

加速度データロガーを用いた養殖マガキの摂餌、
放卵・放精および斃死に伴う殻体運動のカタログ化

北海道大学大学院環境科学院 生物圏科学専攻水圏生物学コース
生態系変動解析分野 修士1年
上田 優哉

はじめに

マガキは主要な海面養殖二枚貝の一種であり、その養殖方法は世界中で確立されている。主な養殖方法には2種類あり、1つは複数の種苗をホタテガイなどの1つの貝殻に附着させて生育させるカルチ法であり、もう1つは個体を独立させ養殖カゴに入れて転がすようにして生育させるシングルシード法(道総研, 2013)である。特にシングルシード法では個体の転がし方に関連する養殖方法を変えることによって殻の形状や個体サイズをコントロールすることが可能である。このため、殻に3次元的な膨らみを持たせ身入りの良い個体を養殖することが可能となる。

これまでもマガキの養殖効率に関する研究は盛んに行われてきた。その中でも殻の開閉(殻体運動)に関する研究は、個体の生理状態に直接関係する重要な研究である。その理由は、マガキを含む多くの二枚貝は開殻している時に鰓から海水を換水し摂食、呼吸および放卵・放精などを行なっている(Jørgensen, 1960, 1981, 1985)からである。本研究チームでは2018年度より、厚岸町カキ種苗センター(以下カキセンターとする)と協力しシングルシード養殖におけるマガキの殻体運動モニタリングについて調査を続けてきた。その結果、3軸加速度データロガー(以下ロガーとする)を活用することで実際の養殖環境下でマガキの殻体運動を検出することができた。また、その殻体運動データは餌量や厚岸湖に特有の潮汐変動に関して変動することが判明した。しかしながら未だ養殖環境下では、得られた殻体運動のデータが個体の生態的に重要なイベントである「摂餌、放卵・放精および斃死」などの行動にどのように関連するのか定かではなかった。そこで本研究ではマガキ個体の摂餌、放卵・放精および斃死に伴う殻体運動データを収集することで、これらの生態的なイベントが起こる条件を明らかにすることを目的とした。

材料・方法

屋内実験

2020年6月と8月および2021年2月に北海道厚岸町カキ種苗センター(以下カキセンターとする)にて摂餌行動計測実験および産卵行動計測実験が行われた。カキ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データロガー (ORI400-D3GT ; 長さ:45mm,直径 12mm,重量:9g(空中),水温の分解能 0.1℃,深度の分解能:0.1m,3軸加速度の分解能:0.1g, Little Leonardo 社製)を装着した。その際、エポキシ樹脂とプラスチック製の土台を用いた(図1)。

これらの個体をカキセンター内の母貝水槽(縦1m,横3m)に垂下した(図2)。その際、個体の水深が0.2mとなるようにおよそ0.6m四方の網かごを二等分し、その一方に3個体と開閉運動を観測するためビデオカメラ(GoPro Hero5; 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、エサ濃度と水温環境を計測した。

野外実験

2020年6月から2021年3月にかけて北海道厚岸町マガキ養殖施設にて養殖環境下でのマガキの行動計測が行われた。カキセンターより提供されたマガキ4個体を用いて、それぞれの個体にロガー (Biologger ; 長さ:30mm,直径 8mm,重量:1.4g(水中),水温の分解能:0.03℃,深度の分解能:0.01m,3軸加速度の分解能:12ビット,Biologging Solutions 社製)を2.1 屋内実験と同様の方法を用いて装着した。

これらの個体を SEAPA 社製のシングルシードカキ養殖カゴにロックタイを用いて固定し、厚岸湖内のマガキ養殖施設に垂下した(図3)。また、同時にクロロフィル α 計および水温塩分計を垂下し、エサ濃度と水温塩分環境を計測した。

解析方法

マガキの殻体運動を可視化するためにロガーで得られた加速度データから個体の上殻の姿勢角を Igor pro7 を用いて算出した。得られた加速度データには殻体運動を示す低周波成分の波形と、ロガーのノイズ、養殖環境下での波および波浪による個体の揺れを示す高周波成分の波形とが合成されているため、生データからウェーブレット変換を行うことで高周波成分を差分した。

これによって得られた加速度データから生態的なイベントを検出するために K-means 法によるクラスタリングを行なった。

結果と考察

摂餌行動・排泄行動

2020年6月および8月の屋内実験から145時間のロガーデータと期間中の日中のビデオカメラの映像が得られた。ロガーデータには3軸加速度、深度および経験水温が記録されていたが解析には上殻の姿勢角を示すY軸加速度のみを用いた。

得られたビデオカメラの映像から開殻時の映像と閉殻時の映像をそれぞれ図4に示す。

また、これらの期間の加速度データを図 5 に示す。映像でカキが閉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値の変動がなかった。一方、映像でカキが閉殻状態から開殻状態へ変化した際には、加速度の値にも 0.1-0.15G の変化があったことから、開閉の判別がセンサーデータから可能であったと言える。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 分程度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、頻繁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(図 6)、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。行動としては、10 秒程度に一度上殻が少し閉じ、また 10 秒ほどで開殻して閉じる過程を繰り返しており、1 時間ほどの期間継続して見られた。波形の周波数解析でも 10-12 秒の周期で運動が確認された(図 7)。

放卵行動

2021 年 2 月の屋内実験から約 6.5 時間に渡るビデオカメラの映像と 26 時間のロガーデータが得られた。呼吸、摂餌および排泄行動のときの解析と同様に Y 軸の加速度データのみを解析に用いた。

得られたビデオカメラの映像から放卵時の映像を図 8 に示す。この時の加速度データを図 9 に示す。また、この時の加速度データに周波数解析を行なった結果を図 10 に示す。これらの結果から、放卵時の加速度データにはそれ以前のものよりも高周波成分が多く含まれており、時間経過とともに低周波成分を含む割合が大きくなっていくことがわかる。

具体的には、20~30 秒に一度上殻が完全に閉殻するまで閉じ、また 10~20 秒ほどで開殻して閉じる過程を繰り返しており、時間経過と共に周期は 20 秒から 60 秒にまで変わっていった。また、殻体運動はその他の時よ比べて振幅が大きかった。行動は、1 時間ほど期間継続して見られた。波形の周波数解析では、20 秒の周期の運動から 60 秒の周期の運動に移り変わっていく過程が確認された(図 10)。

野外実験での検出

2020 年 6 月から 2021 年 3 月にかけて行われた野外実験より約 250 日分の加速度データが得られた。上記の材料・方法の手順に則り加速度データを加工し、データを確認したところ屋内実験の放卵行動と同様の加速度データの傾向が見られた(図 11)。この傾向が見られた期間の加速度データに屋内実験と同様の周波数解析を行なった結果を図 12 に示す。この結果から、この期間の加速度データは屋内実験のものと同様に高周波成分が多く含まれ、時間経過とともに低周波成分を含む割合が大きくなっていることがわかる。このことからこの期間に個体は放卵行動を行っていると推定できる。

まとめと展望

本研究より摂餌, 排泄および放卵行動の殻体運動が検出できた。これらの行動の加速度データの周期はそれぞれ数時間, 10~12 秒および 20~60 秒であったことから周波数解析を用いることで行動分類ができるといえる。また, 野外実験においても放卵行動を検出することに成功した。しかしながら, 当初計画していた斃死行動の検出は叶わなかった。今後は斃死行動を検出するために様々な環境条件を屋内実験で実現していき必要があるだろう。

謝辞

本研究の調査にあたり厚岸町カキ種苗センター所長武山悟氏には大変お世話になりました。ここに感謝申し上げます。また野外実験においては漁業者である中野清氏および鈴木賢二氏にも御協力頂き, 感謝の意を表します。本研究は令和2年度厚岸町・別寒辺牛湿原学術研究奨励補助金制度の助成を受けて行われた。

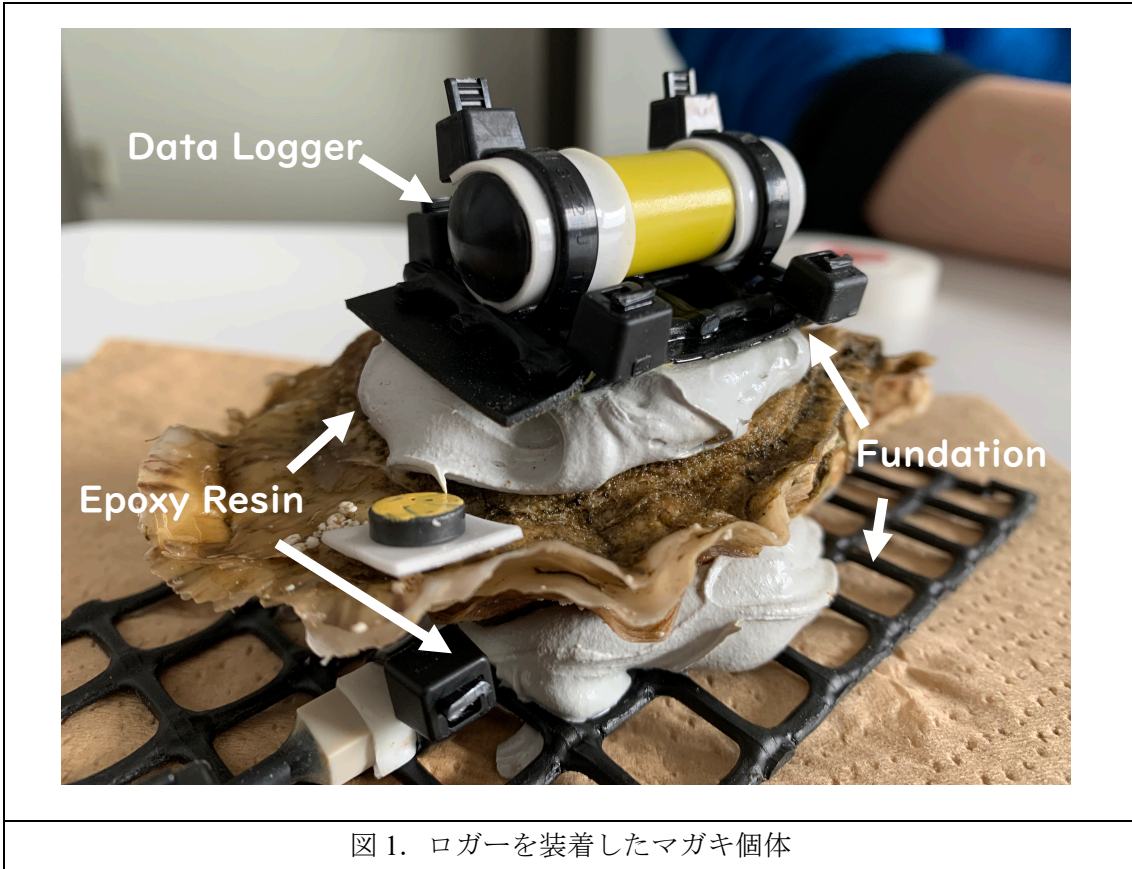


図1. ロガーを装着したマガキ個体

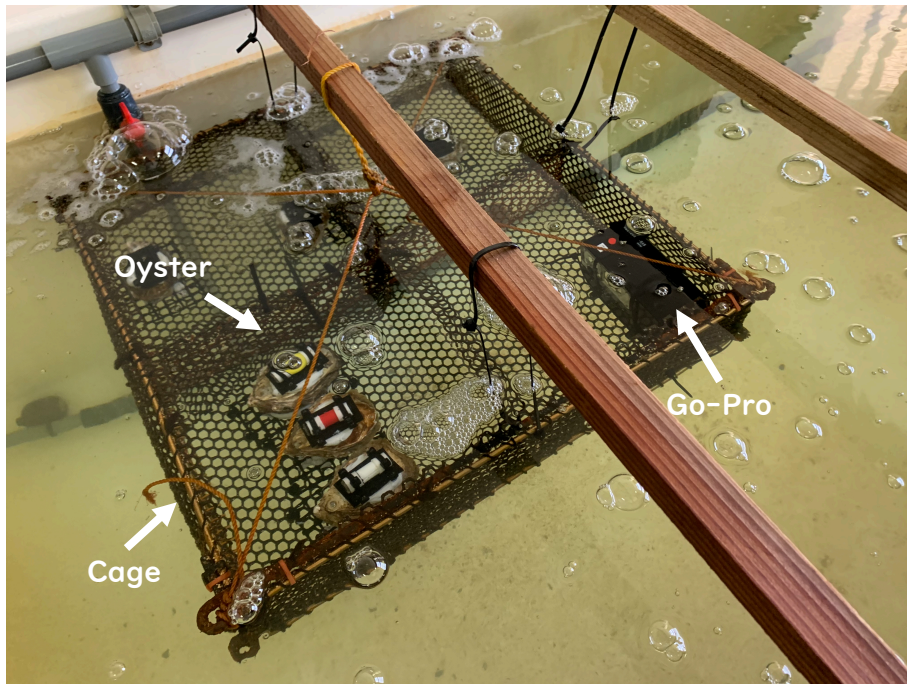
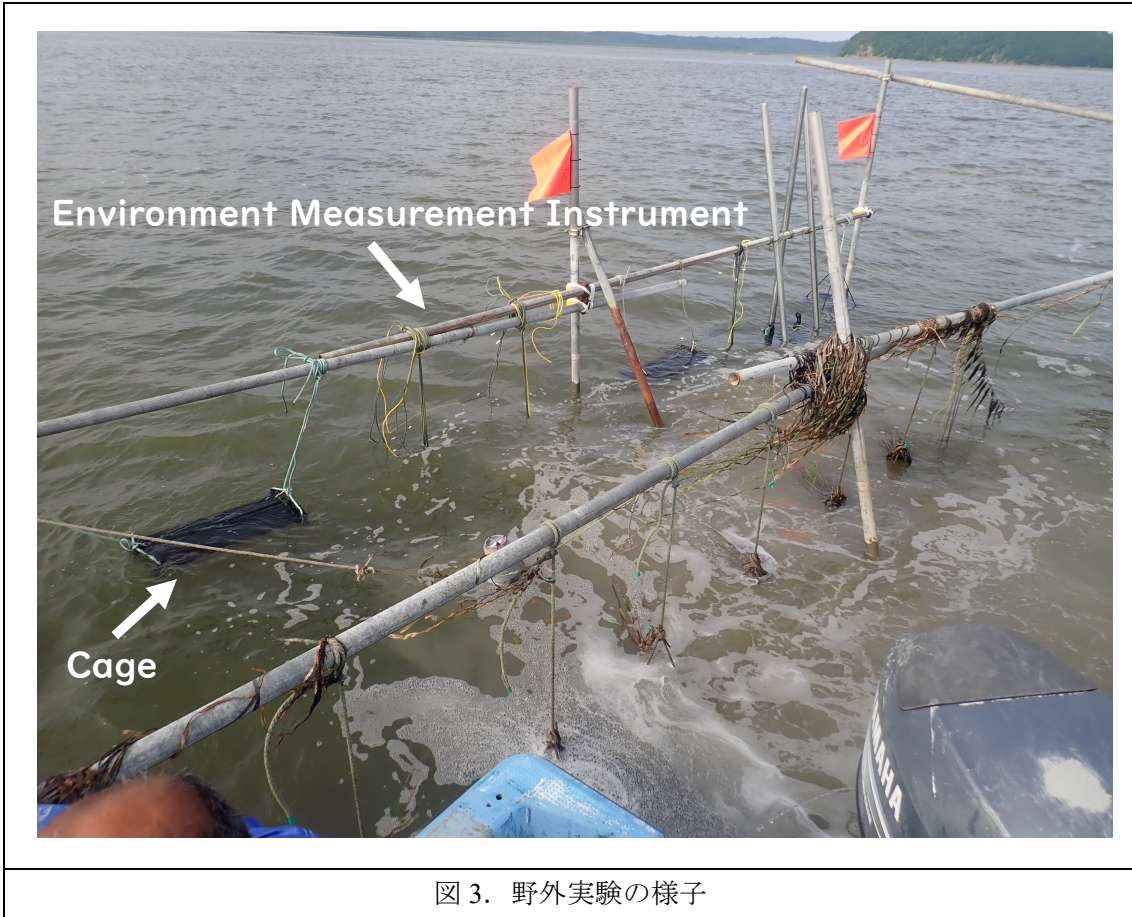


図 2. 屋内実験の様子



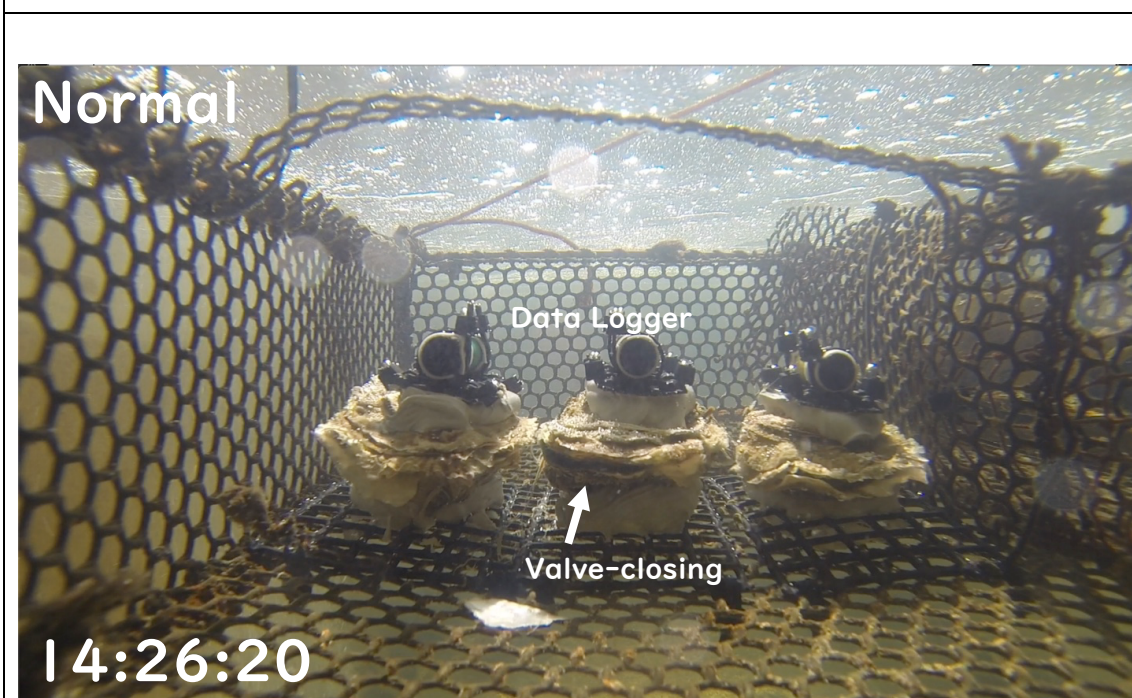
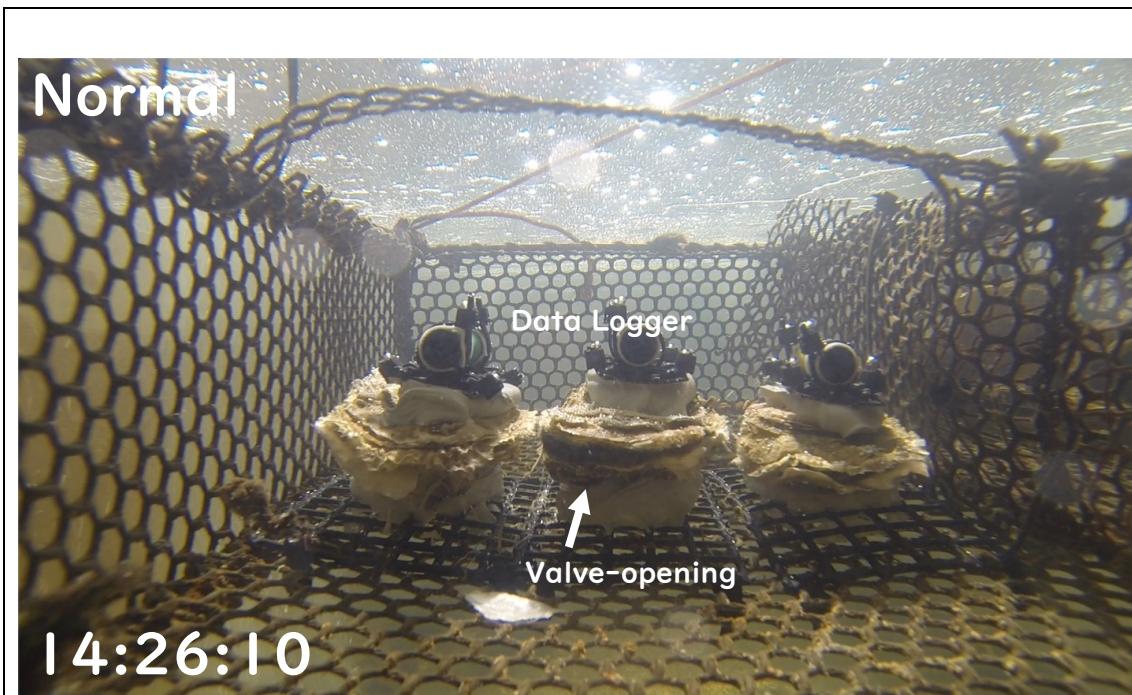


図 4.摂餌および排泄時の殻体運動

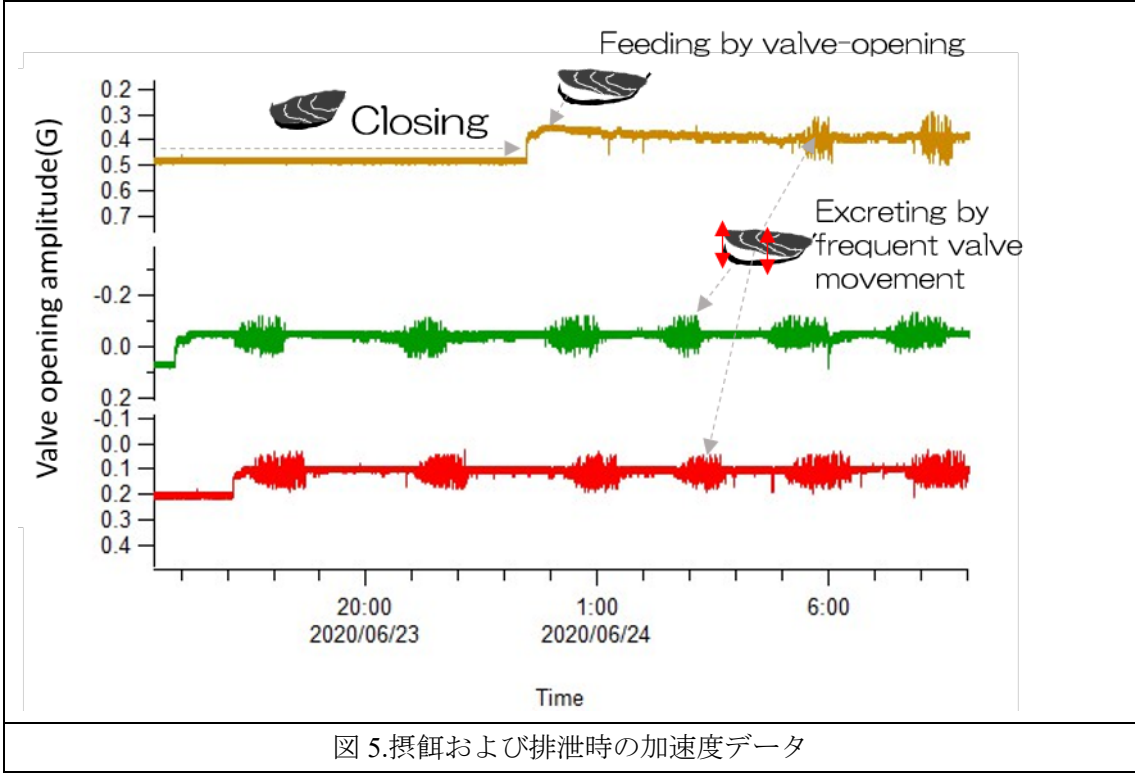


図 5.摂餌および排泄時の加速度データ

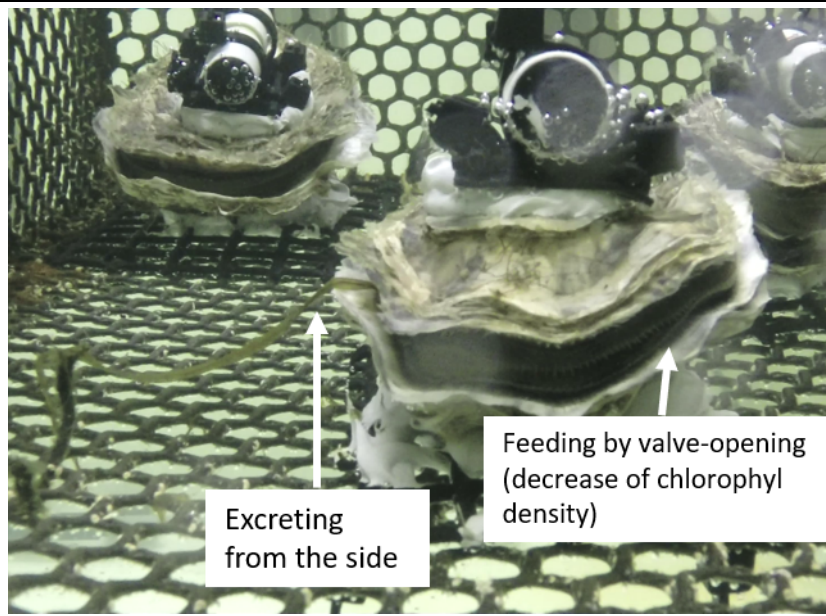


図 6. 摂餌と排泄の様子

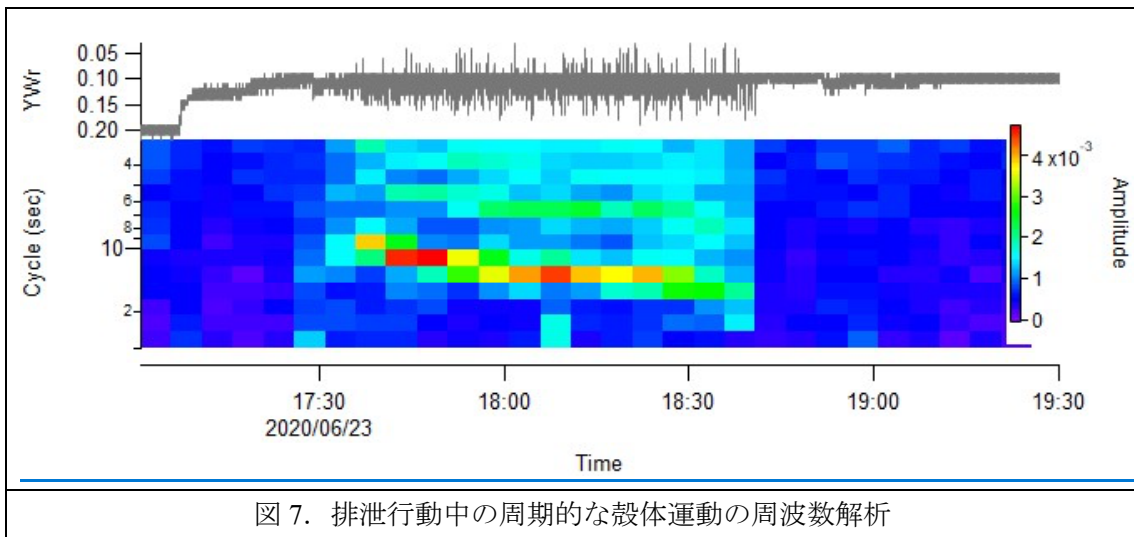


図 7. 排泄行動中の周期的な殻体運動の周波数解析

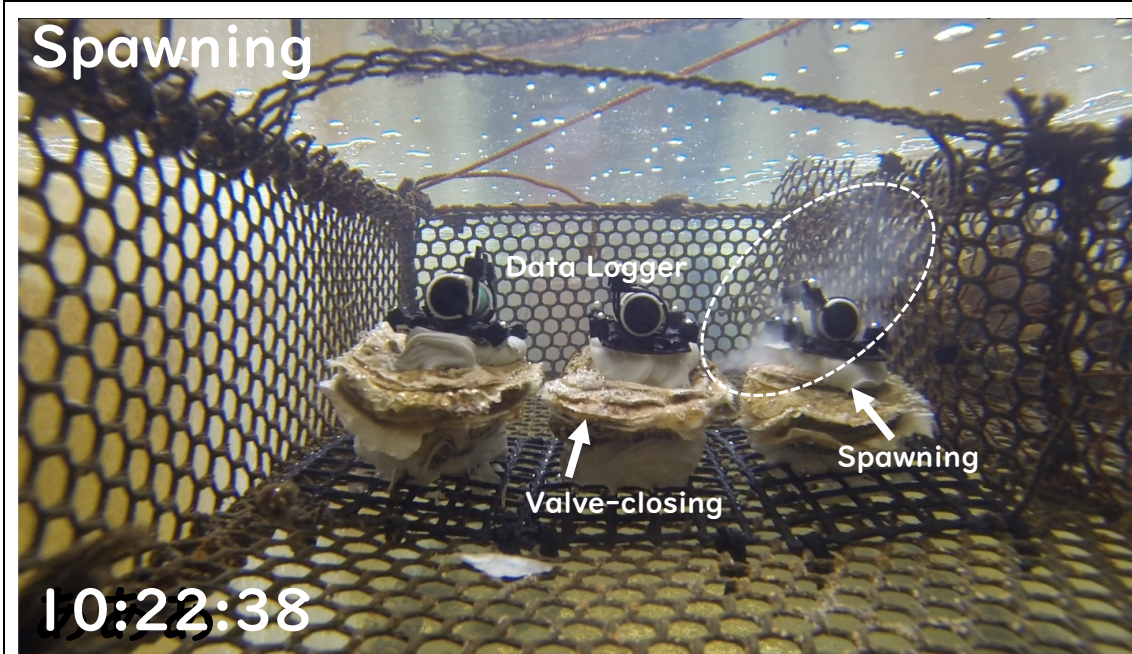
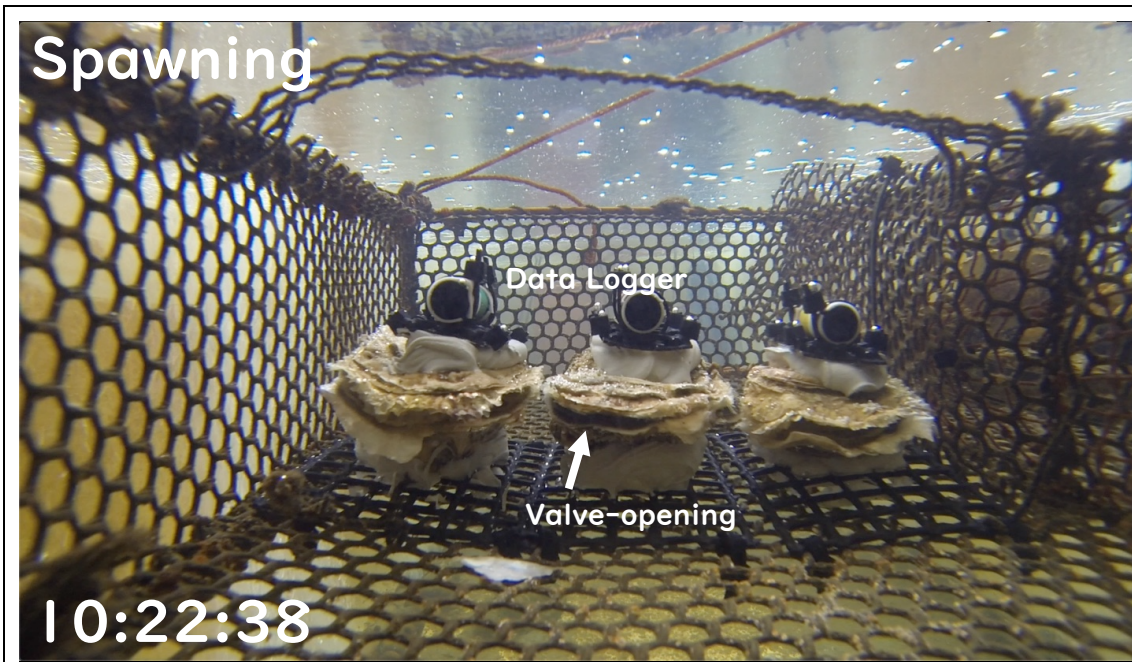


図 8. 放卵時の殻体運動の様子

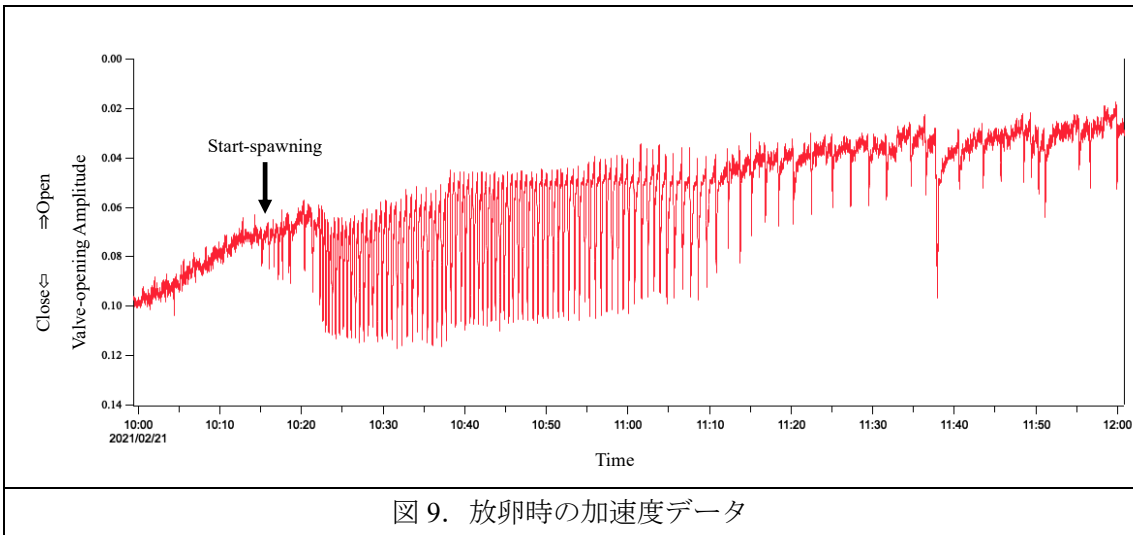


図 9. 放卵時の加速度データ

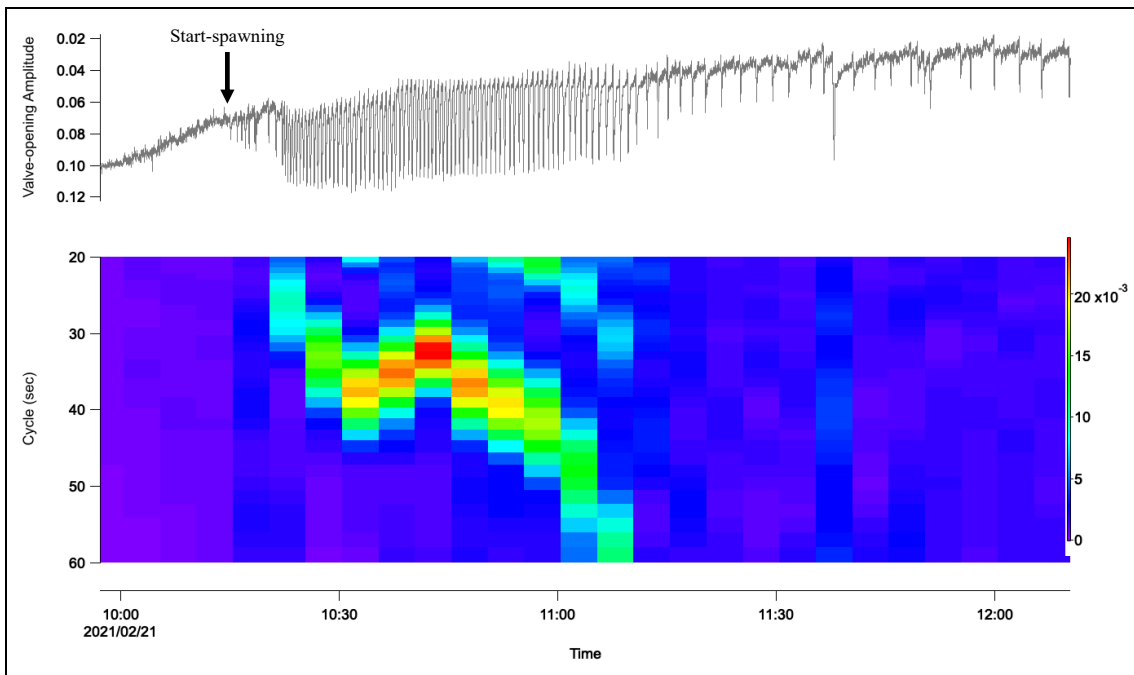


図 10. 放卵時の加速度データの周波数解析結果

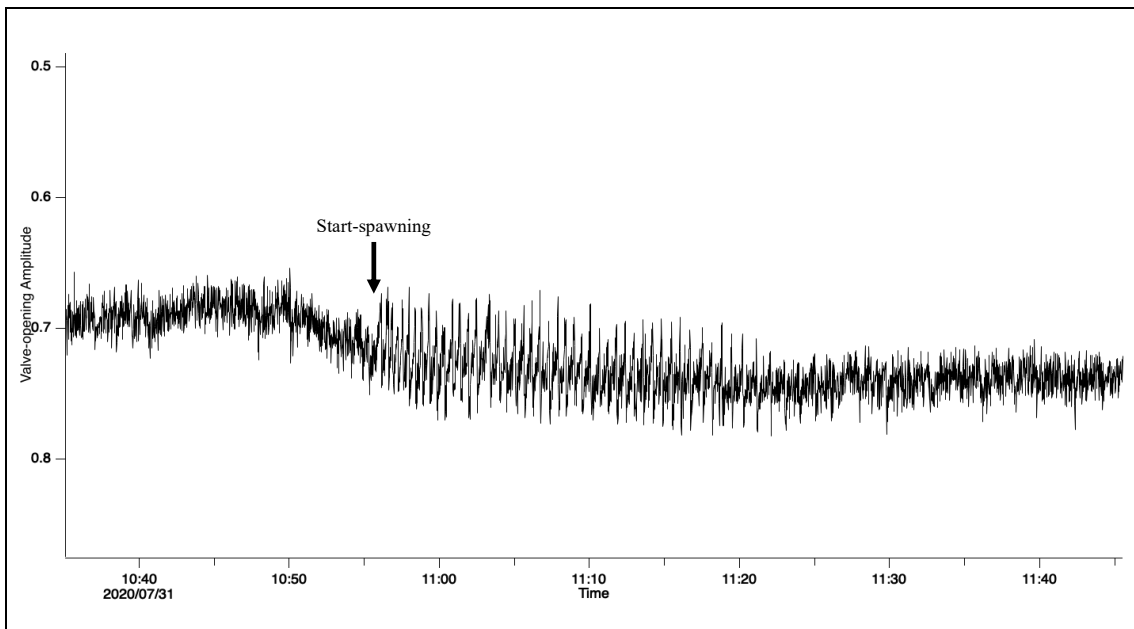


図 11. 野外実験の放卵時の加速度データ

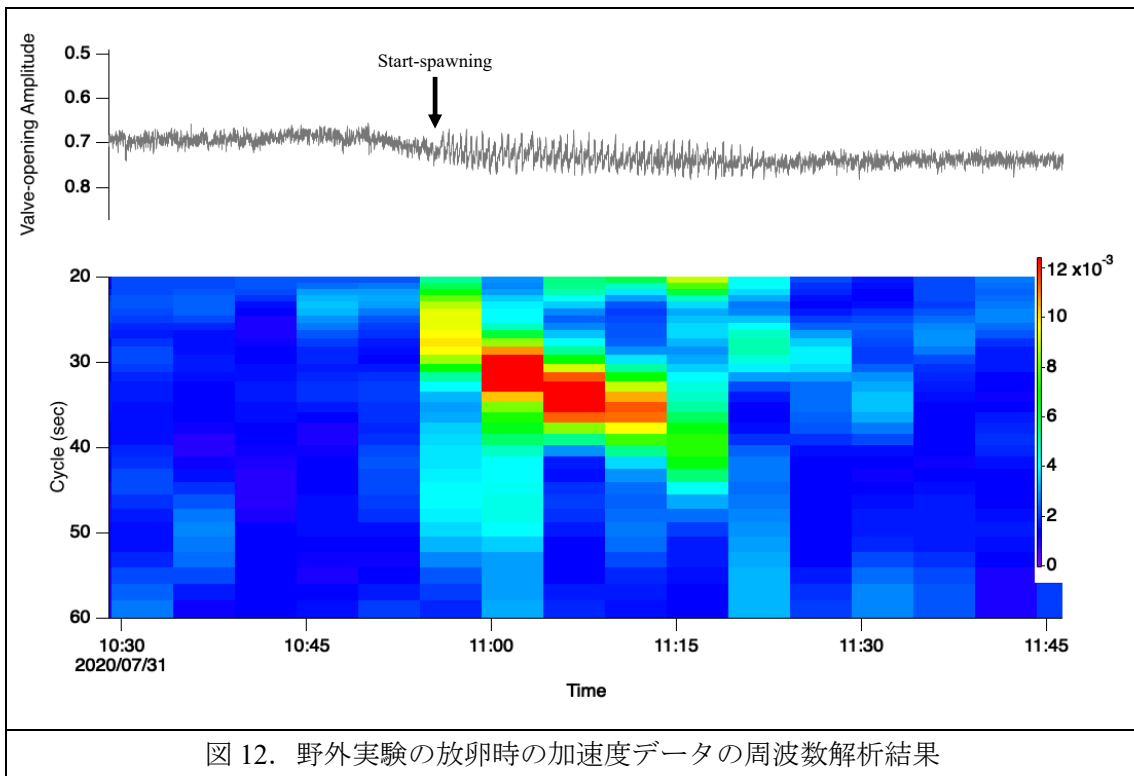


図 12. 野外実験の放卵時の加速度データの周波数解析結果

参考文献

北海道総合研究所 (2013) カキ人工種苗生産 (シングルシード)

Jørgensen, C. B. (1981) A hydromechanical principle for particle retention in *Mytilus edulis* and other ciliary suspension feeder.

Jørgensen, C. B. (1982) Fluid mechanics on the mussel gill: The lateral cilia.

Jørgensen, C.B. (1960) Efficiency of particle retention and rate of water transport in undisturbed lamellibranchs.