

## ムラサキイガイの餌投与に伴う鰓換水の変化

山元憲一<sup>†</sup>, 荒木 晶, 半田岳志

### Change of Ventilation in the Mediterranean Blue Mussel *Mytilus galloprovincialis* with Feeding

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

**Abstract** : Changes in the ventilation volume and the amount of oxygen uptake were examined in the Mediterranean blue mussel *Mytilus galloprovincialis* with feeding *Chaetoceros gracilis*, at a density of 20,000 cells/ml. For the blue mussels without feeding, the ventilation volumes at 15, 20 and 24 °C were 2.55, 4.46 and 6.01 l/min/kg WW (per wet weight of soft part of body), respectively; for those with feeding they increased to 18.4 (7.2 times that with feeding), 18.6 (4.2 times) and 19.04 l/min/kg WW (3.2 times), respectively. The amount of oxygen uptakes with feeding at 15, 20 and 24 °C were about equivalent to those without feeding (0.506, 0.683 and 0.753 ml/min/kg WW). These results suggested that the Mediterranean blue mussel with feeding increased the ventilation volume without an increase in the amount of oxygen uptake.

**Key words** : Mediterranean blue mussel, ciliary movement, feeding, oxygen uptake, ventilation, water temperature

### 緒 言

二枚貝は、鰓の繊毛運動で水流を起こし、外套膜の開閉や開く角度などを変えて、通過させる水量(換水量)を調節している<sup>1-7)</sup>。一方、換水量は鰓の繊毛運動の活動度と正の相関関係にあることが知られている<sup>5)</sup>。リシケタイラギ *Atriana (Servatiana) lischkeana*、アコヤガイ *Pinctada fucata martensii* やイワガキ *Crassostrea nippona* は、*Chaetoceros gracilis*(以降、餌と略記する)を投与すると酸素摂取量の有意な増加を伴わずに、換水量を増加させる<sup>8-10)</sup>。一方、ムラサキインコ *Septifer virgatus*、イタボガキ *Ostrea denselamellosa* やマガキ *Crassostrea gigas* は、餌を投与すると換水量を増加させ、酸素摂取量も増加させる<sup>11-13)</sup>。しかし、この酸素摂取量の増加は、消化活動に要する代謝量の増加に伴う変化であると推測されている<sup>13)</sup>。

本研究では、ムラサキイガイ *Mytilus galloprovincialis*

を用いて、異なる水温のもとで、餌の投与に伴う換水運動の変化を調べた。

### 材料および方法

実験には、水産大学校に隣接する内湾で採集した殻長  $36.2 \pm 2.7$  mm (平均値 $\pm$ 標準偏差, 以下同様に表す)、殻高  $65.5 \pm 4.2$  mm, 殻幅  $24.1 \pm 1.9$  mm, 体重  $27.4 \pm 3.6$  g, 肉質部の湿重量  $7.29 \pm 2.06$  g, 肉質部の乾燥重量  $1.03 \pm 0.34$  g のムラサキイガイ 90 個体を用いた。実験は水温  $15.0 \pm 0.5$  °C (5月),  $20.0 \pm 0.6$  °C (6月) および  $24.0 \pm 0.6$  °C (7月)で行った。ムラサキイガイは、殻の付着物を入手後除去して殻に手術を施し、屋内に設置した FRP 水槽 (170 x 78 x 40 cm) に浮かべた籠 (46 x 32 x 16 cm) に収容し、実験で設定した各水温および塩分 34 psu で 1 週間以上、生海水を注入 (50 l/min) して予備飼育した<sup>7-9)</sup>。手術は、殻の外套皺

襪の部位に深さ約2~3mmの切り込みを入れ、殻頂付近にビニールホースで作成した幅約3mmのストッパーを貼り付けた<sup>11)</sup>。予備飼育時の餌は、屋外の5ton水槽2個で培養した植物プランクトン(優占種は*Pyramimonas* sp.)を前記の注入水中に連続投与(0.4l/min)した<sup>14)</sup>。

測定は、ムラサキイガイを3日間絶食させて呼吸室に設置し、14時間以上経過させた後、呼吸室へ餌を注入し、餌の投与前後の換水量および酸素摂取量の変化を各水温で15例ずつ調べた<sup>7-9)</sup>。なお、鰓の繊毛運動は、餌を投与前の状態、各水温のもとで15例ずつ調べた。呼吸室へは、化繊綿を詰めた筒、次いで0.5 $\mu$ mのフィルター(Model III, ORGANO)の順に通過させて作成した濾過海水を1 l/min流入させ、同室を通過させた後、流し捨てとした。餌(*Chaetoceros gracilis* 1.0 $\times$ 10<sup>8</sup> cells/ml, ヤンマー)は、濾過海水で希釈し、この懸濁液を定量送液ポンプ(PST-050, IWAKI)で呼吸室への流入水中に注入して、濃度20,000 cells/mlで連続投与した。

測定終了後、殻の表面を乾燥させて体重を計測した。次いで、肉質部の湿重量を計測後、105 $^{\circ}$ Cで24時間乾燥させて肉質部の乾燥重量を計測した。

## 換水量

換水量は、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)を換水量測定用の箱に取り付け、電磁血流計(MFV-3200, 日本光電)で測定し、記録計(MacLab/8, ADI)で毎秒4回の読み込み速度で連続記録した<sup>7-9)</sup>。換水量測定用の箱は、透明アクリル製で、幅約4cm, 長さ約8cmの楕円形で高さ3cmのものを用いた。同箱に設置したゴムの薄膜は、中央を長さ5.0~5.5cm, 貝の外套皺襞の部分に当たる部分を幅1.1~1.5cmに切り抜いて窓を開けた。

換水量(V<sub>g</sub>)は、連続記録をもとに、次に示した餌投与前後にそれぞれ5回行った採水の各直前の5分間を平均し、体重当たりの値(l/min/kg TW), 軟体部の湿重量当たりの値(l/min/kg WW)および軟体部の乾燥重量当たりの値(l/min/kg DW)に換算して表した<sup>7-9)</sup>。

## 酸素摂取量

酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )は、餌の投与前および投与後に換水量が最大を示した後にそれぞれ10分間隔で5回注射筒で約1ml採水し、外套腔への吸入水の酸素分圧(P<sub>I,O<sub>2</sub></sub>, mmHg)および外套腔からの排出水の酸素分圧(P<sub>E,O<sub>2</sub></sub>, mmHg)を酸素計(OM-200, Cameron instrument)で測定し、換水量(V<sub>g</sub>)を用いて次の式から算出した<sup>7-9)</sup>。

$$\dot{V}O_2 = Vg/1000 \cdot (P_{I,O_2} - P_{E,O_2}) \cdot CO_2/P_{O_2}$$

なお、CO<sub>2</sub>(溶存酸素量, ml/l)およびPO<sub>2</sub>(酸素分圧, mmHg)は餌の投与前に呼吸室への流入水を採水して、それぞれWinkler法と前記の酸素計で測定した値を用いた。

酸素摂取量は、体重当たりの値(ml/min/kg TW), 軟体部の湿重量当たりの値(ml/min/kg WW)および軟体部の乾燥重量当たりの値(ml/min/kg DW)に換算して表した。

## 鰓の繊毛運動

鰓の繊毛運動は、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)の移動する速度(以降、小片の移動速度と示す)を計測して調べた<sup>15)</sup>。測定は、殻の一方を除去して鰓を露出させ、測定用の箱(10 $\times$ 10 $\times$ 5cm)に鰓弁の表面を水平に設置して14時間経過した後、開始した。小片の移動速度(mm/min)は、測定用の箱への濾過海水の注入(1l/min)を停止して、約5分間隔で10回測定し、その平均値で表した。

## 統計解析

得られた値は、Unpaired *t*-testを用いて検定した( $P < 0.01$ )。

## 結 果

餌の投与前には、換水量は15 $^{\circ}$ Cでは2.55 $\pm$ 1.42l/min/kg WW (0.84 $\pm$ 0.46l/min/kg TW, 22.9 $\pm$ 13.5l/min/kg DW), 20 $^{\circ}$ Cでは4.46 $\pm$ 2.67l/min/kg WW (1.78 $\pm$ 1.12l/min/kg TW, 32.0 $\pm$ 19.37l/min/kg DW), 24 $^{\circ}$ Cでは6.01 $\pm$ 3.26l/min/kg WW (2.17 $\pm$ 1.00l/min/kg TW, 55.7 $\pm$ 31.2l/min/kg DW)と、水温が高いほど大きな値を示した(Fig.1)。水温24 $^{\circ}$ Cでは15 $^{\circ}$ Cの2.4倍を示した( $P < 0.01$ )。餌を投与すると、換水量は15 $^{\circ}$ Cでは18.40 $\pm$ 6.10 l/min/kg WW (6.39 $\pm$ 1.92l/min/kg TW, 156.6 $\pm$ 56.0l/min/kg DW)と投与前の7.2倍に、20 $^{\circ}$ Cでは18.60 $\pm$ 6.06l/min/kg WW (7.23 $\pm$ 2.38l/min/kg TW, 134.5 $\pm$ 47.4l/min/kg DW)と投与前の4.2倍に、24 $^{\circ}$ Cでは19.04 $\pm$ 5.60l/min/kg WW (6.65 $\pm$ 1.54l/min/kg TW, 178.6 $\pm$ 58.7l/min/kg DW)と投与前の3.2倍に増加した(Fig.1)。しかし、いずれの水温においても、ほぼ同じ値を示した( $P > 0.01$ )。

餌の投与前には、酸素摂取量は15 $^{\circ}$ Cでは0.506 $\pm$ 0.138 ml/min/kg WW (0.168 $\pm$ 0.046ml/min/kg TW, 4.51 $\pm$ 1.28ml/min/kg DW), 20 $^{\circ}$ Cでは0.683 $\pm$ 0.231ml/min/kg WW (0.271 $\pm$ 0.093ml/min/kg TW, 4.92 $\pm$ 1.65ml/min/kg DW), 24 $^{\circ}$ Cでは0.758 $\pm$ 0.262 ml/min/kg WW (0.276 $\pm$ 0.082ml/min/kg TW, 7.05 $\pm$ 2.59ml/min/kg DW)を示した(Fig. 1)。餌を投与すると、酸素摂取量は15 $^{\circ}$ Cでは0.767 $\pm$ 0.350 ml/min/kg WW (0.273 $\pm$ 0.131 ml/min/kg TW, 6.66 $\pm$ 3.51 ml/min/kg WW)を示した。

min/kg DW)を、20℃では $0.855 \pm 0.325$  ml/min/kg WW ( $0.334 \pm 0.134$  ml/min/kg TW,  $6.24 \pm 2.67$  ml/min/kg DW)を、24℃では $0.996 \pm 0.316$  ml/min/kg WW ( $0.350 \pm 0.098$  ml/min/kg TW,  $9.31 \pm 3.10$  ml/min/kg DW)を示した(Fig.1)。このように、15℃、20℃と24℃では、ほぼ同じ値を示した( $P > 0.01$ )。

小片の移動速度は、15℃では $21.5 \pm 1.3$  mm/min、20℃では $24.3 \pm 2.74$  mm/min、24℃では $29.9 \pm 1.3$  mm/minを示した(Fig.2)。このように、水温が高いほど大きな値を示し、24℃では15℃の1.3倍を示した( $P < 0.01$ )。

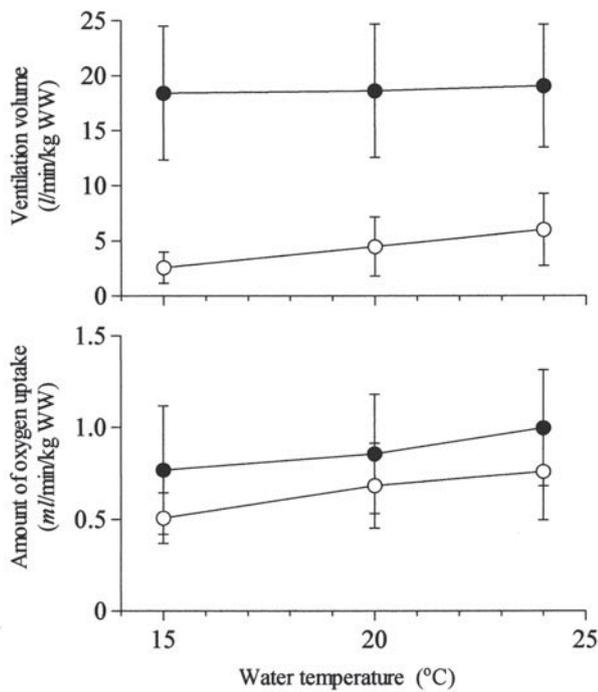


Fig.1. Changes in ventilation volume and amount of oxygen uptake in the Mediterranean blue mussel *Mytilus galloprovincialis* with feeding *Chaetoceros gracilis* (20,000 cells/ml) at  $15.0 \pm 0.5$  °C,  $20.0 \pm 0.6$  °C and  $24.0 \pm 0.6$  °C. Circles and vertical lines show mean and standard deviation, respectively. Open circle, before feeding; closed circle, during feeding; WW, wet weight of soft part of body.

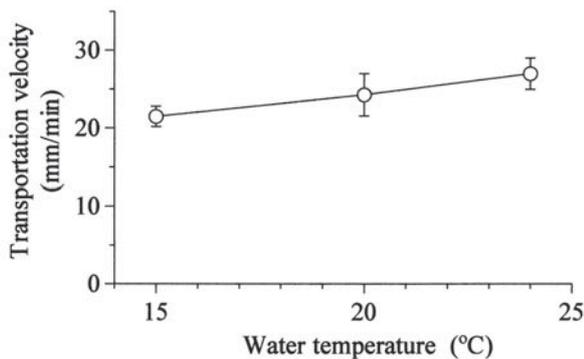


Fig.2. Relationship between water temperature and the transportation velocity of a piece of vinyl film (0.2mm diameter, 0.3mm thickness) on the gill surface of the Mediterranean blue mussel.

## 考 察

餌の投与前では、換水量は水温が15℃から24℃に高くなるのに伴って増加した。小片の移動速度も水温が高くなるのに伴って増大した。換水量は鰓の繊毛運動の活動度と正の相関があることが知られている<sup>5)</sup>。二枚貝は、鰓の繊毛運動で水流を起こし、殻および外套膜の開閉や開く角度、鰓を通過させる水の抵抗などを総合して換水量を調節する<sup>1-7)</sup>。これらのことから、ムラサキイガイは、長期間絶食させた状態では、水温の変化に伴う鰓の繊毛の活動度の増減を直接反映させて受動的に換水量を調節していると推測される。

餌を投与すると、ムラサキイガイは投与前の3.2~7.2倍に換水量を増加させた。他の二枚貝においても餌に遭遇すると換水量を増加させることが知られており、リシケタイラギは38倍に、アコヤガイは2.8倍に、イワガキは3.8~9.2倍に、ムラサキイナゴは5.2倍に、イタボガキは7~15倍に、およびマガキは5.2倍に換水量を増加させる<sup>8-13)</sup>。

ムラサキイガイでは、小片の移動速度は水温が高くなるのに伴って増大した。しかし、餌の投与後の換水量は15℃、20℃および24℃ではほぼ同じ値を示した。このように、ムラサキイガイでは、鰓の繊毛の活動度と関係なく、換水量の増加の上限が規定されていると考えられる。一方、イタボガキでは、餌の投与後の増加した換水量は22℃では16℃の2.2倍<sup>12)</sup>、イワガキでは28℃では22℃の1.8倍を示す<sup>10)</sup>。イタボガキやイワガキでは鰓を通過させた水を排出する出水口は外套襞壁(鰓の先端部)から殻頂にかけて大きく開口している。ムラサキイガイでは、外套襞壁に隣接した部位に小さく出水口が開口している<sup>16)</sup>。これらのことから、ムラサキイガイはイタボガキやイワガキと異なり、出水口が小さいことが換水量の増加の上限を規定する制限要因となっていると推測される。

ムラサキイガイの酸素摂取量は、リシケタイラギ<sup>8)</sup>、アコヤガイ<sup>9)</sup>やイワガキ<sup>10)</sup>と同様に、餌の投与前後ではほぼ同じ値を示した。二枚貝での換水量は、殻および外套膜の開閉や開く角度、鰓を通過させる水の抵抗などを総合して換水量を調節している<sup>1-7)</sup>。これらのことから、ムラサキイガイは、リシケタイラギ、アコヤガイやイワガキと同様に、自然界においても餌と遭遇すると代謝量の増加を伴わずに換水量を増加させてこれを捕食していると考えられる。

## 要 約

ムラサキイガイを用いて、*Chaetoceros gracilis* (20,000 cells/ml)の投与前後の換水量および酸素摂取量の変化を調べた。投与後の換水量は15℃では投与前(2.55 l/min/

kgWW, 軟体部の湿重量)の7.2倍(18.40l/min/kg WW), 20℃では投与前(4.46l/min/kg WW)の4.2倍(18.60l/min/kg WW), 24℃では投与前(6.01l/min/kg WW)の3.2倍(19.04l/min/kg WW)に増加した。酸素摂取量は15℃, 20℃および24℃のいずれの水温においても投与前(それぞれ0.506, 0.683および0.753ml/min/kg WW)とほぼ同じ値を示した。以上のことから, ムラサキイガイは餌に遭遇すると, 代謝量を変化させずに換水量を増加させて餌を捕食することが明らかとなった。

## 文 献

- 1) Hopkins AE: Experiments on the feeding behavior of the oyster *Ostrea gigas*. *J Exp Biol*, **64**, 469-494(1933)
- 2) Jørgensen CB: Efficiency of particle retention and rate of water transport in undisturbed lamellibranchs. *J Cons Int Explor Mer*, **26**, 94-115(1960)
- 3) Jørgensen CB: A hydromechanical principle for particle retention in *Mytilus edulis* and other ciliary suspension feeder. *Mar Biol*, **61**, 277-282(1981)
- 4) Jørgensen CB, Larsen PS, Mohlenberg F, Riisgard HU: The bivalve pump : properties and modelling. *Mar Ecol Prog Ser*, **45**, 205-215(1988)
- 5) 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)
- 6) Silvester NR: Hydrodynamics of flow in *Mytilus* gills. *J Exp Mar Biol Ecol*, **120**, 151-182(1988)
- 7) 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)
- 8) 山元憲一, 半田岳志, 茅野直登: リシケタイラギの摂餌時における換水の変化. 水産増殖, **55**, 381-385(2007)
- 9) 山元憲一, 半田岳志, 松原利晃: アコヤガイの餌投与に伴う鰓換水運動の変化. 水産増殖, **58**, 447-451(2010)
- 10) 山元憲一, 半田岳志, 棚野元秀: イワガキの餌投与に伴う鰓換水の変化. 水産増殖, **60**, 33-37(2012)
- 11) 山元憲一, 半田岳志: ムラサキインコガイの餌投与に伴う換水運動の変化. 水大校研報, **59**, 227-231(2011)
- 12) 山元憲一, 半田岳志, 棚野元秀: イタボガキの餌投与時の鰓換水. 水大校研報, **60**, 27-31(2011)
- 13) 山元憲一, 半田岳志: マガキの餌投与に伴う換水運動の変化. 水産増殖, **59**, 203-206(2011)
- 14) 山元憲一, 半田岳志, 中村真敏, 橘川和正, 北 靖史, 滝本真一, 西川 智: アコヤガイの呼吸に及ぼすオゾン処理海水の影響. 水産増殖, **47**, 241-248(1999)
- 15) 山元憲一, 安達 智, 田村征夫, 荒木多希, 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)
- 16) 山元憲一, 半田岳志: ムラサキイガイの鰓構造. 水大校研報, **61**, 123-142(2013)