の推移

	2月20日	2月21日	2月22日	2月23日	2月24日
溶存酸素量(mg/L)	10.1	10.3	10.6	10.3	10.4
濁度(mg/L)	4.2	3.4	1.5	1.0	1.6
塩分濃度(‰)	30.8	30.9	30.8	30.3	30.1

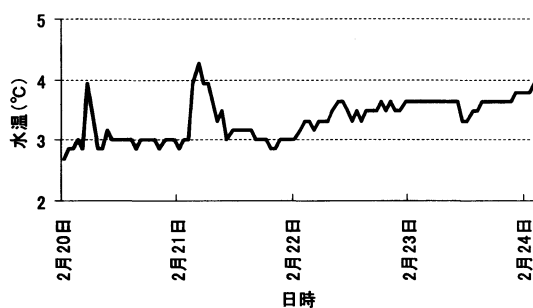


図28 屋外試験における水温の推移

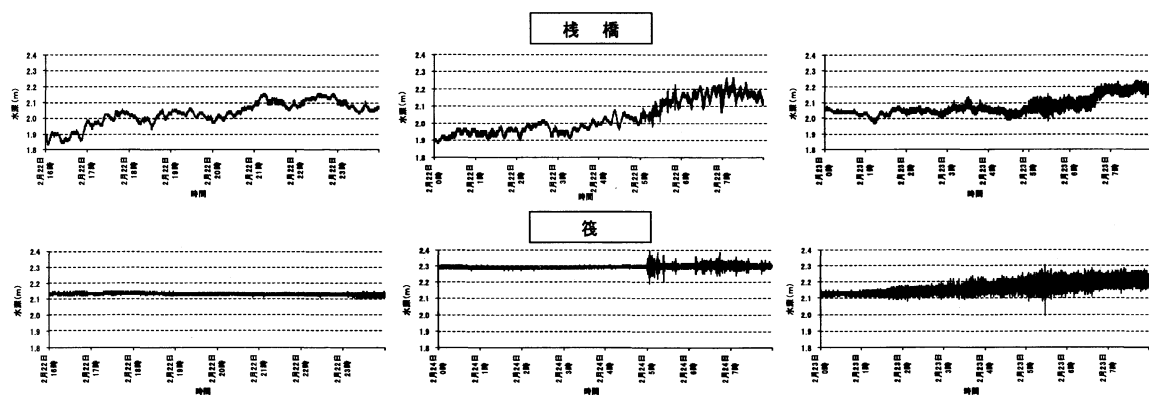


図29 屋外試験における自記式深度計による水深の推移
(左から、波がない場合、波が途中から出てきた場合、波が継続的にある場合)

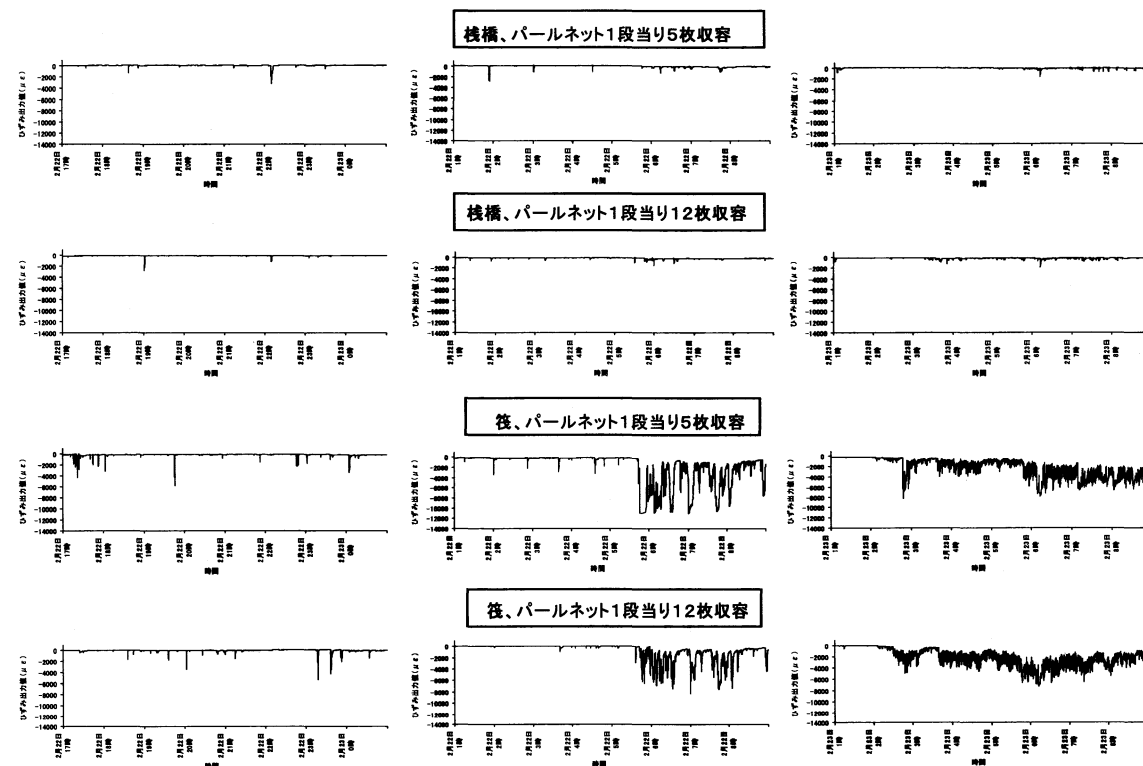


図30 波浪の影響の有無、収容密度別のホタテガイ殻体運動
(左から、波がない場合、波が途中から出てきた場合、波が継続的にある場合)

前述の波がない場合（2月22日16時～23日0時）、波が途中から出てきた場合（2月22日0時～8時）、波がある場合（2月23日0時～8時）に対応した殻体運動を図30に示した。殻体運動については、1回目の試験同様、棧橋の個体よりも、筏の個体の方が激しかった。また、収容密度による違いについては、筏、棧橋とも、低密度区（5個体/段）と高密度区（12個体/段）の間には、明確な違いは見られなかった。

試験期間中は穏やかな日が続いたことから、ごく僅かな波浪の影響しか受けなかったにも関わらず、筏では激しい殻体運動が見られた。小倉¹⁶⁾は養殖施設に深度計を付けることにより、養殖施設の幹網が1日で15mも上下動することを報告している。このため、実際の養殖海域では波浪や潮流により、今回の屋外試験とは比較にならないくらい養殖籠が上下動し、ホタテガイが非常に激しい殻体運動をしている可能性が考えられた。

なお、収容密度による違いは今回確認できなかったが、筏の試験区では、1回目の試験（パールネット1個体/段）よりも殻体運動が激しかったことから、ホタテガイ同士のぶつかり合いの影響は、少なからずあったものと考えられた。また、1回目の試験時には、棧橋のホタテガイは、試験開始から40分程度で安定した状態になったが、今回の試験では安定状態になるまで約4時間を要した。これについても、各個体のぶつかり合いが影響したものと考えられた。

(3) まとめ

ホタテガイの成長不良やへい死要因と考えられる様々な環境要因（高水温、餌料不足、塩分濃度の変化、低酸素、濁り、流れ、アンモニア、振動）に対して、ホタテガイはそれぞれ特徴的な殻体運動を示すことが明らかになった。

今年度は、室内水槽及び当研究所前の棧橋・筏において試験を行ったが、次年度は養殖施設に垂下しているホタテガイに貝リングのセンサーを取り付けて、パケット通信により殻体運動データの収集と分析を行う予定である。また、同じ養殖施設に、自記式の水温計、流向・流速計、クロロフィルa・濁度計、深度計を設置することにより、環境データの収集と分析も併せて行う予定である。

引用文献

- 1) 永井清仁ら（2005）：貝が報せる海の異変。「貝リング」で読み解く二枚貝との貝（会）話。バイオサイエンスとインダストリー，**63**，59-61.
- 2) 篠原由香ら（2006）：ホタテガイ増養殖IT推進事業（ホタテガイ生育環境調査）。青森県水産総合研究センター増養殖研究所事業報告書，**35**，165-167.
- 3) 今井美代子ら（1997）：平成8年度漁場保全対策推進事業調査。青水増事業報告書，**27**，44-45.
- 4) 今井美代子ら（1998）：平成9年度漁場保全対策推進事業調査。青水増事業報告書，**28**，38-39.
- 5) 古川章子ら（1999）：平成10年度漁場保全対策推進事業調査。青水増事業報告書，**29**，37-39.
- 6) 古川章子ら（2000）：平成11年度漁場保全対策推進事業調査。青水増事業報告書，**30**，38-41.
- 7) 今井美代子ら（2001）：平成12年度漁場環境保全推進事業。陸奥湾の水質調査及び生物モニタリング調査。青水増事業報告書，**31**，41-60.
- 8) 今井美代子ら（2002）：平成13年度漁場環境保全推進事業。陸奥湾の水質調査及び生物モニタリング調査。青水増事業報告書，**32**，37-56.
- 9) 今井美代子ら（2003）：平成14年度漁場環境保全推進事業。陸奥湾の水質調査及び生物モニタリング調査。青水総研増事業報告書，**33**，37-58.
- 10) 今井美代子ら（2004）：平成15年度漁場環境モニタリング調査。陸奥湾の水質調査及び生物モニタリング調査。青水総研増事業報告書，**34**，41-62.

- 11) 山下俊彦ら (2002) : 沿岸河口域でのADCPを用いた濁度推定と浮遊物質の移動量算出の試み. 海岸工学論文集, **49**, 1491-1495.
- 12) 吉田達ら (2005) : 平成15年度漁場環境保全方針策定事業. 青水総研増事業報告書, **34**, 193-204.
- 13) 吉田達ら (2006) : 平成16年度漁場環境保全方針策定事業. 青水総研増事業報告書, **35**, 187-204.
- 14) 青森県 (1976) : 陸奥湾漁業開発基本計画調査最終報告書, 青森県, 372pp
- 15) 佐藤恭成ら (1989) : ホタテガイに対するアンモニアの半数致死濃度. 青水増研究報告書, **6**, 1-4.
- 16) 小倉大二郎ら (1995) : ホタテガイ稚貝夏季大量へい死対策試験. 青水増事業報告書, **25**, 150-176.