

アコヤガイのろ水量の直接測定法

山元 憲一*¹・安達 智*¹・河邊 博*²Direct Method of Measuring the Filtration Volume in the Pearl-oyster,
*Pinctata fucata martensi*Ken-ichi Yamamoto*¹, Satoru Adachi*¹, and Hiroshi Koube*²

An experimental system for the direct measurement of filtration volume in the pearl-oyster, *Pinctata fucata martensi*, was devised. The system is able to measure continuously and directly the filtration volume with the electromagnetic flowmeter, and the dissolved oxygen concentration of the expired water from the pallial cavity with the oxygen content analyzer. The inspired and expired waters are separated by a piece of gum film spread over the shell valves between the hinge and the pallial fold. Preliminary tests on the filtration volume, oxygen consumption and oxygen utilization with the increase of water temperature indicated that the system was effective to study the respiration of the pearl-oyster.

1 緒言

二枚貝のろ水量を測定する方法としては、微細粒子を懸濁させ、これが鰓で捕捉される速さから測定する間接法と、ろ水量を直接測定する直接法とがある。これらの方法は、多くの場合、捕食量を推定するための研究に適用されている。呼吸機能を調べる場合には、間接法は懸濁した微細粒子の貝への直接的な影響やプランクトンを微細粒子として用いた場合にはその酸素摂取による影響などを考慮する必要があるため、直説法を利用する必要性が起ってくる。直説法としては、マガキ *Crassostrea gigas* ではろ過した水を呼出する部分の殻に円筒形のゴムの筒を被せる方法¹⁾が、アコヤガイ *Pinctata fucata martensi* では同部分の殻に扁平したガラス管を挟む方法^{2,3)}が考案されている。しかし、これらの方法では同時に酸素消費量や酸素利用率

などを調べるようには工夫されていない。また、いずれの方法でもろ過された水を貝が収容されている水槽から外へ管で導き、その水槽と同じ水面の高さから滴下させてろ水量を測定している。この場合、水の表面張力の作用を考慮して滴下させる管の先端の高さを調節する必要がある。

そこで、著者らは、電磁血流計を利用することによってそのような煩雑な調節を必要とせずアコヤガイのろ水量を直接測定し、これと同時に酸素消費量および酸素利用率を調べる事が可能な実験装置を考案したので紹介する。合わせて、その装置を適用してアコヤガイのろ水量、酸素消費量および酸素利用率に及ぼす水温上昇の影響について調べ、同装置の機能を検討したので報告する。

水産大学校研究業績 第1539号, 1995年12月5日受付。

Contribution from National Fisheries University, No. 1539. Received Dec, 5, 1995.

*1 水産大学校増殖学科資源学講座 (Laboratory of Fisheries Resources, Department of Biology and Aquaculture, National Fisheries University) .

*2 熊本県水産研究センター (Kumamoto Prefectural Fisheries Research Center)

2 実験装置

実験装置の概略を Fig. 1 に、またその写真を Fig. 2 および Fig. 3 に示した。これらは電磁血流量計でろ水量を、DOメーターでろ過された水の酸素含量を連続測定し、記録する装置の図である。

海水は化学繊維を入れたろ過槽を通過させたのち、水温調節用の水槽（クーリングポンプ、CI401BF、タイテック製）で所定の水温に調節し、揚水ポンプ（CP60H、日立製）で曝気用の筒（内径8 cm、長さ100 cm）へ導いて空気で十分曝気した。呼吸箱へは、同筒の底の部分から1,500 ml/min 注水した。余剰水は、同筒の上から呼吸箱を設置した水槽へ1,500 ml/min 注水し、最後には呼吸箱を設置した水槽の排水口から流し捨てた（Fig. 1）。

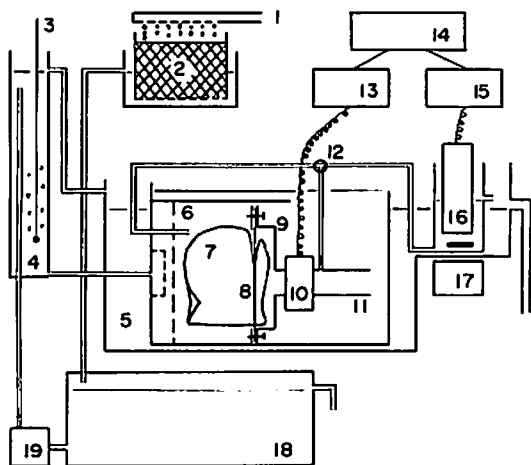


Fig. 1. Diagram of the experimental system used for the direct measurement of filtration volume in the pearl-oyster, *Pinctata fucata martensi*. 1: supply of sea water, 2: filter of chemical fiber, 3: aeration, 4: column for saturating the sea water with oxygen, 5: water bath, 6: respiration chamber, 7: pearl-oyster, 8: thin gum film, 9: chamber for catching the water filtrated by the pearl-oyster, 10: probe of electromagnetic flowmeter, 11: column for flowing out the filtrated water, 12: three way cock, 13: electromagnetic flowmeter, 14: recorder, 15: oxygen content analyzer, 16: electrode of oxygen content analyzer, 17: starrer, 18: water bath for regulating the each temperature, 19: lift pump.

呼吸箱は、長さ30 cm、幅10.5 cm、高さ15 cm、内容量4,725 mlで、入水口から1.5 cmのところから2.5 cm 間隔に穴を開けた板を張り、これによって流入した水が同箱内を均等に分散して排水側へ流れるようにした。入水側から8 cmのところから貝がろ過した水を受けるための箱を設置し、入水側から13 cmのところまでは蓋で覆った（Fig. 1, 2）。また、呼吸箱の入水側の面には、内径0.3 cm、長さ26 cmのビニールチューブを取り付け、その他端は三方コックを介してDOメーター（UC-100 m、セントラル化学製）の電極を設置した筒（内径3.2 cm、長さ10 cm）に接続した（Fig. 1, 2）。

貝がろ過した水を受けるための箱は、長さ2.5 cm、幅3 cm、高さ8 cm、内容量60 mlの大きさで、片方の面にはゴムの薄膜を張り、もう一方の中央付近には内径1.4 cm、長さ1 cmの筒を取り付けた（Fig. 3のA）。その筒に電磁血流量計のプロープ（内径0.4 cm、0.2 l/min 測定用、Model FF-040T、日本光電製）を接続し、さらに同プロープを内径1.4 cm、長さ6 cmの筒に接続した（Fig. 3のB）。この6 cmの筒には、プロープ寄りのところに内径0.3 cm、長さ26 cmのビニールチューブを取り付け（Fig. 3のB）、その他端は三方コックを介してDOメーターの電極を設置した筒に接続した（Fig. 1）。この6 cmの筒は、貝でろ過された水を周囲の水と混合させずにDOメーターの電極へ導くためのものである。ビニールチューブ内の流量はアコヤガイの通常のろ水量（50 ml/min 以上）を上回らないように10 ml/min とした。

ゴムの薄膜は、手術用の手袋（Triflex、Travenol Laboratories INC製）を、アコヤガイの大きさに合わせて、長さ4.0 cm、幅0.2 cmに切り抜き、さらに殻の外殻皺⁴⁾の部分に当たる方は直径0.5 cmに丸く切り抜き、貝がろ過した水を受けるための箱に長さ4.5 cm、幅0.4 cmになるように伸ばして設置した（Fig. 3のA）。同薄膜によってアコヤガイの入水側と出水側とが確実に仕切られていることは、殻を開いてろ過を行っている状態で、エバンスブルーの水溶液を流して確認した。

呼吸箱を設置した水槽は、長さ45 cm、幅18 cm、高さ12 cmの部分と長さ45 cm、幅8 cm、高さ7 cmの部分とからなり、後者にはDOメーターの電極を設置した筒を置き、その下にスターラー（SR50、タイテック製）を設置した（Fig. 1, 2）。同水槽の内容量は11,520 mlとした。

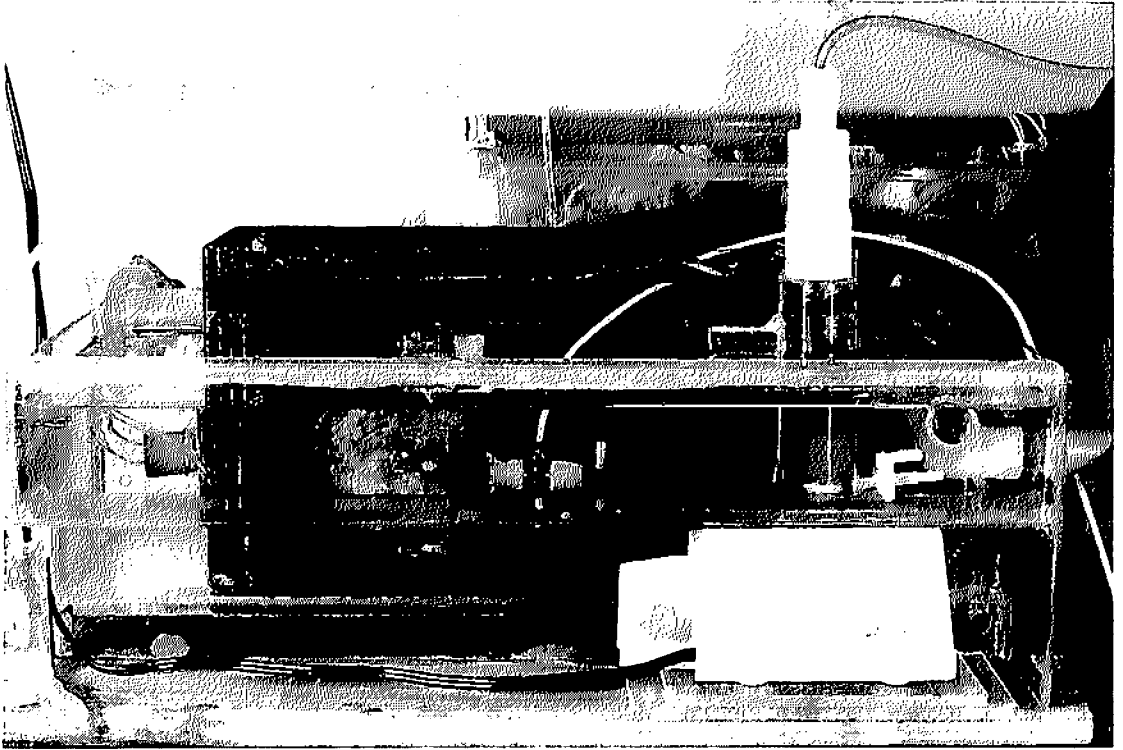


Fig. 2. Photo of the experimental system.

3 適用例

3.1 材料および方法

材料には熊本県の養殖場より購入したアコヤガイ 5 個体（殻長 73.4 ± 1.9 mm, 殻高 75.9 ± 2.2 mm, 殻幅 23.8 ± 1.9 mm, 殻付きの湿重量 45.0 ± 3.6 g, 肉質部の湿重量は 7.88 ± 0.63 g) (M \pm SD, 以下同様に表す) を用いた。アコヤガイは、殻の付着物をきれいに取り除き、手術を施したのち、水産大学のコンクリート水槽 (50 トン) で 2 か月以上飼育した。餌は朝夕の 2 回、同水槽の側面および底面に付着した生物を帚で擦り落とし、懸濁させて与えた。手術は、鉗を用いて殻の外殻破綻⁴⁾の部分に深さ 13.7 ± 2.2 mm の V 字型に切り込みを入れた (Fig. 3 の C)。なお、実験の時までには、その切り込みの部分に薄い殻が再生されていたので、それを取り除き、殻の付着物をきれいに取り除いて実験に供した。

測定は、供試個体を 1 昼夜絶食させて呼吸箱に設置し、15 時間経過した後、開始した。水温は飼育していた水温 20.0°C から 30 分毎に 1°C ずつ 34.0°C まで上昇させた。

ろ水量は、電磁血流計のプロープを静止した海水中に浸し、ゼロ調節をして所定の位置 (Fig. 1 の 9) に設置した後、連続測定した。個体当たりの毎分ろ水量 (V_g , ml/min/individual) は、各段階への水温上昇開始から 20 分後より 10 分間の平均値とし、単位体重当たりの毎分ろ水量はその平均値を体重で割った値とした。ただし、これらのろ水量の計算からは、殻の開閉運動に伴った一時的なろ水量の大きな増減変化を除外した。体重は、測定が完了した後、計測した殻付きの湿重量とした。殻を取り除き、ろ紙で水分を除去して、肉質部の湿重量も同時に計測した。

貝への吸入水の酸素含量 (C_{i, O_2} , ml/l) は、各段階の水温に設定が完了した時 (水温上昇開始から 5 分後) に DO メーターで測定した。つぎに三方コック (Fig. 1 の 12) を切り替えて、貝からの呼出水の酸素含量を連続測定した。ただし、貝からの呼出水の酸素含量 (C_{e, O_2} , ml/l) は、

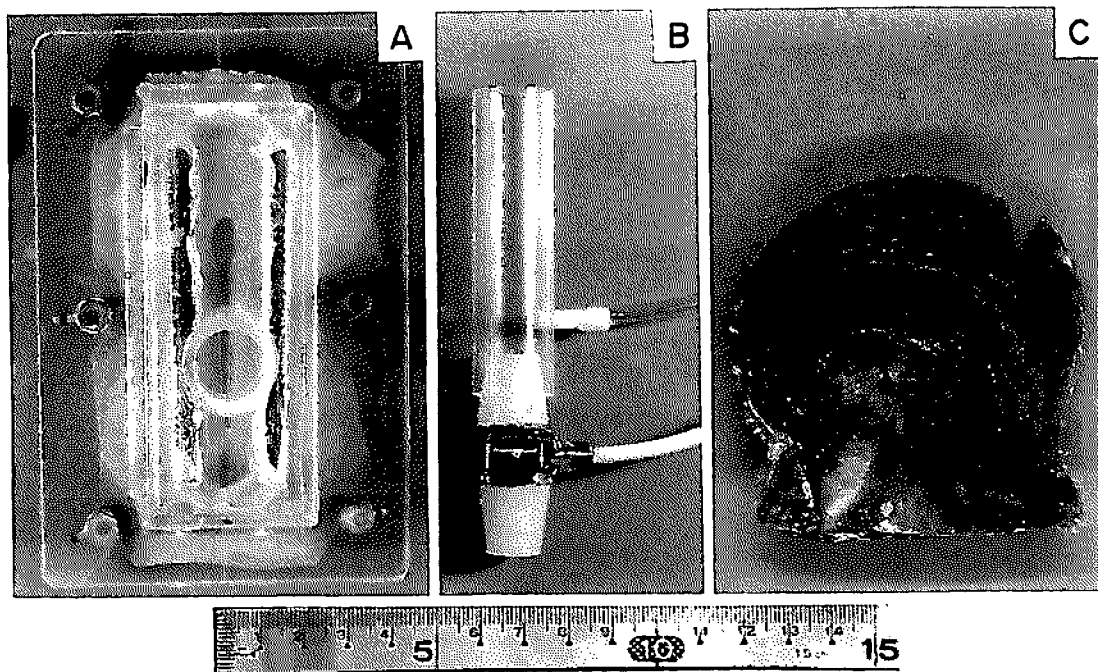


Fig. 3. Box (3×2.5×83cm, 60ml in volume) for collecting the water filtrated by the pearl-oyster (A), probe of electromagnetic flowmeter (0.4cm in inside diameter, for 0.2 l /min in flow rate, Model FF-040T, Nihon Kohden) and column (1.4cm in inside diameter, 6cm in length) for flowing out the filtrated water (B), and pearl-oyster made a notch of about 1.5cm on the shell valves at the pallial fold (C).

各段階への水温上昇開始から20分後より10分間の平均値とした。

酸素利用率 (U, %) は $U=100 \cdot (C_{i,O_2}-C_{e,O_2})/C_{i,O_2}$ から計算した。個体当たりの酸素消費量 (\dot{V}_{O_2} , ml/min/individual) は $\dot{V}_{O_2}=(C_{i,O_2}-C_{e,O_2}) \cdot Vg/1000$ から計算し、単位体重当たりおよび肉質部の単位湿重量当たりの酸素消費量はそれぞれ個体当たりの酸素消費量を体重および肉質部の湿重量で割って求めた。

殻の開閉運動の回数は、それに伴った一時的なろ水量の大きな増減変化を、各段階への水温上昇開始から20分後より10分間数えて求めた。

3.2 結果

ろ水量の記録の代表例を Fig.4 に示した。図中の一時的に大きなろ水量の増減変化は殻の開閉運動と一致した変動である。ろ水量は、20℃で個体当たり 45 ± 5 ml/min/individual (体重当たり 992 ± 111 ml/min/kg) であったが、水温の上昇に伴って増加して24℃で個体当たり $58 \pm$

3 ml/min/individual (体重当たり 1283 ± 75 ml/min/kg) となり、この大きな値を28℃まではほぼ維持し、さらに水温が上昇すると減少した (Fig.5)。

酸素消費量は、20℃で体重当たり 0.126 ± 0.036 ml/min/kg (肉質部の湿重量当たり 0.72 ± 0.21 ml/min/kg) を示し、やはり水温の上昇に伴って増加して30℃で体重当たり 0.365 ± 0.093 ml/min/kg (肉質部の湿重量当たり 2.08 ± 0.53 ml/min/kg) となり、この大きな値を34℃まではほぼ維持した (Fig.6)。

酸素利用率は、20℃で $2.4 \pm 0.9\%$ を示し、水温の上昇に伴って増加して34℃で $13.3 \pm 3.5\%$ を示した (Fig.7)。

殻の開閉運動の回数は、20℃で 0.8 ± 0.7 times/10min を示し、水温が上昇しても27℃まではほぼその値が続き、さらに水温が上昇すると増加した (Fig.8)。殻の開閉運動に伴う一時的なろ水量の大きな増減変化の幅は、27℃まではほぼ同じであったが、28℃以上に上昇すると殻の開閉運動の回数の増加に伴って徐々に小さくなった (Fig.4)。

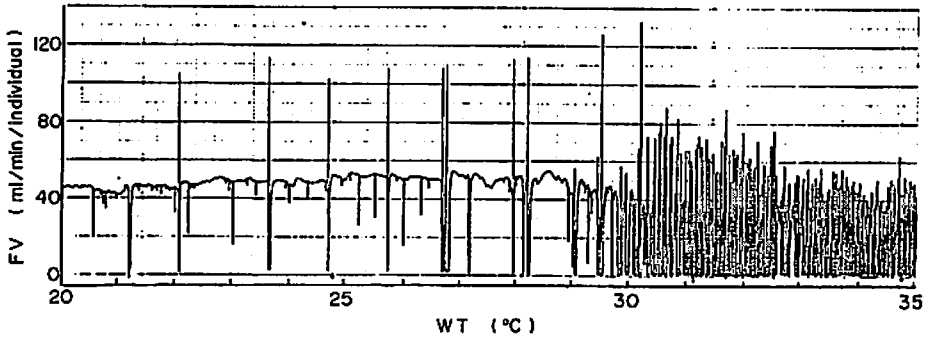


Fig. 4. The typical record in change of filtration volume (FV) with the increase of water temperature (WT) in the pearl-oyster, *Pinctata fucata martensi*. Water temperature was increased at intervals of 30min.

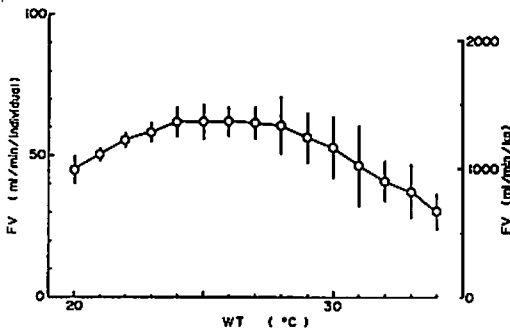


Fig. 5. Change of filtration volume (FV) with the increase of water temperature (WT) in the pearl-oyster, *Pinctata fucata martensi*. Water temperature was increased at intervals of 30min.

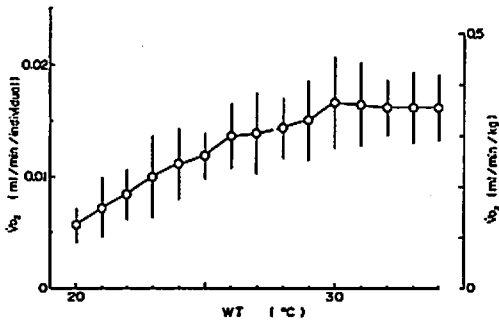


Fig. 6. Change of oxygen consumption ($\dot{V}O_2$) with the increase of water temperature (WT) in the pearl-oyster, *Pinctata fucata martensi*. Water temperature was increased at intervals of 30min.

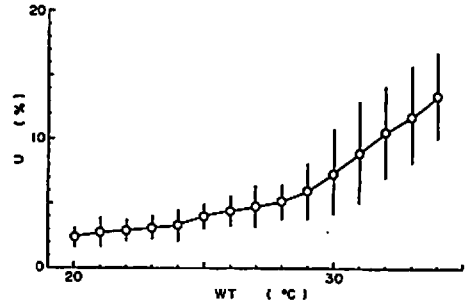


Fig. 7. Change of oxygen utilization (U) with the increase of water temperature (WT) in the pearl-oyster, *Pinctata fucata martensi*. Water temperature was increased at intervals of 30min.

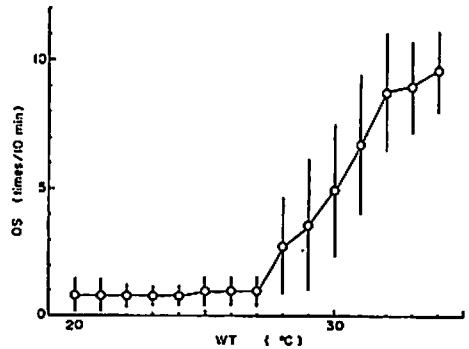


Fig. 8. Change of times of the open and shut movement of shells per 10min (OS) with the increase of the water temperature (WT) in the pearl-oyster, *Pinctata fucata martensi*. Water temperature was increased at intervals of 30min.

4 考察

アコヤガイのろ水量は、間接法の結果では、21℃で個体当たり3.410 l/h/individual²⁾、18~28℃で個体当たり7.0 (最小1.0, 最大14.7) l/h/individual⁵⁾ および20℃で個体当たり100 l/day/individual⁶⁾、直接法の結果では19~28℃で個体当たり3.909 l/h/individual²⁾ および20℃で3.235 l/h/individual³⁾ であると報告されている。これらの値はそれぞれ個体当たり57, 116 (17, 245), 69, 65, 54 ml/min/individual に相当する。それらの実験とほぼ同じ殻高の個体を用いて行った本研究での結果は、それらとほぼ同じろ水量 (個体当たり45 ml/min/individual) を示した。また、アコヤガイのろ水量は水温が上昇すると増加して、水温24~27℃³⁾ および25~28℃⁶⁾ で最大となることが報告されている。本研究での結果もそれらとほぼ同じ水温 (24~28℃) で最大を示した。

アコヤガイの殻の開閉運動は25℃以上で増加し、殻の開閉の振幅は2/3に小さくなることが報告されている⁷⁾。本研究の結果では、殻の開閉運動はそれよりも少し高い28℃以上で増加した (Fig.4, 8) が、振幅 (本研究では殻の開閉に伴うろ水量の一時的な変化幅) は、殻の開閉運動の増加に伴って小さくなった (Fig.8)。

アコヤガイの酸素消費量は、19~20.2℃で肉湿重量当たり0.02~0.07 ml/h/g⁸⁾ および21℃で肉湿重量当たり0.0586 ml/h/g⁹⁾ であると報告されている。これらの値はそれぞれ0.33~1.17, 0.98 ml/min/kg に相当する。本研究での結果は、それらとほぼ同じ値 (肉湿重量当たり0.72 ml/min/kg) を示した。

アコヤガイの酸素利用率についての報告は見あたらないが、他の二枚貝類の鰓での酸素利用率は *Mya arenaria* では3~10%¹⁰⁾、*Pecten irradians* では2.5~6.8%¹¹⁾、*Cardium tuberculatum* では6~10%¹²⁾、*Solen siliqua* では3~8%¹²⁾ および *Modiolus demissus* では7~8%¹³⁾ と著しく低い値が報告されている。本報告ではそれらと同様に著しく低い値 (2.4%) を示した。

以上のことから、本研究の方法によってろ水量、酸素消費量、殻の開閉運動および酸素利用率は、同時にしかも連続して、これまでに報告されているのと同程度の精度で測定されていると考えられる。また、現在までに紹介されているろ水量の直接測定法と比較して、ろ過された水を排水

させる部分の高さを正確に調節するといった煩雑な操作を必要とせず、殻の一部に切れ込みを入れて実験装置に貝を簡単に装着するだけで前記の項目を同時に調べることが可能である。また、本装置は、貝がろ過した水を受ける箱の形およびゴムの薄膜を切り抜く形を貝の形に合わせて改良すれば、アコヤガイだけでなく他の二枚貝類の水管を持たない種類への適用が広く可能であると考えられる。

5 要約

アコヤガイのろ水量を直接測定する装置を考案した。同装置は、殻の外殻殻蓋の部分に施した切り込みの部分と蝶番の部分との間にゴムの薄膜を張って外套腔への吸入とそれからの呼出される水を完全に仕切り、外套腔から呼出される水の量 (ろ水量) を電磁血流計で、同水の溶存酸素量を DO メーターで連続測定することを可能にしたものである。同装置を用いて、水温上昇に伴うろ水量、酸素消費量および酸素利用率の変化を調べ、同装置がアコヤガイの呼吸に関する研究に十分使用可能であることを明らかにした。

文献

- 1) Galtsoff, P. S.: *Fish. Bull. Fish Wildlife Ser.*, **64**, 1-480(1964).
- 2) 辻井植・大西侯彦: 国立真珠研報,**3**, 194-200 (1957).
- 3) 宮内徹夫: 水産増殖,**10**, 7-13 (1962).
- 4) 椎野季雄: あこやがい (真珠貝) 解剖図, 三重県水産試験場, 三重 (1952).
- 5) 佐藤忠勇・松本三郎・堀口吉重・辻井植: 日本誌,**30**, 717-722 (1964).
- 6) 沼口勝之: 水産増殖,**42**, 1-6 (1994).
- 7) 沢野英志郎: 水産研究会報,**3**, 48-57 (1950).
- 8) 森主一: 貝類学雑誌,**15**, 46-51 (1948).
- 9) 植本東彦: 国立真珠研報,**13**, 1617-1623 (1968).
- 10) Van Dam, L.: *J. exp. Biol.*, **12**, 86-94 (1935).
- 11) Van Dam, L.: *Biol. Bull.*, **107**, 192-202 (1954).
- 12) Hazelhof, E. H.: *Z. vergl. Physiol.*, **26**, 306-327 (1939).
- 13) Booth, C. E. and C. P. Mangum: *Physiol. Zool.*, **51**, 17-32 (1978).