

令和 5 年 5 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15575

研究課題名（和文）環境適応型養殖の構築を目指した二枚貝（カキ、ホタテ）の行動モニタリング手法の確立

研究課題名（英文）Establishment of behavioral monitoring method of bivalves (oysters and scallops) for the construction of environmentally adaptive aquaculture

研究代表者

富安 信 (Tomiyasu, Makoto)

北海道大学・水産科学研究院・助教

研究者番号：50837101

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：重要水産資源のマガキ、ホタテガイに対して、殻の開閉運動を基にした状態・行動のモニタリング手法の確立を試みた。

両種において、加速度センサーおよび磁力センサーを用いて殻の開閉運動を捉える手法を考案し、行動の長期計測に成功した。屋内実験では、マガキで摂餌、排泄、産卵時に特有な運動の特徴を明らかにした。ホタテガイでは、摂餌、移動行動の特徴を明らかにし、養殖方法の違いによる行動への影響を検証した。マガキについては養殖場で野外実験を行い、野外での行動の傾向、産卵の多様性、養殖バスケットの挙動、バスケットごとの個体の成長特性およびバスケットごとの運動へ与える影響について明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通じて、水産重要種の二枚貝の長期的な行動モニタリングが可能となり、養殖現場での成長や状態を評価するのみならず生態情報の知見を蓄積することが可能となった。特に二枚貝養殖で問題視されている個体の大量斃死がどのような条件で発生し、どのように対策をしていくべきかを考える上でこれら知見の収集は不可欠である。また本研究は、比較的簡易な計測手法によって行われ、養殖業を営む漁業者や地方自治体と共に研究を行ってきた。そのため、地域に研究の手法・成果が実装されつつあり、今後地域独自に調査を展開し知見を蓄積していくことで、研究の発展が期待される。

研究成果の概要（英文）：We attempted to establish a method for monitoring the status and behavior of the important fishery resources, Pacific oyster and scallop, based on their shells' opening and closing motions.

In both species, we devised a method to quantify the opening and closing movements of the shells using acceleration sensors and magnetic sensors and succeeded in the long-term measurement of their behaviors.

In indoor experiments, we clarified the characteristics of movements specific to feeding, defecation, and spawning in the Pacific oyster. In scallops, the characteristics of feeding and movement behavior were clarified, and the effects of different culturing methods on behavior were verified. For oysters, field experiments were conducted in aquaculture farms to clarify the trend of valve movement, spawning diversity, the movement of aquaculture baskets, the growth characteristics of individuals in each basket, and the effects of different baskets on movements.

研究分野：水圏生産科学

キーワード：二枚貝養殖 行動モニタリング 環境適応 マガキ ホタテガイ 成長 漁具

1. 研究開始当初の背景

マガキやホタテガイを始めとする二枚貝の養殖漁業では安定した生産が行われている一方で、個体の成長や品質がばらつくことや突発的に起きる大量の斃死が問題視され、個体の状態や行動をモニタリングする手法の確立が求められてきた。特に二枚貝では、殻体運動(殻の開閉行動)を捉えることで呼吸や摂餌の頻度および活動性の推定が可能であると考えられ、これまでキモグラフや磁力センサーといった技術が活用されてきた。しかしながら、これら既存の技術は実験系の大きさやコスト、測定の誤差および有線接続が必要であった点などがボトルネックであり、環境条件や養殖条件に応じた柔軟な情報収集は行われてこなかった。

2. 研究の目的

本研究では、観察が可能な屋内でマガキとホタテガイを対象に個体が生態的なイベントを経験した際の殻体運動をセンサー記録からパターン化する。その上で、野外養殖環境での計測を通じて各生態的イベントの経験を推定する手法を確立する。両種の行動情報が蓄積することで、斃死や成長のばらつきの発生メカニズムを理解し、それらの予測・予防を提言できる。また将来的な環境変動に適応した柔軟な養殖方法を構築することにも寄与する。

3. 研究の方法

水産重要種のマガキ、ホタテガイについて以下の研究を行った。

【マガキ】

屋内水槽での開閉運動の計測手法の確立

マガキの供試個体に対して、水中エポキシを用いて上殻に加速度センサー(ORI400-D3GT、Little Leonard 社製)または磁力センサー(Valve-trek、TechnoSmart 社製)を固定した。磁力センサーを用いた際には対となる殻に磁石を固定した。その後屋内水槽で殻の開閉運動を水中カメラによって記録し、センサーに記録された値とカメラ記録での行動を照合した。将来的な養殖環境での野外実験を想定し、個体が養殖バスケット内で自由に揺れ動く場合と、バスケットに固定された場合でセンサーによる殻体運動の計測が可能かどうか検証した。

屋内水槽での行動の特徴量の把握

厚岸町カキ種苗センターより提供されたマガキ 3 個体を用いて、それぞれの個体に加速度センサーを装着した。これらの個体を水槽(縦 1 m、横 3 m)に垂下し個体の開閉運動を観測するためビデオカメラ(GoPro Hero6; GoPro 社製)を設置した。また同時にクロロフィル計と水温計を垂下し、植物プランクトンの濃度と水温を計測した。各計測はセンサーのメモリ限度である 4 日間行い、2020 年の 6 月と 8 月および 2021 年 2 月に実験を実施した。

野外環境での産卵イベントの経験の推定

2020 年 6 月から 2021 年 6 月、および 2022 年 8-9 月にかけて厚岸湖内のマガキの養殖施設にて実施した。Hexcyl Systems 社製バスケットの中にマガキの成貝(2020 年:4 個体、2022 年:5 個体)を投入し、各個体をバスケットの底面に固定して実験を行った。それぞれの実験個体には、2020 年は Biologger (Biologging Solutions 社製)を装着し、2022 年は Axy5(TechnoSmart 社製)を装着した。各機器は個体の右殻中央部にエポキシ樹脂を用いて取り付け、殻の開閉に伴う加速度値の時系列変化を記録した。本研究では、の屋内実験で特定した産卵行動の特徴量に基づき連続ウェブレット変換を行うことで産卵行動の特徴と当てはまる期間を加速度データ全体から抽出した。

養殖条件が個体の成長・行動に与える影響の検証

2021 年 7 月 30 日から 2022 年 7 月 27 日にかけて、マガキ養殖に使用されている Hexcyl Systems 社製バスケット(以下"HEX"、吊り下げ式)、BST Oyster Supplies 社製バスケット(以下"BST"、吊り下げ式)、Zapco Aquaculture 社製バスケット(以下"ZAP"、フロート式)の 3 種を使用し実験を行った。各種のバスケットを 2 個ずつ用意し、それぞれ高密度(80 個体/L)と低密度(20 個体/L)となるように個体を分配した。個体は 1 齢未満のマガキのシングルシード種苗(殻高 10 mm 以上)を使用し、実験期間中、半月から 2 か月おきに各バスケットから 100 個体を無作為にサンプリングし、各個体の殻高、殻長、殻幅を計測した。上記の実験と並行して加速度センサーと磁力センサーを用いて各バスケットの水中挙動と実験個体の殻体運動を計測した。バスケットはセンサーの深度データと 3 次元加速度から、潮位と挙動の関係について調べた。個体の運動は磁力センサーが取り付けられる大きさ(殻高 70 mm 前後)にまで成長した 2022 年 6 月 15 日から 7 月 27 日にかけて計測を行った。得られた殻体運動の波形より、行動を摂餌、排泄、閉殻の 3 つに分類し、それら行動の回数と継続時間が潮汐の変動やバスケットの動揺によってどのように変化するのかを調べた。

【ホタテガイ】

屋内水槽での開閉運動の計測手法の確立

ホタテガイの3-4年貝を用い、直径3m×水深80cm(5トン)の水槽に砂を敷いた環境で実験を行った。ホタテガイ4個体の上殻に加速度センサー(Biologger、Biologging solutions社製)を装着し海底に放流した。陸上からビデオで映像記録をとることでセンサーに記録された値とカメラ記録での行動を照合した。

養殖方法の違いが個体の行動に与える影響の推定

ホタテガイの養殖地の生産者から2年貝250個体が付着した耳吊り用ロープを提供いただき、4m以下のロープ4本に分割して耳吊り環境を再現した。水槽は、函館市国際水産海洋総合研究センター内の大型水槽(10m×5m×3m)を用いた。耳吊りロープに係留させた個体3個体に加速度センサー(ORI-D3GT、Little Leonardo社; Biologger、Biologging solutions社製)を装着することで殻体運動を定量化し、ビデオカメラによる観察データと比較した。また耳吊りしたロープの上層、中層、下層の係留位置による個体の運動の違いにも言及した。耳吊りを3日間行った後、個体はロープから脱落させ、地撒き状態での行動も計測した。

4. 研究成果

【マガキ】

屋内水槽での開閉運動の計測手法の確立

屋内実験では、水中カメラで記録された殻の開閉運動と同じタイミングで加速度センサーの静加速度(重力加速度)の値または磁力センサーの電圧値が変動したことから、開閉運動を計測できたものと考えられた。センサーの固定に用いた水中エポキシは塗布する際に熱を生じていたが、個体の行動への影響は少ないと推察された。また養殖バスケット内でマガキが自由に揺れ動く状態では加速度センサーの静加速度による評価は困難であったため、バスケットへの個体の固定が必要であった。一方で磁力センサーでの計測は個体が揺れ動いても計測値に影響がなかった。

屋内水槽での行動の特徴量の把握

6月および8月の屋内実験からセンサーデータと期間中のビデオカメラの映像が得られた。映像でカキが開殻していた期間は加速度データが連続的に矩形波を示し、カキが開殻状態へ変化した際には、加速度の値にも0.1-0.15Gの変化があった。閉殻、開殻状態は数時間-10時間程度継続し、閉殻から開殻へ変化する時には数分から10分の時間をかけてゆっくりと上殻が開いていく様子が見られた。開殻状態の間中は、水槽内のChlorophyll濃度の低下が見られたことから、水槽内の水をろ過して摂餌をしていたと考えられる。さらに開殻中の加速度記録には、頻りに殻の開閉を繰り返すような波形が見られた。ビデオ映像から同じ期間を抽出すると側部から糞を排出している様子が見られたため、これらの波形は摂餌後の排泄行動を示している可能性が考えられた(図1)。また2021年2月の屋内実験では、白い物体の放出を伴う振幅が大きい開閉運動が確認された。ホールピペットを用いてこの物体をサンプリングし顕微鏡で確認したところマガキの卵が確認されたため、この殻体運動は放卵行動と特定された。その後、当該個体は20~50秒間隔で合計79回の放卵を伴う開閉を行った。放卵間隔は時間経過とともに長くなっていき、センサーのデータには20~60秒周期の波が多く含まれ、その周期は時間経過と共に増大した(図2)。

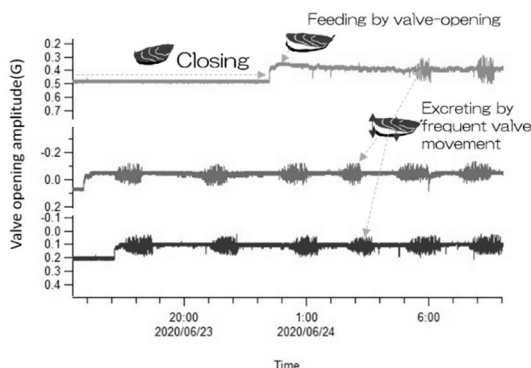


図1 屋内実験での摂餌・排泄行動の波形

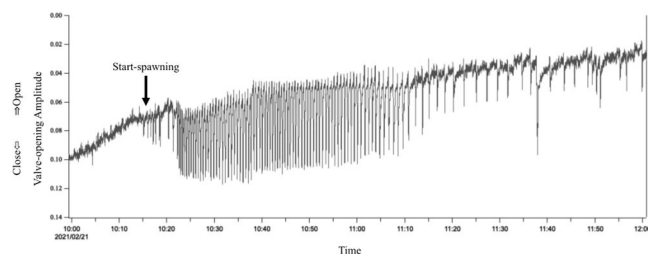


図2 屋内実験での産卵行動の波形

野外環境での産卵イベントの経験の推定

屋内実験で産卵行動時に見られた周期20~60秒の開閉運動は、調査中の複数個体の加速度デ

ータ上で複数回見られた。2020 年は7 月31 日から9 月1 日の期間で3 個体から11 回の産卵行動を抽出した。2022 年は8 月15 日から9 月20 日の期間で1 個体から9 回の産卵行動を抽出した。屋内実験で特定された行動の特徴量は野外環境での行動検出にも適用可能であることがわかった。また2022 年の個体の中には、海中に投下した数日後から1 カ月間殻を継続的に開放し斃死した個体も確認された。これら行動は定常的な行動や産卵行動とは異なり、特徴量を用いると将来的に斃死の判断を野外環境で行うことも可能となると考えられた。

表1 野外環境での産卵行動の検出

年	ID	産卵日	時間	同期個体数	年	ID	産卵日	時間	同期個体数
2020	Y	2020/7/31	10:41	2	2022	G	2022/8/15	17:43	nd
	G	2020/7/31	10:46	2		G	2022/8/16	5:28	nd
	B	2020/8/2	15:11	2		G	2022/8/19	8:16	nd
	G	2020/8/2	15:26	2		G	2022/8/21	20:02	nd
	B	2020/8/2	15:41	1		G	2022/8/27	19:03	nd
	G	2020/8/7	10:26	2		G	2022/9/1	5:22	nd
	Y	2020/8/7	10:26	2		G	2022/9/4	7:56	nd
	G	2020/8/29	1:45	3		G	2022/9/14	7:35	nd
	Y	2020/8/29	1:45	3		G	2022/9/20	9:52	nd
	B	2020/8/29	1:45	3					
	Y	2020/9/1	3:40	1					

養殖条件が個体の成長・行動に与える影響の検証

実験期間を通して養殖個体の殻高にはおよそ60 mmの成長が見られた。個体の成長量は2021年8月から12月、2022年4月から8月にかけて大きく、冬期は個体の成長量が著しく減少した。殻高方向への平均成長量はHEXで大きくZAPで小さくなる傾向が見られたが、殻長や殻幅に関しては逆の傾向を示しZAPで大きくなる傾向にあった。身肉の乾燥重量についても吊り下げ式のHEXやBSTと比べてフロート式のZAPで大きくなること示された。また低密度条件で養殖を行った場合にも身肉の乾燥重量が大きく成長しやすいことが示された。バスケットの水中挙動に関して、潮位が変動する環境下では、吊り下げ式のHEXとBSTは表層(深度0~0.5 m)に位置しているときに大きく動揺し、バケットが空気中に干出しているときや深く水中に沈んでいるとき(深度0.5 m~)には静止していた。フロート式のZAPは恒常的に水面で動揺している様子が記録された(図3)。このような挙動の違いにより、ZAPでは個体の殻が削られる頻度が高く、殻高の成長が抑制されたことが考えられる。殻体運動については、全てのバケットにおいて、閉殻が干潮と上げ潮の際に高頻度で見られ、閉殻の平均継続時間も長かった。マガキの行動は漁具の種類に関わらず潮汐周期と同調しており、干潮時には閉殻する傾向にあると考えられる。3種類のバケットが高頻度で動揺している際のカキの行動に注目すると、吊り下げ式のバケットとフロート式のバケットで連続的なスパイク波形の頻度に違いが見られた(図4)。頻繁な殻の開閉は有毒藻類の増加や排泄行動の際に観察されることからストレス反応や摂餌、排泄に関連する行動の違いの可能性はある。

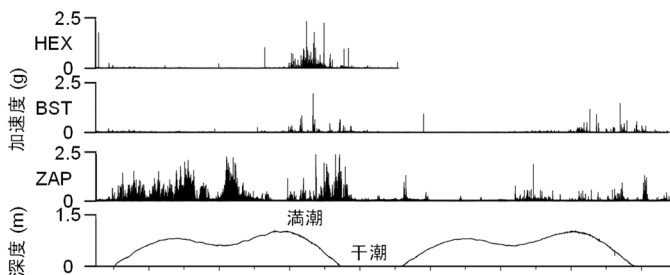


図3. 各バケットの挙動

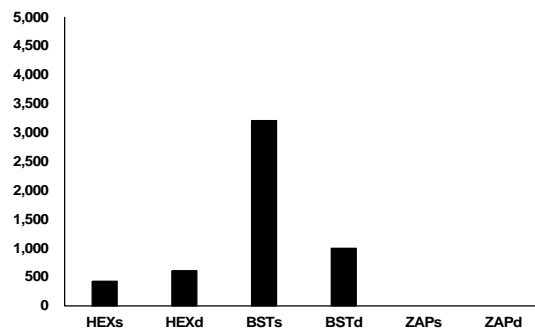


図4. バケット動揺時の連続スパイクの時間(秒)

【ホタテガイ】

屋内水槽での開閉運動の計測手法の確立
 個体の殻の開閉が見られた際に加速度データの静加速度の値に変化が見られ、個体の殻の開閉

を評価することができた。またホタテガイがジェット噴射によって移動行動を見せた際には静加速度に加えて動加速度に値の変化が見られた。多くの時間でホタテガイ個体は常に開殻傾向にあり、開閉による加速度の変化は $\pm 0.1 \sim 0.15G$ であった。ジェット噴射の頻度は夜に多く、夜間に頻繁に移動をしている傾向にあった。

養殖方法の違いが個体の行動に与える影響の推定

耳吊り個体は、係留位置を支点に自重で下を向いていたため加速度記録は基本姿勢として 1G の値をとった。また 1G を基本として、開閉運動およびジェット噴射を抽出することができた。耳吊り状態でもジェット噴射による移動行動が行われることは本研究で初めて観測された。ホタテガイは、下殻に当たる白色部分を上にした状態で保持するとジェット噴射で白色部分を下にしようとする行動が見られ、地撒き状態における捕食者からの回避以外にも、ジェット噴射によって自身の姿勢を調整する役割がある可能性が考えられる。また耳釣りした個体の中で、ジェット噴射の頻度に差があり上層の個体は行動頻度が少なく、中層、下層の個体は頻度が高かった。よって係留されている鉛直方向の位置や環境によって活動量や行動に差がある可能性がある。地撒き後の個体の加速度データでは、個体は の実験同様に開閉運動とジェット噴射による移動をする傾向にあった。しかしながら、個体は開閉運動のみを行う時間が多く、ジェット噴射は、 の実験に比べて短い時間でしか見られなかった。耳吊り状態では頻繁にジェット噴射をしていた個体も、地撒き状態では開閉運動のみを行っており、水温環境や時間経過による行動の変化の可能性が考えられた。実験を通して、個体の活動量、行動の指標として加速度記録がホタテガイでも利用できる可能性が示された。また耳吊り、地撒きの両方で行動は抽出可能であった。活動性の変化には、水温変化、係留位置、個体差などが理由として考えられ、今後これらのテーマに焦点を当てて詳細な検証が行われるべきである。

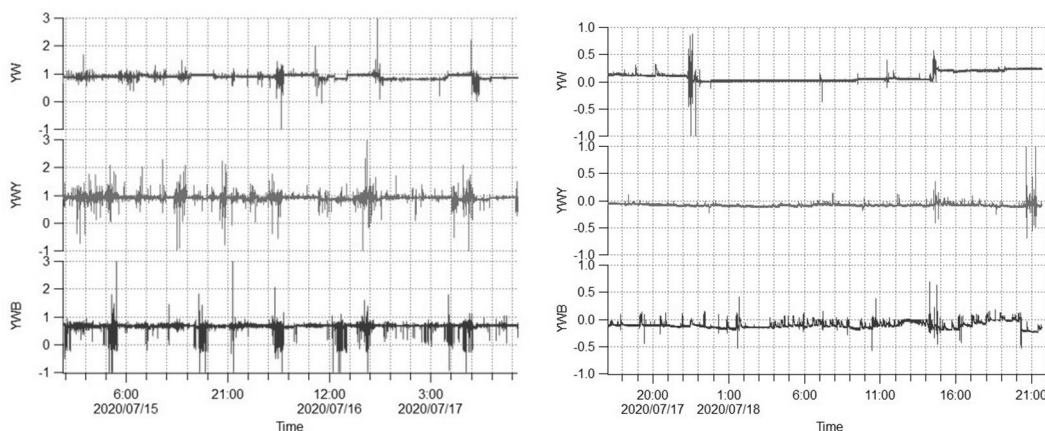


図5 耳釣り状態でのホタテガイの開閉運動(左、波形は上から上層、中層、下層の個体)と地撒き後の開閉運動(右)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 上田優哉 , 銀杏優志 , 富安信 , 藤森康澄 , 武山悟 , 宮下和士
2. 発表標題 養殖環境下におけるマガキの産卵行動計測
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 銀杏優志 , 富安信 , 藤森康澄 , 上田優哉 , 武山悟
2. 発表標題 マガキのシングルシード養殖に用いられるバスケットの水中挙動と養殖個体への影響
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上田優哉 , 銀杏優志 , 富安信 , 藤森康澄 , 武山悟 , 宮下和士
2. 発表標題 シングルシード養殖マガキの産卵行動計測
3. 学会等名 令和3年度日本水産工学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 銀杏優志 , 富安信 , 藤森康澄 , 武山悟 , 上田優哉
2. 発表標題 マガキのシングルシード養殖に用いるバスケットの水中挙動計測
3. 学会等名 令和3年度日本水産工学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富安 信
2. 発表標題 道南の漁業現場で生物の動きを調べる～エビ、ホタテ、カメの研究～
3. 学会等名 海洋環境モニター報告会 in 函館（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富安信， 銀杏優志， 櫻田悠介， 藤森康澄， 武山悟
2. 発表標題 マガキ養殖におけるバスケットの挙動と個体の成長の関係
3. 学会等名 令和5年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 銀杏優志， 櫻田悠介， 富安信， 藤森康澄
2. 発表標題 養殖条件の違いによって牡蠣殻の形状はどのように変わるのか？
3. 学会等名 HAKODATE アカデミックリンク2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 富安信・上田優哉	4. 発行年 2020年
2. 出版社 緑書房	5. 総ページ数 6
3. 書名 養殖ビジネス2020 5月号	

1. 著者名 富安信	4. 発行年 2022年
2. 出版社 海文堂出版	5. 総ページ数 128
3. 書名 海で身体のすべてを耳にする	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------