

令和5年度厚岸湖・別寒辺牛湿原学術研究奨励補助金研究実績報告書

季節ごとの養殖バスケットの挙動の変化とマガキの行動の関係の検証

櫻田 悠介(北海道大学大学院水産科学院)  
富安 信 (北海道大学大学院水産科学研究院)  
武山 悟 (厚岸町カキ種苗センター)

## 緒言

本研究の調査地である厚岸町では、マガキの養殖方法の一つとしてシングルシード法を用いている。シングルシード法は細かく砕いたカキの貝殻粉末1つ1つにマガキ幼生を付着させ独立した状態にし、それらを養殖バスケット内で育成する。養殖バスケットが潮汐や波浪によって揺れ動き、中のカキが攪拌されて転がりながら育つことで、殻が深く丸みを帯びるのが特徴である。このシングルシード養殖では、使用する養殖バスケットを変えるとマガキの殻の形状や身肉の重量といった成長量が変化するとされている。<sup>1</sup>筆者らの研究グループでは養殖バスケットの挙動を計測し、吊り下げ式バスケットでは下げ潮の局所的な時間で動揺すること、フロート式バスケットでは潮汐に関わらず断続的に動揺することを明らかにしてきた。また、挙動が異なる養殖バスケットで生育しているマガキそれぞれの殻の開閉運動(以下“殻体運動”とする)を計測した。結果、主に干潮時に閉殻するという類似した行動が見られた一方で、吊り下げ式バスケットでは動揺時にストレス反応に関連した行動の頻度に違いが見られた。

これらの結果から、筆者らは季節が変化すると、養殖バスケットの挙動に影響を与える波浪や潮汐が変化し、マガキの殻体運動の傾向にも影響を及ぼす可能性があると考えた。そこで季節的なマガキの殻体運動の計測を行うことで、環境要因(養殖バスケットの動揺、水温、潮汐等)の変動を踏まえて、養殖バスケットの違いがマガキの殻の形や成長量の違いにどのように繋がっているのかを調べた。

## 材料・方法

本実験は2023年7月から10月にかけて生産者の協力のもと厚岸湖内のマガキの延縄式養殖施設にて実施した(図1)。用いた養殖バスケットは設置方式によって2種類に分類された。1つは養殖バスケットのハンドル部分とワイヤーをロープで結んで設置する吊り下げ式であった。もう1つは養殖バスケットに浮力体であるフロートを取り付け、フロートとワイヤーをロープで結んで設置するフロート式であった。吊り下げ式の養殖バスケットはHexcyl Systems社製(以下HEX)、BST Oyster Supplies社製(以下BST)のものを使用した(図2)。フロート式の養殖バスケットはHexcyl Systems社製(以下HEXF)ZAPCO Aquaculture社製(以下ZAP)の樹脂製のバスケットを使用した(図3)。これらの養殖バスケットの詳細について表1に示す。また、動揺のない環境も想定し単管パイプにマガキ1個体を固着させての実験を行った。固定方法は付着生物から守るためにトリカルネットで作成したカゴでマガキを囲い、カゴ内に設置した金属プレートにエポキシ樹脂(ハイクイック、CEMEDINE社製)を用いて取り付けた。そしてカゴをロック帯でクランプに取り付け、単管パイプに固定した(図4)。

実験個体は2022年5月から厚岸町カキ種苗センターで生育された1齢個体のシングルシード種苗を61個体、加えて生産者から提供して頂いた380個体を使用した。その中から殻体運動を計測する計測個体となる5個体を選別し、各養殖バスケットと単管パイプに1個

体ずつ振り分けた。その後残った 56 個体を 14 個体ずつ各養殖バスケットに振り分けた。その後生産者の個体を HEX : 100 個体, BST : 80 個体, HEXF : 100 個体, ZAP : 100 個体となるように収容した。この値は生産者の助言のもと養殖密度が生育する平均的な値になるように設定した。

各養殖バスケットの計測個体と単管パイプの計測個体(以下 単管個体)の右殻中央部に Technosmart 社製磁力センサーロガー-Valve-Trek(L22 mm×W13 mm×H8 mm, 重量 3.5g, 以下磁力センサーとする。)を, 左殻先端に磁石をエポキシ樹脂を用いて装着した(図 5)。磁力センサーは, 個体の殻の開閉による磁石の磁力変化を電気信号に変換する装置である。磁力センサーを装着した個体は自由に転がる状態で個体の殻体運動を計測することが可能である。磁力センサーで殻体運動(電圧値)と深度(m), 水温(°C)はそれぞれ 0.1 秒ごとに計測した。

殻体運動の計測は水温が上昇する 7 月, 水温が下がり始める 9 月に行った。7 月の計測は 7 月 4 日に計測個体に磁力センサーと磁石を取り付け, 同日養殖場に設置した。そして磁力センサーのバッテリーが切れるまで計測を行った。その後 9 月 3 日に一度計測個体のみを回収して, 磁力センサーを取り外し充電した。充電が完了した磁力センサーを再び同じ計測個体に取り付けた後, 9 月の計測として 9 月 4 日に養殖場に設置した。9 月の計測も 7 月と同様に磁力センサーのバッテリーが切れるまで行った。最終的に 10 月 24 日に計測個体を含む全ての個体を回収して計測を終えた。

HEXF と ZAP の 9 月の殻体運動の波形はノイズが多かったため, 7 月の波形をもとに解析可能な部分を抜き出した。そうして得られた殻体運動の波形から, 殻を閉じた状態(以下閉殻とする。)を抽出した。閉殻は波形上で振幅が 50 mv 以上の状態で 300 秒以上経過したものと定義した(図 6)。解析は閉殻の回数と継続時間が潮汐の変動や水温変化によってどのように変化するかを調べた。潮汐の変動は満潮と干潮を約 12 時間毎に繰り返す日周期的な潮汐変動と, 大潮と小潮を約 14 日毎繰り返す半日周期的な潮汐変動に分類した。半日周期的な潮汐変動の潮汐区分は海上保安庁海洋情報部が作成する潮汐カレンダーをもとに満潮時刻, 干潮時刻を推定した。そして満潮時刻, 干潮時刻のそれぞれ前後 1 時間 30 分の合計 3 時間を満潮, 干潮と定義した。また満潮から干潮までの間を下げ潮, 干潮から満潮までの間を上げ潮と定義した。そして抽出した閉殻がどの各潮汐区分の時にみられたかで分類した。また, 半月周期的な潮汐変動を大潮, 小潮, 大潮と小潮の間の中潮に分け, 抽出した閉殻を分類した。のいずれに該当するかを調べた。一方で水温変化は 7 月は HEX, 9 月は HEXF の計測個体に取り付けた磁力センサーのデータを基にした。まず, 殻を閉じて閉殻が始まった時の水温を抽出した。また, 7 月のデータに水温が高くなる期間(2023/7/8 12:00 ~ 7/15 12:00, 平均水温  $\pm$  S.D.  $23.45 \pm 1.24$  °C)が存在した。この期間を高水温期とし, 他の期間を通常水温期(平均水温  $\pm$  S.D.  $20.70 \pm 1.75$  °C)とした。その上で高水温期と通常水温期で閉殻の頻度や継続時間を比較した。

## 結果

7月、9月の調査で得られた解析を行ったデータの期間を表2示す。また、それぞれの殻体運動と水温のデータを図7に示す。7月、9月ともに養殖バスケットの挙動の計測を試みたが、計測機器の不具合によって十分なデータが得られなかった。また、9月の計測ではHEX、BSTのデータを得ることが出来なかった。データを得ることが出来たHEXFとZAPもノイズが多く、解析に用いたデータは実際の計測期間よりも短かった。半日周期的な潮汐変動に対する閉殻回数を表3と図8、平均閉殻時間±S.D.(秒)を表4と図9に示す。また、半月周期的な潮汐変動に対する閉殻回数、平均閉殻時間、振り分けた日数と各潮での閉殻頻度(回/日)を7月と9月でそれぞれ表5と表6と図10、11に示す。一方で水温に関して7月、9月の各閉殻の開始時の水温とその閉殻の継続時間をプロットしたものを図12、13に示す。さらに7月の高水温期と通常水温期の閉殻回数、閉殻頻度(回/日)、平均閉殻時間を表7と図14に示す。(単管個体は計測期間が短かったため除外)

### 7月の全体的な傾向

半日周期的な潮汐変動に対する閉殻回数の結果から全体的にどの潮汐区分であっても閉殻がみられたことが分かる(表3、図8)。同様に平均閉殻時間±S.D.(秒)においても全体の傾向としては潮汐区分による違いはみられなかった(表4、図9)。対して半月周期的な潮汐変動における結果から大潮、中潮、小潮の順に平均閉殻時間が大きい傾向が単管個体以外の計測個体でみられた(表5、図11)。また、大潮では閉殻頻度が中潮、小潮より比較的低い値であった(表5、図10)。一方で閉殻時の水温と閉殻時間の結果からどの計測個体においても相関係数が負の値を示し、水温が上がるにつれて閉殻時間は短くなる傾向であった(図12)。さらに高水温期と通常水温期の比較からどの計測個体においても、高水温期の方が通常水温期よりも閉殻頻度が高いことが分かる。また平均閉殻時間は高水温期の方が小さい値を示す傾向にあった(表7、図14)。

### 9月の全体的な傾向

半日周期的な潮汐変動に対する閉殻回数の結果から、HEXFは7月と同様にどの潮汐区分でもまんべんなく閉殻する傾向がみられたが、回数は7月より少なかった(表3、図8)。ZAPと単管個体はそれぞれ満潮と干潮で閉殻がみられなかった。平均閉殻時間±S.D.(秒)については全体的に7月と比較して平均閉殻時間の値が大きくなる傾向にあった(表4、図9) 対して半月周期的な潮汐変動においては一部(HEXF)で7月と同様な傾向がみられたが、平均閉殻時間と閉殻頻度において各計測個体に共通した傾向はみられなかった(表6、図10、11)。また、閉殻時の水温と閉殻時間の結果はZAPと単管個体で7月と同様の傾向であった。一方でHEXFはわずかながら負の相関を示した(図13)。

### 半日周期的な潮汐変動に対する細かな傾向

7月の閉殻回数では潮汐区分としての期間の長さに違いが無いはずの上げ潮と下げ潮で閉殻回数を比較すると、下げ潮の方が回数は多くなる傾向が見られた(表3, 図8)。さらにZAPでは上げ潮時に極端に閉殻回数が少なかった。また7月の平均閉殻時間ではHEXFが他の個体よりも閉殻時間が長い傾向がみられた(表4, 図9)。特に干潮時と上げ潮時では顕著に違いが見られた。一方で残りの個体は同程度の値を示した。一方で9月の閉殻回数においてZAPでは満潮時に、単管パイプでは干潮時にそれぞれ閉殻が見られなかった。加えて平均閉殻時間においてHEXFが他の個体であるZAPと単管パイプよりも閉殻時間が長い傾向にあることが分かる(表4, 図9)。

## 考察

### 季節変化に伴う潮汐変動と閉殻の傾向

先行研究<sup>3</sup>からカキは潮間帯、潮下帯であっても潮汐変動の影響により干潮時に多く閉殻がみられるとされている。しかし本研究の7月と9月の閉殻回数の結果から、干潮時に閉殻が多いということはなかった。このことから本研究の計測個体は潮汐変動によって、先行研究で挙げられるような日周期的な影響は受けなかったと考えられる。これは本実験を行った養殖施設が最も近い岸からでも1.5 km以上離れていたことによる可能性がある。岸から離れていたため、1日の中で潮汐変動による潮位や潮流の変化が小さくなり影響が弱くなったと思われる。また、9月は7月より閉殻回数が少ない、ZAPと単管個体は閉殻がみられなかった潮汐区分が存在したという違いがあった。これは9月の解析に用いた計測期間が7月よりも少なかったこと、ノイズによって部分的に解析を行ったことが影響していると推測する。

7月では大潮、中潮、小潮の順に平均閉殻時間が長くなっていた。先行研究<sup>4</sup>によると二枚貝は大潮の時閉殻時間が長くなる傾向があることから、本結果は先行研究を支持した。また大潮で閉殻頻度が中潮、小潮より低かったのは、1回当たりの閉殻時間が長くなったためと考えられる。これらのことから、7月では満潮、干潮といった日周期的な潮汐変動の影響はみられなかったが、大潮、小潮のような半月周期的な潮汐変動の影響は受けていたと考えられる。単管パイプ個体でこの傾向がなかったのは、ロガーの不具合によって計測日数が少なかったためと考えられる。一方で9月ではHEXFでのみ7月の様な傾向がみられたが、全体としては各計測個体に共通した傾向はみられなかった。春と秋は大潮時の隣り合う満潮と干潮の差である大潮干満差が極小になるとされている。<sup>6</sup>そのため秋である9月では大潮、小潮の半月周期的な影響が弱くなり、計測個体に共通した傾向が見られなかったと考えられる。

### 季節変化に伴う水温と閉殻の傾向

7, 9月を通して水温が高くなるにつれて閉殻時間が短くなる傾向がみられた。先行研究からカキは水温の上昇に伴って酸素消費速度やアンモニア排出量が増加する<sup>6,7</sup>ことが分か

っている。このことから水温が上昇すると代謝も上がり、呼吸や排泄が活発になると考えられる。そして外界と遮断する閉殻よりも、殻を開いて呼吸と排泄を行うことが優先されたために閉殻時間が短くなった可能性がある。同様の理由で7月の高水温期と通常水温期を比較した際、高水温期の平均閉殻時間の値の方が小さくなったと考えられる。また、水温上昇に伴って高まった代謝を低下させるために閉殻を行うという報告も存在する。<sup>10</sup> 代謝の過度な高まりを抑制するために、高水温期の閉殻頻度が多くなった可能性がある。

#### 半日周期的な潮汐変動に対する細かな傾向

7月において上げ潮と下げ潮で閉殻回数に違いがあったのは、餌生物である植物プランクトンの濃度が関係していた可能性がある。植物プランクトンの分布は潮汐変動の影響を受けるとされている。<sup>8</sup> 下げ潮時に植物プランクトンの濃度が高くなったことで摂餌を行うために殻を開き、上げ潮時は濃度が低くなったことで摂餌を行うより閉殻することで無駄なエネルギー消費を抑えていたと思われる。またZAPで上げ潮時に閉殻回数が極端に少なかったことは、この植物プランクトンの濃度の変化による影響を強く受けたからかもしれない。これには植物プランクトン濃度の計測が今後必要であると考えられる。

7月では干潮時と上げ潮に、9月では全体的にHEXFの平均閉殻時間が他個体より長い傾向にあった。この違いは養殖バスケットの挙動によるものかもしれない。吊り下げ式(HEX, BST)とフロート式(ZAP)という設置方式が異なる養殖バスケットでは挙動の特徴にも違いがみられており、計測個体の殻体運動の違いに繋がることを示唆されている。<sup>9</sup> HEXFはZAPと同じフロート式であり、HEXやBSTとは異なる挙動をしていたと考えられる。またZAPよりも容積が大きいことから、ZAPともことなる挙動をしていた可能性がある。これらのことからHEXFの養殖バスケットの挙動の影響によって平均閉殻時間に違いが生まれたと思われる。本実験では計測機器の不具合によって養殖バスケットの挙動を計測することが出来なかったため、今後もデータ収集が必要である。

#### まとめと展望

本研究の結果から、調査を行った養殖場では満潮、干潮のような日周期的な潮汐変動よりも、大潮、小潮のような半月周期的な潮汐変動の影響を受ける可能性が示唆された。さらに半月周期的な潮汐変動の影響は、秋(9月)よりも夏(7月)の方が強く出るといった季節による違いもみられた。また、水温の上昇に伴って閉殻頻度の高まりや閉殻時間が短くなるといった傾向が見られることが分かった。本調査では秋(9月)の水温が高めであったため季節による傾向が見受けられなかった。

今後は冬から春にかけて水温が上がり始める時期での計測などを行い、季節変化と殻体運動の関係を検証したい。その際には本調査では計測機器の不具合によって十分なデータが得られなかった養殖バスケットの挙動の計測を成功させたい。また本研究では閉殻のみを扱ったが、より短い周期の開閉といった瞬間的な行動にも焦点を当てた解析を行う予定

である。

## 謝辞

本研究は厚岸湖・別寒辺牛湿原学術研究奨励補助金による助成を受けたものである。ここに謝意を表す。

## 引用文献

- 1) Laura Landis Tomas, Standish K.Allen Jr, Louis Valentine Plough(2019), The effect of aquaculture gear on the growth and shape of the oyster *Crassostrea virginica* during a “finishing period” in Chesapeake Bay, USA, *Aquaculture*, 508, pp1-9
- 2) Damien Tran, Mickael Perrigault, Pierre Ciret, Laura Payton(2020) , Bivalve mollusc circadian clock genes can run at tidal frequency, *PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B*, 287, Article ID 20192400
- 3) 横山勝英, 野間口芳希, 山本浩一, 岡村和麿, 児玉真史(2010), 高濁度感潮域における植物プランクトンの変動特性－夏期の筑後川感潮域を対象として－, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), pp1006-1010
- 4) 久保田効(2005), 彼岸潮は年極小, 海洋気象学会「海の気象」, vol51, pp18-25
- 5) S. Bougrier , P. Geairon , J.M. Deslous-Paoli , C. Bacher , G. Jonquière(1995) , Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg), *Aquaculture*, 134, pp 143-154
- 6) Shin Yun-Kyung , Hur Young-Baek , Myeong Jeong-In , Lee Sik(2008) , Effect of Temperature and Body Size on Oxygen Consumption and Ammonia Excretion of Oyster, *Crassostrea gigas*, *The Korean Journal of Malacology*, 24, pp 261-267
- 7) Moon Suyeon, Kim Dae Hyun, Yoon Yang Ho, Oh Seok Jin(2017), A Study on Bio-Monitoring Systems using Shell Valve Movements of Pacific Oysters (*Crassostrea gigas*) in response to Abnormal High Water Temperature, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 23, pp 91-97

- 8) 銀杏優志, 櫻田悠介, 富安信, 武山悟(2023), マガキの産卵・摂餌はいつ集団で同期し, いつばらつくのか?, 令和 4 年度厚岸湖・別寒辺牛湿原学術研究奨励補助研究報告書
- 9) 藤井武人(1981), 二枚貝の周期的活動性に関する研究Ⅱ.アカガイとマガキの貝殻開閉運動, 東北水研報告書第 43 号



表 1. 使用した養殖バスケット

本文中の表記	社名	Length(mm)	Width(mm)	Height(mm)	容積(L)	格子サイズ(mm)
HEX	Hexcyl Systems	732	270	140	25	10
BST	BST Oyster Supplies	700	210	210	15	12
HEXF	Hexcyl Systems	732	270	140	25	10
ZAP	ZAPCO Aquaculture	850	470	50	20	10

表 2. データ取得期間 7月(上), 9月(下)  
 9月はノイズが多かったため解析可能な部分を抜き出した。

	計測開始	計測終了	計測期間(h:m:s)
HEX	2023/7/4 14:12	2023/7/26 2:32	516:19:57
BST	2023/7/4 14:11	2023/7/26 23:29	537:18:00
HEXF	2023/7/4 14:11	2023/7/26 16:29	530:18:00
ZAP	2023/7/4 14:10	2023/7/26 13:22	527:12:00
単管	2023/7/4 14:15	2023/7/10 10:43	140:27:43

		1	2	3	4	5	6	7	8
HEXF	計測開始	2023/9/4 7:45:30	2023/9/5 11:46:01	2023/9/7 19:09:12	2023/9/10 18:21:25	2023/9/13 08:48:32	2023/9/15 11:14:38	2023/9/20 20:48:09	2023/9/22 12:35:17
	計測終了	2023/9/5 7:25:58	2023/9/7 07:11:35	2023/9/10 04:12:12	2023/9/12 01:23:01	2023/9/14 18:20:54	2023/9/17 16:52:24	2023/9/21 16:26:59	2023/9/23 7:29:29
	計測期間 (h:m:s)	23:40:28	43:25:34	57:03:00	31:01:36	33:32:22	53:37:46	19:38:50	18:54:12
ZAP	計測開始	2023/9/4 9:49:33	2023/9/5 13:16:16	2023/9/11 13:29:25	2023/9/13 7:51:19	2023/9/15 4:43:06			
	計測終了	2023/9/5 4:54:45	2023/9/7 0:03:43	2023/9/12 11:09:09	2023/9/14 19:29:47	2023/9/16 17:37:41			
	計測期間 (h:m:s)	19:05:12	34:47:27	21:39:44	35:38:28	36:54:35			
単管	計測開始	2023/9/4 07:50:00							
	計測終了	2023/9/16 12:00:00							
	計測期間 (h:m:s)	292:10:00							

\*HEX, BSTは計測不可

表 3. 潮汐変動と閉殻回数 7月(上), 9月(下)

	満潮	下げ潮	干潮	上げ潮
HEX	13	18	10	11
BST	12	19	10	11
HEXF	16	15	10	10
ZAP	12	16	14	3
单管	3	2	1	4

	満潮	下げ潮	干潮	上げ潮
HEXF	7	5	6	6
ZAP	0	3	1	2
单管	7	6	0	7

表 4. 潮汐変動と平均閉殻時間±S.D.(秒) 7月(上), 9月(下)

	満潮	下げ潮	干潮	上げ潮
HEX	4859.54 ± 1694.29	3597.94 ± 1306.33	4073.10 ± 1620.67	3438.91 ± 1224.00
BST	3322.58 ± 1175.30	4386.95 ± 1465.51	4258.90 ± 1667.41	3698.36 ± 683.96
HEXF	5032.19 ± 17862.68	6052.73 ± 20664.56	8439.90 ± 22044.78	8103.90 ± 21177.80
ZAP	2912.08 ± 8675.28	3943.13 ± 13960.38	3649.86 ± 11900.26	3934.67 ± 3421.68
単管	3812.33 ± 789.03	2775.50 ± 36.50	3361.00 ± 0.00	2278.75 ± 1261.74

	満潮	下げ潮	干潮	上げ潮
HEXF	12323.43 ± 7152.15	11537.60 ± 11974.43	11370.50 ± 4605.94	7473.17 ± 5899.60
ZAP	0.00 ± 0.00	9506.33 ± 3391.93	3371.00 ± 0.00	6037.50 ± 1951.50
単管	4424.14 ± 1429.68	3572.67 ± 564.69	0.00 ± 0.00	4254.14 ± 790.65

表 5.7月の大潮，中潮，小潮での閉殻回数，平均閉殻時間±S.D.(秒)

各潮の合計日数と閉殻頻度

		大潮	中潮	小潮
HEX	閉殻回数	8	25	7
	平均閉殻時間(秒)	4562.00	4084.04	3520.86
	S.D.	1801.65	1790.19	813.34
BST	閉殻回数	7	31	14
	平均閉殻時間(秒)	6295.43	4009.23	3638.71
	S.D.	1787.94	1443.27	1085.87
HEXF	閉殻回数	9	30	12
	平均閉殻時間(秒)	8639.56	6266.60	5915.83
	S.D.	2412.98	2936.65	3269.71
ZAP	閉殻回数	6	24	15
	平均閉殻時間(秒)	4298.17	3912.25	2750.27
	S.D.	514.97	1573.29	792.02
単管	閉殻回数	2	4	4
	平均閉殻時間(秒)	1027.50	3699.50	3152.75
	S.D.	324.56	820.67	436.67

(日)	大潮	中潮	小潮
HEX	6	12	4
BST	6	12	5
HEXF	6	12	5
ZAP	6	12	5
単管	1	3	2

頻度(回/日)	大潮	中潮	小潮
HEX	1.33	2.08	1.75
BST	1.17	2.58	2.80
HEXF	1.50	2.50	2.40
ZAP	1.00	2.00	3.00
単管	2.00	1.33	2.00

表 6.9 月の大潮，中潮，小潮での閉殻回数，平均閉殻時間±S.D.(秒)  
各潮の合計日数と閉殻頻度

		大潮	中潮	小潮
HEXF	閉殻回数	4	17	3
	平均閉殻時間(秒)	12486.25	10781.82353	7926
	S.D.	8651.63	8179.88	2910.52
ZAP	閉殻回数	4	1	1
	平均閉殻時間(秒)	9127.00	3371.00	4086.00
	S.D.	3543.92	0.00	0.00
単管	閉殻回数	4	13	3
	平均閉殻時間(秒)	3623.25	4316.62	3858.33
	S.D.	568.45	1178.51	841.59

(日)	大潮	中潮	小潮
HEXF	6	12	4
ZAP	3	7	3
単管	6	12	5

頻度(回/日)	大潮	中潮	小潮
HEXF	0.67	2.43	1.00
ZAP	1.33	0.14	0.33
単管	0.67	1.08	0.60

表 7.7 月の高水温期と通常水温期での閉殻回数, 閉殻頻度, 平均閉殻時間±S.D(秒)

HEX			
	閉殻回数	閉殻頻度(/日)	平均閉殻時間 ± S. D. (秒)
高水温期	19	3.17	3514.53 ± 1162.56
通常水温期	33	2.13	4233.94 ± 1695.34

BST			
	閉殻回数	閉殻頻度(/日)	平均閉殻時間 ± S. D. (秒)
高水温期	18	3.00	3617.00 ± 2320.58
通常水温期	34	2.07	4158.47 ± 2953.39

HEXF			
	閉殻回数	閉殻頻度(/日)	平均閉殻時間 ± S. D. (秒)
高水温期	18	3.00	4951.17 ± 1330.98
通常水温期	33	2.05	7503.73 ± 1382.37

ZAP			
	閉殻回数	閉殻頻度(/日)	平均閉殻時間 ± S. D. (秒)
高水温期	17	2.83	3034.71 ± 1048.97
通常水温期	28	1.75	3905.25 ± 1419.09

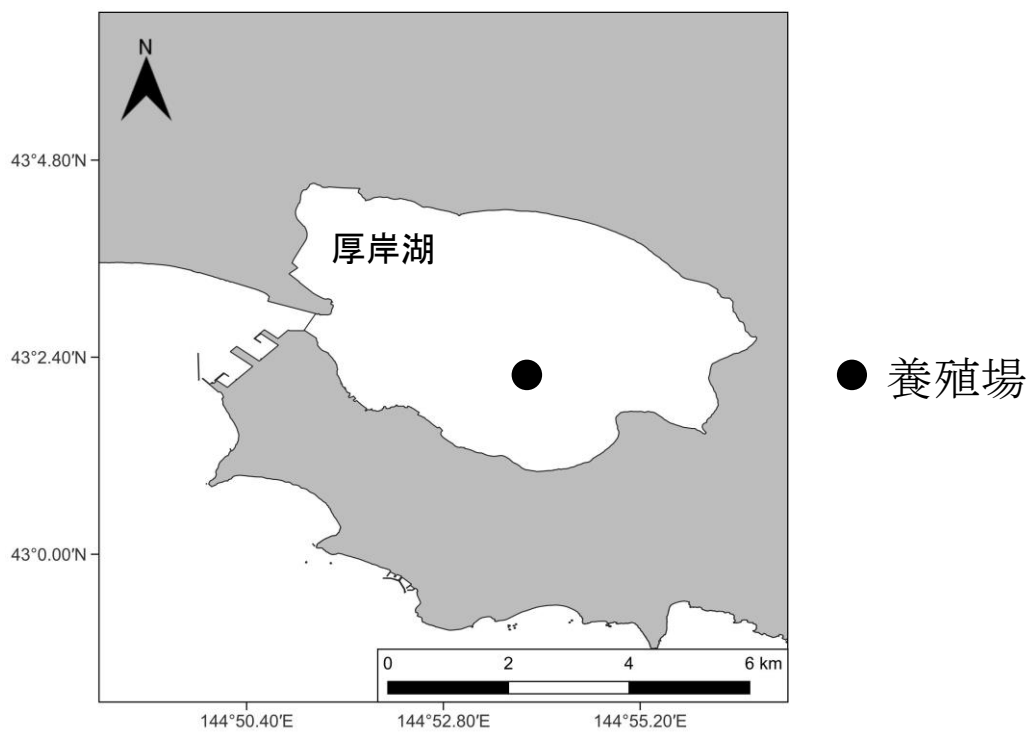


図 1. 調査場所





図 2. HEX(上), BST(下)

吊り下げ式はハンドル部分をワイヤーに固定するため、設置した高さを変化しない



図 3. ZAP(上), HEXF(下)

フロート式は浮力体で水面に浮かべるため、潮汐変動とともに設置した高さが変化する



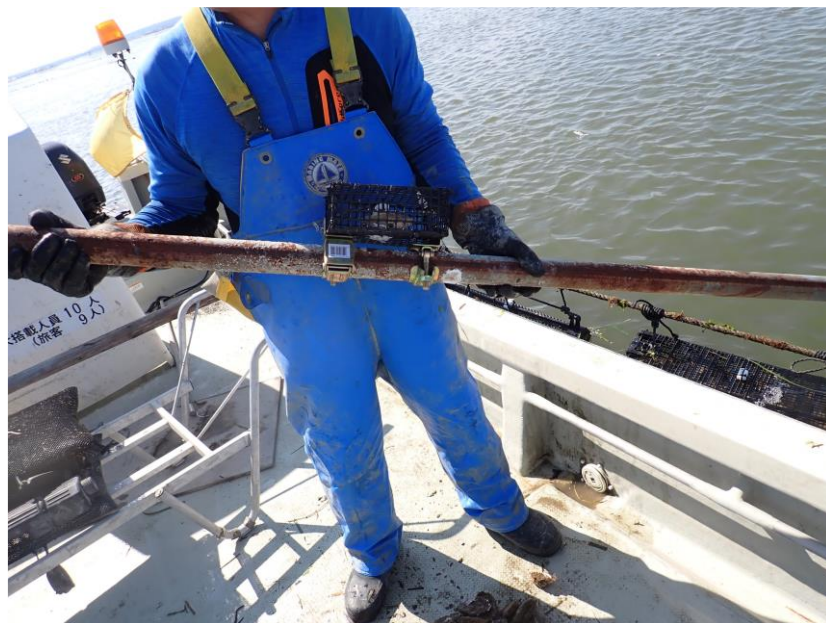


図 4. 単管個体  
トリカルネットで作成したカゴに入れた様子(上)  
単管パイプに設置した様子(下)



図 5. 磁力センサーと磁石を取り付けた計測個体

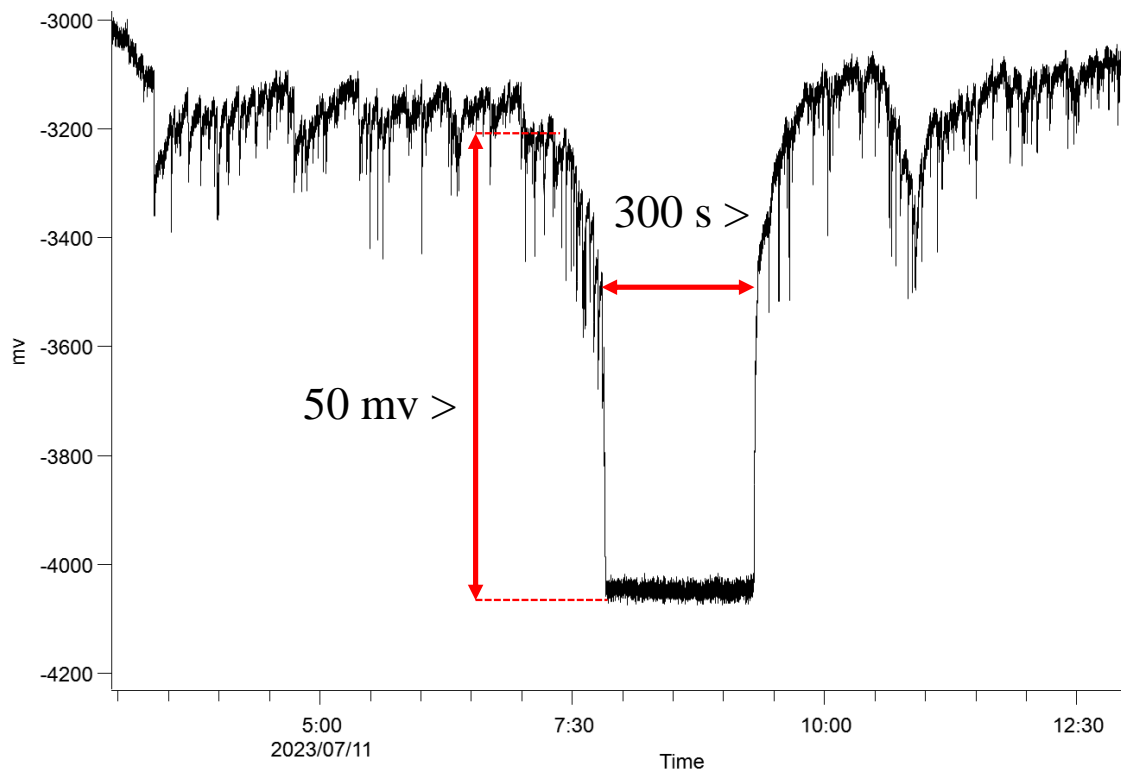


図 6. 磁気センサーのデータから見た閉殻

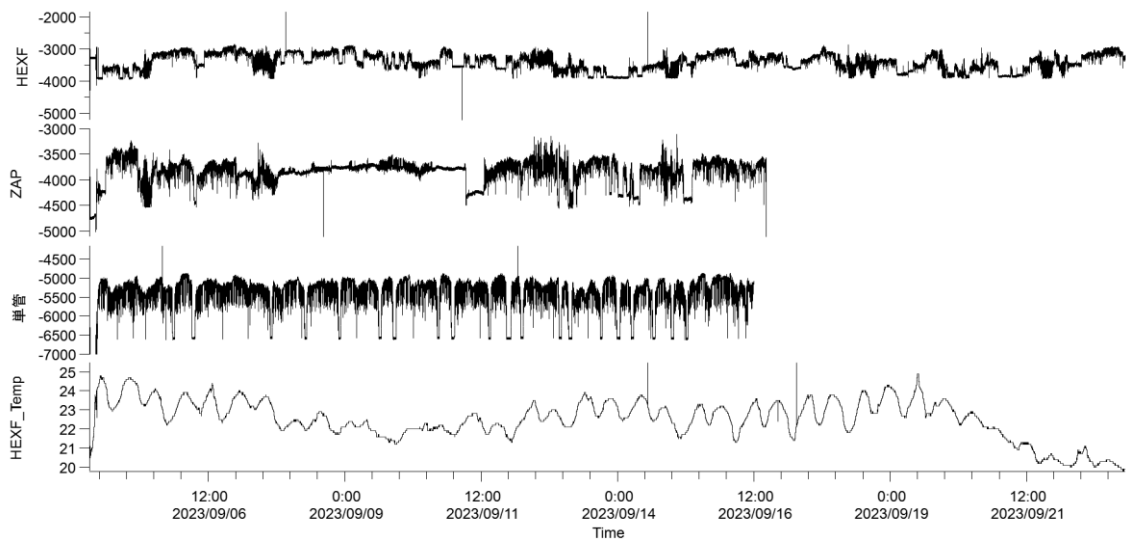
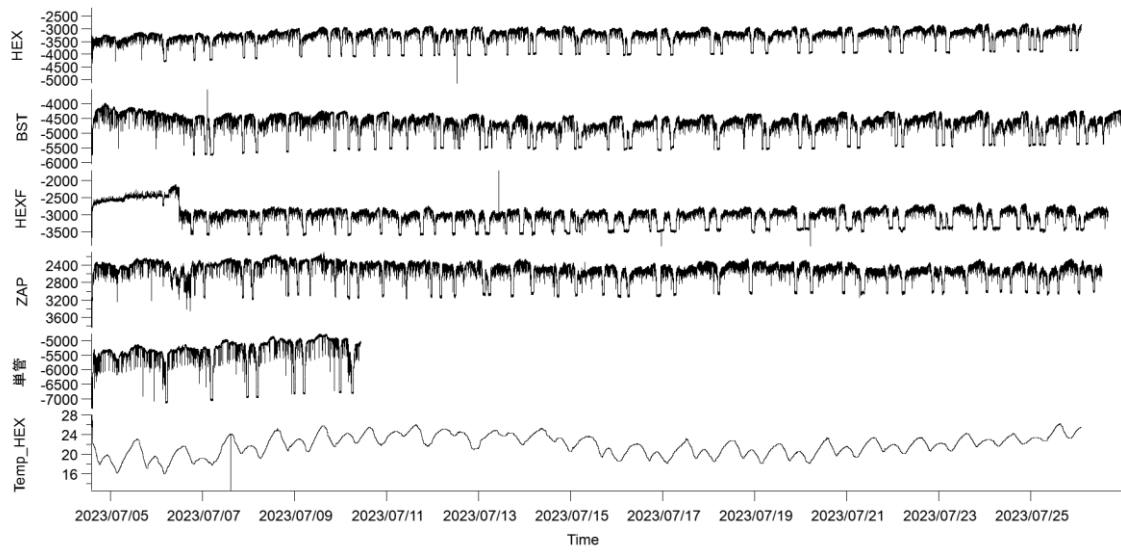


図 7. 得られた殻体運動と水温の波形の全体像  
7月(上), 9月(下)

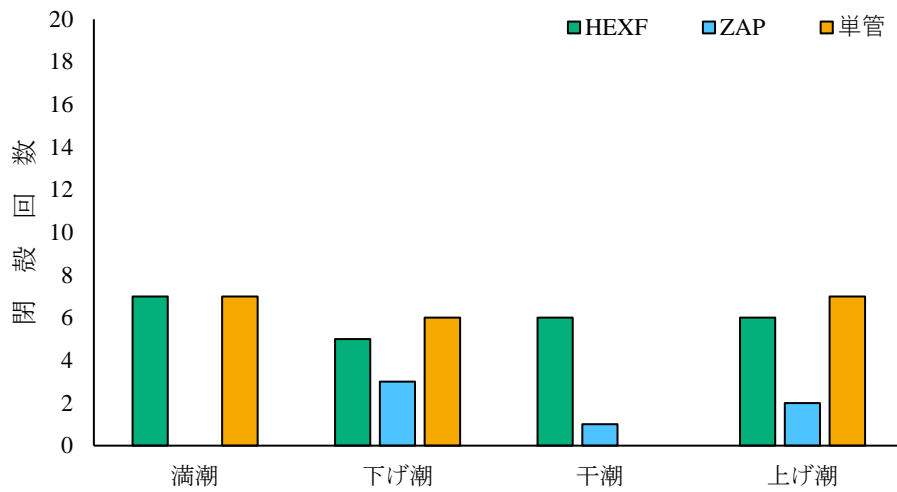
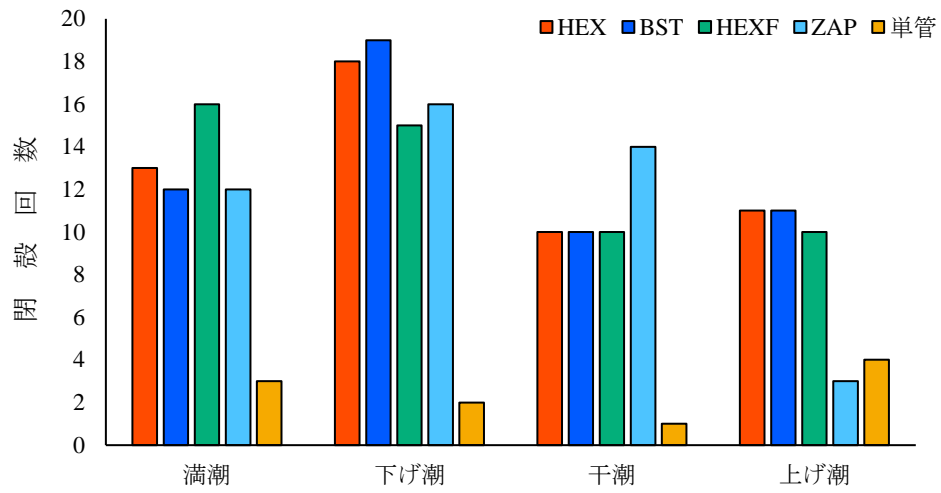


図 8. 日周的な潮汐変動と閉殻回数  
7月(上), 9月(下)

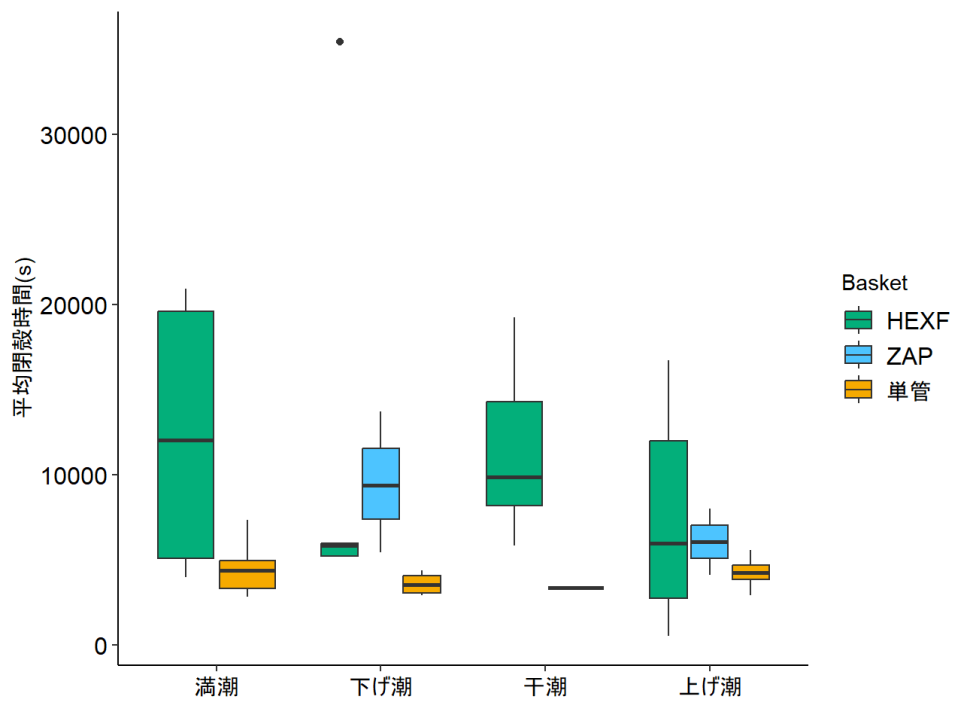
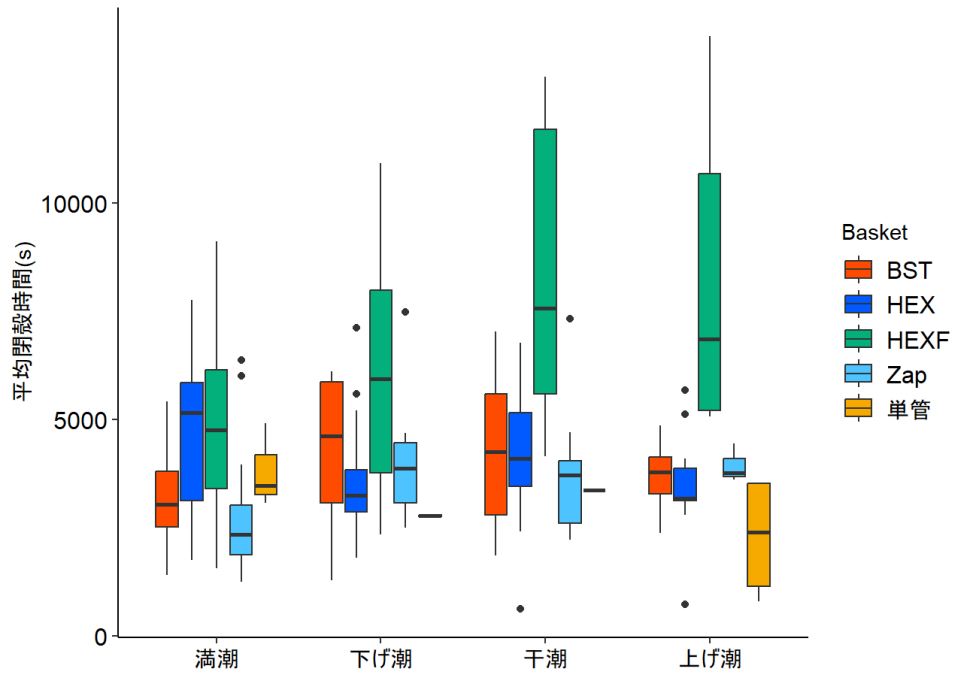


図 9. 半日周期的な潮汐変動と平均閉殻時間(秒)  
7月(上), 9月(下)



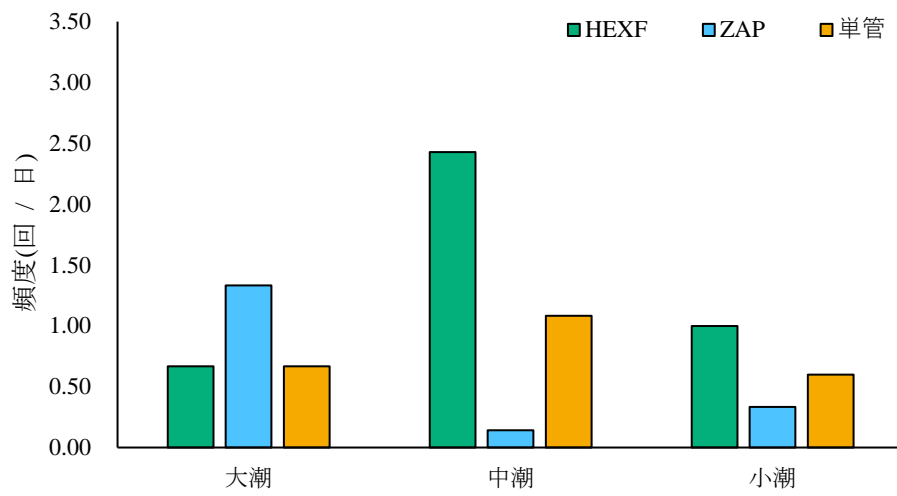
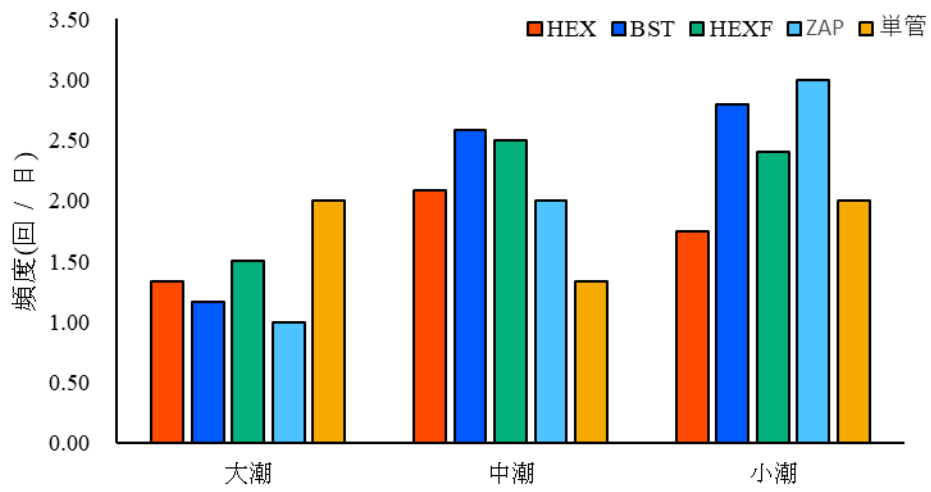


図 10. 半月周期的な潮汐変動と閉殻頻度(回 / 日)  
7月(上), 9月(下)

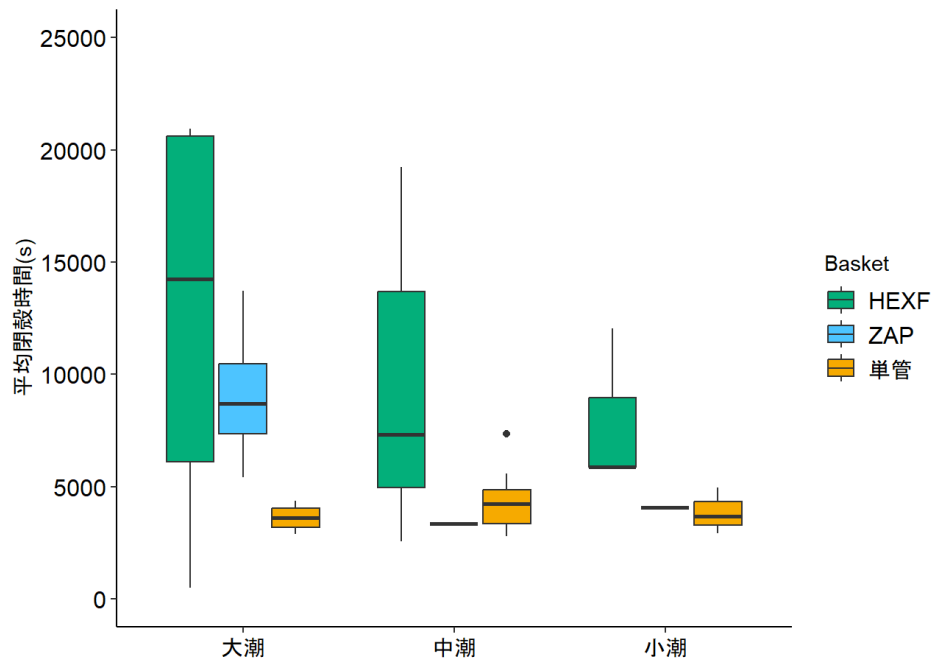
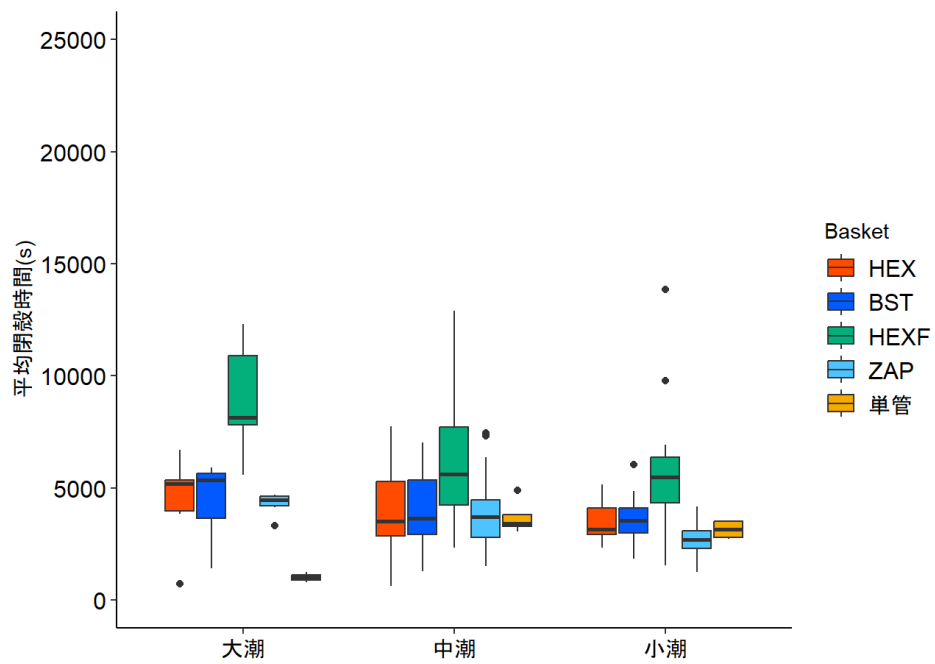


図 11. 半月周期的な潮汐変動と平均閉殻時間(秒)  
7月(上), 9月(下)

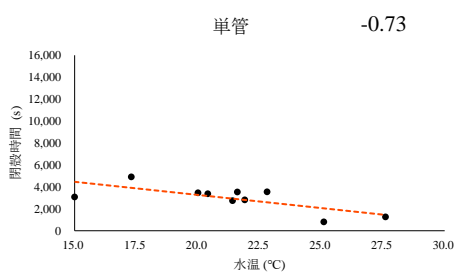
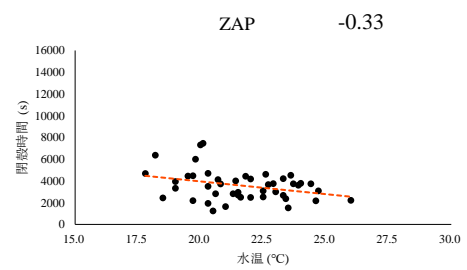
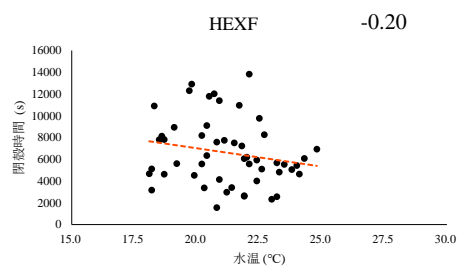
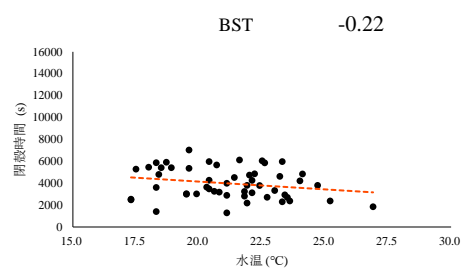
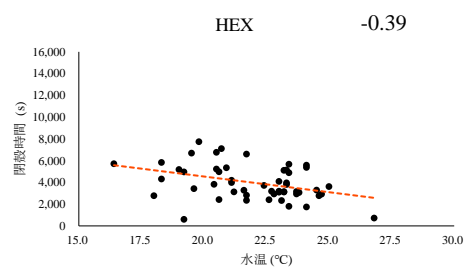


図 12. 7月の水温と閉殻時間  
赤い直線は近似直線，グラフ右上の数値は相関係数を表す

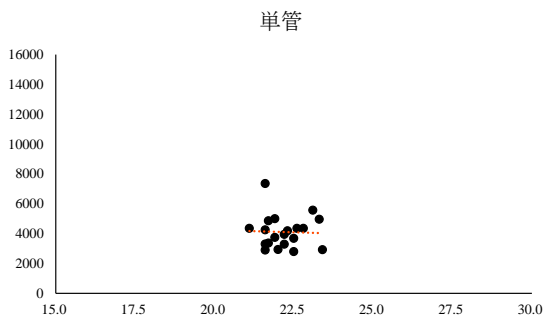
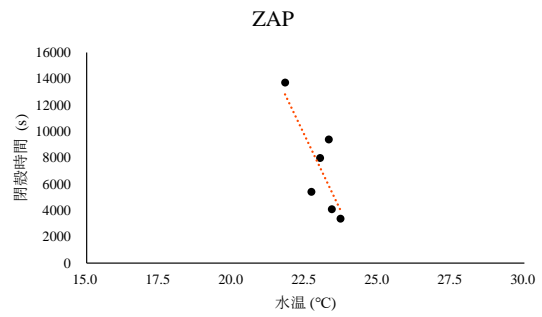
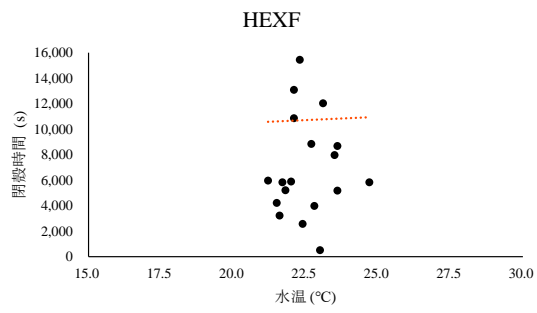


図 13. 9月の水温と閉殻時間  
赤い直線は近似直線，グラフ右上の数値は相関係数を表す

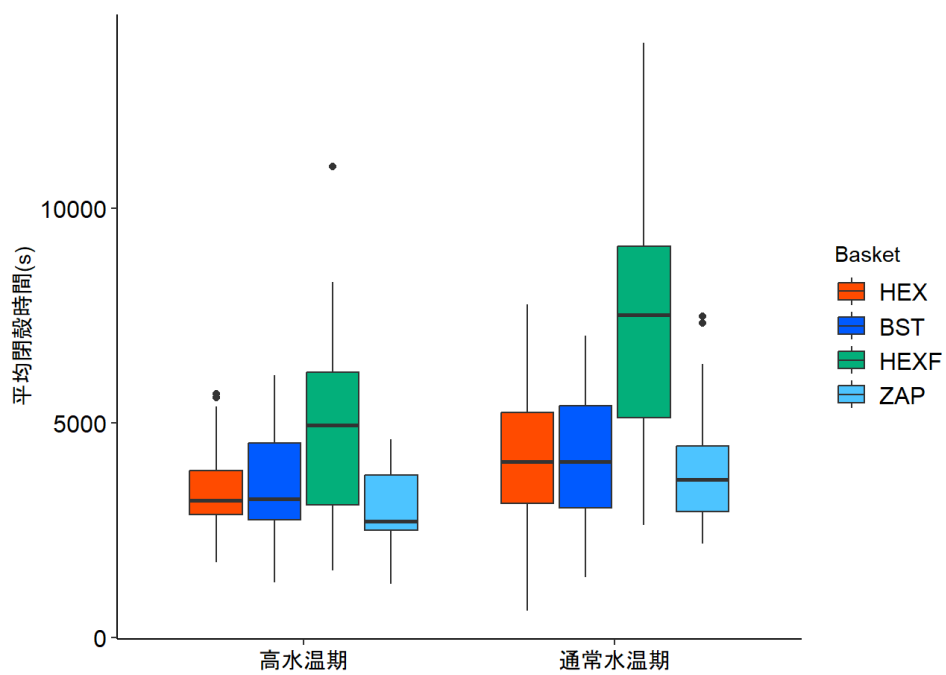
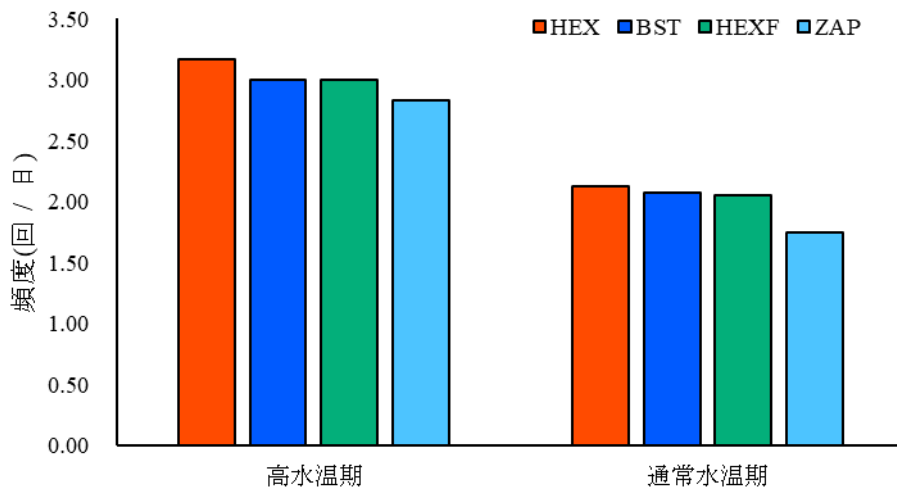


図 14.7月の高水温期と通常水温期での  
閉殻頻度(回/日, 上)と平均閉殻時間(秒, 下)