

## マガキの鰓換水に及ぼす水温の影響

山元憲一<sup>†</sup>, 半田岳志<sup>1</sup>

### Effect of Water Temperature on Ventilation in the Pacific Oyster *Crassostrea gigas*

Ken-ichi Yamamoto<sup>†</sup> and Takeshi Handa

**Abstract :** The effect of water temperature on the ventilation in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* was examined by the direct measurement method of ventilation volume. The water temperature was elevated 3°C every hour. The ventilation volume increased from 1.32 l/min/kg at 20°C to 2.35 l/min/kg at 26°C with the rise in the water temperature, and then decreased to 0 l/min/kg at 37°C. The moving speed of vinyl film put on the gill surface (activity of ciliary movement) increased from 31.3 mm/min at 20°C to 56.3 mm/min at 35°C, and then decreased to 0 mm/min at 41°C. These results reveal that the Pacific oyster would increase the preying quantity by the increase of the ventilation volume with the rise in the water temperature.

**Key words :** Pacific oyster ; Ciliary movement ; Ventilation volume ; Water temperature

#### 緒 言

自然界において水域の浮遊懸濁物を除去し、浄化することに最も寄与している一つに、二枚貝の濾過が考えられている。二枚貝の濾過は、鰓の繊毛運動で水流を起こし、入水口から水を外套腔内に取り入れて鰓弁間を換水させて行っている<sup>1-5</sup>。その換水量は、鰓の繊毛運動で起こした水流を、外套膜の開閉によって入水口と出水口の開く大きさを变化させて調節している<sup>4,6-9</sup>。この時、濾過水中の懸濁物のうち直径5 μm以上のものは全て各鰓弁の鰓糸間に篩状に密生している触毛で捕捉し、5 μmよりも小さいものも出来るだけ多くを鰓糸の表皮から分泌される粘液に絡めて捕捉していることが知られている<sup>10</sup>。鰓糸で捕捉された懸濁物は、鰓糸表面の繊毛で唇弁に集められ、食道を経由して胃へ運ばれ、胃および中腸腺で消化され、未消化なものは腸を経て肛門から体外に排泄されている。懸濁物の鰓糸から肛門までの輸送は、全て各部位の表皮を覆っている繊毛の運動で行われている。濾過する能力は水温、塩分

濃度、酸素濃度などの環境要因の変化によって大きく影響を受けていると考えられる。

そこで、マガキ *Crassostrea gigas* が懸濁物を濾過している量を推測するためには、濾過する能力を把握し、これに及ぼす環境要因（塩分濃度、水温、酸素濃度など）の影響を調べておく必要がある。このような濾過する能力は鰓を通過させる水量（換水量）を調べることによって明らかにすることが可能である。本研究では、アコヤガイ<sup>11</sup> およびリシケタイラギ<sup>12</sup> で用いられている換水量を直接測定し、連続記録する方法を応用して、水温の変化がマガキの換水に及ぼす影響を調べた。

#### 材料および方法

実験には、広島県の養殖場から購入した殻長 $53.3 \pm 6.0$  mm（平均値 $\pm$ 標準偏差、以降、同様に表す）、殻高 $97.5 \pm 11.3$  mm、殻幅 $32.1 \pm 5.0$  mm、体重 $64.2 \pm 13.8$  gのマガキ80個体を用いた。貝は、入手後屋内に設置したFRP水槽（長さ

2011年7月15日受付。 Received July 15, 2011.

水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University)

<sup>†</sup>別刷り請求先 (corresponding author) : yamagenk@fish-u.ac.jp

住所 : 〒759-6595 下関市永田本町2-7-1 (2-7-1 Nagata-honmachi, Shimonoseki 759-6595)

170cm, 幅78cm, 深さ40cm) に浮かべた籠 (46x32x16cm) に入れて, 実験開始時の水温および実験時の塩分濃度 (35psu) で1か月以上予備飼育した。塩分濃度は塩分計 (UC-78, セントラル科学) で毎日測定した。同水槽への生海水は注入量を50l/minとし, 500lパナライト水槽で餌と混合した後注入した。餌は野外の5ton水槽2個で培養した植物プランクトンを前記の注入水中に連続投与 (0.4l/min) した。なお, 同プランクトンの優占種は *Pyramimonas* sp. であった。

実験は, 鰓換水量の直接測定法<sup>11,12)</sup> をマガキでの測定用に工夫して (Fig. 1), 換水量および鰓の繊毛運動に及ぼす水温上昇の影響についてそれぞれ20例ずつ, 水温を20℃から1時間毎に3℃ずつ上昇させて調べた。換水量

(Vg, l/min/kg) は, 連続記録 (Fig. 2) をもとに, 次の段階の水温への上昇開始前の10分間の平均値を求め, 体重1kg当たりの値で表した。小片の移動速度 (mm/min) は, 次の段階の水温への上昇開始前の15分間に5回測定し, その平均値で表した。

#### 換水量

換水量は, 換水量測定用の箱 (マガキの外套腔からの出水を受ける箱) に取り付けた電磁血流計のプロープ (内径1.0cm, 1.0l/min測定用, Model FF-100T, 日本光電) を通過する水量を電磁血流計 (MFV-3200, 日本光電) で測定し, これを記録計 (MacLab/8, ADI) を用いて毎秒4回の読み込み速度で連続記録した (Fig. 1)。測定は, 殻

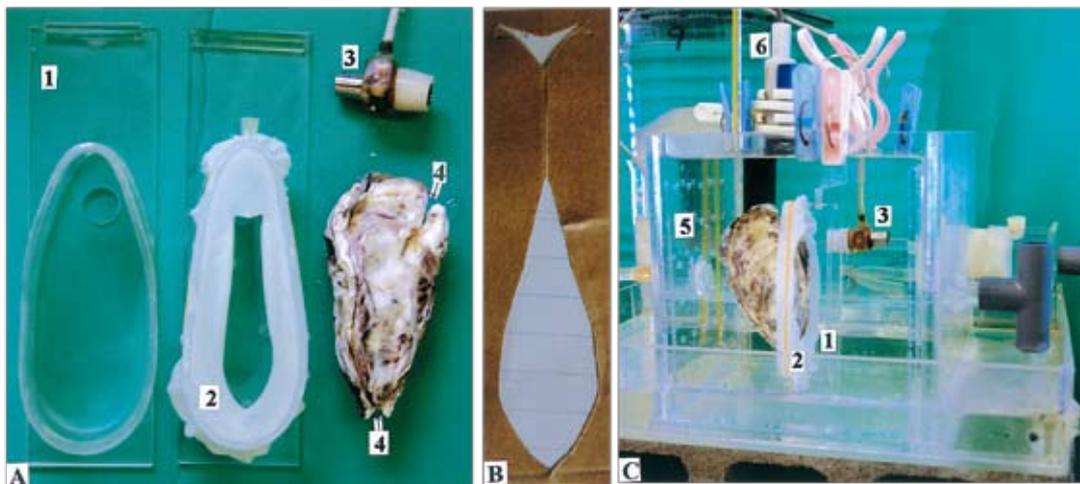


Fig. 1. Apparatus for measuring ventilation volume. A : the chamber for catching the ventilated water (1), the gum thin film (2), the probe of electromagnetic flow-meter (3) and the Pacific oyster *Crassostrea gigas* operated the two notches on the shell (4), B: the shape of window open the gum thin film, C : setting the oyster in the respiration chamber (5) and the sensor of thermometer (6).

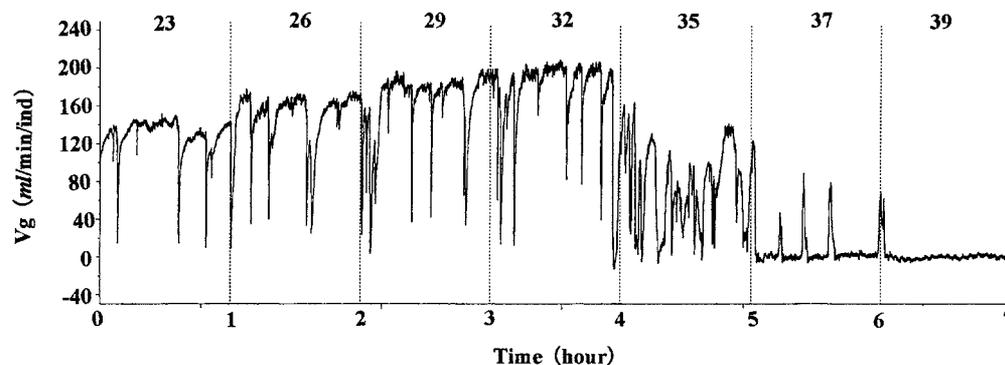


Fig. 2. Record of ventilation volume with the rise of the water temperature in the Pacific oyster. Numeral in upper figure : water temperature.

に手術を施したマガキに換水量測定用の箱を取り付けて呼吸室に設置して14時間経過した後に開始した。

マガキへの手術は、入手後直ちに金切り鋸を用いて殻の外套皺襞の部分に深さ $12.0 \pm 1.2$ mmのV型の切り込みを入れた (Fig. 1A)。換水量測定用の箱は、透明アクリルの筒を用いて作成した幅4~5cm、長さ12cmの楕円形で高さ3.5cmのものを用いた (Fig. 2A)。同箱に設置したゴムの薄膜は、手術用の手袋を利用し、そのほぼ中央を長さ $6.2 \pm 0.8$ cm、幅 $1.4 \pm 0.3$ cmで、マガキの外套皺襞の部分に当たる部位を幅 $1.1 \pm 0.2$ cmに切り抜いて窓を開け、輪ゴムで固定した (Fig. 1B)。窓の長さは、マガキの殻の蝶番の部分から殻の切れ込みまでの長さより3~5mm短く、幅はほぼ殻を開けた際の幅とした。窓を開ける際には、水で濡らした紙製のガムテープをゴムの薄膜に貼り付け、これに窓の形を書き込んで、ガムテープと一緒にゴムの薄膜を切り抜いた (Fig. 1B)。

実験に先だって、前記の換水量の測定法を検討しておくために、マガキに換水量測定用の箱を取り付けて、呼吸室に設置した状態で、エバンスブルー (和光) の2.5%海水溶液を注射器でマガキの入水口付近に滴下して海水の流れを確認した。同溶液は、入水口から吸入された同溶液はマガキの出水口から排出された後、換水量測定用の箱に入り、同箱に取り付けた電磁血流計のプロープを経由して排出されており、他の部分から漏れ出ることにはなかった。このことから、マガキによって鰓弁間を通過した水は換水量として連続測定されていることが確認された。

#### 鰓の繊毛運動

鰓の繊毛運動は、換水量の測定と同様の装置を用いて、マガキの鰓弁の表面に載せた小片 (直径2.0mm、厚さ0.3mmのビニールの薄膜) が移動する速度 (小片の移動速度, mm/min) を計測して調べた<sup>13,14)</sup>。測定は、マガキの殻の一方を除去して鰓を露出させ、測定用の箱に鰓の表面が水平になるように設置して、14時間経過した後に開始した。測定用の箱は長さ35cm、幅20cm、深さ7cmのものを用い、同箱への流入水量は3 l/minとした。なお、測定は、測定用の箱への海水の流入を停止して行った。

## 結 果

換水量は、水温20℃ ( $1.32 \pm 0.37$  l/min/kg) から水温を上昇させると水温の上昇に伴って増加して水温26℃で最大

( $2.35 \pm 0.63$  l/min/kg) を示し、更に水温を上昇させると減少して水温37℃ではほぼ0 l/min/kgを示した (Fig. 3)。

小片の移動速度は、水温20℃から水温を上昇させると $31.3 \pm 1.6$  mm/minから水温の上昇に伴って増加して濾過水量が最大を示すよりも9℃高い水温 (35℃) で最大( $56.3 \pm 4.1$  mm/min) を示し、更に水温を上昇させると減少して41℃で0 mm/minを示した (Fig. 3)。

## 考 察

小片の移動速度は水温の上昇に伴って増大して35℃で最大を示し、更に水温が上昇すると減少している。鰓の繊毛運動から判断すると、マガキは水温が20℃から35℃に上昇するまでは水温の上昇に伴って換水量を増加させていると考えられる。しかし、実際の換水量は35℃よりも9℃も低い26℃で最大を示し、更に水温が上昇すると減少している。このように、換水量と小片の移動速度が最大を示す水温が相違している。これらのことから、マガキは、二枚貝で言われている<sup>1-9)</sup> ように、水温の上昇に伴って鰓の繊毛運動の活動度を増大させて鰓を通過させる水量を増加させるが、実際には主に外套腔への入水口と出水口を開く大きさを水温の上昇に伴って大きくすることによって、換水量を増加させていると考えられる。

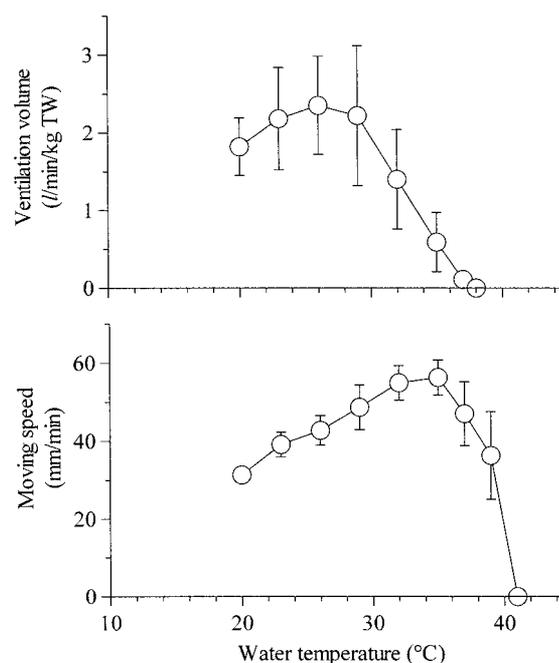


Fig. 3. Changes of ventilation volume and moving speed of vinyl film (2.0mm diameter, 0.3mm thickness) on the gill surface with the rise of the water temperature in the Pacific oyster.

一方、鰓換水中の懸濁物のうち直径 $5\mu\text{m}$ 以上のものは全て各鰓弁の鰓糸間に篩状に密生している触毛で捕捉し、 $5\mu\text{m}$ よりも小さいものは鰓糸の表皮から分泌される粘液に絡めて出来るだけ多くを鰓糸で捕捉していることが知られている<sup>10)</sup>。捕捉された懸濁物は、鰓糸表面の繊毛で唇弁に集められ、食道を経由して胃へ運ばれ、未消化なものは腸を経て肛門から体外に排泄されている。これらの鰓糸から肛門までの一連の懸濁物の輸送は、全て各部位の表皮を覆っている繊毛の運動で行われている。これらのことから、マガキは、換水量が最大を示す水温 $26^{\circ}\text{C}$ までは、換水量の増加に伴って懸濁物の捕捉量を増加させていると考えられる。同時に、水温の上昇に伴って鰓の繊毛運動の活動度も増大していることから、捕捉した懸濁物の消化管への運搬量も増加していると考えられる。 $26^{\circ}\text{C}$ 以上に上昇すると、換水量の減少に伴って懸濁物の捕捉量は減少するが、消化管での運搬の速度は増大していると考えられる。しかし、 $35^{\circ}\text{C}$ 以上になると、消化管への運搬の速度は鰓の繊毛運動の活動度の低下に伴って減少していると考えられる。しかし、消化管での消化吸収の速度は、換水量の変化や鰓の繊毛運動の活動度の変化に平行して変化しているかについては、今後検討を要すと考えている。

## 要 約

マガキの鰓換水に及ぼす水温の影響について調べた。換水量は、 $20^{\circ}\text{C}$ から $26^{\circ}\text{C}$ までは水温の上昇に伴って増加し、更に水温を上昇させると減少して水温 $37^{\circ}\text{C}$ でほぼ0を示した。鰓の繊毛運動の活動度は、 $20^{\circ}\text{C}$ から上昇させると水温の上昇に伴って増加して $35^{\circ}\text{C}$ で最大を示し、更に水温を上昇させると減少して $41^{\circ}\text{C}$ で0を示した。これらのことから、マガキは、水温の上昇に伴って、換水量を増加させることによって懸濁物の捕食量を増加させていると推測した。

## 謝 辞

本研究の一部は、「太田川生態工学研究会」の総合的な調査研究の一環として実施したものである。

## 引用文献

- 1) Jørgensen CB : On gill function in the mussel *Mytilus edulis* L. *Ophelia*, 13, 187-232 (1975)
- 2) Jørgensen CB : A hydromechanical principle for particle retention in *Mytilus edulis* and other ciliary suspension feeder. *Mar Biol*, 61, 277-282 (1981)
- 3) Jørgensen CB : Fluid mechanics on the mussel gill : The lateral cilia. *Mar Biol*, 70, 275-281 (1982)
- 4) Jørgensen CB, Famme P, Kristensen H S, Larsen P S, Mohlenberg P S, Riisgard H U : The bivalve pump. *Mar Ecol Prog Ser*, 34, 69-77 (1986)
- 5) Silvester NR : Hydrodynamics of flow in *Mytilus* gills. *J exp mar Biol Ecol*, 120, 171-182 (1988)
- 6) Jørgensen CB, Larsen P S, Mohlenberg F, Riisgard H U : The bivalve pump : properties and modelling. *Mar Ecol Prog Ser*, 45, 205-216 (1988)
- 7) Hopkins AE : Experiments on the feeding behavior of the Oyster *Ostrea gigas*. *J exp Biol*, 64, 469-494 (1933)
- 8) Jørgensen CB : Efficiency of particle retention and rate of water transport in undisturbed lamellibranchs. *J Cons Int Explor Mer*, 26, 94-116 (1960)
- 9) 山元憲一 : アコヤガイの呼吸に及ぼす水温の影響. 水産増殖, 48, 47-52 (2000)
- 10) Winter, JE : A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranchate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*, 13, 1-33 (1978)
- 11) 山元憲一, 安達智, 河邊博 : アコヤガイのろ過量の直接測定とその応用. 水大校研報, 44, 189-194 (1996)
- 12) 山元憲一, 半田岳志, 西岡晃 : リシケタイラギの鰓換水量の直接測定法. 水産増殖, 53, 291-296 (2005)
- 13) 山元憲一, 田中実, 曾我部知徳, 渡辺英悦 : マシジミの鰓の繊毛運動と酸素消費に及ぼす塩分濃度, 低酸素と水温の影響. 水産増殖, 42, 329-334 (1994)
- 14) 山元憲一, 安達智, 田村征夫, 荒水多希, 河邊博 : ムラサキイガイ, タイラギ, アコヤガイ, ヒオウギガイ, マガキの鰓の繊毛運動に及ぼす低酸素と水温の影響. 水大校研報, 44, 137-142 (1996)