

## 電磁探査による海洋生物への影響について

令和6年3月28日

### 1. はじめに

経済産業省が北海道苫小牧沖で実施している海底下 CCS 事業においては、海上汚染等及び海上災害の防止に関する法律（以下、「海洋汚染等防止法」という。）に基づき、当該事業により海洋が汚染されていないことを監視することが義務づけられている。これにより事業者が許可申請時に提出した監視計画では、廃棄された特定二酸化炭素ガス（以下、「CO<sub>2</sub>ガス」という。）の位置及び範囲に係る調査として、二次元及び三次元弾性波探査（地震探査）を実施することとしている。

弾性波探査は、エアガン等を用いて人工的に弾性波（地震波）を発生させ、地中での弾性波の伝播状況を測定・解析することにより地質構造を推定する技術である。CO<sub>2</sub>ガスが貯留された領域では弾性波の反射が強く、速度や振幅の減衰が大きくなることから、CO<sub>2</sub>ガス圧入前後の探査結果を解析することでCO<sub>2</sub>ガスの分布域が推定される。

海底下 CCS 事業における弾性波探査は、海底下に貯留されたCO<sub>2</sub>ガスが遮蔽層下に分布していることを把握できるBAT（Best Available Techniques；利用可能な最良技術）だが、エアガンの大音響による海洋生物への影響が懸念されることや膨大な運用コストがかかることなど課題が多い。今後、海底下 CCS 事業を普及させる上で、環境負荷が少なく低コストの探査技術の実用化が望まれている。

環境省は、環境負荷が少なく弾性波探査を補完できる技術として、陸上の金属資源探査や地熱探査等で実績のある電磁探査技術に着目し、海底下モニタリングへの適用を検討している。しかし、電磁場による海洋生物への影響に関する知見はほとんどなく、微小な電磁場が海洋生物にどのような影響を与えるか明らかではない。

環境省は、苫小牧沖の水産重要種であるウバガイへの生体応答や成長に対して電磁探査によって発生する微小な電磁場が及ぼす影響の大きさについて評価することを目的とし、令和3年度に電磁場によるウバガイ影響試験（室内試験）を実施した。また、ウバガイの漁場である苫小牧沖において電磁探査実施時の影響を確認するために、令和5年度に苫小牧沖において実施した電磁探査試験に併せてウバガイ影響調査を実施した。

## 2. 実施内容

### 2. 1 電磁場によるウバガイ影響試験（室内試験）

#### 2. 1. 1 背景及び目的

電磁場による海洋生物への影響に関する知見はほとんどなく、微小な電磁場が海洋生物にどのような影響を与えるか明らかではない。そのため、電磁探査技術を海底下モニタリングに適用するにあたり、電磁探査に伴って発生する磁場及び誘導磁場（電磁場）による海洋生物への影響が懸念されている。

苫小牧沖で計画されている電磁探査試験の範囲を図 2-1-1 に示す。電磁探査で発生する磁場は、陸上に設置した送信源（L5-2）が最も大きく、100 m離れた位置で約 200 nT ( $=2.0 \times 10^{-7}$  T) 程度と想定され、これは、地磁気（地球により生じる磁場；約  $50 \mu\text{T} = 5.0 \times 10^{-5}$  T）よりも微小である。

本試験は、電磁探査によって発生する電磁場が水産重要種であるウバガイ（ホッキガイ）に対して、生体応答や成長に影響を及ぼすか調べ、電磁探査時の微弱な電磁場強度の妥当性を評価することを目的とした。



図 2-1-1 苫小牧沖における電磁探査試験の計画案

#### 2. 1. 2 試験概要

本試験では、電磁場を曝露する試験区と電磁場の影響が及ばない対照区を設けて、苫小牧から運搬したウバガイの成貝を試験水槽で馴致飼育した後、苫小牧沖で予定している TEM 法による電磁探査を想定した条件で電磁場を発生させ、電磁場によるウバガイ影響試験（室内試験）をおこなった。

なお、電磁場は送信源とする電線（以下、「ループコイル」という。）への通電によりループコイル周辺に形成されるが、本試験においては「磁場」を指標として設定した。以下

の観察及び計測を実施することで、電磁場がウバガイに及ぼす影響を明らかにした。

- (1) 電磁場に対する反応
- (2) 摂餌状況
- (3) 生存個体数、個体計測（湿重量、軟体部湿重量、軟体部乾燥重量）

### 2. 1. 3 試験場所

馴致飼育及び電磁場曝露試験は、公益財団法人海洋生物環境研究所の柏崎実証実験場（新潟県柏崎市）で実施した。

### 2. 1. 4 試験期間及び工程

試験期間：2021年10月22日～2021年12月23日

試験工程を表2-1-1に示す。

表2-1-1 試験工程

項目	10月	11月	12月
①馴致飼育	13日間 10/22～11/3		
②電磁場に対する反応		20日間 11/4～11/23	
③摂餌状況		52日間 11/2～12/23	
④生存個体数、個体計測		50日間 11/4～12/23	

### 2. 1. 5 供試生物

北海道苫小牧市沖合で漁獲されたウバガイの成貝（図2-1-2）

個体数；約60個体

殻長；95～120 mm、殻高；57～70 mm、殻幅；80～100 mm、湿重量；263～454 g



図2-1-2 試験に供したウバガイ（成貝）

2. 1. 6 飼育条件

飼育条件を表 2-1-2、電磁場曝露試験の概要図を図 2-1-3 に示す。

表 2-1-2 飼育条件

飼育水槽	素材	ガラス
	サイズ	W300×D300×H300 mm (外寸)
	容量	25L
	数量	12 基 (試験区 6 基、対照区 6 基)
恒温水槽	素材	ポリエチレン
	サイズ	W850×D624×H382 mm (内寸)
	容量	200 L
	数量	4 基 (恒温水槽 1 基に試験水槽 3 基を収容)
飼育条件	海水	15 °C に調温した海水 <sup>1</sup> のかけ流し (給餌中は止水)
	曝気	エアーストーンによる常時連続曝気
	光	昼白色蛍光灯による定時間照射 (6:00~18:00)
	床材	珪砂 (試験区、対照区共に厚さ 15 cm 程度)
	飼育密度	ウバガイ 5 個体/水槽
	餌料	ハプト藻 <i>Pavlova lutheri</i>
	給餌回数	1 日 2 回 (9:00~10:00、13:00~14:00)
水質計測	水温	2 回 (朝夕) / 1 日、各飼育水槽
	塩分	2 回 (朝夕) / 3 日、各恒温水槽
	DO	2 回 (朝夕) / 3 日、各飼育水槽
	pH	2 回 (朝夕) / 3 日、各恒温水槽

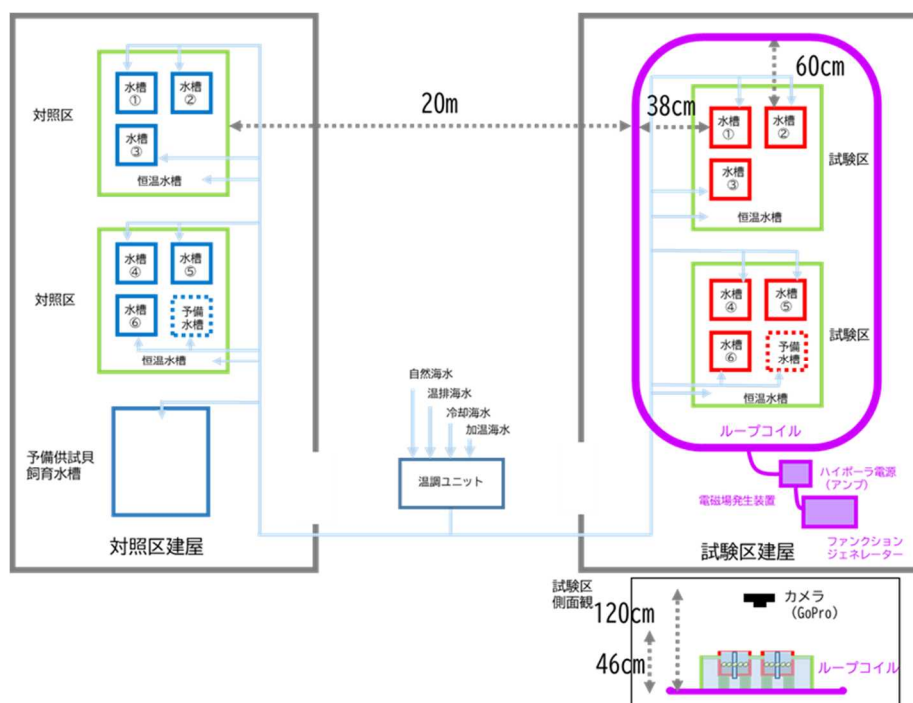


図 2-1-3 電磁場曝露試験の概要図

<sup>1</sup> 自然海水、温排水 (自然海水+7 °C)、冷却海水 (10 °C)、加温海水 (35 °C) の 4 海水を混合し、調温ユニットで調温した海水。給餌中は恒温水槽にて調温。

## 2. 1. 7 試験施設と装置

試験施設と試験装置の概要を図 2-1-4 に、試験区及び対照区の飼育水槽を図 2-1-5 に示す。

電磁場発生装置は、繰り返し矩形波を生成するためのファンクションジェネレーター（エヌエフ回路設計ブロック社製）と必要磁場を発生させるために電流を増幅させるハイポラ電源（エヌエフ回路設計ブロック社製）で構成されており、苫小牧沖での電磁探査試験で通電する矩形波の電流（図 2-1-6）をループコイルに通電して電磁場を発生させ、試験区水槽のウバガイに曝露した。対照区の飼育水槽は、試験区の電磁場の影響を受けないように別の建屋に設置した。各試験水槽は、恒温槽 2 基、飼育水槽 6 基で構成し、飼育水槽 1 基あたりウバガイ 5 個体を飼育した。

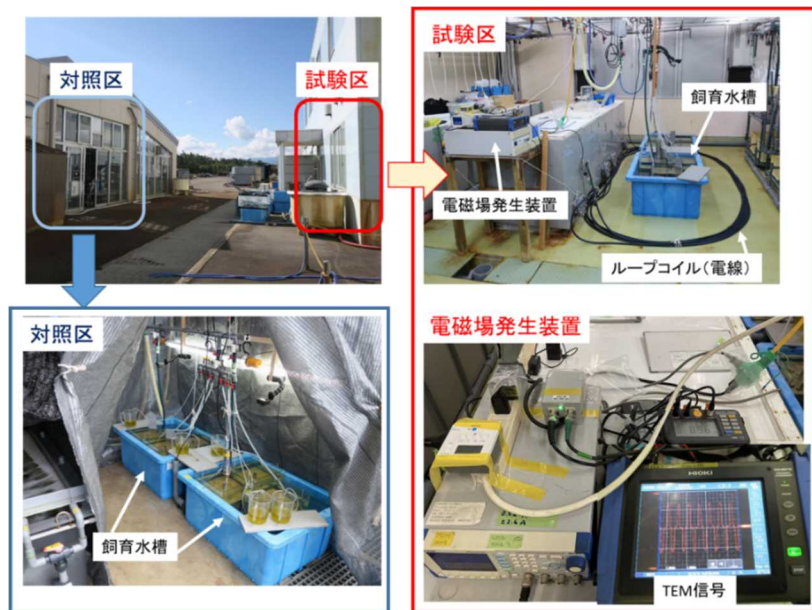


図 2-1-4 試験建屋と試験装置の概要

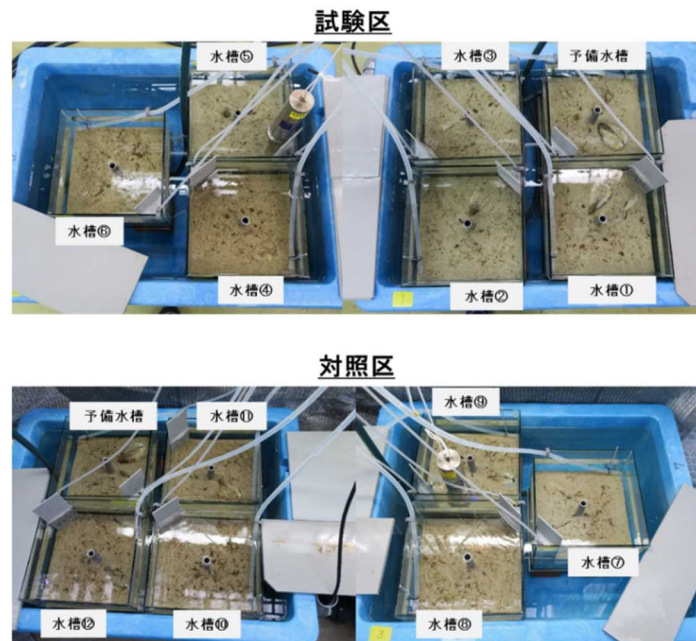


図 2-1-5 試験区及び対照区の水槽

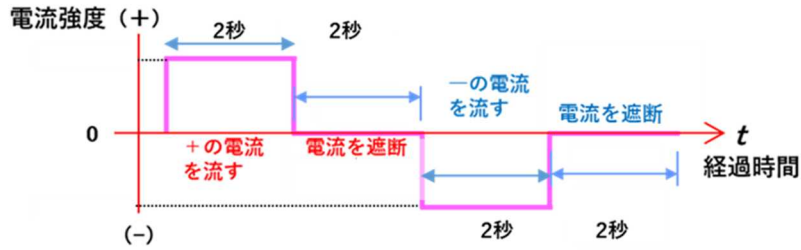


図 2-1-6 ループコイルに通電する電流波形の概要

### 2. 1. 8 磁場条件

電磁場による海洋生物への影響に関する文献を調べたところ、電磁探査に係る生物影響の文献は得られなかったが、海底ケーブル等により生じる電磁場に対する生物影響についての文献がいくつか抽出された（表 2-1-3）。この中で、WHO は 2005 年に国際電磁界プロジェクト情報シートにおいて、「回遊魚（例えば、サケおよびウナギなど）および海底に生息する比較的移動の少ない動物（例えば軟体動物類）に対する海底ケーブルの影響を評価した今日までの研究では、大きな行動学的または生物学的な影響は見出されていない」と言及している。

苫小牧沖での電磁探査試験で生じる磁場強度は陸上の送信源から 100 m の位置で約 200 nT ( $2.0 \times 10^{-7}$  T) と想定されていることから、これを基準とした。試験区の磁場強度は電磁探査の想定値の 200 倍 (40  $\mu$ T)、対照区は 1/100 倍 (2 nT) に設定した。曝露試験で生じる試験区及び対照区の磁場強度を図 2-1-7 に示す。

表 2-1-3 電磁場による生物影響に係る文献

生物種	内容	出典
ヨーロッパナマズ ( <i>Silurus glanis</i> )	・水処理装置の 400~600 mT の一定の磁場に曝露すると、バイオマスが減少し、死亡率が上昇した。	Krzemieniewski et al., 2004
ヒラメ ( <i>Plathys flesus</i> )	・3.7 mT の静磁場の影響下に数週間曝露したが、影響を受けなかった。	Bochert et al., 2004
回遊魚（サケ、ウナギ） 軟体動物類	・海底ケーブルの影響を評価した今日までの研究では、大きな行動学的または生物学的な影響は見出されていない。	WHO, 2005
アメリカロブスター ( <i>Homarus americanus</i> )	・海底ケーブル (HVDC) 1,175 アンペア (330 MW) からの電磁場に曝露すると、行動活性が微妙に変化することが明らかになった。しかし、ケーブルを横切る動きの障害になるほどの影響は認められなかった。	Hutchison et al., 2018
多毛綱 ( <i>Hediste diversicolor</i> )	・海底ケーブル (50 Hz, 1 mT) 近傍の電磁場において、電磁場に対する回避または誘引挙動は示されなかった。 ・バイオターベーションの増強を示唆した。 ・摂餌量および呼吸数は影響を受けなかったが、アンモニア排泄率は対照条件と比較して電磁場で有意に低下したがメカニズムは不明である。	Jakubowska et al., 2019

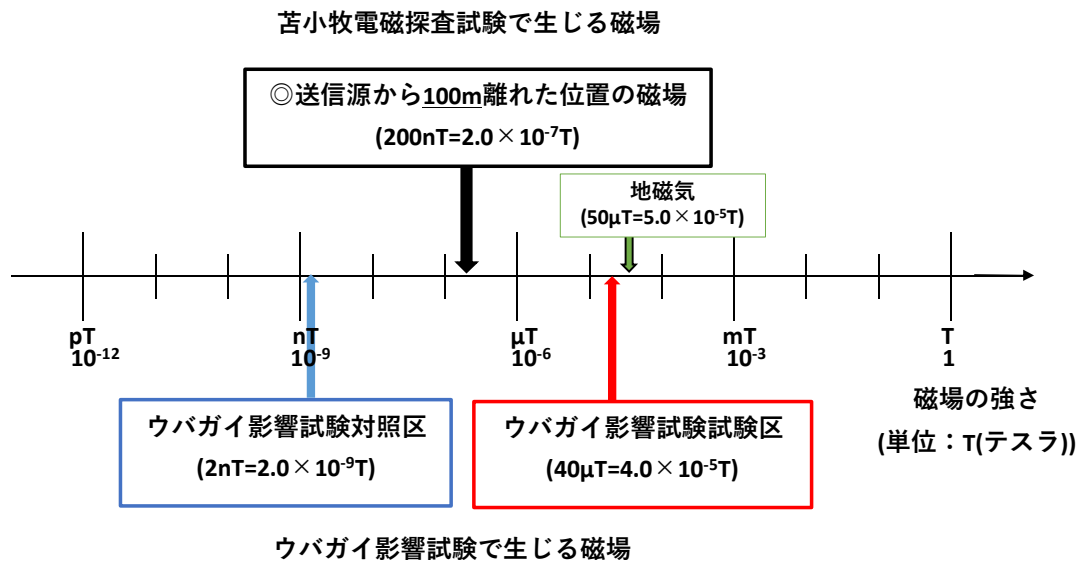


図 2-1-7 電磁探査試験で生じる磁場とウバガイ曝露試験の磁場の強度

### 2. 1. 9 試験方法

本試験のフローを図 2-1-8 に示す。準備した供試貝 60 個体を試験区に 30 個体、対照区に 30 個体に分け、それぞれ 6 つの飼育水槽に 5 個体ずつ収容した。13 日間の馴致飼育の後、試験区と対照区からそれぞれ 2 つの飼育水槽分の供試貝 10 個体ずつを回収し、個体計測をおこなった。その後、試験区と対照区の供試貝 20 個体ずつに対し、電磁場を 20 日間曝露し（以下、「電磁場曝露試験」という。）、20 日後に試験区と対照区からそれぞれ 2 つの飼育水槽分の供試貝 10 個体ずつを回収し、個体計測をおこなった。その後、電磁場曝露後の影響を調べるため、試験区から電磁場発生装置を取り外し 30 日間の事後飼育（以下、「曝露後飼育」という。）をおこなった。30 日後に試験区と対照区の残り全ての供試貝の個体計測をおこなった。馴致飼育後、電磁場曝露試験後、曝露後飼育後の個体計測結果を用いて、試験区と対照区に統計的に有意な差があるか検定をおこない、電磁波の影響を評価した。

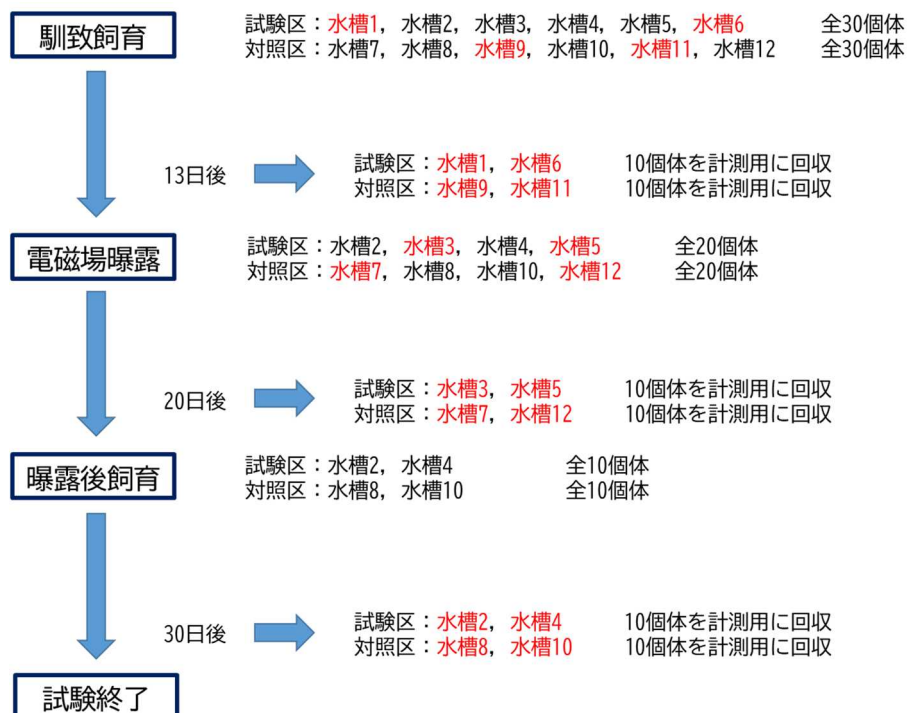


図 2-1-8 電磁場曝露試験のフロー

### (1) 馴致飼育

試験に供したウバガイ 60 個体の殻長 (mm)、殻高 (mm)、殻幅 (mm)、湿重量 (g) を計測した。試験区及び対照区の個体サイズに差が出ないように、各個体計測データをもとに 5 個体ずつ収容した。馴致飼育は、2021 年 10 月 22 日から 11 月 3 日までの 13 日間実施した。飼育中は、培養したハプト藻 (*Pavlova lutheri*) を毎日 2 回 (9:00~10:00 及び 13:00~14:00、1 回に  $2\sim4\times 10^6$  cells/mL を 1L) 給餌した。また、給餌中の止水は 1 時間としたが、水槽内の餌料プランクトンの分布を均一に保ち、ウバガイの酸欠防止のためにエアレーションは継続した。馴致飼育期間中に供試貝が死亡した場合は、直ちに取り除き、試験区と対照区にサイズや重量差が生じないように予備水槽で飼育している個体を補充した。馴致飼育後、試験区及び対照区から各 10 個体を抽出し、試験区及び対照区の湿重量、軟体部湿重量及び軟体部乾燥重量に統計的に有意な差があるか検定をおこなった。

### (2) 電磁場曝露試験

馴致飼育が終了した翌日の 2021 年 11 月 4 日から試験区に電磁場を曝露し、電磁場曝露試験を開始した。1 日あたりの電磁場の曝露時間は、苫小牧沖で計画されている電磁探査を想定し、1 日 6 時間 (9 時~15 時) とした。電磁場の曝露日数は苫小牧沖で計画されている電磁探査試験よりも長い 20 日間とし、11 月 23 日まで電磁場曝露試験をおこなった。

電磁場曝露の影響による有意な斃死や、試験区と対照区の共通した生育不良などが認められなかったことから、電磁場曝露後の慢性的な影響を調べるため、継続して 30 日間の曝露後飼育をおこなった。



### ① 電磁場に対する反応

電磁場曝露試験期間中、矩形波の電流の通電により発生させた 40  $\mu\text{T}$  の磁場を試験区に曝露し、曝露前後のウバガイの反応（水管の引込みや閉殻など）を観察した。また、試験区で磁場を曝露した際、対照区のウバガイの反応性についても同時に観察した。観察方法は、ビデオカメラ（GoPro 社製）による撮影及び試験実施者の目視観察とした。

### ② 摂餌状況の確認

電磁場曝露による影響として摂餌障害の有無を確認するため、ウバガイの摂餌状況を調べた。ウバガイが飼育されている飼育水槽（試験区と対照区）と摂餌状況確認のために設けたブランク水槽について、給餌の開始直前から終了まで（給餌のための海水通水の停止）の約 1 時間中に 3 回（給餌開始前、給餌直後、給餌 1 時間後）に約 6 mL ずつ採水した。採水試料中の餌料生物であるハプト藻の細胞数をコールターカウンター（ベックマンコールター社製）で計数し、ブランク水槽の細胞数と比較して、試験区と対照区の摂餌状況を評価した。また、給餌期間中は、メモリー式クロロフィル濁度計（INFINITY-CLW、JFE アドバンテック社、以下、「クロロフィル計」という。）を用いて、餌料由来のクロロフィル  $a$  濃度を測定した。摂餌状況の確認は、馴致飼育期間（13 日間）から電磁場曝露試験期間（20 日間）、さらに曝露後飼育期間（30 日間）にわたり、継続して調べた。

### ③ 生存個体数、個体計測（湿重量、軟体部湿重量、軟体部乾燥重量）

試験期間中は毎日の観察により、死亡個体を確認した。20 日間の電磁場曝露試験後は生残率を算出するとともに、試験区と対照区からそれぞれ 10 個体を取り出し、湿重量、軟体部湿重量及び軟体部乾燥重量を計測し、成長率（変動率）を求め比較した。試験区と対照区の比較には、統計解析による有意差検定をおこなった。

電磁場曝露試験終了後から 30 日後（曝露後飼育後）にも、生残率、死亡率を算出するとともに、試験区と対照区からそれぞれ残りの 10 個体を取り出し、湿重量、軟体部湿重量及び軟体部乾燥重量を計測し、成長率（変動率）を求め比較した。試験区と対照区の比較には、統計解析による有意差検定をおこなった。

## 2. 1. 10 試験結果

### (1) 電磁場曝露試験時の磁場計測

試験区の磁場が 40  $\mu\text{T}$  となるよう、電磁場発生装置から矩形波の電流をループコイルに送る際の電流値を調整した。事前の条件検討の際、40  $\mu\text{T}$  の磁場を得るための電流値は 0.58 A であったが、試験区の水槽間の磁場の偏りの有無を把握するにあたり、電流値 0.58 A では試験場所の地磁気の変動が大きいため SN 比が小さくなり、電流の On/Off の変化は判断できるものの、磁場の変化量を測定することは困難であった。このため、電流を 5 A に上げ、測定精度を保持できる磁場強度を測定した。その結果、試験区の水槽間の磁場に偏りは認められなかった。なお、水流による磁場が矩形波の電流による磁場に影響を及ぼすか、水槽に海水を満たした場合と海水が存在しない場合の磁場を比較したが、両者に違いは認められなかった。なお、試験区の磁場は DSP 搭載ハンディーマーター（オエコ社製）で測定し、対照区の磁場は磁場が非常に小さいためガウスメーターでは測定できないことから、フラックスゲート磁力計（テラテクニカ製）で測定した。

電磁場曝露試験前の試験区における磁場は、5 A で測定した磁場から算出し、平均 40.8

$\mu\text{T}$ （海水なし：平均  $40.6 \mu\text{T}$ ）、対照区の磁場強度については、試験区の建屋で試験水槽に  $40 \mu\text{T}$  の磁場強度を曝露した場合の磁場として、平均  $2.38 \text{ nT}$ （海水なし：平均  $2.32 \text{ nT}$ ）であった。また、電磁場曝露試験終了時の試験区における磁場は平均  $41.38 \mu\text{T}$  であった。試験期間中の磁場計測はおこなっていないが、毎日の給餌時に電磁場発生装置の出力を確認し、出力状況に変化がなかったことから、曝露条件とした  $40 \mu\text{T}$  の磁場が維持されていたと判断した。

## (2) 試験期間中の水温と水質計測

試験区及び対照区の水温と水質の時系列変化を図 2-1-9 (1)～2-1-9 (4) に示す。

飼育水温への馴致は、苫小牧沖で漁獲されたウバガイの冷蔵輸送時の温度約  $11 \text{ }^\circ\text{C}$  から 7 日間かけて徐々に上昇させて、8 日目に試験温度条件である  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  とした。試験期間中の試験区及び対照区の水温は、馴致 8 日目の 10 月 29 日以降、試験終了の 11 月 23 日まで、ともに  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  前後を変動した (図 2-1-9 (1))。

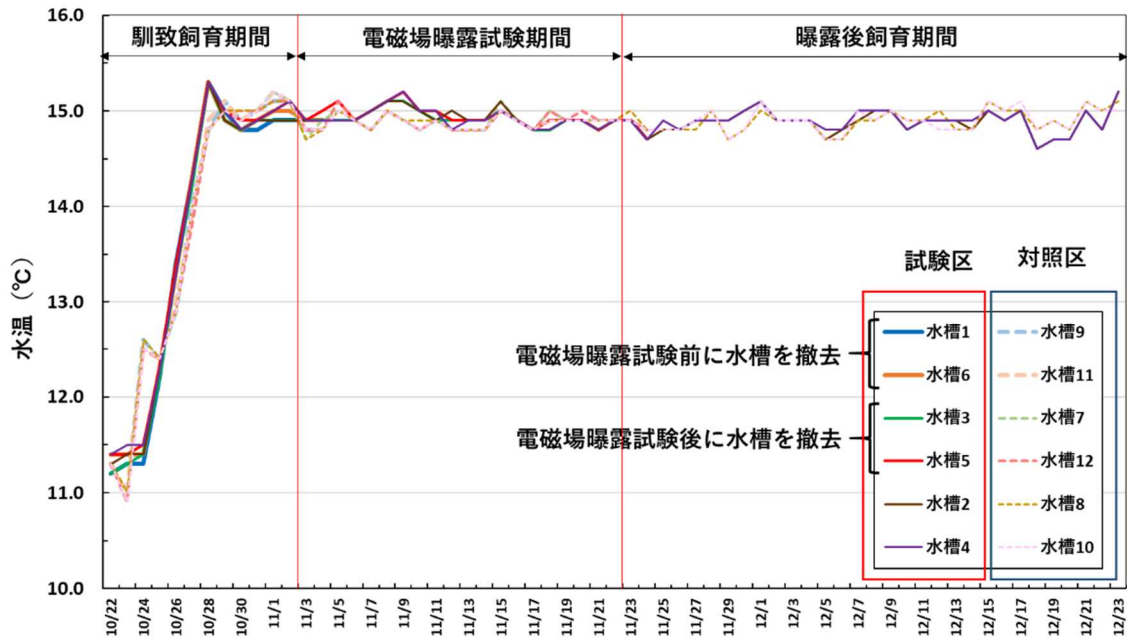


図 2-1-9 (1) 試験区及び対照区の水温

塩分については、試験区及び対照区の恒温水槽間に大きな差はなかったが、馴致飼育から曝露後飼育終了までの間に、 $32.13 \sim 33.96$  の範囲における変動が認められた (図 2-1-9 (2))。この変動は、飼育水として自然海水を利用していることに起因するものである。

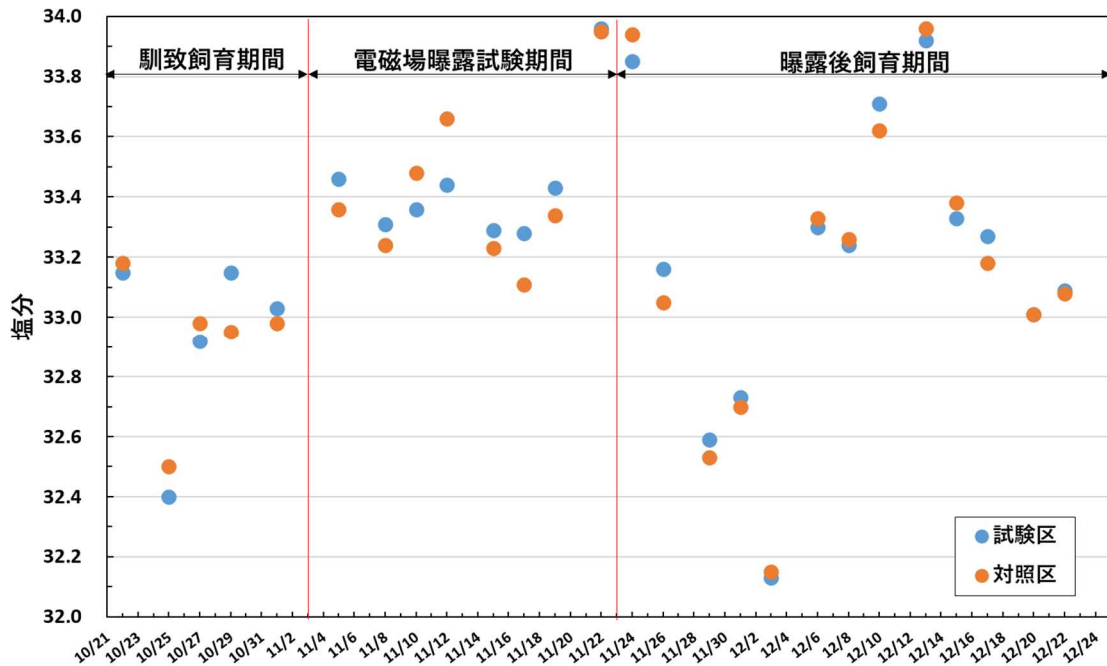


図 2-1-9 (2) 試験区及び対照区の塩分 (恒温水槽)

溶存酸素飽和度は、海水の水温や気圧、他のガス成分の分圧によって変化する。馴致期間中は水温の上昇とともに、88.2 ~ 95.8 %の範囲で増加傾向が認められたが (図 2-1-9 (3))、ウバガイの飼育において問題となる濃度ではなかった。電磁場曝露試験期間中は、一部の水槽で多少の変動がみられるものの、平均 94.7 %であった。電磁場曝露試験終了後の慢性影響確認のための曝露後飼育期間中は、溶存酸素飽和度の上昇が認められ、一部の水槽では 100 %を超過する事例があった。本試験の飼育海水は、自然海水とは別に水温を一定に保つため、加温海水 (35 °C) を混合し、調温ユニットで調温している。加温海水は、砂ろ過した取水海水が加温装置を通過すると熱交換器通過に伴うポンプ圧送に加え、急激に水温を上昇させるため過飽和状態になる。よって、冬季にかけて自然海水の水温が低下し、調温のため加温海水の割合が高くなることにより、溶存酸素飽和度が上昇したと考えられた。

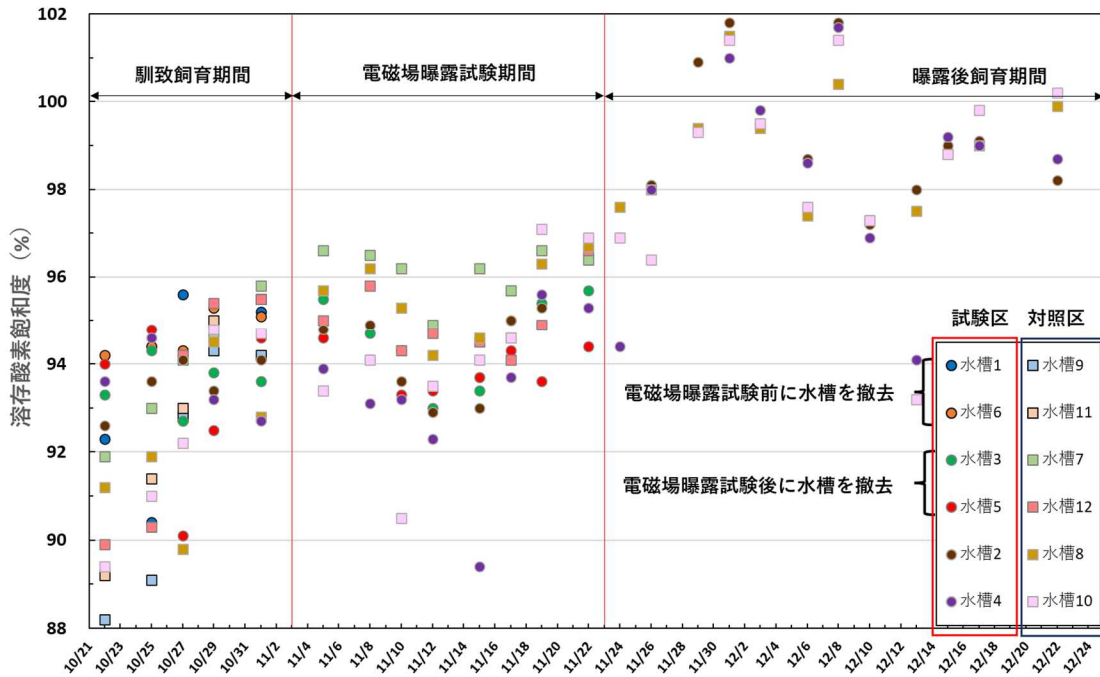


図 2 - 1 - 9 ( 3 ) 試験区及び対照区の溶存酸素飽和度 (各飼育水槽)

水素イオン指数 (pH) は、海水中のガス成分の分圧、特に二酸化炭素の変化によって変動する。馴致飼育期間中及び電磁場曝露試験期間中の pH は 8.08 ~8.18 の範囲であり、曝露後飼育期間中に 8.04 ~低下する傾向が認められた (図 2-1-9 (4))。この pH の変動は、ウバガイの飼育において問題となる値、変動ではなかった。

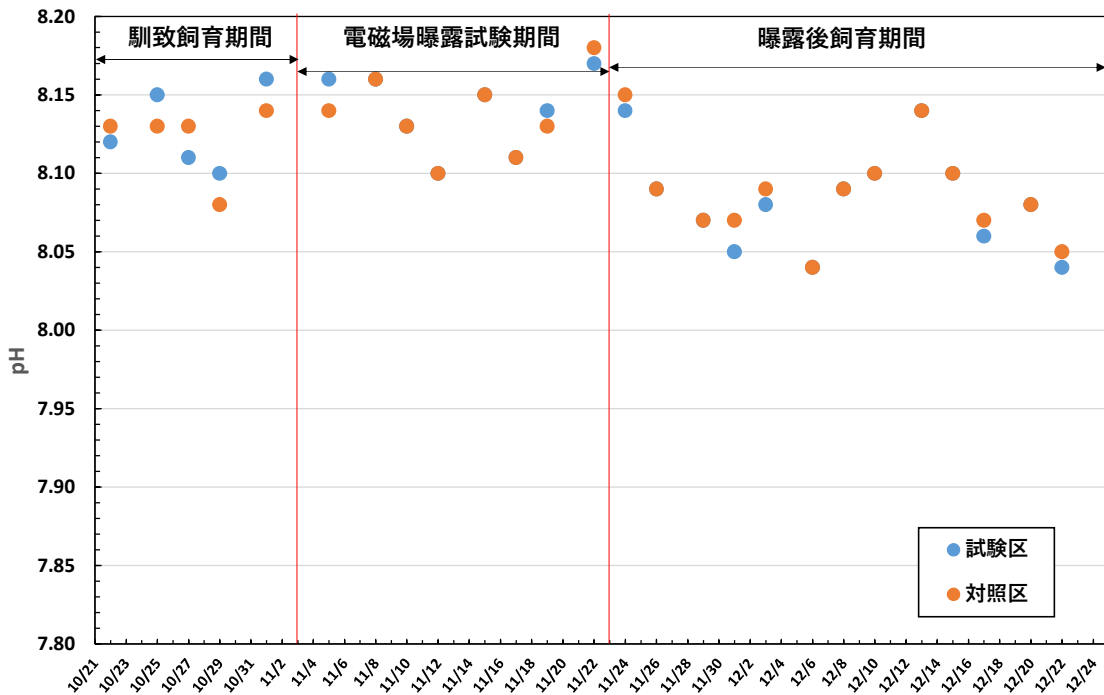


図 2 - 1 - 9 ( 4 ) 試験区及び対照区の pH (恒温水槽)

(3) 馴致飼育

馴致飼育は、計画通りに2021年10月22日から11月3日までの13日間実施した。馴致飼育期間中は、死亡及び衰弱した個体(個体NO. 3-4及びNO. 5-4)は予備水槽で飼育していた個体と入れ替えた(表2-1-4)。試験区と対照区におけるウバガイの湿重量を比較するため、F検定で等分散性を確かめ、t検定をおこなったが、試験区と対照区には有意な差は認められなかった(表2-1-5)。

表2-1-4 供試員のサイズ、湿重量

試験区						対照区					
水槽NO.	個体NO.	殻長(mm)	殻高(mm)	殻幅(mm)	湿重量(g)	水槽NO.	個体NO.	殻長(mm)	殻高(mm)	殻幅(mm)	湿重量(g)
1	1-1	115.34	69.51	99.87	453.9	9	9-1	106.72	68.33	89.16	418.0
	1-2	112.21	64.60	87.08	362.3		9-2	113.11	70.33	91.18	351.1
	1-3	109.15	63.97	88.40	370.0		9-3	112.20	60.80	88.18	366.8
	1-4	111.86	64.17	84.07	341.4		9-4	105.04	60.39	89.94	335.1
	1-5	105.70	57.90	91.75	312.4		9-5	103.71	56.67	87.77	286.9
6	6-1	111.06	64.05	94.23	400.0	11	11-1	111.79	64.19	93.42	406.1
	6-2	106.37	62.05	88.65	379.3		11-2	113.51	64.58	92.20	378.1
	6-3	107.61	63.50	85.62	340.1		11-3	108.62	61.63	90.05	355.8
	6-4	103.17	59.65	85.15	311.5		11-4	103.35	57.99	85.52	320.2
	6-5	103.09	57.56	84.89	285.6		11-5	100.07	56.60	82.15	270.7
3	3-1	111.71	68.08	91.92	443.7	7	7-1	120.20	67.92	93.37	434.4
	3-2	108.92	66.03	90.63	379.0		7-2	114.68	65.84	88.28	366.2
	3-3	109.32	61.30	89.94	349.0		7-3	113.32	63.71	90.86	352.6
	3-4	108.55	60.11	89.63	338.4		7-4	110.39	57.05	88.59	324.6
	3-5	101.44	58.22	82.17	289.2		7-5	104.75	59.66	84.15	295.5
5	5-1	111.65	62.46	94.63	413.6	12	12-1	114.82	63.61	92.41	388.3
	5-2	110.01	66.09	86.21	370.0		12-2	109.19	63.72	86.94	369.3
	5-3	108.78	62.20	87.56	348.5		12-3	100.34	63.96	84.45	350.8
	5-4	109.46	59.73	86.88	305.2		12-4	98.18	58.65	79.92	301.4
	5-5	100.80	57.29	84.44	284.9		12-5	95.32	56.91	79.55	262.5
2	2-1	119.17	68.83	92.22	453.7	8	8-1	112.11	67.05	97.55	447.6
	2-2	108.03	64.65	91.23	374.8		8-2	110.14	64.24	92.71	383.9
	2-3	104.88	63.16	88.32	361.8		8-3	104.95	60.28	89.10	351.6
	2-4	108.60	62.33	89.36	329.4		8-4	107.02	63.56	85.25	335.3
	2-5	101.90	60.02	82.96	292.7		8-5	106.76	57.00	83.87	291.7
4	4-1	107.86	66.60	91.15	419.3	10	10-1	112.29	63.53	95.56	418.9
	4-2	118.94	64.80	88.62	392.9		10-2	111.62	62.55	90.90	373.7
	4-3	116.84	61.93	91.87	357.2		10-3	108.66	64.45	91.67	350.1
	4-4	105.82	60.83	85.55	331.2		10-4	100.84	61.94	84.22	328.3
	4-5	101.12	58.41	81.97	279.4		10-5	99.37	57.47	85.61	283.9
平均		108.65	62.67	88.57	355.68	平均		107.77	62.15	88.48	349.98
標準偏差		4.89	3.35	4.03	49.95	標準偏差		5.85	3.79	4.40	48.27

※黄色表示は、馴致飼育中に死亡または衰弱して、予備水槽の個体と交換した個体を示す。

表2-1-5 試験区及び対照区における湿重量の比較

計測項目	試験区(n=30) 平均±標準偏差	対照区(n=30) 平均±標準偏差	F検定 (P<0.05)	t検定 (P<0.05)
湿重量(g)	355.7±49.9	350.0±48.3	有意差なし (P=0.86)	有意差なし (P=0.65)

#### (4) 電磁場曝露試験

##### ① 電磁場に対する反応

電磁場曝露試験を開始した11月4日に、矩形波の電流により発生させた40  $\mu\text{T}$ の磁場を2分ほど繰り返し曝露したが、曝露前後において、水管の引き込みや海水の排出、殻の開閉等の応答は、一度も観察されなかった。また、ビデオ撮影した映像の解析でも、ウバガイの応答は全く確認できなかった。11月4日の電磁場曝露前と曝露開始直後の試験区におけるウバガイの写真を図2-1-10に示す。

今回の電磁場曝露試験では、電磁探査で想定される磁場強度の200倍の40  $\mu\text{T}$ の電磁場曝露に対し、ウバガイは全く反応せず、異常行動も認められなかった。

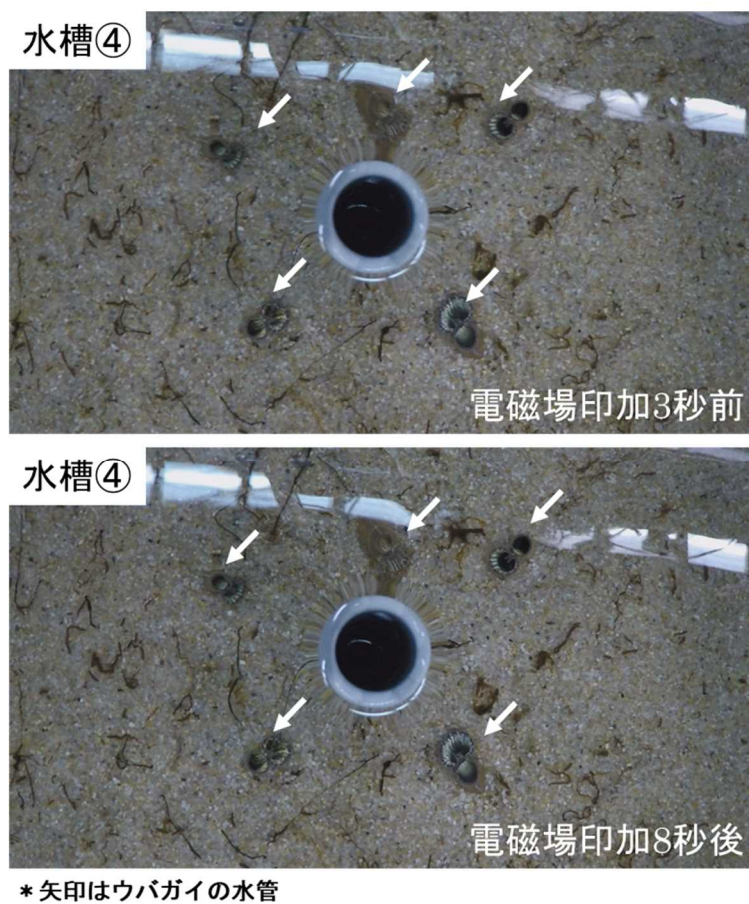


図2-1-10 40  $\mu\text{T}$ の磁場を曝露されたウバガイの反応の一例

② 摂餌状況の確認

1日2回(午前と午後)の給餌前後の餌料プランクトンであるハプト藻の細胞数計数結果から、次に示す式により摂餌率を求め、ウバガイの摂餌状況を調べた。

$$\text{摂餌率}(\%) = \left(1 - \frac{T_2 - T_0}{T_1 - T_0}\right) \times 100$$

ここで、 $T_0$ は給餌前の試験水槽中のハプト藻細胞数 (cells/mL)、 $T_1$ は給餌直後の試験水槽中のハプト藻細胞数 (cells/mL)、 $T_2$ は給餌1時間後の試験水槽中のハプト藻細胞数 (cells/mL)を示す。

試験区及び対照区の各試験水槽における摂餌率の変化を図2-1-11(1)~(2)に示す。図中には、比較のため、ウバガイを飼育していないblank水槽における摂餌率も記載した。

試験区における電磁場曝露試験期間中の摂餌率は92.6%~100%(平均99.0%)であり、対照区は95.3%~100%(平均99.5%)であり、どちらも90%以上の摂餌率を示した。一方、blank水槽の細胞数の変化率は、0%~50.7%(平均6.7%)であった。これらの結果から、電磁場曝露試験期間中も活発に海水を給水し餌料プランクトンをろ過捕食していることが確認できた。なお、曝露後飼育期間(30日間)でも摂餌率は91.0%~100%(平均99.0%)を示した。

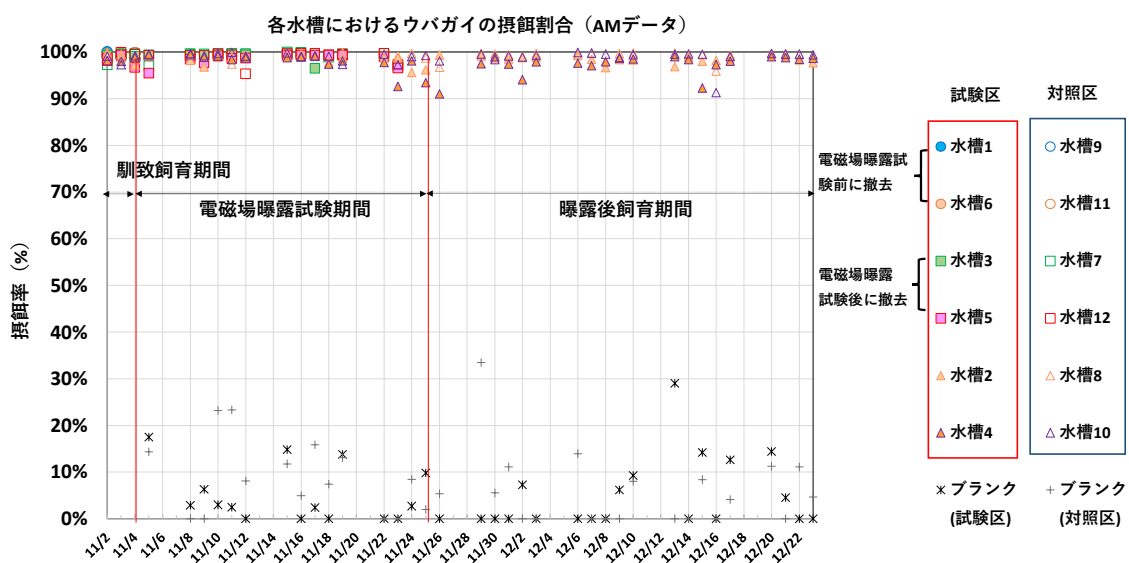


図2-1-11(1) 各水槽における餌料プランクトン摂餌率の時系列変化(午前給餌)

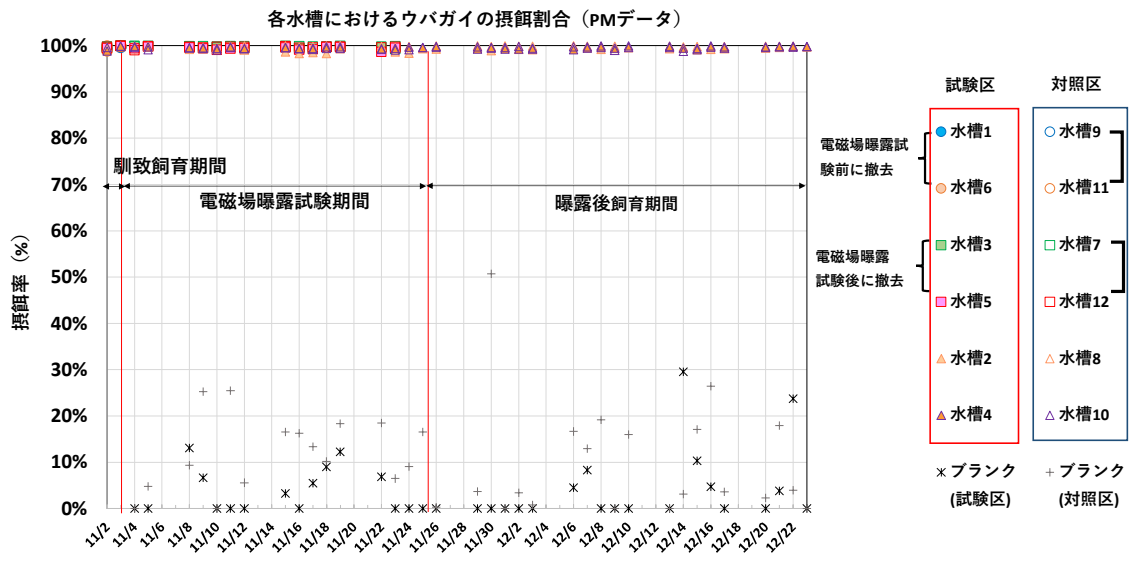


図 2-1-11 (2) 各水槽における餌料プランクトン摂餌率の時系列変化 (午後給餌)

クロロフィル計で測定した給餌時間前後の試験区及び対照区のクロロフィル a 濃度の時系列変化の一例として、電磁場曝露試験初日の 11 月 5 日の結果を図 2-1-12 (1) に示す。午前と午後の給餌ともに、給餌直後のクロロフィル a 濃度は試験区が 260  $\mu\text{g/L}$ 、対照区は 180  $\mu\text{g/L}$  に達し、約 1 時間後には給餌前の 0  $\mu\text{g/L}$  レベルに減少した。午前と午後ともに、試験区と対照区のクロロフィル a 濃度に大きな差が認められるが、これは試験区と対照区で給餌プランクトン密度の差と考えられる。午前と午後の給餌とも、給餌期間中は海水の通水を停止した止水状態であり、エアレーションにより攪拌されている状況である。一方で、ウバガイを投入していないブランク水槽に給餌した場合のクロロフィル a 濃度の変化は、給餌期間中は減少せず、給餌時間終了後の通水によって減少することを確認している (図 2-1-12 (2))。このため、試験区及び対照区ともに給餌期間中の 1 時間以内にウバガイが餌料プランクトンをろ過捕食していると考えられる。

クロロフィル a (CLW結果) 比較 (11月5日)

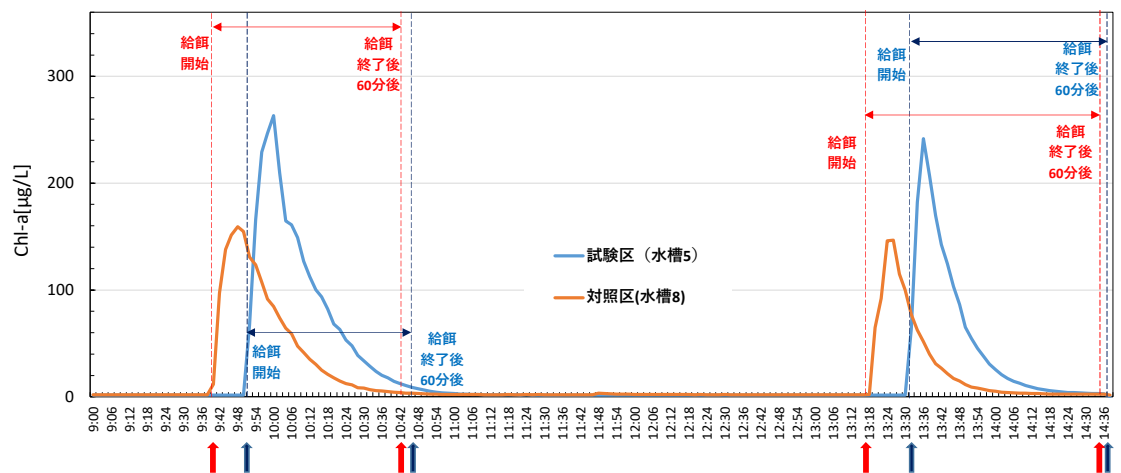


図 2-1-12 (1) 給餌前後のクロロフィル a 濃度の変化 (電磁場曝露試験 2 日目)



クロロフィルa (CLW結果) 比較 (11月23日)

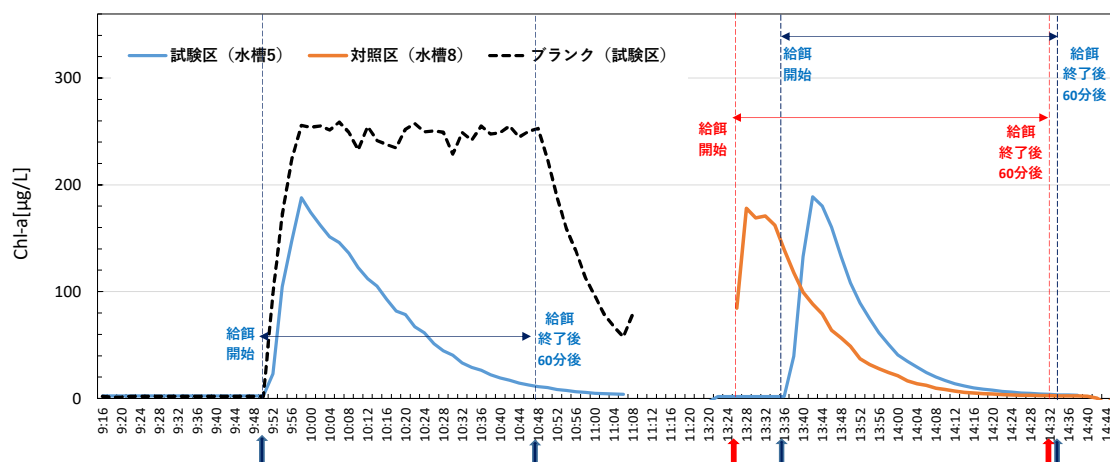


図 2-1-1-2 (2) 給餌前後のクロロフィル a 濃度の変化 (電磁場曝露試験 20 日目)

③ 生存個体数、個体計測 (湿重量、軟体部湿重量、軟体部乾燥重量)

13 日間の馴致飼育終了後に試験区及び対照区の 2 つの水槽から各 10 個体を回収し、湿重量、軟体部湿重量及び軟体部乾燥重量を比較した。F 検定で等分散性を確かめ、パラメトリック検定である t 検定とノンパラメトリック検定である Mann-Whitney U 検定をおこなったが、いずれの検定でも試験区と対照区には有意な差は認められなかった (表 2-1-6)。

表 2-1-6 馴致飼育後の試験区及び対照区の個体計測の比較

計測項目	試験区(n=10) 平均±標準偏差	対照区(n=10) 平均±標準偏差	F 検定 (P<0.05)	t 検定 (P<0.05)	Mann-Whitney U検定 (P<0.05)
湿重量 (g)	360.9±52.6	356.2±50.9	有意差なし (P=0.92)	有意差なし (P=0.84)	有意差なし (P>0.99)
軟体部湿重量 (g)	74.8±9.0	74.7±11.5	有意差なし (P=0.46)	有意差なし (P=0.98)	有意差なし (P>0.99)
軟体部乾燥重量 (g)	13.8±1.7	13.8±2.0	有意差なし (P=0.60)	有意差なし (P=0.94)	有意差なし (P=0.99)

電磁場曝露試験の最終日である 20 日目に、対照区において 1 個体 (個体 NO.12-5) の死亡を確認した。磁場強度 40 µT の曝露試験におけるウバガイの生残率は、試験区で 100% (20 個体/20 個体)、対照区で 95% (19 個体/20 個体) であった。死亡の原因は不明であるが、死亡個体の軟体部湿重量は 37.8 g であり、対照区の電磁場曝露試験終了後の他個体における軟体部湿重量の平均値 (77.7±13.1 g) と比較して大きく低下していた。死亡した個体が対照区であったことから、死亡個体は以下の統計解析から外した。

電磁場曝露試験終了後に、生残した試験区の 10 個体及び対照区の 9 個体のウバガイを回収し、湿重量、軟体部湿重量及び軟体部乾燥重量を計測した。馴致飼育前に供試員の湿重量を計測しており、20 日間の電磁場曝露後の湿重量と比較した。湿重量はばらつきが大きく、平均湿重量 344.6~358.1 g に対する標準偏差は±46.5~53.3 g であった (表 2-1-7)。馴致飼育前から電磁場曝露試験後までの湿重量の変化率は、試験区が 99.7%、対照区は 101.2% であり、変化は認められなかった。

電磁場曝露の影響の有無を調べるため、試験区と対照区の湿重量、軟体部湿重量及び軟体部乾燥重量について、F検定で等分散性を確かめ、パラメトリック検定であるt検定とノンパラメトリック検定であるMann-Whitney U検定をおこなった。その結果、どちらの検定でも試験区と対照区には有意な差は認められなかった（表2-1-8）。

表2-1-7 電磁場曝露試験後の湿重量の変化率

	湿重量(g)		変化率(%)
	馴致飼育前	電磁場曝露試験後	電磁場曝露試験後
電磁場曝露試験・試験区 (10個体;水槽No.3,5)	352.2 ± 51.7	350.2 ± 53.3	99.7 ± 7.9
電磁場曝露試験・対照区 (9個体;水槽No.7,12)	344.6 ± 50.1	358.1 ± 46.5	101.2 ± 2.0

\* 値は平均値±標準偏差 (n=10、電磁場曝露試験・対照区の電磁場曝露試験後はn=9)

\* 馴致飼育時と電磁場曝露試験後のウバガイの湿重量に有意な差はみられなかった。

表2-1-8 電磁場曝露試験後の湿重量、軟体部湿重量及び軟体部乾燥重量の比較

計測項目	試験区(n=10) 平均±標準偏差	対照区(n=9) 平均±標準偏差	F検定 (P<0.05)	t検定 (P<0.05)	Mann-Whitney U検定 (P<0.05)
湿重量(g)	350.2±53.3	358.1±46.5	有意差なし (P=0.71)	有意差なし (P=0.74)	有意差なし (P=0.60)
軟体部湿重量(g)	79.8±9.6	77.7±13.1	有意差なし (P=0.37)	有意差なし (P=0.70)	有意差なし (P=0.55)
軟体部乾燥重量(g)	14.1±2.0	14.2±2.6	有意差なし (P=0.50)	有意差なし (P=0.91)	有意差なし (P=0.97)

電磁場曝露後の影響を調べるため、試験区及び対照区ともに電磁場曝露試験終了後、30日間の曝露後飼育をおこなった。この期間中、供試員の異常行動や斃死は認められず、試験区及び対照区ともに生残率は100%（各々10個体/10個体）であった。30日後に両区ともに残り全ての10個体ずつを回収し、湿重量、軟体部湿重量及び軟体部乾燥重量を計測した。

試験区及び対照区ともに、馴致飼育前に湿重量を計測しており、曝露後飼育終了後の湿重量と比較した。湿重量はばらつきが大きく、平均湿重量356.5~373.3gに対する標準偏差は±46.9~54.2gであった（表2-1-9）。馴致飼育前から曝露後飼育後までの湿重量の変化率は、試験区が103.3%、対照区は104.8%であり、変化は認められなかった。

電磁場曝露後の慢性的な影響の有無を調べるため、試験区と対照区の湿重量、軟体部湿重量及び軟体部乾燥重量について、F検定で等分散性を確かめ、パラメトリック検定であるt検定とノンパラメトリック検定であるMann-Whitney U検定をおこなった。その結果、どちらの検定でも試験区と対照区には有意な差は認められなかった（表2-1-10）。

表2-1-9 電磁場曝露試験終了から30日後（曝露飼育後）の湿重量の変化率

	湿重量(g)		変化率(%)
	馴致飼育前	曝露試験後飼育後	曝露試験後飼育後
曝露試験後飼育・試験区 (10個体;水槽No.2,4)	359.2 ± 54.2	369.7 ± 46.9	103.3 ± 3.1
曝露試験後飼育・対照区 (10個体;水槽No.8,10)	356.5 ± 51.7	373.3 ± 51.0	104.8 ± 1.4

\* 値は平均値±標準偏差 (n=10)

\* 馴致飼育前と曝露試験後飼育後のウバガイの湿重量に有意な差はみられなかった。

表 2-1-10 電磁場曝露試験終了後から 30 日後（曝露後飼育後）の湿重量、軟体部湿重量及び軟体部乾燥重量の比較

計測項目	試験区(n=10) 平均±標準偏差	対照区(n=10) 平均±標準偏差	F 検定 (P<0.05)	t 検定 (P<0.05)	Mann-Whitney U検定 (P<0.05)
湿重量 (g)	369.7±46.9	373.3±51.0	有意差なし (P=0.80)	有意差なし (P=0.87)	有意差なし (P=0.91)
軟体部湿重量 (g)	78.0±14.5	76.5±13.1	有意差なし (P=0.76)	有意差なし (P=0.81)	有意差なし (P=0.80)
軟体部乾燥重量 (g)	13.9±2.6	13.1±1.9	有意差なし (P=0.33)	有意差なし (P=0.48)	有意差なし (P=0.57)

## 2. 2 苫小牧沖における電磁探査によるウバガイ影響調査

### 2. 2. 1 背景及び目的

環境省では、海底下 CCS 事業におけるモニタリング技術として、コスト及び周辺海域への環境負荷の観点から、超電導量子干渉素子 (Superconducting QUantum Interference Device ; 以下「SQUID」という。) を利用した電磁探査技術について、弾性波探査技術の補完技術として、海底下モニタリングへの適用を検討している。

環境省事業ではこれまでに、電磁場による海洋生物への影響に関する知見がほとんどないことから、苫小牧沖の水産重要種であるウバガイ (ホッキガイ) に対する生体応答や成長への影響をみるため、電磁場によるウバガイ影響試験 (室内試験) を 2021 年度に実施した。ウバガイ影響試験と苫小牧沖電磁探査試験における磁場強度を図 2-2-1 に示す。ウバガイ影響試験では、電磁探査で想定される磁場強度の 200 倍 (40  $\mu\text{T}$ ) 相当の電磁場を 20 日間 (6 時間/日) 曝露したが、ウバガイ (成貝) への影響は認められなかった。

ウバガイ影響試験 (室内試験) 結果からウバガイ (成貝) への電磁場の影響は小さいと考えられたが、ウバガイの漁場である苫小牧沖において電磁探査実施時の影響を確認するために、電磁探査試験に併せてウバガイ影響調査を実施した。

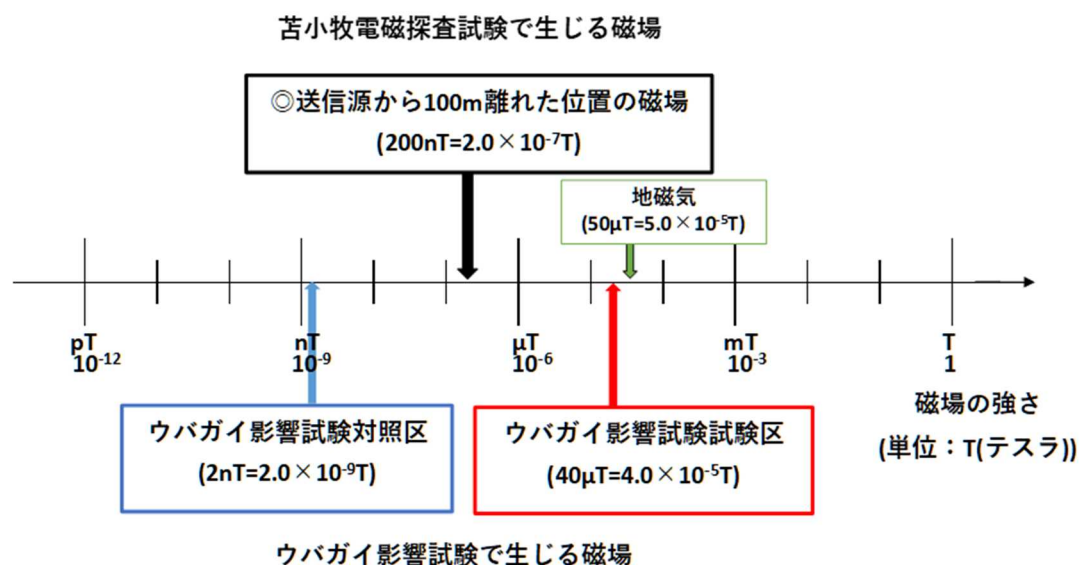


図 2-2-1 苫小牧沖電磁探査試験で生じる磁場とウバガイ影響試験 (2021 年度) の磁場の強度

## 2. 2. 2 調査工程

調査期間：2023年10月13日～2023年10月30日

調査工程を表2-2-1に示す。電磁探査試験前後にウバガイ影響調査（以下、「本調査」という）をおこなった。

表2-2-1 電磁探査試験工程

日付	10/13 (金)	10/14 (土)	10/15 (日)	10/16 (月)	10/17 (火)	10/18 (水)	10/19 (木)	～	10/25 (水)	10/26 (木)	10/27 (金)	10/28 (土)	10/29 (日)	10/30 (月)
作業内容	ウバガイ 影響調査	探査装置準備 送信テスト							電磁探査試験（荒天待機含む）					ウバガイ 影響調査

## 2. 2. 3 調査測点

調査測点を図2-2-2に示す。電磁探査試験区域の測点を東側測点（ $N42^{\circ} 37' 24.7''$ 、 $E141^{\circ} 38' 55.0''$ ）とし、対照区域の測点を西側測点（ $N42^{\circ} 36' 30.9''$ 、 $E141^{\circ} 31' 55.0''$ ）とした。



※座標は世界測地系（WGS84）に準拠する。

図2-2-2 調査測点

## 2. 2. 4 調査方法

電磁探査試験では、苦小牧市真砂町～勇払の海岸沿いに電線（送信源）を敷設し、電流を流すことで磁場を発生させ、これにより海底下地層で発生した二次磁場（誘導磁場）を海底に設置した探査装置で検知した。

本調査にあたり、ウバガイは生息密度が過密になると歩留まり率が下がるという知見

があることから、歩留まり率に影響が出ない生息密度（3～6 個体/m<sup>2</sup>程度）の漁場について苫小牧漁業協同組合殿より情報をいただいた。この情報を参考に、東側測点及び西側測点（図 2-2-2）における採取位置を決定し、電磁探査試験の前後に同一箇所（座標上）でウバガイを採取することとした。

各調査測点において、噴流式桁網を 100 m 程度曳網し、殻長 90 mm 以上（漁獲サイズ）のウバガイを採取し、そこから 30 個体を無作為に抽出して測定対象とした。測定対象とした各個体については、殻長（cm）、殻高（cm）、殻幅（cm）、全重量（g）、殻重量（g）、軟体部重量（g）を測定した。また、軟体部から生殖巣を内臓塊とともに摘出し、生殖巣重量（g）として測定した。これらの測定結果から、以下について算出した。

- 歩留まり率 [%] (=100×軟体部重量/全重量)
- 生殖巣指数 (GI) [%] (=100×生殖巣重量/軟体部重量)

電磁探査試験前後の歩留まり率及び生殖巣指数に統計的に有意な差があるか検定をおこない、電磁探査試験の影響を評価した。

## 2. 2. 5 調査結果

### (1) 磁場条件

電磁探査試験における磁場強度を図 2-2-3 に示す。送信源近傍の海岸では磁場強度が約 140 nT、送信源から 1.7 km 離れた電磁探査試験区域では約 2.5 nT が計測されたことから、約 2.5 nT～140 nT の磁場相当の電磁場に苫小牧沖のウバガイは曝露されたと考える。また、今回の電磁探査試験における計測期間（曝露期間）は 10 月 15 日～10 月 29 日（このうち、11/16, 19, 22, 28 は荒天待機等で通電しなかった）であり、1 日平均 3 時間 30 分程度、11 日間曝露した。



図 2-2-3 苫小牧沖電磁探査試験における磁場強度

(2) 試料採取

本調査実施時の海況等記録を表 2-2-2 に示す。試料採取は 2023 年 10 月 13 日及び 10 月 30 日に実施した。試料採取にあたり約 100 m 曳網し、生息密度は約 2~4 個体/m<sup>2</sup> 程度であった。

表 2-2-2 調査実施時の海況等記録

		電磁探査試験前		電磁探査試験後	
調査測点		試験区 (東側)	対照区 (西側)	試験区 (東側)	対照区 (西側)
調査月日		10月13日	10月13日	10月30日	10月30日
出港時刻		8:23	8:10	8:16	8:08
帰港時刻		9:45	9:30	9:30	9:30
気象 海象	天候	晴		晴	
	風向	calm		NE	
	風速 (m/s)	<0.5		4.1	
	波向	S		SSE	
	波高 (m)	0.5		0.8	
調査 開始	時刻	8:44	8:38	8:37	8:34
	北緯 (度-分-秒)	42 - 37 - 23.64	42 - 36 - 30.82	42 - 37 - 23.23	42 - 36 - 31.70
	東経 (度-分-秒)	141 - 38 - 55.74	141 - 31 - 45.10	141 - 38 - 49.81	141 - 31 - 48.30
調査 終了	時刻	9:01	8:35	8:54	8:49
	北緯 (度-分-秒)	42 - 37 - 23.10	42 - 36 - 30.91	42 - 37 - 23.64	42 - 36 - 31.20
	東経 (度-分-秒)	141 - 38 - 50.25	141 - 31 - 49.67	141 - 38 - 54.17	141 - 31 - 52.60
開始時水深 (m)		8.1	6.3	8.9	6.3
終了時水深 (m)		8.4	6.5	8.9	6.3
曳網距離 (m)		126.2	104.2	100.2	99.2
ウバガイ個数※		大 483	大 463	大 444	大 223
		小 0	小 7	小 8	小 11
		計 483	計 470	計 452	計 234
生息密度 (個体/100m <sup>2</sup> )		319	376	369	197

※ウバガイ大は殻長90mm以上の個体、小は殻長90mm以下の個体

(3) 測定結果

ウバガイの殻長、殻高、殻幅、全重量、軟体部重量、生殖巣重量、殻重量、歩留まり率、生殖巣指数、殻重量比率の平均値 (n=30)、t 検定の結果を表 2-2-3 に示す。また、電磁探査前後の試験区と対照区で採取したウバガイ個体を図 2-2-4~図 2-2-7 に示す。

個体サイズについては、試験区（東側）が対照区（西側）より一回り大きい個体サイズであった。また、試験区（東側）において、試験前と比べて試験後が大きい個体サイズであった。ウバガイはサイズが大きくなるほど貝殻が厚く、重くなり、歩留まり率が下がる。対照区（西側）に比べて試験区（東側）のウバガイのサイズが大きいことが、歩留まり率に反映されていると考えられる。

表 2-2-3 殻長、殻高、殻幅、全重量、軟体部重量、生殖巣重量、殻重量、歩留まり率、生殖巣指数の平均値 (n=30)、t 検定の結果

	試験区（東側）					
	試験前		試験後		有意差	p 値
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
殻長 (mm)	105.1	4.69	108.7	5.90	有	p=0.01
殻高 (mm)	85.4	4.92	86.9	4.09	無	p=0.19
殻幅 (mm)	59.9	3.62	62.2	3.30	有	p=0.01
全重量 (g)	324.0	44.4	360.2	54.7	有	p=0.01
軟体部重量 (g)	70.4	12.4	89.6	15.5	有	p<0.001
生殖巣重量 (g)	3.56	0.61	4.32	0.73	有	p<0.001
殻重量 (g)	162.2	27.1	178.3	31.5	有	p=0.04
歩留まり率 (%)	21.7	2.46	25.0	3.17	有	p<0.001
生殖巣指数 (GI) (%)	5.11	0.73	4.97	1.24	無	p=0.60
	対照区（西側）					
	試験前		試験後		有意差	p 値
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
殻長 (mm)	97.1	3.35	97.5	3.57	無	p=0.72
殻高 (mm)	78.2	3.21	78.3	3.43	無	p=0.82
殻幅 (mm)	53.6	2.39	54.6	2.67	無	p=0.14
全重量 (g)	238.8	27.0	243.7	26.8	無	p=0.49
軟体部重量 (g)	61.0	6.44	66.1	8.21	有	p=0.01
生殖巣重量 (g)	3.13	0.45	3.37	0.48	有	p=0.05
殻重量 (g)	112.7	15.0	113.9	16.4	無	p=0.76
歩留まり率 (%)	25.7	2.47	27.2	2.36	有	p=0.02
生殖巣指数 (GI) (%)	5.18	0.89	5.17	0.90	無	p=0.96

※試験前後の各項目について t 検定をおこない、有意水準は 5%とした。



図 2-2-4 電磁探査試験前(試験区)



図 2-2-5 電磁探査試験後(試験区)



図 2-2-6 電磁探査試験前(対照区)



図 2-2-7 電磁探査試験後(対照区)

#### (4) 電磁探査試験前後の比較

採取したウバガイの殻長、殻高、殻幅、全重量、軟体部重量、生殖巣重量、殻重量、歩留まり率、生殖巣指数の平均値 (n=30) について、電磁探査試験前後の比較結果を図 2-2-8~図 2-2-16 に示す。また、歩留まり率の電磁探査試験前後及び試験区と対照区の二次元配置分散分析の結果を表 2-2-4 及び図 2-2-17~図 2-2-19 に示す。

ウバガイは試験区、対照区ともに電磁探査試験後に軟体部重量及び生殖巣重量が増加し、歩留まり率が高くなっていた。生殖巣指数 (GI) は、試験区、対照区ともに電磁探査試験の前後で変化がなかった。ウバガイの生殖活動サイクル<sup>2</sup>からも 10 月前後は回復期から成長期にあたるので整合性はあると考える。

なお、試験区と対照区の比較をおこなうため、電磁探査試験前後と各区 (試験区、対照区) の歩留まり率の二次元配置分散分析をおこなった。その結果を以下に示す。

- 電磁探査試験前後の歩留まり率に有意差があった ( $p < 0.001$ )。
- 試験区と対照区の歩留まり率に有意差があった ( $p < 0.001$ )。
- 電磁探査試験前後と各区 (試験区、対照区) の歩留まり率に交互作用がなかった ( $p = 0.08$ )。

電磁探査試験前後の歩留まり率において、試験区は 3.2 %、対照区は 1.5 % 高くなっていた。電磁探査試験前後の歩留まり率の変化が対照区より試験区がやや高くなっているが、概ね同様の傾向を示しており、電磁探査試験前後と各区 (試験区、対照区) の歩留まり率には交互作用がなかったため、電磁探査試験前後の変化は試験区、対照区に関わらず

<sup>2</sup> 「苫小牧および静内におけるホッキガイの産卵期について」櫻井 泉ほか (北海道立水産試験場研究報告 NO.39 号 p.45-52, 1992 年 10 月)、「ウバガイの加入量変動に及ぼす母貝の成熟と産卵期間の影響」櫻井 泉ほか (2020 年水産海洋学会講演 13)



一様に存在したと考える。

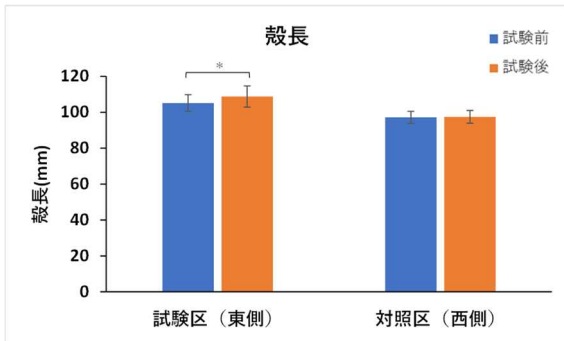


図 2-2-8 電磁探査試験前後の殻長

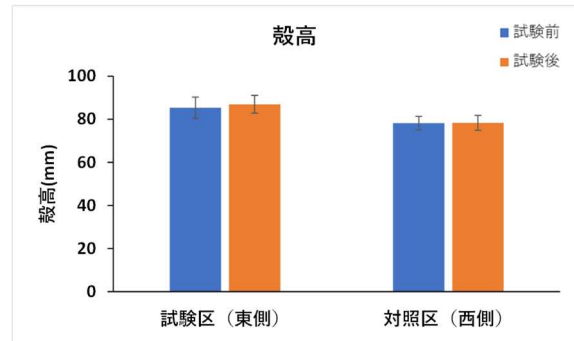


図 2-2-9 電磁探査試験前後の殻高

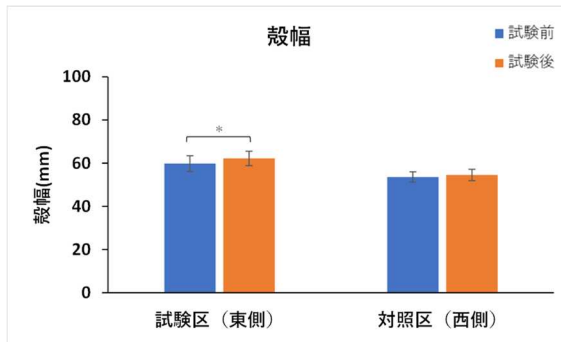


図 2-2-10 電磁探査試験前後の殻幅

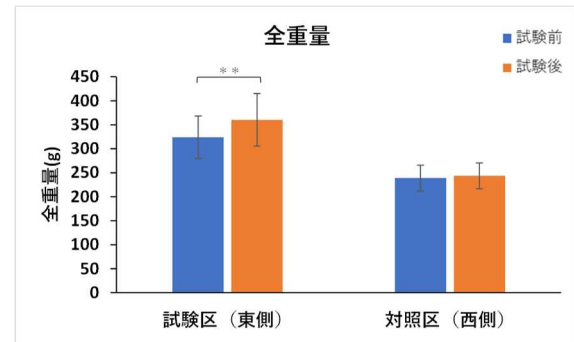


図 2-2-11 電磁探査試験前後の全重量

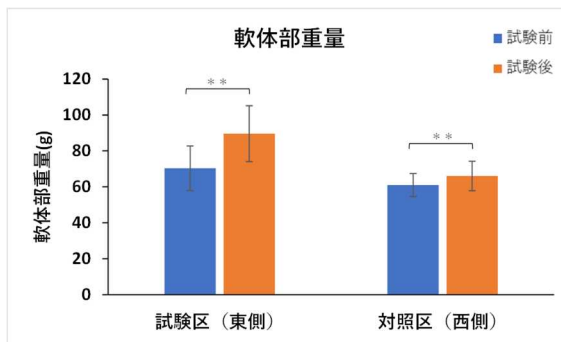


図 2-2-12 電磁探査試験前後の軟体部重量

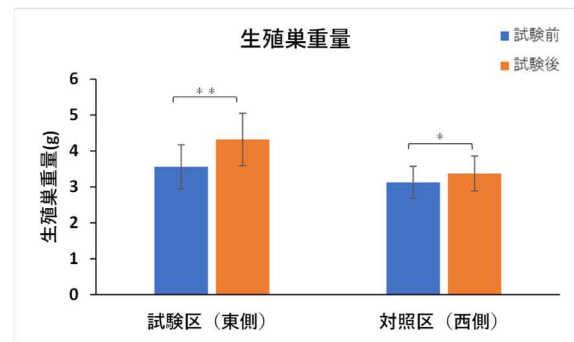


図 2-2-13 電磁探査試験前後の生殖巣重量

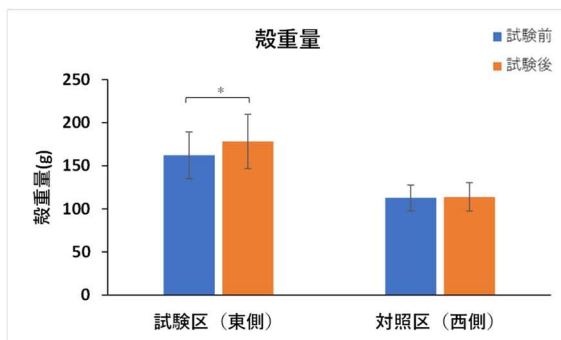
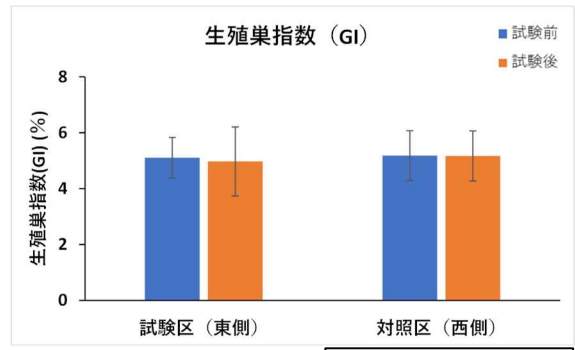
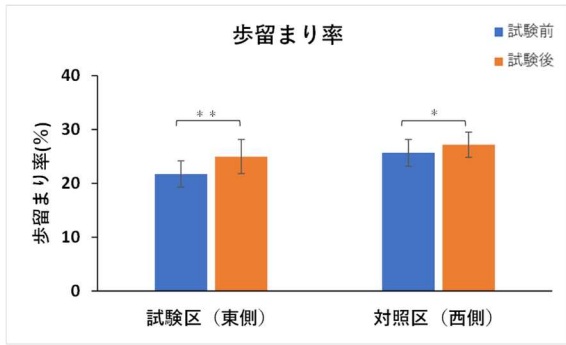


図 2-2-14 電磁探査試験前後の殻重量

\* ; 有意差あり (p<0.05)  
 \*\* ; 有意差あり (p<0.01)  
 エラーバー ; 標準偏差



\* ; 有意差あり (p<0.05)  
 \*\* ; 有意差あり (p<0.01)  
 エラーバー ; 標準偏差

図 2-2-15 電磁探査試験前後の歩留まり率

図 2-2-16 電磁探査試験前後の生殖巣指数

表 2-2-4 二次元配置分散分析表

因子	平方和	自由度	平均平方	f 値	p 値	有意差
試験前 × 試験後	168	1	168	24.2	p<0.001	有
試験区 × 対照区	284	1	284	41.0	p<0.001	有
試験前後 × 各区 (試験区, 対照区)	22	1	22.0	3.17	p=0.08	無
残差	804	116	6.93			
合計	1278	119				

※各因子について二次元配置分散分析をおこない、有意水準は5%とした。

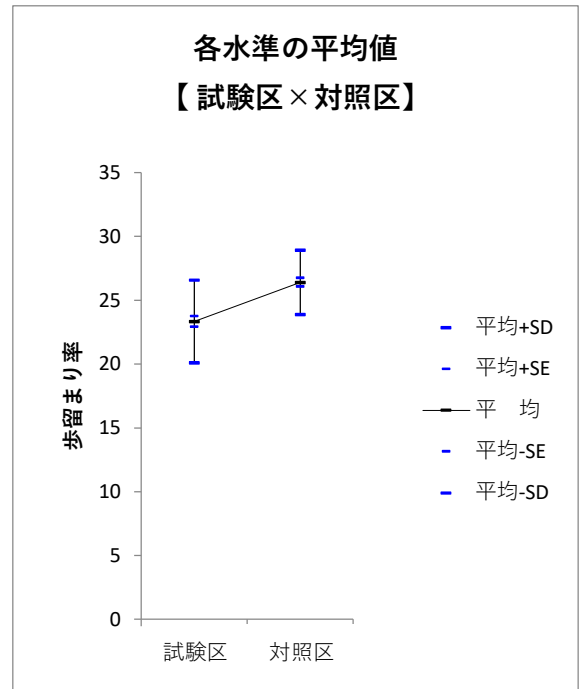
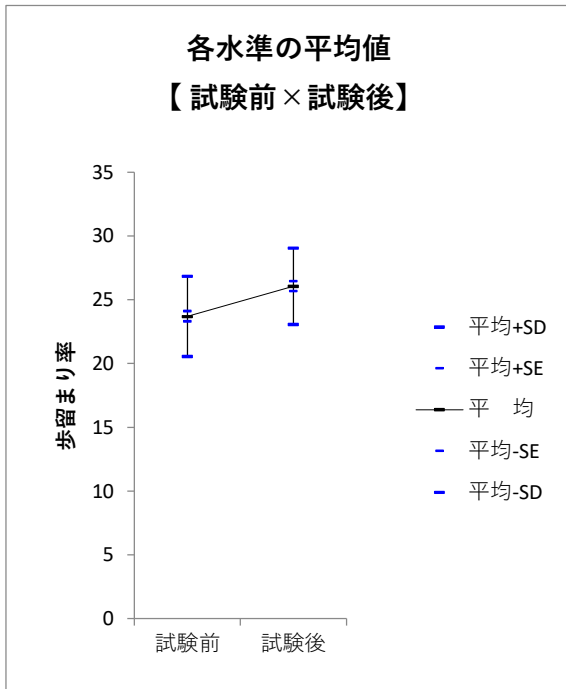


図 2-2-17 電磁探査試験前後の歩留まり率の変化

図 2-2-18 試験区と対照区の歩留まり率

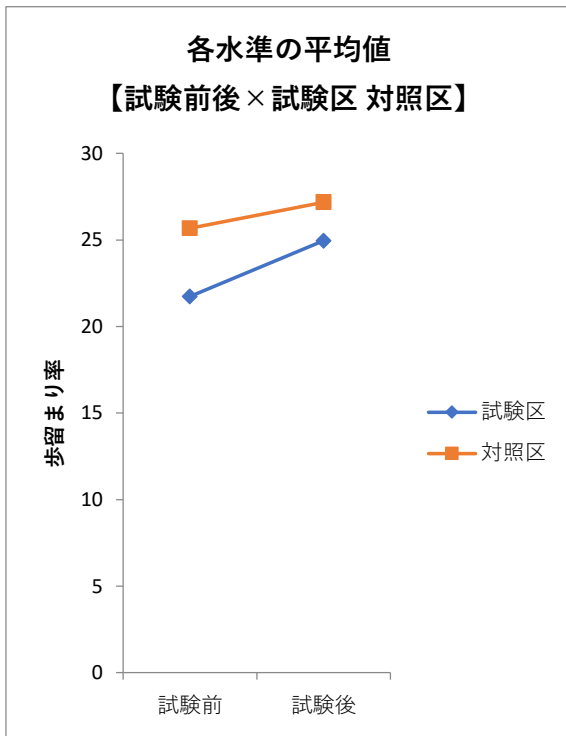


図 2 - 2 - 1 9 電磁探査試験前後の各区（試験区、対照区）の変化

### 3. まとめ

#### 3. 1 電磁場によるウバガイ影響試験（室内試験）

電磁場によるウバガイ影響試験（室内試験）で得られた知見を、以下に示す。

- 40  $\mu\text{T}$  の磁場相当の電磁場に曝露した場合、目視観察及びカメラ映像ではウバガイの反応は全く認められなかった。
- 40  $\mu\text{T}$  の磁場相当の電磁場に曝露した場合、ウバガイの摂餌率に変化はなく、クロロフィル a 及びカメラ映像でもウバガイの摂餌障害は認められなかった。
- 電磁場曝露試験の試験区において死亡個体は確認されず、電磁場曝露試験後の試験区及び対照区における湿重量、軟体部湿重量及び軟体部乾燥重量に統計的な有意差はなかった。
- 電磁場曝露試験終了後の 30 日間の曝露後飼育において死亡個体は確認されず、試験区及び対照区における湿重量、軟体部湿重量及び軟体部乾燥重量に統計的な有意差はなかった。

#### 3. 2 苫小牧沖における電磁探査によるウバガイ影響調査

苫小牧沖における電磁探査によるウバガイ影響調査で得られた知見を、以下に示す。

- 試験区、対照区ともに、電磁探査試験後のウバガイ軟体部重量及び生殖巣重量が増加し、歩留まり率が高くなった。
- 電磁探査試験の前後で生殖巣指数 (GI) を比較したところ、試験区、対照区ともに、統計的な有意差はなかった。
- 電磁探査試験前後で確認された歩留まり率の変化は、試験区、対照区ともに一様に存在する自然変動と考えられた。

#### 3. 3 総括

電磁場によるウバガイ影響試験（室内試験）の結果から、電磁探査で想定される 200 倍相当の 40  $\mu\text{T}$  の磁場を 20 日間曝露しても、ウバガイ（成貝）への大きな影響はないと考えられた。

また、苫小牧沖における電磁探査によるウバガイ影響調査の結果では電磁探査試験前後で試験区のウバガイの歩留まり率と生殖巣指数 (GI) に特異的な変化が認められなかったことから、電磁探査が苫小牧沖のウバガイの歩留まり率と生殖巣指数 (GI) に影響を及ぼさないと考えられた。

#### 担当者等連絡先

部署名:環境省 水・大気環境局海洋環境課

T E L:03-5521-9023(直通)

:課長 大井 通博

担当者名:課長補佐 堀野上 貴章 (内線:25523)