

# アコヤガイの環境変化に対する抵抗性の研究

## (2) 心臓の搏動について\*

小 林 博

Studies on Resisting Power of the Pearl Oyster, *Pteria (Pinctada) martensii*  
(DUNKER), against Changes of Environment.

(2). On the Heart Beats.

By

Hiroshi KOBAYASHI

The effects of temperature, pH, and osmotic pressure on pulsation of isolated heart of the pearl oyster, *Pteria (Pinctada) martensii* (DUNKER), were investigated quantitatively by suspension method in sea water. Taking the heart beat as an indicator of vital forces of the bivalve, suitable conditions or tolerant properties of the oyster for the above mentioned environmental factors were estimated.

1) The relations between number of the heart beat in unit time and temperature in various periods were studied by applying Arrhenius's formula. The values of  $\mu$ , temperature characteristic of Crozier, are given in Table 1.

2) The standard deviation and deviation coefficient of the heart beats at each temperature were calculated (Table 2). In summer a temperature of about 24°C, which seems to be optimum for culture of the oyster, mostly gave the smallest value for the deviation coefficients.

3) Judged from lower threshold temperature for heart beat and such temperatures as related to continuance of irregularity or regularity of the heart beat (Fig.4), tolerance of the oyster for lower temperatures seems to be greater in winter than in summer. Consequently tolerance of the oyster should be looked upon from viewpoint of adaptation for temperature as well.

4) Although suitable and optimum temperatures for culture of the oyster change with season, the results shown in Fig. 4 and the data fitted to Arrhenius's formula point to the conclusion that a temperature range from about 12°C to about 24°C which is good for maintenance of regularity of heart beat all year round meets requirements for the oysters to lead their life.

5) With a view to clarify the effects of pH on the heart beats, works done by the heart of the oyster (number of beat per minute  $\times$  amplitude of contraction) were measured over 50 hours at various pH values. When pH is below 6.4, the relative works of the heart beats decrease remarkably; therefore, pH values below

---

\* 水産講習所研究業績 第121号, 日本真珠研究所研究報告 第39号.

6.4 are perhaps not suitable for life of the oyster.

6) Lowering of osmotic pressure was attained by diluting sea water ( $\sigma_{15}=1.02450$ ) with distilled water. The effect of the diluted sea water on the heart beats began to appear with 70% sea water when suddenly given, but it became apparent with 50% sea water when administered by degrees. Suspension of beats occurred in 50% and 30% dilutions respectively. These results stand in discrepancy with those obtained by Kawamoto. Possibly such inconsistency is due to different environmental conditions on both sides. It may be mentioned that the mollusk has been adjusted to laboratory conditions before experiments by the present author.

## 緒 言

心臓の搏動は固定したものでなく、生体の環境の変化に即応して、可逆的な生理変化を表わす。従つてアコヤガイの心臓搏動を、介の生活力を表現する一つの指標として考究することは、アコヤガイの環境変化に対する抵抗性を基礎づけるのに意義があると思う。

二枚介の心臓生理に関する研究は古くから行われ多くの人の業績があるが、特に畑井<sup>1)</sup>、高槻<sup>10), 11)</sup>、小久保<sup>3)</sup>、松井<sup>7)</sup>等はカキの摘出心臓を用い、これに対する温度、pH、稀釈海水などの影響を詳細に報告している。アコヤガイに就いても稀釈海水の心臓搏動に及ぼす影響が最近報告された<sup>2)</sup>。

著者はアコヤガイの養殖と輸送に対する好適条件を明らかにするために、アコヤガイの生活力を鰓の繊毛運動、心臓の搏動、閉殻筋の強さなどから攻究し、水温、滲透圧、pHなど外圍の主要な環境条件の変化に対する介の抵抗力を調べている。既に鰓の繊毛運動に就いては発表したので<sup>6)</sup>、今回は心臓搏動に及ぼす温度、pH、稀釈海水の影響についての実験結果を報告し、特に環境変化に対する抵抗性に季節的変化のあることを、温度に対する反応に於いて述べたい。尙鰓の繊毛運動の結果との比較は次の機会に譲り、本報告では心臓搏動に関するものに留めた。

## 材料及び方法

実験に使用したアコヤガイ *Pteria (Pinctada) martensii* (DUNKER) は 1951年8月及び1952年12月に夫々山口県外海水産試験場より供給を受け、これを下関市吉見海岸で飼育し、逐次実験に供したものである。介の年齢は2~3年、殻高は10~12cmであつた。

実験には摘出した心臓を、100ccの海水を入れたビーカー内に懸垂して、その律動をキモグラフィオンに描画し、1分間の搏動数及び搏動の振幅を測定した。温度に対する実験の場合はこのビーカーを水の入つた容器中に置き、容器の水の温度を上下させることによつて、ビーカー内の心臓に温度の変化を与えた。pH及び稀釈海水に対する実験の場合はビーカーを恒温槽中に保ち、同温度の被検液でビーカー内の液を入れ換えることによつて夫々の変化を与えた。尙川本に依れば\*、アコヤガイの心臓は両方の心房が可成り開いているので摘出が非常に困難の様であるが、著者は次の様にして行つた。即ち注意して囲心腔壁を切開し、絹糸で先ず

\* 川本先生の私信による。

心室の外端を結繋する、すると心室は収縮し、心房は拡張する、この時速やかに他の一本の糸で心房の外端を出来るだけ囲心腔壁に近い所で結繋する、そして結繋の外側を夫々切断して心臓を体外に取り出す。然し斯くして摘出した心臓でも心房の部分の縛り方が悪いためか、或は心臓の内圧が足りないためか長時間搏動を続けられないものや、全然搏動を起さないものがあった。従つて摘出後24時間を経過しても尚極めて規則正しく律動的に搏動している心臓のみを実験に供した。

## 実験及び結果

### I. 温度の影響

1) 搏動状態の一般的観察並びに搏動数と温度との関係 : 実験を冬(1951年12月), 春(1953年5月), 夏(1953年8月)の各季節に行つて搏動に及ばず温度の影響の季節的差異を見た。温度変化の方法は、冬期の場合は常温(15°C)より搏動が停止するまで徐々に冷却し、それから約10分間に1°Cの割合で昇温させた。春夏の場合は常温(20°C

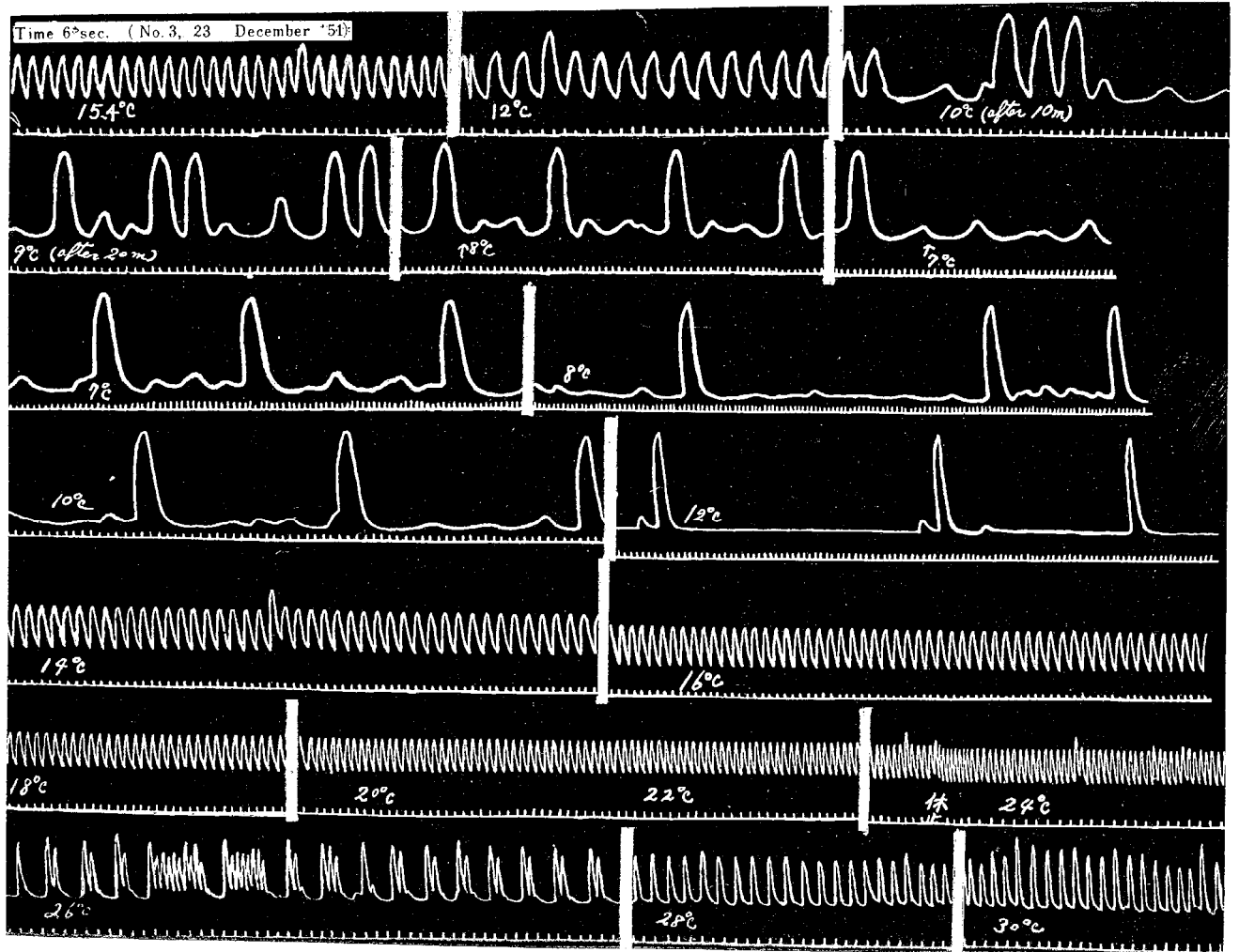


Fig. 1. Showing the relation between temperature and heart beats of the pearl oyster in December. At first the temperature was lowered from the room temperature, 15.4°C, until the heart beats stopped, then the temperature was slowly raised.

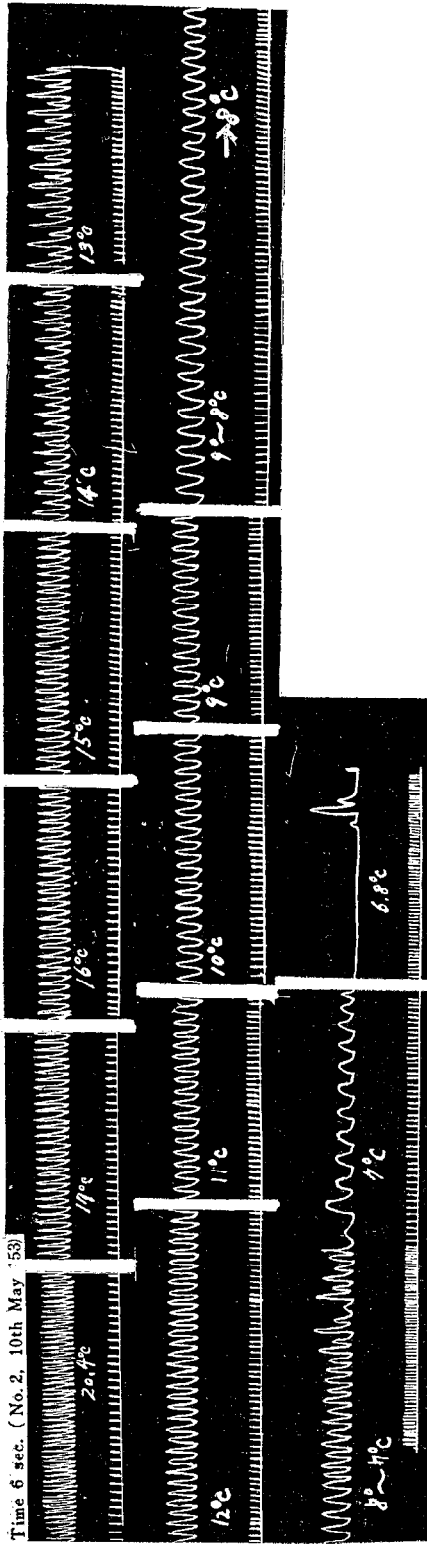


Fig. 2. Showing the relation between temperature and heart beats of pearl oyster in May. The temperature was slowly lowered from the room temperature, 20.4°C, until the heart beats stopped.

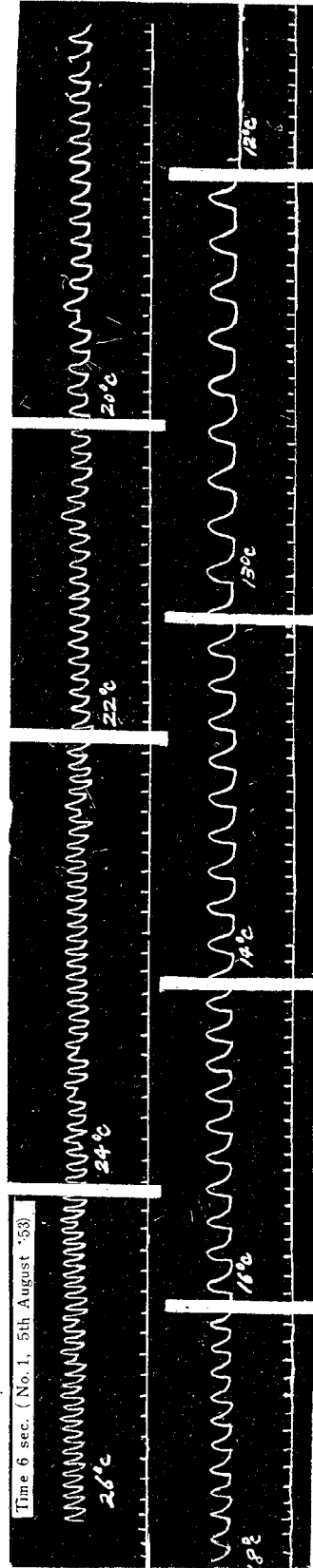


Fig. 3. Showing the relation between temperature and heart beats of pearl oyster in August. The temperature was slowly lowered from the room temperature, 26.°C, until the heart beats stopped.

及び $28^{\circ}\text{C}$ )から冬の場合と同じく約10分間に $1^{\circ}\text{C}$ の割合で降温させた。此の様に各温度に10分間馴らしてから、夫々の温度に於ける搏動状態を記録した。各温度に於ける温度誤差は $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ である。使用した心臓個数は各実験共5~7個で、以下に述べる数値は其の平均値である。

先ず搏動状態の一般的観察について述べると、規則正しく搏動している心臓は温度の下降に従つて一般に搏動数の減少を明らかに示し、振幅、筋の緊張の著しい変化はない。然し或る一定の温度(例えば冬期では $12\sim 13^{\circ}\text{C}$ 、春期では $8\sim 7^{\circ}\text{C}$ 、夏期では $13^{\circ}\text{C}$ )を越えて低下すると、搏動の規則性が乱れ、振幅は大小様々となり、筋緊張は著しく低下する(第1, 2, 3図)。反対に搏動が停止した低温から、除々に上昇させた場合は、冬期実験では先ず不規則な搏動が表われ、次いで $13\sim 14^{\circ}\text{C}$ で規則正しい搏動が始る。そして高温に進むに従つて、搏動数の著しい増加が見られ、更に $22\sim 24^{\circ}\text{C}$ 附近より搏動に5~10分間位の休止期間が表われ、それより $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 高まると搏動が2~5回起つてから20~60秒休止して又2~5回の搏動が起るといふ律動の異常な状態(第1図)が週期的に繰り返される。そして温度の上昇と共に此の休止期間が短くなり、数個の律動は1つの大きな律動に包括される。即ち、斯くして或る程度高温になると却つて心搏数の減少が表われる。尚振幅の増大を来すと共に筋の緊張が著しく増大し遂に高温で収縮性停止になる。

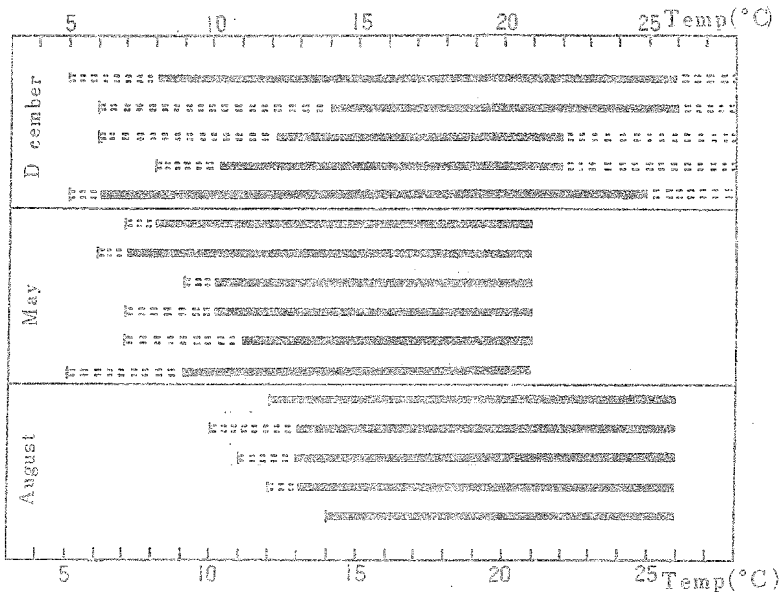


Fig. 4. Showing status of the heart beats of pearl oyster in relation to the temperature in each experimental period. The temperature causing of the suspension, irregularity (broken line), and regularity (unbroken line) of the heart beats are shown.

以上述べた様な搏動状態の変化が表われる温度は季節的に著しく変化し、同時に個体的にも可成り差異が認められた。第4図に此等の変化の状態を測定全心臓について示した。即ち、図には各季節に就いて搏動の規則正しく持続される温度範囲が略々明瞭に示されている。又春及び夏は常温より低温側の実験のみではあるが、搏動の規則性の消失する温度並びに停止の温度が冬期より高く、夏期は春期より一層高温であつた。

これに対して高温側では冬

期は夏期より不規則な収縮を形成する温度が低いことが特に注目された。

次に搏動数と温度との関係については、各季節別の実験毎に1分間の搏動数の対数を絶対温度の逆数に対して図示すると(第5図)、 $10^{\circ}\text{C}$ 附近に臨界点をもつて夫々直線の関係が得られた。従つて温度による心臓搏動の変化がよく Arrhenius の式に適用されることが理解されるので此等の直線式及び温度特性  $\mu$  の値を求めると第1表の様になる。又心搏数の測定値の標準偏差、変異係数、Arrhenius の式から求めた計算値並びに測定値との差を夫々第2表

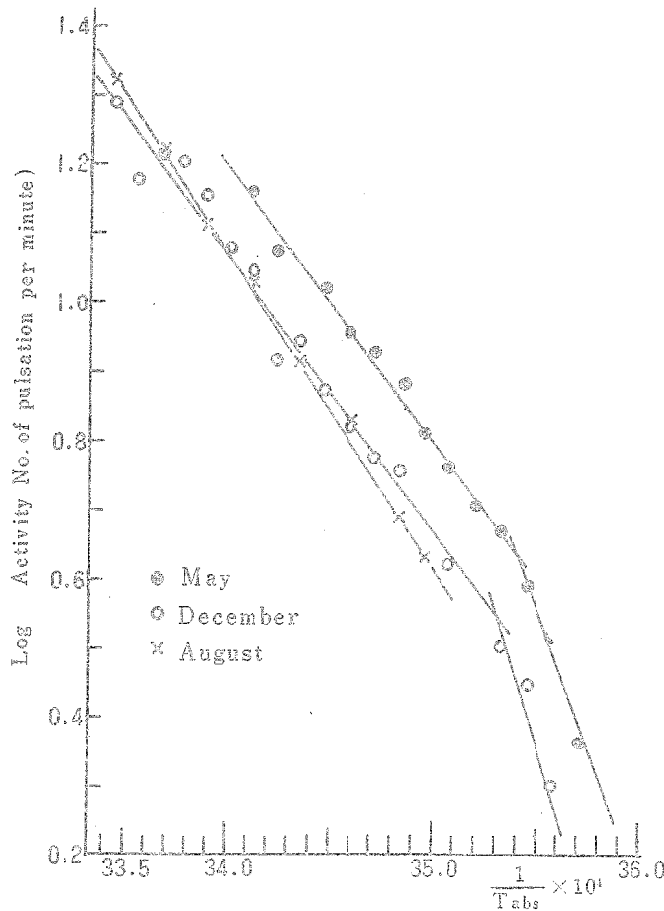


Fig. 5. Showing application of Arrhenius's formula to the activity of the heart beats of pearl oyster in each experimental period. The abscissa represents the reciprocal of the absolute temperature.

に示した。又 van't Hoff の式から Snyder によつて導かれた温度係数  $Q_{10}$  を計算した結果を第 3 表に示した。

2) 温度の上昇と下降時に於ける搏動の差異 : 温度を下降させて行く場合の搏動数と、下降させたものを上昇させて行く場合の搏動数の差を調べた。実験は 1953 年 8 月に行い、温度は前記 1) の場合の如く常温 (28°C) より除々に下降させて、低温 (12°C) で停止してから再び順次上昇させた。この上昇、下降の時の搏動の差異は第 6 図に示す如く搏動恢復温度は停止温度より高く、且つ上昇の場合が下降の場合より搏動数が多い。然し振幅には著しい変化は見られない。尙心搏数の差異は常温に戻つた時消失した。

3) 低温作用時間と恢復との関係 : 実験は 1953 年 5 月に行つた。常温で摘出心臓の搏動を記録してから、除々に温度を下降さ

Table 1. Observed values, standard deviation and variation coefficient of heart beat per minute of the pearl oyster in relation to temperature, and values of heart beat calculated by Arrhenius's formula is also tabulated.

Period of exp.	Temp. °C	No. of heart beats (obs.)	Standard deviation	Variation coefficient	No. of heart beats (calcu.)	Difference	
August	13	4.2	2.77	66.2	$\mu = 20,400$	4.4	-0.2
	14	4.9	2.09	42.8		5.0	-0.1
	16	6.7	2.35	35.1		6.4	0.3
	18	8.2	2.06	25.2		8.2	0
	20	10.7	1.77	16.6		10.5	0.2
	22	12.9	1.31	10.2		13.2	-0.3
	24	16.6	0.54	3.3		16.6	0
	26	21.0	0.85	4.1		20.9	0.1
May	7	2.6	—	—	$\mu = 18,200$	2.6	0
	8	3.3	0.46	14.2		3.2	0.1
	9	3.9	0.49	12.7		3.9	0
	10	4.7	0.47	10.1		4.7	0
	11	5.1	0.40	7.9		5.2	-0.1
	12	5.4	0.81	15.1		5.9	-0.5
	13	6.5	0.98	15.1		6.6	0.1
	14	7.8	1.04	13.4		7.3	0.5
	15	8.5	1.24	14.6		8.1	0.4
	16	9.1	1.88	20.7		9.0	0.1
	17	10.5	1.00	9.5		10.1	0.4
	18	—	—	—		11.4	—
	19	12.0	1.30	10.9		12.5	-0.5
20	12.5	1.73	13.9	14.1	-1.6		

アユヤガイの環境変化に対する抵抗性の研究

December	8	2.0	1.21	60.5	$\mu=37,800$	2.0	0
	9	2.8	1.28	46.0		2.6	0.2
	10	3.2	1.32	41.5		3.3	-0.1
	12	4.2	0.28	6.7		4.4	-0.2
	14	5.7	0.57	10.2		5.5	0.2
	15	6.0	—	—		6.1	-0.1
	16	6.6	0.62	9.4		6.9	-0.3
	17	7.5	—	—		7.6	-0.1
	18	8.8	1.25	14.2		8.5	0.3
	19	8.3	—	—		9.5	-0.2
	20	11.1	1.47	13.3	$\mu=18,300$	10.7	0.4
	21	12.0	—	—		11.7	0.3
	22	14.3	1.39	9.7		13.1	1.2
	23	16.0	—	—		14.4	1.6
	24	16.4	1.80	11.0		16.0	0.4
	25	15.0	—	—		17.8	-2.8
	26	19.5	0.71	3.6		19.7	-0.2

Table 2. Arrhenius's formula and  $\mu$ , temperature characteristic of Crozier, in each range of temperatures. f; number of heart beat per minute, T; absolute temperature.

Period of experiment	Range of temperature	Arrhenius's formula	$\mu$
May	7—9°C	$\ln f = -16,200 \frac{1}{T} + 58.81$	32,400
	10—20°C	$\ln f = -9,100 \frac{1}{T} + 33.69$	18,200
August	13—26°C	$\ln f = -10,200 \frac{1}{T} + 37.15$	20,400
December	8—11°C	$\ln f = -18,900 \frac{1}{T} + 67.96$	37,800
	12—26°C	$\ln f = -9,150 \frac{1}{T} + 33.58$	18,300

Table 3. Values of the temperature coefficient  $Q_{10}$  of number of heart beat against temperature.

	Temperature °C.	$Q_{10}$	Temperature °C.	$Q_{10}$
August	13 — 18	3.8	16 — 26	3.1
	13 — 20	3.8	18 — 24	3.3
	13 — 22	3.5	18 — 26	3.2
	14 — 24	3.4	20 — 26	3.1
May	7 — 17	4.0	10 — 20	2.7
	7 — 12	4.3	11 — 16	3.2
	8 — 13	3.7	12 — 17	3.8
	9 — 14	4.0	14 — 19	2.4
	9 — 19	3.1	15 — 20	2.2
December	10 — 15	3.3		
	8 — 18	4.4	15 — 20	3.4
	9 — 14	4.2	15 — 25	2.5
	9 — 19	3.0	16 — 21	3.3
	10 — 15	3.5	16 — 26	3.0
	10 — 20	3.5	17 — 22	3.6
	12 — 17	3.2	18 — 23	3.3
	12 — 22	3.4	19 — 24	3.9
	14 — 19	2.1	20 — 25	1.8
	14 — 24	2.9	21 — 26	2.7

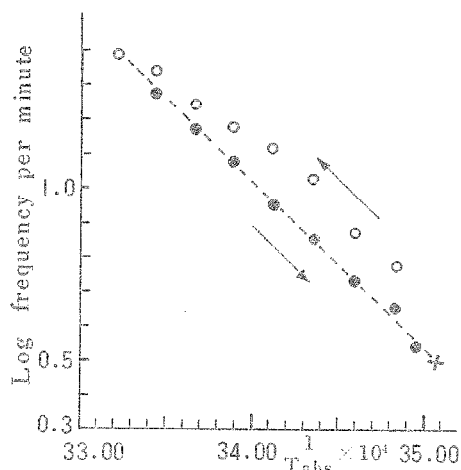


Fig. 6. Showing the difference of the heart beats in lowering and raising of the temperature. The ordinate represents the logarithm of the number of the heart beat per minute. The abscissa represents the reciprocal of the absolute temperature. The cross indicates the ceasing temperature causing suspension of the heart beats.

せ搏動が全く停止してから、心臓が懸垂されたピーカーをそのまま搏動停止温度である 6~7°C に調節した氷室中に保持した。其の後一定の時間毎に順次取り出し、室温に 12 時間順応させた後其の搏動状態を再びキモグラフに記録した。そして心臓の活動力を心臓のなす仕事量\* で表わし、冷却前の仕事量に対する%で恢復状態を表示した(第 4 表)。対照実験の結果と共に示した第 4 表に依ると、低温作用 24 時間以上からは恢復が見られなかつた。

### II. pH の影響

海水に 1/10N. の HCl 及び NaOH を加えて種々の pH 液を調製し、これらの pH 値の測定を比色法 (B.T.B., P.R., T.B., M.R.) に依つた。尙此の場合富田<sup>12)</sup> のいう gas control を行つて CO<sub>2</sub> の影響が無い様に注意した。実験は 1953 年 3 月及び 1954 年 4 月に、22~23°C の範囲で行つた。単にピーカー内の海水の入れ換えのみにより、

Table 4. Influence of cold temperature on heart beats of the pearl oyster.

Duration of exposure to cold temperature (hr.)	Before exposure		After exposure		Relative work % (work before exposure=100)
	Freq.	Ampli.	Freq.	Ampli.	
3	5.7	5.7	9.7	5.0	74
6	10.5	5.0	9.7	5.1	94
12	12.8	5.0	8.5	6.0	79
16	14.0	7.2	11.5	7.1	81
21	10.9		9.0		83
24	9.0		0		0
Control 1	11.6	5.0	11.6	4.2	84
Control 2	11.0	3.6	11.4	3.0	86
Control 3	11.6	5.0	9.0	6.5	101

Notes : Freq., number of heart beat per minute.  
Ampli., amplitude of contraction (mm).  
Controls 1, 2 and 3, relative work after 11 hrs., 20 hrs., and 35 hrs. respectively.

これが刺戟となつて一時心搏数の増加、振幅の増大が見られるが、此等の変化は 15~20 分後には元に復する事が認められた(第 7 図)。従つて pH 及び次に述べる稀釈海水の影響に関する実験の場合は共に、被検液を作用させてから 20 分後より測定を初めた。



Fig. 7 Showing the influence of alternation of the medium, in which the heart is immersed. The influence disappeared in 20 min. after the alternation.

\* 此の場合、1 分間の搏動数と振幅との積を心臓のなす仕事量とした。従つて心臓の重量、内圧などを考慮していないから、真の意味の仕事量を表わさない。然しすべて初めのそれに対する%で表わしてあるから、これをもつて心臓の活動力を比較することは出来ると思ふ。尙実験に当つては勿論、標杆の拡大率を一定にし、且つ重量の略々一定した標杆を使用した。



pH の調製は HCl で行つたから、若し心筋に対する HCl の滲透が緩慢の場合は、短時間の測定では心搏に及ぼす pH の影響を知ることが不十分に思われるので、50 時間以上に亘つて観測を行つた。活動力の表現は前項同様心臓のなす仕事量を用い、普通海水中に於ける仕事量に対する比 (%) で表わした。結果は pH が増大した場合には、対照に比して著しい変化は認められないが (第 9 図), pH が減少した場合には pH 7.0 以上では仕事量は対照実験 (pH 7.9) の場合より寧ろ増加を示し (第 8 図), pH 6.6 以下で影響が現はれ始め、pH 6.2 では活動力が 30%, pH 5.7~5.4 で 18~20% まで低下している。又 pH 6.4 で 25 時間後には既に搏動の停止したのも認められた。搏動停止の pH 値は個体によつて可なり著しく相異なるが、pH 3.8 では平均 10~20 分で搏動を停止する。尙 HCl に依る pH の低下は心臓の拡張性停止を一時来たし、其の後徐々に収縮性停止になる。尙 HCl に依る pH の変化を受けた心臓が、徐々にその活動力を低下して行く状態、及びこれが再び普通海水中に戻された場合、正常な状態に回復する例を第 10, 11 図に示した。

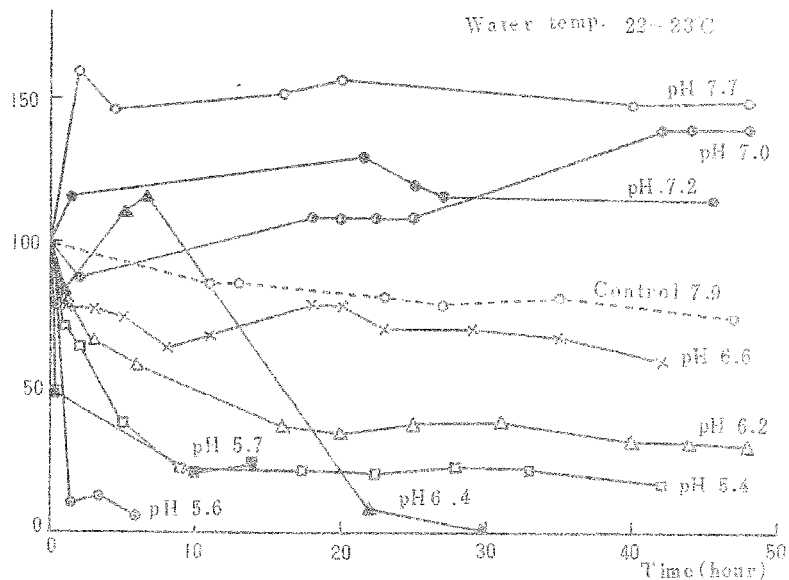


Fig. 8. Showing heart beats of pearl oyster affected by respective values of pH. The ordinate represents the relative works (%) done by the heart beats (number of beats per minutex amplitude of contraction).

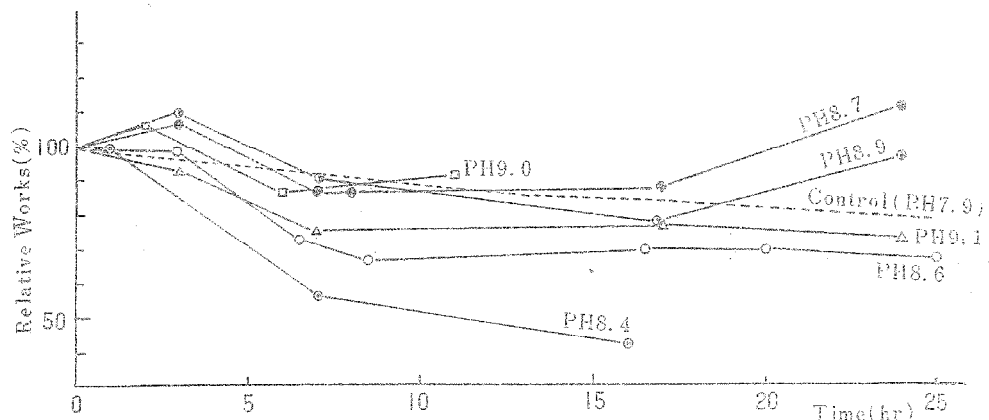


Fig. 9. Showing the effects of pH on the heart beats of pearl oyster.

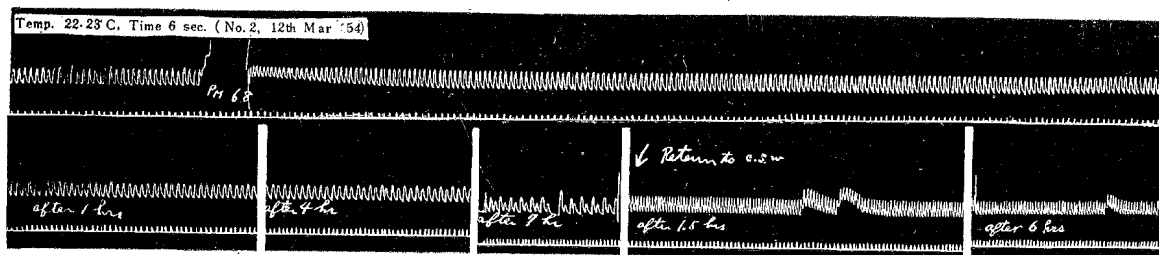


Fig. 10. Showing the effects of pH on the heart beats of pearl oyster, and the recovery of the affected heart beat in ordinary sea water.

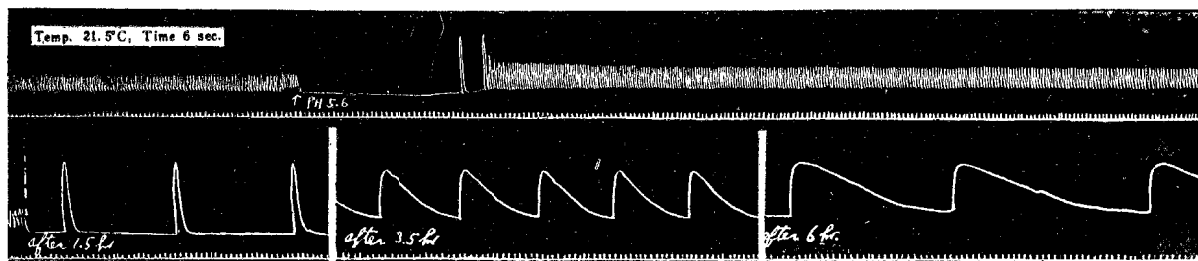


Fig. 11. Showing the effects of pH on the heart beats of pearl oyster

Table 5. Heart beat affected by lowering of pH and recovery in ordinary sea water.

pH	Time of immersion (hr.)	Before immersion		Recovery after 12 hrs. in o. s. w.		
		Freq.	Ampli.	Freq.	Ampli.	Relative work % (work before immersion=100)
6.8	21	11.5	5.0	14.2	4.5	111.0
5.4	24	16.0	12.2	9.1	7.2	33.6
3.8	2.5	18.6	13.8	9.6	4.1	15.3

Notes : Freq., Number of heart beat per minute.  
 Ampli., Amplitude of contraction (mm).  
 o. s. w., Ordinary sea water.

### III. 稀釈海水の影響

海水 ( $\sigma_{15}=1.02450$ ) を蒸留水で 90%, 80%……30%の割合に稀釈して pH の場合と同様にして摘出心臓に作用させた。心臓のなす仕事量を前と同様に算出して普通海水中に対する比 (%) で表わした。実験は 1953 年 2~3 月に於いて、20~21°C 又は 18~19°C の恒温槽中で行った。尚次に示す実験値はすべて 2~3 個体の平均値である。

実験は普通海水から直ちに夫々の稀釈海水に急激に移した場合と、普通海水から 90%, 80%……と順次 10%づつ 4~5 時間の間隔で下げていった場合、即ち除々に作用させた場合とを行なった。前者の場合には後者との比較のため、被検液作用後 4 時間目の値で仕事量を算出して図示した (第 12 図)。即ち何れも 80% の稀釈で最大の仕事量を示し、急激に作用させた時は 70% 稀釈より、除々に作用させた時は 50% 稀釈より心臓の活動力の著しい低下が見られる。搏動停止の限界は除々に作用させた場合は 30% であるが、40% でも 1 時間で停止するものがあつた。又急激に稀釈海水を作用させた時の仕事量低下の時間的変化は、

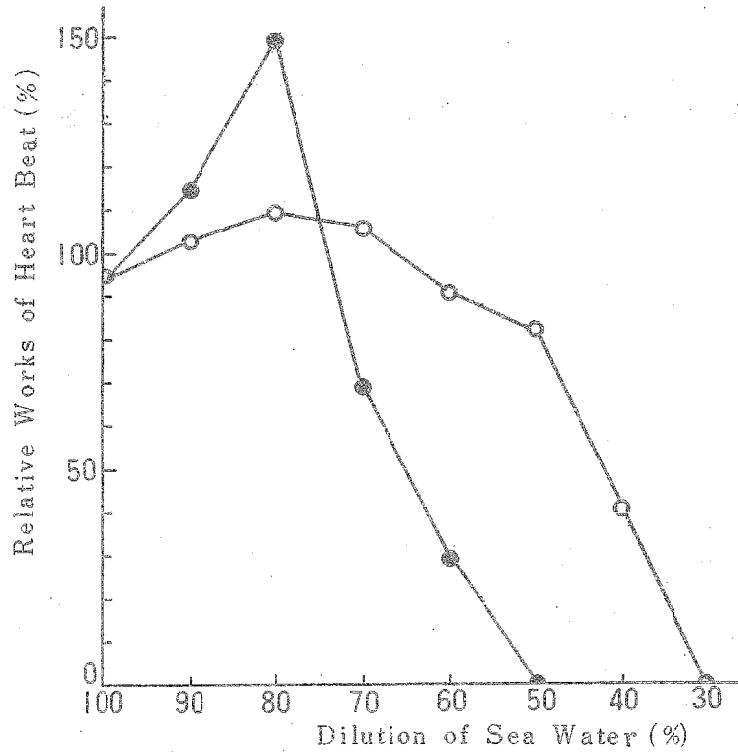


Fig. 12. Showing the effects of dilute sea water on the heart beats of pearl oyster; ●, the heart was immediately transferred from the ordinary sea water to respective dilute sea water; ○, dilution of the medium was continued with a rate of 10% per 4 hours. The relative works for 100% sea water represent the values of control experiments. The ordinate represents the relative works (%) done by the heart beats (number of the heart beats per minute X amplitude of contraction).

第13図に示す様に、80%以上の稀釈では20時間以後に著しく影響が現われている。

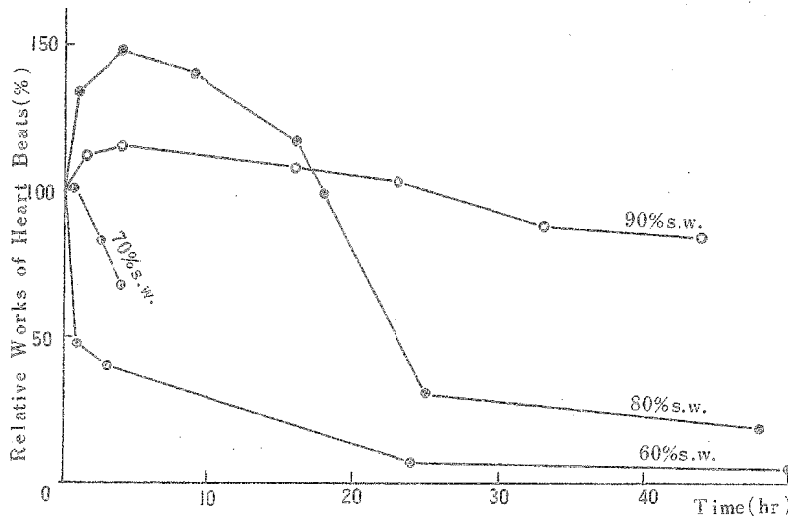


Fig. 13. Showing heart beats affected by the dilute sea water. The ordinate represents the relative works (%) done by the heart beat (number of beats per minute X amplitude of contraction).

搏動が停止する稀釈海水中に心臓を一定時間保つた後、普通海水中に戻した場合の回復状況は第6表に示した。これに依ると24時間、搏動を停止させる稀釈海水中に入れておいても、



## 考 察

アコヤガイの心臓搏動は介の生活力を支配する重要な生理的要因の一つに考えられるから、これに種々の環境条件を与えた際の影響を調べることは、勿論心臓搏動が介1個体の反応を表わすものではないが、アコヤガイの環境変化に対する抵抗性を論ずるに当り、介の生活条件に有力な基礎を与えるものと思う。

先ず温度に対する反応に於いて、1分間の心搏数を Arrhenius の式で考察すると、 $10 \sim 11^{\circ}\text{C}$  附近に臨界点を有する夫々2つの直線的関係が得られた事は、Crozier が臨界温度で細胞内の酵素化学的变化が生じることを示すと唱えている故に、この温度で心臓搏動が生理的に或る規制を受けると解釈し得ると考えられる。この事は更に心搏の律動性がこれらの温度で乱れて、不規則な搏動に移行することや、8月の実験で  $12^{\circ}\text{C}$  附近で突然搏動の停止すること(第3,4図)などから考え合せて、これらの温度で心臓の刺戟伝導系の一部に機能的障害が生じるとも考えられる。尙第5図に示されている様に、各季節別の温度に対する反応が略々平行的関係にあることは、搏動の pace maker が季節に左右されないでアコヤガイに固有の温度係数で支配されていると思う。これは更に第3表に示した  $Q_{10}$  の値が夏期では平均3.4で少しく大きい、其の他の時期では平均3.2であることから判る。尙  $Q_{10}$  の値は低温程大きくなり、計算の温度範囲によつて一定せず、一つの反応系列の温度係数を明瞭に示さない。これに対して Arrhenius の式によつて導き出された  $\mu$  の値の方が、これを明らかに示すので(第1,2表)、温度に対するアコヤガイの心臓搏動を表わすのは Arrhenius の式の方が適當であると考えられる。又  $\mu$  や  $Q_{10}$  の値がカキなどで観察された値より非常に大きい、これはアコヤガイに於ける酸化還元反応が著しい事、即ち生体の活動力が大きいことを示すものと思われる。

同一温度に対する平均心搏数の差異は季節的变化として理解されるが、12月の平均心搏数と8月のそれとは著しい差異がないのは、冬期常温が低いので、一度搏動停止の温度まで下げ、それから上昇させて行つた場合の測定であるから、第6図の結果により考察すると冬期の測定値が実際より大きい値を示すことによるのかも知れない。これに対して8月の平均心搏数が5月のそれに較べて少いことは、白杵<sup>13)</sup> のカキの鰓の繊毛運動の活動性が、放卵期である秋期に著しく減少するという報告から推察して、繊毛運動と同様な週期運動である心臓の搏動も恐らく生殖作用と関係して、生体活動力の低下への過程を意味しているのではないだろうか。残念乍ら秋期の資料がないので詳細は不明であるが、此の点今後よく調べたいと思つている。第4図では5, 8月の実験は夫々常温から下降させたのみで、温度の上昇は行つてないが此の図から推察して、アコヤガイは周囲の条件に常に介自身を adapt させていて、季節的溫度変化に対して一種の適応性をもつている様で、心臓の活動性や抵抗性にも季節的变化が存在すると考えられないだろうか。

心臓の搏動数の測定値には著しい変異があることは、その標準偏差並びに変異係数でも判るが(第2表)、下泉<sup>9)</sup> が「カエルの心搏数及び呼吸数と温度」の研究に於いて、安定な温度下では変異係数が小なることを述べているが、本実験でもアコヤガイの繊毛運動<sup>6)</sup> や貝殻の開閉運動<sup>15)</sup> の研究から推定した最適温度である  $24^{\circ}\text{C}$  に於いて、夏期に於ける測定値の変異係数が最小値を示した事は甚だ興味深いことである。然し12月、5月の実験では変異係数は8月の場合より著しく小さく、温度との明瞭な相関は見られなかつた。

第6図に示されている様に低温で搏動を停止した心臓は、温度の上昇に依つて搏動を回復す

る温度が、停止の温度より  $1\sim 2^{\circ}\text{C}$  高い。この事はアコヤガイの冬眠から醒める温度が冬眠に入る温度より  $1\sim 2^{\circ}\text{C}$  高い事<sup>4)</sup> と関係がある様に思う。

心臓を  $6\sim 7^{\circ}\text{C}$  に冷却して寒冷作用を見た場合、第4表に示す様に24時間の冷却で搏動が恢復しなかつた事は、繊毛運動の結果と同様で、この温度に於ける心臓の被刺戟性や自働能を消滅せしめる時間であると思われる。この事は又、アコヤガイを冬期の室温 ( $5\sim 7^{\circ}\text{C}$ ) に24時間放置した場合に斃死率が最大になる報告<sup>5)</sup> と一致する。尙冷却時間の増加によつて心臓仕事量の恢復には著しい減少が見られないが、24時間の冷却で突然恢復能力が低下するのは如何なる理由によるのか判らない。

次に心臓の搏動に及ぼす pH の影響については、pH を変えた直後は搏動に著しい遅速が認められたので、50時間以上持続的に作用させてその変化を観察した。第8図に依れば、pH 7.0 以上では対照実験に較べてすべて仕事量が増加している。これは恐らく pH の僅かの変動が刺戟となつて心臓を興奮させたものと考えられるが、その詳細は判らない。pH 6.4 以下では著しく影響を受け10~20時間後には仕事量は30%以下に低下、或は搏動が停止している。このことは pH 5.4 以下のものでは搏動停止後普通海水中に戻した場合、仕事量が対照実験の1/3しか恢復しない事(第5表)と併せて考えて、pH 6.4 以下はアコヤガイの心搏に不適当な pH 値と思われる。又塩酸による pH の心搏停止は先ず拡張性停止にさせ、その後徐々に収縮性停止を起させたが、これは pH の低下で搏動が徐々に緩慢になること(第10図)と共に、塩酸の滲透が除々に行われることを示すと思われる。尙これらの結果は HCl で pH を調整した場合の結果で、小久保等がカキの心臓で調べている様に<sup>3)</sup> 他の酸を使用した場合は勿論異なるだろう。

心臓搏動に及ぼす稀釈海水の影響について得られた結果は川本の報告<sup>2)</sup> と較べると遙かに高い稀釈濃度で、既に搏動に影響を受けている。これは同氏の使用した普通海水の塩分濃度が  $\sigma_{15}=1.0106$  という非常に稀薄であつたことによるとと思われる。従つて本実験の結果を同氏の結果と合せて考察すると、介体は棲息地の海水に常に順応して、搏動停止の海水の濃度も絶対的なものでなく、介体が実験前に置かれていた環境に左右される。即ち acclimatization が存在すると思う。依つて著者は海水の濃度を表わすのに比重を用いず、稀釈の%で表わした所似である。尙第12図の除々に稀釈した場合は、時間の影響の累積が低濃度程大きく考えられるが、対照実験との比較によつて、この累積の影響は省略出来ると思う。又稀釈効果の累積によつて低濃度程多少、稀釈に対する抵抗が生じていると思われるがこれは考慮しなかつた。除々に稀釈海水を作用させた場合、70%迄の稀釈濃度では却つて仕事量が増加しているが、これは低滲透圧が刺戟となつて心臓を興奮させた為で、イオン均衡が破れて、搏動に必要な重要イオンが不足したことによるのではない様である(小林・未発表)。

尙稀釈海水を急激に作用させた時の仕事量の変化の時間的経過は、第13図の様に80%稀釈以下では、24時間後には夫々30%以下に低下しているから、作用時間が長期に亘る時は該濃度以下はアコヤガイの生活に不適当な濃度であると考えられる。然し、30~40%で搏動の停止したものでも24時間の後に、これを普通海水中に戻せば、本実験の時間内(摘出心臓の生存時間内)に搏動を恢復している点から(第6表)、アコヤガイの致死限界濃度としてはやはり搏動停止の濃度とするのが適當であろう。

## 摘 要

1) アコヤガイの摘出心臓の搏動に及ぼす温度、pH、稀釈海水の影響を懸垂法に依り、キモグラフィオンに描画して調べた。そして心臓搏動を生活力表現の一つの指標として、アコヤガイの生活適範囲を推定した。

2) 心搏数と温度との関係を各季節別に Arrhenius の式によつて考究し、温度特性値  $\mu$  及び  $Q_{10}$  を求めた (第 1, 2, 3 表)。

3) 各温度別に心搏数の標準偏差及び変異係数を求めた。最適温度に於いて変異係数が小になる下泉の結果は、夏季の実験に於けるアコヤガイの心臓搏動によく適合した。

4) 心搏の停止温度及び律動性の規則正しさが消失する温度から (第 4 図)、アコヤガイの温度に対する抵抗力に季節的変化が認められる。従つて此等の温度及び Arrhenius の式で考察した温度から、アコヤガイの生活適温は 1 年を通じて  $12^{\circ}\text{C}$  附近より  $24^{\circ}\text{C}$  附近までと推定される。

5) 心搏に及ぼす pH の影響は、心臓のなす仕事量 (1 分間の搏動数  $\times$  振幅) の 50 時間以上の観測から、pH が低下した場合は pH 6.4 以下より著しく影響を受ける。pH が増大した場合は対照に比して著しい変化は認められない。

6) 心搏に及ぼす稀釈海水の影響は、稀釈液を急激に作用させた場合は 50% 稀釈で、徐々に作用させた場合は 30% 稀釈で搏動を停止させる。これより該濃度をアコヤガイの致死限界濃度であると推定した。この結果は川本 ('53) の報告と稍々異なるが、これは介が実験前に馴らされていた環境条件によるものと思う。

終りに臨み、本文の御懇篤な校訂を賜つた三重県立大学川本信之教授に感謝の意を表すると共に、本研究に當つて終始御援助下さつた日本真珠研究所々長松井佳一博士及び本所松井魁教授に深謝する。尙材料を供給下さつた山口県外海水産試験場々長市村要氏に厚く御礼申し上げる。

## 参 考 文 献

- 1) 畑井新喜司：1931. 牡蠣の生理. 岩波講座, 生物学, 18回配本, 岩波書店,
- 2) KAWAMOTO, N. Y. and E. MOTOKI: 1954. Influence of Diluted Sea Water on the Pearl Oyster. Report of the Faculty of Fisheries, Prefectural University of Mie. 1 (3), 346—354.
- 3) KOKUBO, Seiji, Tadashi TAMURA and Kin HOJIK: 1934. The effect of the PH on the heart beat of the oyster as determined by different kinds of acid and alkali. Journal of Fisheries, No. 37, 1—34.
- 4) 小林新二郎・東畑正敬：1949. アコヤガイの冬期に於ける生活力に就いて. (1) 及 (2). 日水誌, 14 (4), 196—202.
- 5) 小林新二郎：1950. アコヤガイを冬期室温に曝した場合の斃死率に就いて. 真珠の研究 (富士真珠K.K.), 1 (2), 8—9.
- 6) 小林 博・松井淳平：1953. アコヤガイの環境変化に対する抵抗性の研究, (1) 鰓の繊毛運動に就いて. 農水講研報, 3 (2), 123—131.
- 7) MATSUI, K.: 1941. Stimulative effect of temperature on the heart beat in the oyster,

- Ostrea circumpecta*. Science Reports of the TOKYO BUNRIKA DAIGAKU, Sec. B, 5 (86), 297—312.
- 8) NOMURA, S. : 1950. Energetics of the heart muscle of the oyster, work performed and oxygen consumption. Sci. Rep. of the TOHOKU Univ. (Biol.) 18, 280—286.
  - 9) 沢野英四郎 : 1950. 真珠貝の池中養殖法の研究. 水産研究会報, 3, 48—57.
  - 10) 下泉重吉 : 1953. ニホンアマガエル *Hyla arborea japonica* の活動性と温度との関係. 第24回日本動物学会大会講演.
  - 11) TAKATSUKI, S. : 1927. Physiological studies on the rhythmical heart pulsation in the oyster, *Ostrea circumpecta* Pils. Sci. Rep. of the Tohoku Imp. Univ. (Biol.) 2 (3), 301—324.
  - 12) 高槻俊一 : 1949. 牡蠣. 技報堂, 東京.
  - 13) TOMITA, G. : 1933. Titration of sea water with HCl, and the importance of controlling the CO<sub>2</sub> tention of acidified sea water. Jour. of the Shanghai Sci. Inst., Sec. IV, 1 (2), 19—28.
  - 14) 白杵格 : 1953. カキの鰓に於ける繊毛活動性の季節的变化. 第24回日本動物学会大会講演.
  - 15) 八木誠政・蒲生俊与 : 1942. 温度と生物. 養賢堂, 東京.