

# サザエの酸素摂取と鰓繊毛運動に及ぼす水温の影響

山元憲一\*・河原邦昌\*・藤井 淳\*

## Effects of Water Temperature on Oxygen Uptake and Gill Cilia Movement in the Topshell, *Turbo (Batillus) cornutus*

Ken-ichi Yamamoto\*, Kuniaki Kawahara\*, and Atsushi Fujii\*

The effects of water temperature on the amount of oxygen uptake, ventilation volume, oxygen utilization at the respiratory organ and gill cilia movement in the topshell, *Turbo (Batillus) cornutus* were examined. The values of all these parameters increased with the rise in water temperature. From the results, the topshell was supposed to be coping by increasing the ventilation volume and the oxygen utilization at the same time to increase the amount of oxygen uptake with the rise in water temperature, and to directly achieve this by increasing the gill cilia movement in order to increase of the ventilation volume in this case.

### 1 緒言

サザエ *Turbo (Batillus) cornutus* は、わが国沿岸域の水産資源として最も重要な魚介類の一つである。しかし、資源量の増大を図ったり、蕃養や活魚輸送を行う際に必要な基礎的研究としての呼吸生理については、酸素摂取量の日周期変化<sup>1)</sup>および酸素飽和の水中で安静にしている状態における鰓でのガス交換<sup>2)</sup>の他には調べられていない。

他の腹足類の多くの種類では、酸素飽和の水中で安静にしている状態における酸素摂取量および酸素利用率が調べられている<sup>3, 4)</sup>。しかし、酸素利用率に及ぼす水温変化の影響については、*Crepidula fornicata* の他には調べられていない<sup>5)</sup>。また、鰓の換水は、腹足類では鰓の繊毛運動による繊毛ポンプによって行われていることが知られている<sup>3, 6)</sup>。しかし、腹足類における換水量および鰓の

繊毛運動に及ぼす水温変化の影響については調べられていない。

そこで、本報告では、サザエの水温上昇に伴う酸素摂取量、換水量、酸素利用率および鰓の繊毛運動の変化について調べたので報告する。

### 2 材料および方法

実験には、殻高  $67.0 \pm 8.3$  (平均値  $\pm$  標準偏差値、以下同様に示す) mm, 殻径  $56.8 \pm 3.3$  mm, 体重  $74.7 \pm 5.8$  g, 肉質部の湿重量  $35.8 \pm 5.7$  g, 肉質部の乾燥重量  $8.86 \pm 0.78$  g および肉質部の有機質重量  $8.05 \pm 0.77$  g のサザエ 53 個体を用いた。サザエは山口県漁業協同組合連合会より購入し、殻の付着物をナイフおよびワイヤーブラシできれい

水産大学校研究業績 第1568号, 1997年1月18日受付。

Contribution from National Fisheries University, No.1568. Received Jan. 18, 1997.

\* 水産大学校生物生産学科 資源環境学講座 (Laboratory of Environmental Biology, Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University).

に取り除いて屋内のパンライト水槽 (500 ℓ) に入れ、海水を毎分 50 ℓ 注水した状態で、緑藻や褐藻を毎日十分量与えて水温  $23 \pm 0.1^\circ\text{C}$  で 1 か月間以上飼育した。実験直前には、ふたたび殻をきれいにし、24時間絶食させたのち、酸素摂取量の測定に供した個体以外には適宜手術をほどこして実験装置に入れ、15時間経過後より測定を開始した。実験装置は、前報<sup>2)</sup>と同様のものを用いた。水温は  $23 \pm 0.1^\circ\text{C}$  より  $3^\circ\text{C}$  づつ 1 時間毎に  $38^\circ\text{C}$  まで上昇させた。測定は各水温への上昇開始より 45 分後から始めた。

測定が終了した個体は、濾紙の上に蓋の部分を下にして約 30 分間置き、殻の表面を乾かしたのちに体重を計った。ついで、沸騰している海水に 1 分間浸して肉質部を取り出し、殻および蓋の重量を計ったのち、肉質部を  $105^\circ\text{C}$  で 8 時間乾燥させて乾燥重量を計測後、 $600^\circ\text{C}$  で 8 時間焼いて灰分重量を計り、それらの差から有機質重量を求めた。また、湿重量は体重から殻と蓋の重量を引いた値とした。

## 2.1 酸素摂取量

酸素摂取量に関する測定は、前報<sup>2)</sup>と同じ方法で、18例行った。呼吸室は、透明なアクリルで作製した直径 75mm、高さ 75mm の円筒形のもの 2 個を用いた。この呼吸室には、底から 15mm のところに 5 mm 目合いの網を張り、底に回転子を入れた。呼吸室への流入水量は  $82.1 \pm 2.0 \text{ ml}/\text{min}$  とした。

酸素摂取量は、サザエを入れていない呼吸室からの流出水の溶存酸素量 ( $C_{i,O_2}$ ,  $\text{ml}/\ell$ ) とサザエを入れている呼吸室からの流出水の溶存酸素量 ( $C_{e,O_2}$ ,  $\text{ml}/\ell$ ) を Winkler 法<sup>7)</sup>で測定し、呼吸室への流入水量 ( $F$ ,  $\text{ml}/\text{min}$ )、体重 (TW, kg)、湿重量 (WW, kg)、乾燥重量 (DW, kg) および有機質重量 (OW, kg) をもとに、 $\dot{V}_{O_2}$  ( $\text{ml}/\text{min}/\text{kg TW}$ )  $= (C_{i,O_2} - C_{e,O_2}) \cdot F / TW \cdot 1/1000$ 、 $\dot{V}_{O_2}$  ( $\text{ml}/\text{min}/\text{kg WW}$ )  $= (C_{i,O_2} - C_{e,O_2}) \cdot F / WW \cdot 1/1000$ 、 $\dot{V}_{O_2}$  ( $\text{ml}/\text{min}/\text{kg DW}$ )  $= (C_{i,O_2} - C_{e,O_2}) \cdot F / DW \cdot 1/1000$  および  $\dot{V}_{O_2}$  ( $\text{ml}/\text{min}/\text{kg OW}$ )  $= (C_{i,O_2} - C_{e,O_2}) \cdot F / OW \cdot 1/1000$  から計算した。

## 2.2 酸素利用率および換水量

酸素利用率に関する測定は、前報<sup>2)</sup>と同じ方法で、20例行った。呼吸室には、縦 10cm、横 8 cm、高さ 7 cm で、上面に開閉できる蓋を設置したものを用いた。

酸素利用率 (U, %) は、外套腔への吸入水の酸素分圧 ( $P_{i,O_2}$ , mmHg) および外套腔からの呼出水の酸素分圧 ( $P_{e,O_2}$ , mmHg) を測定して、 $U = 100 \cdot (P_{i,O_2} - P_{e,O_2}) / P_{i,O_2}$  から計算した。それらの酸素分圧は、殻に開けた直径 4 mm の穴に酸素電極 (ロング酸素電極 125/05L, ダイヤモンドジェネラル) の先端部を静かに押し当て、DOメーター (ケミカルマイクロセンサー I, ダイヤモンドジェネラル) をマックラボシステム (MacLab/4, ADI) に接続して連続測定し、7 分間の平均値とした。また、次に述べる換水量を計算するために、それらの酸素分圧の測定と同時に、呼吸室への流入水の溶存酸素量および酸素分圧をそれぞれ Winkler 法<sup>7)</sup>および前記の DOメーターを用いて測定した。

換水量は、体重、湿重量、乾燥重量および有機質重量 1 kg 当たりの酸素摂取量 ( $\dot{V}_{O_2}$ ,  $\text{ml}/\text{min}/\text{kg TW}$ ,  $\text{ml}/\text{min}/\text{kg WW}$ ,  $\text{ml}/\text{min}/\text{kg DW}$  および  $\text{ml}/\text{min}/\text{kg OW}$ ) のそれぞれの平均値、外套腔への吸入水および外套腔からの呼出水の酸素分圧 ( $P_{i,O_2}$  および  $P_{e,O_2}$ , mmHg) のそれぞれの平均値、前記の呼吸室への流入水の溶存酸素量 ( $C_{i,O_2}$ ,  $\text{ml}/\ell$ ) および酸素分圧 ( $P_{O_2}$ , mmHg) を用いて、 $V_g = 1000 \cdot \dot{V}_{O_2} / [100 \cdot (P_{i,O_2} - P_{e,O_2}) \cdot (C_{i,O_2} / P_{O_2})]$  から計算した。

## 2.3 鰓の繊毛運動

鰓の繊毛運動に関する測定は、前報<sup>8)</sup>と同じ方法で、15例行った。呼吸室には、前記の酸素利用率の測定の場合と同じものを用いた。

鰓の繊毛運動は、殻に約  $25 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$  の窓を開け、外套膜に長さ約 15mm の切れ込みを入れて鰓を露出させ、鰓弁の部分を水平にしてサザエを呼吸室に設置し、その上を移動する小片の速度で調べた。小片には、厚さ 0.3mm のビニール薄膜を直径 2 mm の円形に切り抜いたものを用いた。小片の移動速度は、ピンセットで小片を鰓弁の付け根に置き、これが鰓弁の端より落ちるまでの時間を計測し、この操作を 12 回繰り返して、小片を置いた部分の鰓弁の長さをその平均時間で割って求めた。

## 3 結果

酸素摂取量は、 $23^\circ\text{C}$  での  $1.45 \pm 0.43 \text{ ml}/\text{min}/\text{kg WW}$  ( $0.69 \pm 0.10 \text{ ml}/\text{min}/\text{kg TW}$ ,  $5.88 \pm 1.03 \text{ ml}/\text{min}/\text{kg}$

DW,  $6.49 \pm 1.16 \text{ ml} / \text{ml} / \text{min} / \text{kg OW}$ ) から水温の上昇に伴って増加して、 $32^\circ\text{C}$ で最高値  $1.93 \pm 0.50 \text{ ml} / \text{min} / \text{kg WW}$  ( $0.93 \pm 0.12 \text{ ml} / \text{min} / \text{kg TW}$ ,  $7.93 \pm 1.33 \text{ ml} / \text{min} /$

$\text{kg DW}$ ,  $7.85 \pm 1.30 \text{ ml} / \text{min} / \text{kg OW}$ ) を示したが、それ以上の水温では減少した (Fig. 1)。

換水量は、酸素摂取量と同様の変化を示し、 $23^\circ\text{C}$ での

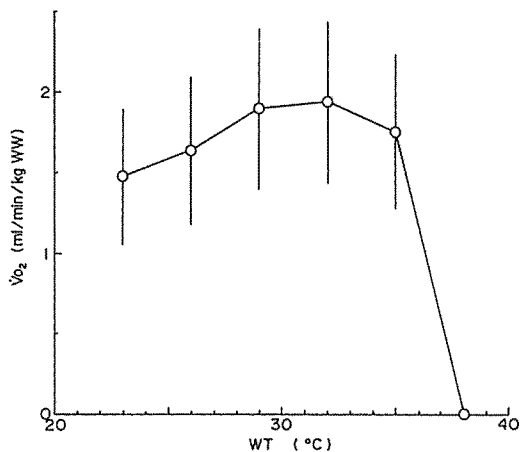


Fig. 1. Change of amount of oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ ) with the rise in water temperature (WT) in the topshell, *Turbo (Batillus) cornutus*. WW is wet weight of soft part of the body, excluding shell and operculum. Circles and vertical lines show means and standard deviations, respectively.

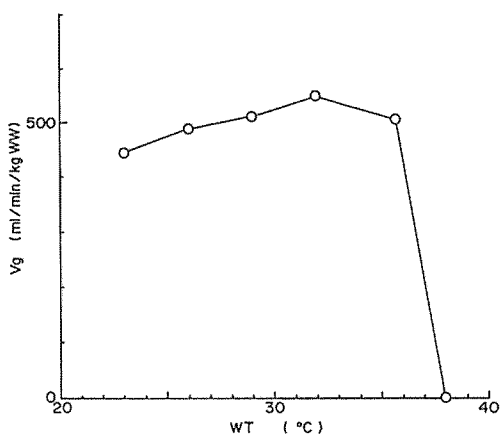


Fig. 2. Change of minute volume of ventilation ( $V_g$ ) with the rise in water temperature (WT) in the topshell, *Turbo (Batillus) cornutus*. WW is wet weight of soft part of the body, excluding shell and operculum.

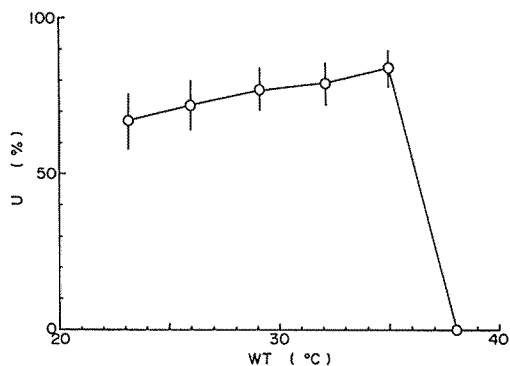


Fig. 3. Change of percent oxygen utilization at the respiratory organ (U) with the rise in water temperature (WT) in the topshell, *Turbo (Batillus) cornutus*. Circles and vertical lines show means and standard deviations, respectively.

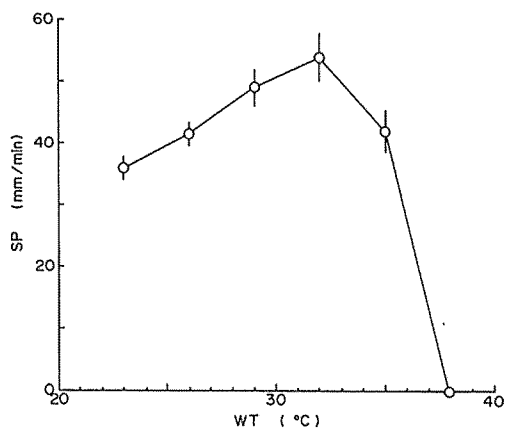


Fig. 4. Change of gill cilia movement with the rise in water temperature (WT) in the topshell, *Turbo (Batillus) cornutus*. SP shows with the moving speed of a small piece of vinyl film (2 mm in diameter, 0.3 mm in thickness) on the gill surface. Circles and vertical lines show means and standard deviations, respectively.

444ml/min/kg WW (213ml/min/kg TW, 1805ml/min/kg DW, 1991ml/min/kg OW) から水温の上昇に伴って増加し, 32°Cで最高値 607ml/min/kg WW (291ml/min/kg TW, 2492ml/min/kg DW, 2750ml/min/kg OW) と 1.4倍の増加を示したが, それ以上の水温では減少した (Fig. 2)。

酸素利用率は, 酸素摂取量および換水量と同様の変化を示し, 23°Cでの 67±9%から水温の上昇に伴って増加し, 35°Cで最高値 84±6%を示したが, それ以上の水温では減少した (Fig. 3)。

ビニール薄膜の移動速度は, 酸素摂取量および換水量と同様の変化を示し, 23°Cでの 35.9±2.0mm/minから水温の上昇にともなって増加し, 32°Cで最高値 54.0±4.3mm/min と 1.5倍の増加を示したが, それ以上の水温では減少した (Fig. 4)。

#### 4 考察

魚類では, 換水量が増加すると酸素利用率は減少することが一般に知られている<sup>9)</sup>。しかし, サザエでは, 換水量の増加に伴って酸素利用率も増加した (Figs. 2, 3)。

魚類のヌマガレイ *Platichthys stellatus* では, 水温が約10°C上昇すると換水量は4倍増加したことが報告されている<sup>10)</sup>。サザエでの換水量の増加率 (1.4倍) は, それに比べて著しく小さい。

すなわち, 水温が上昇した時, サザエでは, 換水量の増加率が小さいために鰓を通過する酸素の総量, つまり (換水量) × (溶存酸素量) がヌマガレイに比べて小さいことになる。そこで, サザエは, 換水量を増加させて鰓を通過する酸素の総量を増加させると同時に, 酸素を水中から血液に摂取する効率, つまり酸素利用率を上昇させて酸素要求量の増大に応じていると考えられる。

貝類の鰓の繊毛運動は, 鰓弁間を換水させるための水流を起こす役割を果たしていることが知られている<sup>3, 6)</sup>。Winter<sup>11)</sup>は, 水温の上昇に伴う二枚貝の換水量の増加率と鰓の繊毛が動く毎秒の回数の増加率は良く一致すると報告している。しかし, Hughes<sup>12)</sup>および山元ら<sup>13)</sup>は, 二枚貝類では, 最高値を示す水温は鰓の繊毛運動の場合よりも換水量の方が低いことを報告している。その原因として, Hughes<sup>12)</sup>は高温による支障が水管に出ることによると推測している。山元ら<sup>13)</sup>は, アカガイが水管を持たない種類であることから, 外套膜に高温による支障が生じて入水

と出水の調節に異常が生じたため, あるいは繊毛の動きがある程度以上になると動く回数の増大が換水量の増加に反映しないためと推測している。サザエでは, 鰓に載せたビニール薄膜の移動速度と換水量は水温の上昇に伴って同じ増加率を示して増加し, しかも最高値を示す水温が同じであった (Figs. 2, 3)。これらのことから, サザエでは, 水温上昇に伴う換水量の増加は直接鰓の繊毛運動の増大によって達成され, 換水は高温域に至るまで二枚貝類で認められるような種々の制約は受けずに鰓の繊毛運動の増大を反映して増加すると考えられる。

#### 5 要約

サザエの水温上昇に伴う酸素摂取量, 換水量, 酸素利用率および鰓の繊毛運動の変化について調べた。

これらがいずれも水温の上昇に伴って増加したことから, サザエは, 水温上昇に伴う酸素摂取量の増加に対して, 換水量と酸素利用率を同時に増加させて対応し, この時の換水量の増加は直接鰓の繊毛運動の増大によって達成させていると推測した。

#### 文 献

- 1) 宇野寛: 東水大特別研報, 6, 1-76 (1962).
- 2) 山元憲一・河原邦昌・嶋田誠・藤井淳・寺戸寛史: 水産大研報, 44, 89-95 (1995).
- 3) F. Chiretti: Respiration, in "Physiology of mollusca, Vol.2" (ed. by K.M.Wilbur and C.M.Yonge), Academic Press, New York and London, pp. 175-208 (1966).
- 4) E. H. Hazelhof: *Z. vergleich. Physiol.*, 26, 306-327 (1939).
- 5) R. C. Newell and L. H. Kofoed: *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 57, 161-180 (1977).
- 6) P. J. Mill: 無脊椎動物の呼吸 (落合威彦訳). 東興交易医書出版部, 東京, pp. 21-77 (1978).
- 7) 日本海洋学会: 海洋視測指針 (中央気象台編). 田中幸和堂, 東京, pp. 174-180 (1955).
- 8) 山元憲一・安達智・田村征生・荒水多希・河邊博: 水産大研報, 44, 137-142 (1996).
- 9) G. Shelton: The regulation of breathing, in "Fish Physiology" (ed. W. S. Hour and D.

- J. Randall), Academic Press, New York and London, pp.293-359 (1970).
- 10) K. W. Jr. Watters and L. S. Smith : *Mar. Biol.*, 19, 133-148 (1973).
- 11) J. E. Winter : *Aquaculture*, 13, 1-33 (1978).
- 12) R. N. Hughes : *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 49, 805-823 (1969).
- 13) 山元憲一・田村征生・棚野元秀 : 水産大研報, 45, 95-101 (1996).