

工場排水中に含まれる炭酸カルシウムの 浮游粒子がアコヤガイに及ぼす影響*

小 林 博

Effects of Floating Particles of Calcium Carbonate Contained in
Drainage from Industry on the Vitality of Pearl Oyster.

By

Hiroshi KOBAYASHI

Effects of particles of calcium carbonate floating in sea water on the vitality of pearl oyster were investigated from view points of oxygen consumption of the oyster, ciliary movement of the gill, opening and closing movement of the shell, time of mortality, etc. The particles in "Test no. 6" have influences upon the respiration of oyster in concentration of 1/60,000 (Cf. Fig. 3 and Tables 3, 4, 6 and 8). A toxic substances was not found by chemical analysis of the drainage, although pH value of experimental sea water was slightly larger than the normal. Moreover, effects of filtrated experimental sea water on ciliary movement, shell movement and heart beating were not recognized. It follows therefore that the oyster may have been suffocated by floating particles of calcium carbonate in sea water.

緒 言

最近炭酸カルシウム製造工場からの排水によつて養殖中のアコヤガイが斃死する事実があつた。排水の化学分析によつてもその中に生物に対して特に有害と認められる物質は見出されず、又海水中では炭酸カルシウムは既に飽和に溶解して居り、普通の状態ではこれ以上の溶解は殆んど考えられないから、海水中のCaイオン増加の影響でもない。それで斃死の原因は単に海水中に浮游している炭酸カルシウムの粒子が鰓に沈着して機械的障害を与えるために、呼吸作用が害されるのではないかと考えられる。此の様な問題について、倉茂(1942)は海水中の浮游土がアサリの生活力に悪影響を及ぼし、2~8%の濃度の浮游土を含む海水中では、濃度の増加に対して斃死率の増加することを述べている。又赤潮発生の場合にはプランクトンが鰓につまつて呼吸困難を起すため魚介類が斃死することが古くからいわれている。斯様に海水中の浮游土やプランクトンなどの微小物が鰓に密着して、機械的に呼吸機能に障害を来すという推論は充分可能性のあることであるが、未だこれを裏付ける様な生理的実験を見ない。著者は日本真珠研究所よりアコヤガイ斃死の原因考察に就いての本研究を依頼されたので、海水中に浮游する種々の炭酸カルシウムの粒子がアコヤガイの呼吸作用に及ぼす機械的障害の有無、程度を知るために、この問題を介の酸素消費量、鰓の繊毛運動、介殻の間閉運動、其の

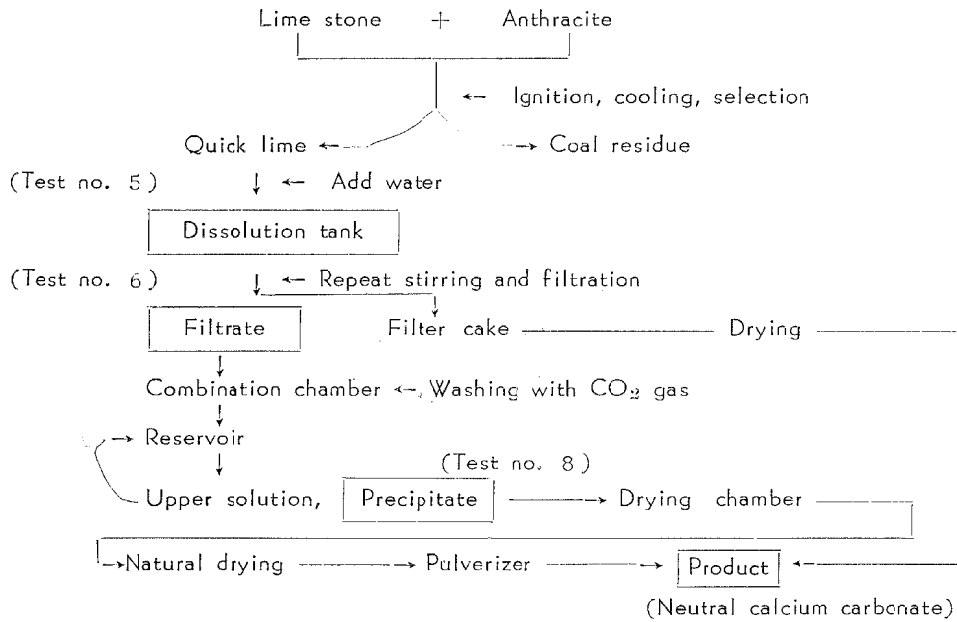
* 水産講習所研究業績 第183号、日本真珠研究所報告 第51号。

他から考究した。此等の研究により浮游粒子がアコヤガイに窒息死を起させる可能性のあることが分つたので、その結果について報告する。

材料及び方法

供試材料であるアコヤガイ *Pteria (Pinctada) martensii* DUNKER は山口県仙崎町深川湾に於いて養殖されたもので、年令2~3年、殻長5~7cmであつた。介はすべて実験前4~5日間研究室内でガラスバット中に飼育した。実験に使用した炭酸カルシウムは日本真珠研究所より送附されたもので、第1表に示す様に工場の市販製品である白艶華(中性炭酸カ

Table 1. Respective sampling in manufacturing process of calcium carbonate.



ルシウム)及び検査物として製造過程中の溶解槽, 沈澱槽, 濾過槽より得られた炭酸カルシウムである(これらを夫々5号, 8号, 6号炭カルと呼ぶことにする)。尙中性炭カルは白色の粘土状, 5号, 8号炭カルは茶白色の乾燥粉末, 6号炭カルは白濁の液体状で、此等物質の化学分析結果は第2表に示した*。

Table 2. Analytical data of CaCO₃ used in this experiment.

No. of test CaCO ₃	S ₂ O ₂ + Petropowder	Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃ + TiO ₂	Ca	Mg	OH	CO ₂	Total
No. 5	4.98 %	0.90 %	47.12%	0.33%	33.39%	12.23%	98.95%
No. 8	1.60	0.36	38.34	0.36	0	58.72	99.38
No. 6	1.00	0	51.23	0.24	36.24	13.45	102.16

作用させた実験液は1ℓの海水に炭酸カルシウム0.15g(乾燥量)を浮游させて作つた。即ち1:15,000のものを濃度1として、この倍倍稀釈を用いた。実験液のpH値は濃度1の場合、6号, 8号, 5号炭カルでは夫々8.7, 7.9, 8.3であつた(使用海水は7.9であつた)。

* 分析は神戸地方裁判所の命により神戸大学工学部井上嘉龜氏によつてなされたものにつき日本真珠研究所に於て検討した。

酸素消費量の測定は第1図に示す装置により、ウインクラ法を用いて行つた。鰓の繊毛運動は野村・富田法⁷⁾により、介殻運動はキモグラフに描画させることに^{1,2)}より夫々測定を行つた。実験方法の詳細は次の各実験の項で述べる。尙実験は1954年9月から11月に亘つて行つたものである。

実験並びに結果

(1) 酸素消費量 実験装置は第1図に示す様に1.2ℓ入りのガラス円筒容器を用い、底より

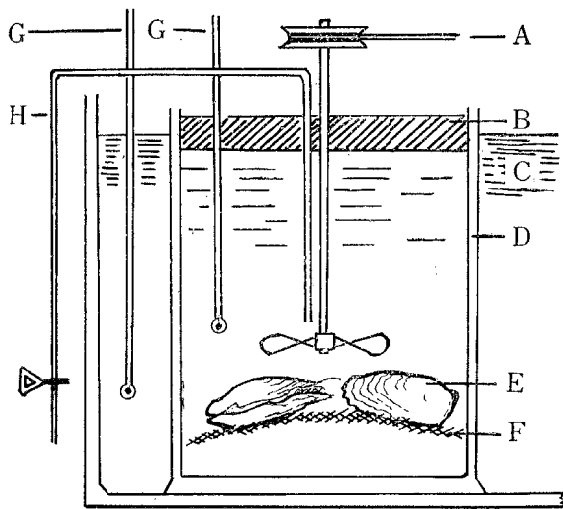


Fig. 1. Experimental apparatus used in measuring oxygen consumption of pearl oyster. A, stirrer B, liquid paraffin, C, water tank of constant temperature; D, respiratory chamber; E, pearl oyster; F, net; G, G', thermometer; H, Siphon for sampling water.

酸素消費量は温度によつて勿論異なるが、炭カルの粒子によつても影響を受け、粒子濃度が $\frac{1}{4}$ より増すと酸素消費量は低下を来し、更に濃度が $\frac{1}{4}$ より大きくなるに従い影響が著しくなることが認められた。尙10月27日に行つた実験に於いて酸素消費量が著しく少いことは、その時使用した介の解剖所見によれば鰓に多量の細泥が附着していたことから、15号颱風によつて飼育中のアコヤガイが、何か合理的悪条件下にあつたものと思われる。

次に工場から提出された検査物についての結果は第3表、第3図に示した。即ち5号炭カルでは濃度1に於いて酸素消費量は幾らかの低下を来した場合もあるが著しい影響は認められなかつた。然るに、8号、6号炭カルについては濃度1に於いて明らかに影響が認められ、特に6号では濃度が $\frac{1}{4}$ より増加するに従い直線的に酸素消費量は低下した。尙介体に附着した炭酸カルシウム粒子は以上の何れの場合も作用後30分~1時間には介体から分泌された粘液に纏絡して沈澱した。

(2) 鰓の繊毛運動 炭酸カルシウムの粒子によつて繊毛運動が蒙る機械的障害の程度を

2 cm の高さに張つた金網上にアコヤガイを2~3個置き、水面に流動パラフィンを2 cm の厚さに注加し空気と庶断した。実験液は絶えず攪拌を行い、作用させてから1時間後に於ける酸素消費量を測定し、それを体重10g、1時間当りの酸素消費量に換算してmg数で表わした。中性炭カルに就いて行つた実験結果は第2図に示した。

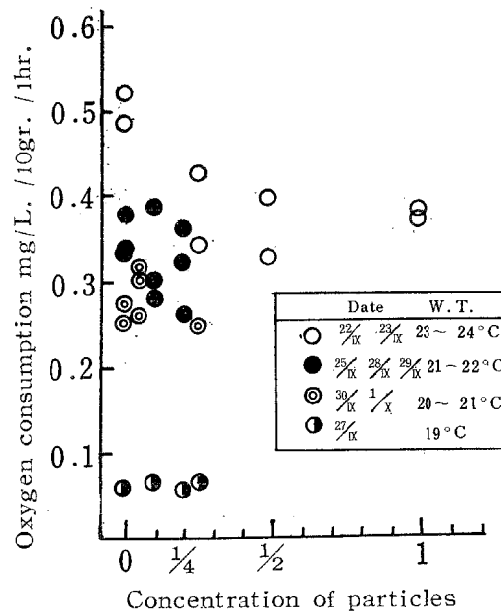


Fig. 2. Oxygen consumption of pearl oyster affected by sea water with floating particles of neutral calcium carbonate. (Concentration 1 shows rate of 1:15,000)

知るためにこの実験を行つた。摘出した鰓片を各々の濃度の実験液に入れ、15時間（又は24時間）後の速度を測定し、正常海水中の速度に対する百分率でその活力を表示した。中性炭カルによる試験結果では（第4表）、濃度が $\frac{1}{4}$ より増すに従い繊毛運動の速度が漸減した。その他の被検物について同様にして試験した結果（第4表）、5号炭カルでは濃度1に於いて速度が減少し、8号炭カルでは速度の減少は認められず、寧ろ促進される結果となつた。然るに6号炭カルでは濃度 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ で既に速度の著しい低下が認められ、特に濃度1、 $\frac{3}{4}$ では鰓片は萎縮し、繊毛運動による匍匐は全然行わなかつた。

尚、実験液を5~15時間静置して、浮游粒子を沈澱させた上澄液に就いて実験した結果は、第5表に示した様に、繊毛運動は殆んど影響を受けなかつた。

(3) 介殻の開閉運動 介殻の閉殻反応は有害な刺戟を避けるためだけではなく、一時に多量の水を排出することによつて積極的に刺戟物質を排除する目的を持つている。即ち洗滌運動を行うからこの閉殻運動によつて、浮游粒子が作用された場合の呼吸作用の異常を知ることが出来ると考えられるので此

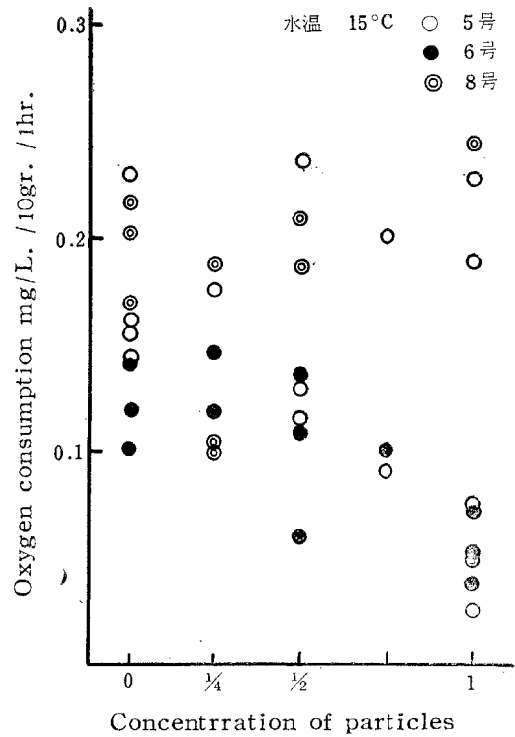


Fig. 3. Oxygen consumption of pearl oyster affected by sea water with floating particles of calcium carbonate prepared for examination. (Concentration 1 shows rate of 1:15,000.)

Table 3. Oxygen consumption of pearl oyster affected by floating particles of calcium carbonate.

	Exp. no.	Oxygen consumption mg/L. 10gr./hr.					Date
		Concentration (1 = CaCO ₃ 0.158gr./L.)					
		1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	Control	
Test no. 5	1.	0.075	—	0.116	0.175	0.161	20/XI
	2.	—	—	0.233	—	0.155	21/XI
	3.	0.188	0.200	0.129	—	0.144	21/XI
	4.	0.226	0.090	—	—	0.230	—
	5.	—	—	—	—	0.221	25/XI
Test no. 8	1.	0.243	—	0.235	0.104	0.216	17/XI
	2.	0.025	—	0.208	0.101	0.202	18/XI
	3.	0.051	—	0.186	0.187	0.169	18/XI
Test no. 6	1.	0.038	—	0.130	0.146	0.142	22/XI
	2.	0.071	0.097	0.059	—	0.119	23/XI
	3.	0.053	—	0.108	0.118	0.101	23/XI
	4.	—	—	—	—	0.114	24/XI
	5.	—	—	—	—	0.116	24/XI

Notes 1. Water temperature; 16~17°C

2. Control shows values of experiments in ordinary sea water.

Table 4. Relative speed of the ciliary movement of the gill of pearl oyster affected by floating particles of calcium carbonate.

Relative speed (%) at water temp. 18°C				
Concentration	Test no. 5	Test no. 8	Test no. 6	Neutral CaCO ₃
1	45.4	125.0	0	70.3
3/4	81.8	181.2	0	—
1/2	97.7	141.7	57.3	80.9
1/4	104.2	134.0	82.9	92.1
Control	115.9	113.6	118.9	109.0

Table 5. Effect of upper solution of experimental sea water on the ciliary movement of the gill of pearl oyster at various intervals.

	Speed in o. s. w. mm/min.	Speed in exp. s. w. mm/min.	Relative speed (%)
After 5 hrs.	I. 17.5	14.6	83.4
	II. 19.3	17.6	91.2
After 15 hrs.	I. 25.6	23.3	88.5
	II. 24.5	22.1	90.2

Notes; 1. o. s. w., ordinary sea water. 2. exp. s. w., experimental sea water.

の実験を行つた。実験方法は一方の介殻を歯科用のクイックセメントで石に固着させ、他殻を糸で貫杆に結び殻の開閉状態をキモグラフに描画した。実験は介殻運動の日週期変化を考慮して、毎日16—20時の間の略々一定の時刻に行い、実験液中の閉殻回数を正常海水中のそれに対する比で閉殻率を表示した。

結果は第6表に示す様に炭酸カルシウムの粒子の浮遊濃度が極めて大なる時は、介は閉殻

Table 6. Rate of shell movement of pearl oyster affected by floating particles of calcium carbonate.

Concentration	Rate of shell movement at water temp. 20°C			
	Test no. 5	Test no. 8	Test no. 6	Neutral Ca CO ₃
1	2.33	1.85	0.50	2.60
3/4	—	—	4.50	—
1/2	0.77	1.23	1.00	1.80
1/4	—	1.00	1.05	1.40
Control	1.00	1.25	1.75	—

Notes; 1. Rate of shell movement in Ordinary sea water = 1

2. Control shows the rate which is affected by filtrated experimental sea water.

状態をつづけるが、一般に粒子濃度の増加により閉殻の頻度が増大し、且つ第4図に認められる様に閉殻の期間が長くなり、両介殻の間隙が小さくなる。5号、8号炭カルでは濃度1/2以下の場合は正常の回数と著しい差異は認められなかつたが、濃度1では閉殻回数が顕著に増加した。6号炭カルでは濃度3/4、1で影響が表れて居り、殊に濃度1では固く殻を閉ち続けて時々開殻を突然行う様な状態が多かつた。実験の一例を第5図に示したが、此等の曲線の形態は GALTSOFF 等の牡蠣の場合に酷似している。尚、本実験では対照として被検液を濾過

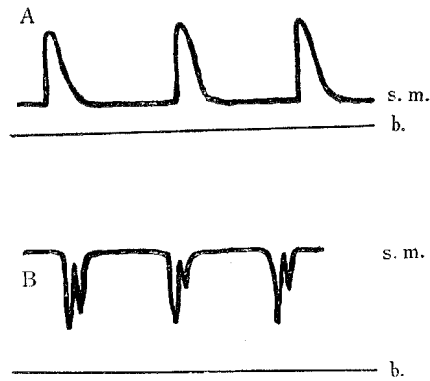


Fig. 4. Schema of open-close movement curve of the shell of pearl oyster. A and B show curves at ordinary sea water and experimental sea water respectively. s. m., curve of shell movement; b, base line. The writing pen is in the uppermost position when shells are closed.

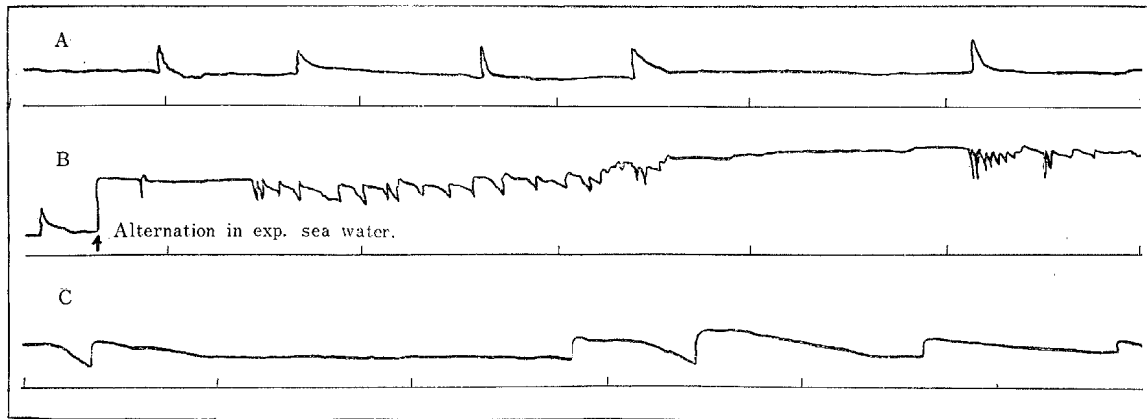


Fig. 5. Kymograph records showing the shell movement of the normal oyster and the oyster affected by sea water with floating particles of calcium carbonate at a concentration of 1:15,000. The base line is marked in 10 minute intervals. A, demonstrates normal activity of the oyster in ordinary sea water. B, shows the immediate response to the addition of experimental sea water, which is followed by extended periods of shell closure. C, presents tracings showing the shell movement in filtrated experimental sea water in which the oyster does not response as B. The writing pen is in the uppermost position when shells are closed.

し浮游炭酸カルシウム粒子を除いた海水を作用させたが、その場合の閉殻率は正常海水中のそれと異らなかつた。

(4) 濾過被検液が心臓搏動に及ぼす影響 前述の実験の様に浮遊粒子がアコヤガイに影響を与えるならば、これを濾過して粒子を除いた液を作用させた場合は正常の状態と変わらない筈である。それで実験2, 3に示した様に実験液を濾過して作用させると殆んど影響は認められないが此の点を更に確める為、摘出心臓に作用させた結果、第6図及び第7表に示した様に心臓のなす仕事量⁵⁾には変化は認められなかつた。即ち之等4種の被検物中には海水に溶解して心臓の活動を低下させる様な物質は存在しないと考えられる。

(5) 致死時間の測定 1.2ℓ 入りのガラス容器に各々の濃度の液を入れ、アコヤガイ2個宛収容し、温度を15~16°Cに保ち昼間は3時間、夜間は6時間毎に換水しながら致死時間を

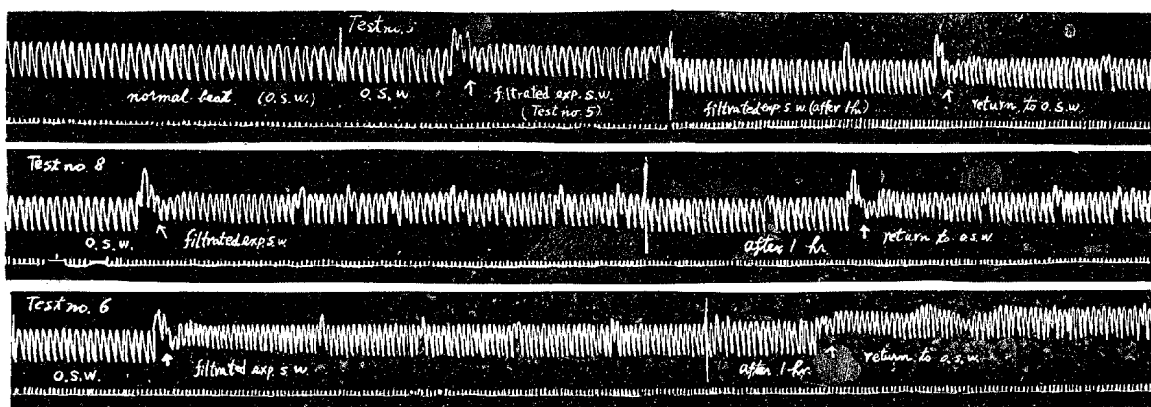


Fig. 6. Effects of filtrated experimental sea water on the heart beat of pearl oyster. It is not found to change the heart beat by alternation of the medium. Time in 6 sec. Water temp. 16°C.

Table 7. Effect of filtrate of experimental sea water on the heart beat of pearl oyster. Water temperature 16°C.

	Heart activity							
	Ordinary sea water		Exp. sea water, immediately afterwards			Exp. sea water, after 1 hr.		
	Freq.	Ampli.	Freq.	Ampli.	Relative work (%)	Freq.	Ampli.	Relative work (%)
Test no. 5	6.1	10.0	6.4	10.2	107.1	6.2	9.4	95.6
Test no. 8	5.9	9.6	6.0	8.9	94.3	6.3	9.1	101.2
Test no. 6	6.5	0.9	6.7	8.9	102.9	7.5	9.7	125.7

Notes; 1. Freq., Number of heart beat per minute.

2. Ampli., Amplitude of contraction (mm).

3. Relative work was compared with the work in ordinary sea water before experiment.

測つた。攪拌は実験の都合により8号炭カルのみについて行つた(第8表)。而して5号炭カルについては濃度 $\frac{1}{2}$, 1では日数の経過につれて8日目頃から外套膜, 鰓の機械的刺戟に対して閉殻反応は少々鈍つたものの, 本実験の期間内には死に致らなかつた。之に対して8号炭カ

Table 8. Time in days required to cause death during 2 weeks. Water temperature 16°C.

Concentration	Test no. 5	Test no. 8	Test no. 6	Neutral CaCO_3
1	0	14.0	4.5	0
$\frac{1}{2}$	0	9.0	3.5	0
$\frac{1}{4}$	0	0	8.0	0
Control	0	0	0	0

Note; Control stands for ordinary sea water.

ルでは濃度 $\frac{1}{2}$, 1で死ぬものがあつた。6号炭カルでは影響著しく2日目頃から介の活動力鈍り, 3日目頃から斃死が見られた。一方対照の正常海水中のものは全然斃死が見られず, 実験期間中活動力は活潑であつた。

考 察

海水中に浮遊している炭酸カルシウムの粒子がアコヤガイの呼吸作用に及ぼす影響を、介体の酸素消費量、鰓の繊毛運動、介殻運動などを指標として調べ、明らかに影響があることを見出した。此等の指標は最近、A. COLLIER¹⁾、P. S. GALTISOFF²⁾等により牡蠣の生理学的活力表示に有意義であるとされ、而して繊毛運動は短時間の、介殻運動は長時間の活力記録に用いられている。従つて本実験結果は浮遊粒子の影響を受けたアコヤガイの生活力を考察するにあつて一つの基礎を与えるものと思う。

5号、8号炭カルは濃度 $\frac{1}{2}$ 以上に於いて、アコヤガイの活力に対して有害に作用する様で、6号炭カルでは $\frac{1}{4}$ の低濃度で既に影響を及ぼしている。この事は第2表に示す様に5号、8号炭カルはSiO₂及び岩石粉末が多く、又粒子の直径*も大きいから粒子の沈降速度が速いことに基因していると思われる。それに対して6号炭カルは粒子の水中に於ける浮遊時間が長く、且つ海水と混合して膠質状態となるため、呼吸水として殻の中に入る機会が多く、従つて鰓の繊毛に纏絡して、その運動を阻害し、呼吸の異常を惹起し、遂には窒息せしめると考えられる。浮遊物も濃度の低い時は介殻の開閉運動に依る洗滌作用でこの障害を防禦出来るが、濃度が増大すれば介殻を閉ぢ続けるので酸素消費量の低下を来たし、窒息に陥る事、或は又、閉殻筋の疲労により両殻の間隙の拡大のため却つて鰓の汚染が増大する事(P. S. GALTISOFF '47)などによつて生理的障害が生じることが推察される。そしてこの障害に基く呼吸作用の異常が長時間に亘り累積されると、各器官別について行つた短時間の測定では影響の出ない程低い濃度でも死に致ると考えられる(第8表)。

森('48)によればアコヤガイは可成りの低圧酸素張力の海水中でも酸素消費量に異常はないので、本実験の容器内の被検液中にはアコヤガイが呼吸するのに尙充分な酸素張力は存在していたと考えられるから、実験1に示す酸素消費量の低下は海水中の酸素張力の低下に基くものではない。

更に5、6号炭カル中にはOH⁻が多いので(第2表)斃死の原因としてpHの影響も考えられるが、調整された実験液のpHの範囲内(pH 8.7—8.3)では繊毛運動速度は寧ろ促進されねばならない(小林・松井, 53)⁴⁾。然るに第4表に示す様に著しく減少していることは、やはり斃死の原因としてOH⁻の増加ではなく浮遊粒子の影響以外には考えられない。

更に介殻の開閉運動に就いて6号炭カルでは、濃度 $\frac{1}{2}$ では著しく開殻回数が増加しているのに対し、濃度1では寧ろ開殻回数が減少し、閉殻の時間が長くなつている。このことは濃度1が介にとつて好ましくない条件である為に、鰓に対する斯様な刺戟を極めて避けている様に考えられる。そして、一般に濃度 $\frac{1}{2}$ の致死時間が濃度1のそれより短いことは、濃度 $\frac{1}{2}$ の方が開殻回数が多いから鰓の汚染、破損が著しい為に、閉殻による呼吸困難よりも、やはり鰓の機械的障害による影響の方が大きくなると考えられる。

又被検液を濾過して摘出心臓に作用させた結果、何れも搏動の停止を起したり、或はその仕事量の低下を生じたりしないから(第6図, 第7表)、アコヤガイの心臓機能については生活機能に影響を及ぼす物質は被検物中に存在していないだろうと考えられる。尙又、別の機会に詳しく述べるが、致死実験で斃死した介の鰓の組織所見では、正常のものと較べて鰓絲の破壊、切断が著しく観察され、鰓の機械的障害が一層よく理解された。

* 直接ミクロメーターでは測れなかつたので顕微鏡写真により観察した。

以上の実験は夫々の結果に於いて多少の相異はあるが、何れも介の重要生活機能である呼吸作用に影響を及ぼしていることは明白である。又本実験はすべて水温 15~20°C の範囲で行つたが、温度の上昇は更に低濃度で影響を及ぼすと思われる。更に本実験では材料、検査物の都合で十分な実験例がとれなかつた事は残念であるが、此の様な呼吸作用の異常は長時間に亘れば、その悪影響の蓄積により死の誘因となる可能性は充分推察される。

最近、異常発生したヒトデの駆除に消石灰の撒布が有効な事実に対して内田等 ('55)⁹⁾ は、石灰粒子がヒトデの鰓に与える物理的障害によるとして居るが、これは著者の説を裏付けるものと思う。

摘 要

(1) 工場排水中に含まれる炭酸カルシウムの浮游粒子がアコヤガイの呼吸作用に及ぼす影響を、介体の酸素消費量、鰓の繊毛運動、介殻の開閉運動、其の他から追求し、併せて介の致死時間を測定した。

(2) 炭酸カルシウムの浮游粒子は明らかに介の酸素消費量を低下させ、特に 6 号炭カルでは濃度 $\frac{1}{4}$ (6 万分の 1) より著しく低下した。

(3) 鰓の繊毛運動は 5 号炭カルでは濃度 1 に於いて、6 号炭カルでは濃度 $\frac{1}{4}$ 以上に於いて停止した (第 4 表, 第 5 表)。

(4) 介殻の開閉運動は 5 号, 8 号炭カルでは濃度 1 に於いて著しく閉殻率が増大したが 6 号炭カルでは濃度 $\frac{1}{4}$ 以上で影響が現われ、殊に濃度 1 では著しい刺戟を受けた為か、却つて閉殻率が減少した。

(5) 致死時間は 6 号炭カルの場合、濃度 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ で夫々平均 3.5, 4.5, 8 日であつた。8 号炭カルの場合、濃度 1, $\frac{1}{2}$ で夫々 14, 9 日であつた。他の濃度及び 5 号炭カル並びに対照のものでは本実験の期間内 (14 日) では健全であつた。

(6) 各炭カルの浮游粒子を濾過した液は、摘出心臓の搏動に影響を及ぼさなかつた。

(7) 以上の実験結果から、浮游炭酸カルシウムの粒子はアコヤガイの鰓に機械的障害を与え、呼吸作用を著しく害し、死に致らせる可能性があると考えられる。

擱筆するに当り、本研究を援助下され、且つ本文の御校閲を頂いた日本真珠研究所々長松井佳一博士に深謝する。更に、本実験に助力された宗森寛、坂根宏の両氏に、又アコヤガイの使用を許可された山口県外海水産試験場長市村要氏に対し厚く御礼申し上げる。

文 献

- 1) COLLIER, A., S. M. RAY, A. W. MACNITZKY and J. O. BELL : 1953. Effects of dissolved organic substances on oysters, Fishery Bulletin, **84**, 167~185.
- 2) GALTSOFF, P. S., W. A. CHIPMAN, J. B. ENGLE and H. N. CALDERWOOD : 1947. Ecological and physiological studies of the effect of sulfate pulp mill wastes on oysters in the York River, Virginia, Fishery Bulletin, **43**, 59~186.
- 3) 倉茂英次郎 : 1942. 海水中の浮游土に対する朝鮮産アサリの抵抗性, 水産学会報, **9** (1), 23~35.
- 4) 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，農林省水講研報，**3** (2)，123～131.
- 5) 小林 博：1955. 全上 (2) 心臓の博動に就いて，農林省水講研報，**4** (1)，95～110.
 - 6) 森 主一：1948. 低圧 O_2 海水中のアコヤガイの呼吸，貝類学雑誌，**15** (1～4)，52～54.
 - 7) NOMURA, S. and G. TOMITA: 1933. A simple method of measuring the mechanical activity of cilia, Jour. Shanghai Sci. Inst., Sec. IV, **1** (1), 29～39.
 - 8) 高概俊一：1942. 貝の生活，河出書房.
 - 9) 内田一三・菅原兼男・海老原天生他：1955. ヒトデ駆除剤としての消石灰の効果について，日本水産学会講演要旨.